

ПЫЛЕВЗРЫВОЗАЩИТА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ: ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ, ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

В.А. Родионов, кандидат технических наук, доцент;

Р.Д. Магомет, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский горный университет.

Ф.А. Дементьев, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС

Проанализирована взаимосвязь увеличения роста добычи каменного угля и производственного травматизма. Выполнен анализ литературных данных по причине возникновения чрезвычайных ситуаций и гибели персонала угольных шахт. На основе анализа установлено, что в 25 % случаев, связанных с массовой гибелью шахтеров, причиной аварий послужили внезапные выбросы метана и взрывы как метановоздушных, так и пылевоздушных масс горных выработок. По литературным данным установлено, что увеличение нагрузки на очистной забой приводит к более интенсивному пылеобразованию, повышению концентрации аэрозольных частиц в горных выработках. Данный факт подтвердил взаимосвязь роста объемов производств с увеличением количества заболеваний бронхолегочной системы горнорабочих. Полученные данные позволили авторам выдвинуть предположение, что каменноугольная пыль по своим комплексным факторам является наиболее опасной в шахтной атмосфере. Поэтому на основании аналитических данных, полученных авторами статьи, была высказана необходимость всестороннего изучения систем пылевзрывозащиты угольных шахт. Данные, полученные авторами статьи, по оценке достоинств и недостатков существующих систем пылевзрывозащиты угольных шахт подтвердили целесообразность работы по направлению исследования взрывоопасных свойств каменноугольной пыли и влияния на параметры взрыва применяемой в настоящее время в системах защиты инертной пыли. В работе приведены данные по дисперсности каменноугольной пыли, при которой наблюдаются максимальное давление взрыва и скорость нарастания давления взрыва. Определение данных параметров проводили в 20 л сферической взрывной камере. Полученные результаты показали необходимость поиска новых путей, так как при добавлении только очень больших концентраций инертной пыли удалось добиться снижения давления взрыва до безопасных значений. Поэтому на основе оценки влияния концентраций инертной пыли в образце угольной пыли авторами статьи высказано предположение как о необходимости совершенствования защитных свойств инертной пыли, так и о возможности повышения данных свойств за счет введения в ее состав мощных ингибиторов процессов возникновения и распространения поражающих факторов взрыва по системе горных выработок.

Ключевые слова: инертная пыль, осланцевание, пылевзрывозащита, взрыв, максимальное давление взрыва, угольная пыль, скорость нарастания давления при взрыве, аэрозоль, дефлаграционное горение, детонация

DUST-EXPLOSION PROTECTION OF EXCAVATIONS OF COAL MINES: MERITS AND DEMERITS, WAYS OF IMPROVEMENT

V.A. Rodionov; R.D. Magomet. Saint-Petersburg mining university.

F.A. Dementev. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In the present article the interrelation of increase in growth of extraction of coal and occupational injuries is analyzed. The analysis of literary data on an origin of emergency

situations and death of personnel of coal mines is made. On the basis of the analysis it is established that in 25 % of cases of the accidents connected with mass death of miners sudden emissions of methane and explosions, both the metanovozdushnykh, and the pylevozdushnykh of mass of excavations caused. According to literary data it is established that increase in load of a clearing face, leads to more intensive dust formation, increase in concentration of aerosol particles in excavations. This fact confirmed interrelation of growth of volumes of productions with increase in quantity of diseases of a bronchopulmonary system of miners. Data retrieved allowed authors to make the assumption that coal dust on the complex factors is the most dangerous in the mine atmosphere. Therefore on the basis of analytical data the received authors of article was need comprehensive studying of systems of dust-explosion protection of coal mines is stated. The data obtained by authors of article according to merits and demerits of the existing systems of dust-explosion protection of coal mines confirmed expediency of work on the direction of a research of explosive properties of coal dust and influence on parameters of explosion of the protection of inert dust applied now in systems. Data on dispersion of coal dust at which the maximum pressure of explosion and rise speed of pressure of explosion are observed are provided in work. Data definition of parmetr was carried out to 20 l to the spherical explosive chamber. The received results showed need of search of new ways as when adding only very big concentration of inert dust was succeeded to achieve pressure decrease of explosion to secure values. Therefore, on the basis of impact assessment of concentration of inert dust in a sample of coal dust by authors of article it is suggested, as about need of improvement of protective properties of inert dust, and about a possibility of increase in these properties due to introduction to its composition of powerful inhibitors of processes of emergence and distribution of the striking explosion factors on the system of excavations.

Keyword: inert dust, rock dusting, dust-explosion protection, explosion, maximum pressure of explosion, coal dust, pressure rise speed at explosion, aerosol, deflagrations burning, a detonation

Увеличение объемов добычи каменного угля, обеспечиваемое применением современного высокопроизводительного оборудования, обостряет проблему промышленной безопасности ведения горных работ. Увеличение грузопотоков в подземных условиях, наряду с ростом глубины работ, сопровождается повышенным газовыделением и пылеобразованием, что существенно снижает эффективность применяемых средств обеспечения пыле-метано-взрывобезопасности [1, 2].

Анализ произошедших за последние десять лет аварий на предприятиях минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации показывает, что более 25 % от общего числа аварий связаны со вспышками, взрывами метановоздушных и пылеметановоздушных смесей. При этом в результате именно данных аварий жертвами стали 84 % горняков от общего числа погибших при авариях за отмеченный отрезок времени [1–3].

Кроме того, увеличение нагрузки на очистной забой приводит к более интенсивному пылеобразованию, повышению концентрации аэрозольных частиц в горных выработках, что повышает количество заболеваний бронхолегочной системы горнорабочих (кониозы и бронхиты различной этиологии). При постоянной работе в такого рода условиях возникает риск как инвалидизации, так и преждевременных летальных исходов среди работников горно-шахтной отрасли.

Повысить уровень пыле-метано-взрывобезопасности действующих угольных шахт возможно при условии комплексного подхода совершенствования управления безопасностью и риском, технологическими процессами подземной добычи угля, средств и способов взрывозащиты горных выработок.

Методологический подход

Мероприятия пылевого режима угледобывающего предприятия, направленные на предупреждение образования взрывоопасного пылевого облака и возникновения источников воспламенения, определяют:

– перечень мероприятий, направленных на устранение (снижение) источников пылеобразования;

– перечень мероприятий, направленных на нейтрализацию взрывчатых свойств осевшей угольной пыли в выработках (побелка выработок, инертизация угольной пыли, обмывка выработок водой или раствором смачивателя, связывание угольной пыли применением различных паст);

– перечень мероприятий по локализации возникших взрывов пыли (применение сланцевых и водяных заслонов, автоматических систем взрывоподавления и локализации);

– перечень мероприятий, обеспечивающих предотвращающие появления источников воспламенения угольной пыли и газа [2–4].

Анализ применяемых в настоящее время на действующих угледобывающих предприятиях способов пылевзрывозащиты (на примере шахты им. А.Д. Рубана АО «СУЭК-Кузбасс») показал, что в зависимости от конкретных горногеологических и горнотехнических условий наиболее широкое применение получили инертизация взрывчатых свойств угольной пыли путем осланцевания выработок и гидропылевзрывозащита [1, 3, 5, 6].

Таким образом, можно заключить, что чаще всего осуществляются следующие мероприятия:

– осланцевание выработок, побелка или обмывка выработок;

– установка водяных и сланцевых взрыволокализирующих заслонов.

Целесообразность каждого из перечисленных мероприятий определяется для конкретной выработки в зависимости от срока службы, габаритов, обводненности, наличия транспортных коммуникаций и т.д. [4, 5].

В целях оптимизации результатов анализа эффективности мероприятий пылевзрывозащиты угольных шахт, анализ проводился с применением коэффициента эффективности (S) ≥ 1 .

Коэффициент эффективности пылевзрывозащиты:

$$S = \frac{X_w}{X_s},$$

где X_w – весовая эффективность действия воды, выраженная числом весовых единиц чистой угольной пыли, защищенной весовой единицей воды; X_s – аналогичная весовая эффективность действия твердых негорючих частиц.

Таким образом, распределение коэффициента эффективности мероприятий: осланцевание – 1, связывание растворами/пастами -1,8–3,6, туманообразующие завесы – ∞ , побелка – 1.

Наиболее простым и эффективным на сегодняшний день являются мероприятия по сланцевой пылевзрывозащите.

Однако реальный опыт применения каждого из мероприятий выявил ряд недостатков:

– при обработке связывающими пастами бортов выработки они покрывались новыми слоями осаждающейся пыли довольно быстро. При этом дополнительным отрицательным аргументом служит неполное соответствие санитарно-гигиеническим требованиям применяемых паст, их высокая стоимость, низкая биоразлагаемость и недостаточная изученность влияния на организм человека;

– применение туманообразователей эффективно при их установке непосредственно у источника пылеобразования (на пересыпах с конвейера на конвейер,

на нижнем и верхнем сопряжениях лавы), а в условиях полной конвейеризации шахт именно транспортируемая горная масса является преобладающим источником пылевыделения (протяженность подготовительных выработок составляет в среднем более 2 500 м). Необходимое избыточное количество туманообразователей оказывает влияние на климатические условия в выработках;

- мероприятия пылеподавления, основанные только на принципах орошения, с современной интенсивностью пылеобразования не справляются, а избыточное применение воды сказывается негативно на санитарно-гигиенических условиях в подземных горных выработках;

- применение инертной пыли (ИП) для разбавления угольной практикуется на протяжении достаточно долгого периода. Сланцевая пыль (СП) эффективно поглощает тепло, тем самым предотвращает развитие взрыва угольной пыли. Вопрос влияния СП на организм человека хорошо изучен. Использование сланцевой инертной пыли (СИП) отличается низкой стоимостью и доступностью. Далее под ИП и СИП подразумевается пыль марки ПИГ [5–7].

С целью доказать необходимость поиска новых или совершенствования существующих способов разбавления взрывоопасных пылеугольных аэрозвесей, образующихся в угольных шахтах, решено было выполнить ряд экспериментов. Научно-исследовательская часть экспериментальной работы состояла в изучении изменения давления взрыва каменноугольных аэрозвесей от концентрации в них СИП. Кроме того, требовалось определить возможность снижения количества применяемой ИП.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Научно-технические исследования процессов детонационного горения каменноугольного воздушного аэрозоля проводили на установке, сделанной на основании австрийской лицензии Институтом промышленной взрывозащиты (Китай), установленной в Санкт-Петербургском горном университете.

На установке был осуществлен эксперимент по исследованию процессов детонационного воспламенения заданных концентраций угольной и сланцевой пыли для определения наиболее эффективных соотношений.

Воспламенение контрольного образца пылеугольной и исследуемых образцов (угольная пыль + СИП) осуществлялось с помощью химических воспламенителей мощностью 10 kJ [6, 8, 9–12].

Система испытаний сферического взрыва ETD-20L DG (рис. 1) и разработанный алгоритм работы на установке позволяет определить:

- P_{ex} – максимальное избыточное давление взрыва, возникающее при сгорании смесей газо-, паро- или пылевоздушного состава в дефлаграционном режиме в объеме взрывной камеры при начальном давлении смеси 101,3 кПа;

- P_{max} – наибольшее значение давления взрыва (максимальное давление взрыва), определенное экспериментально в рамках взрывного диапазона концентрации пыли, МПа. Максимальное давление взрыва (P_{max}) рассчитывается программными методами автоматическим пересчетом из P_{ex} ;

- dP/dt – отношение приращения давления, развиваемого при взрыве в замкнутом сосуде, к интервалу времени, в течение которого это приращение произошло (скорость нарастания давления при взрыве), МПа/с;

- K_{st} – трансформационный коэффициент (постоянная Бартнехта), позволяющий классифицировать пыль по параметрам взрываемости аэрозоля, и выполнить расчет характеристик взрыва для больших объемов, МПа*м/с [7, 8, 13].

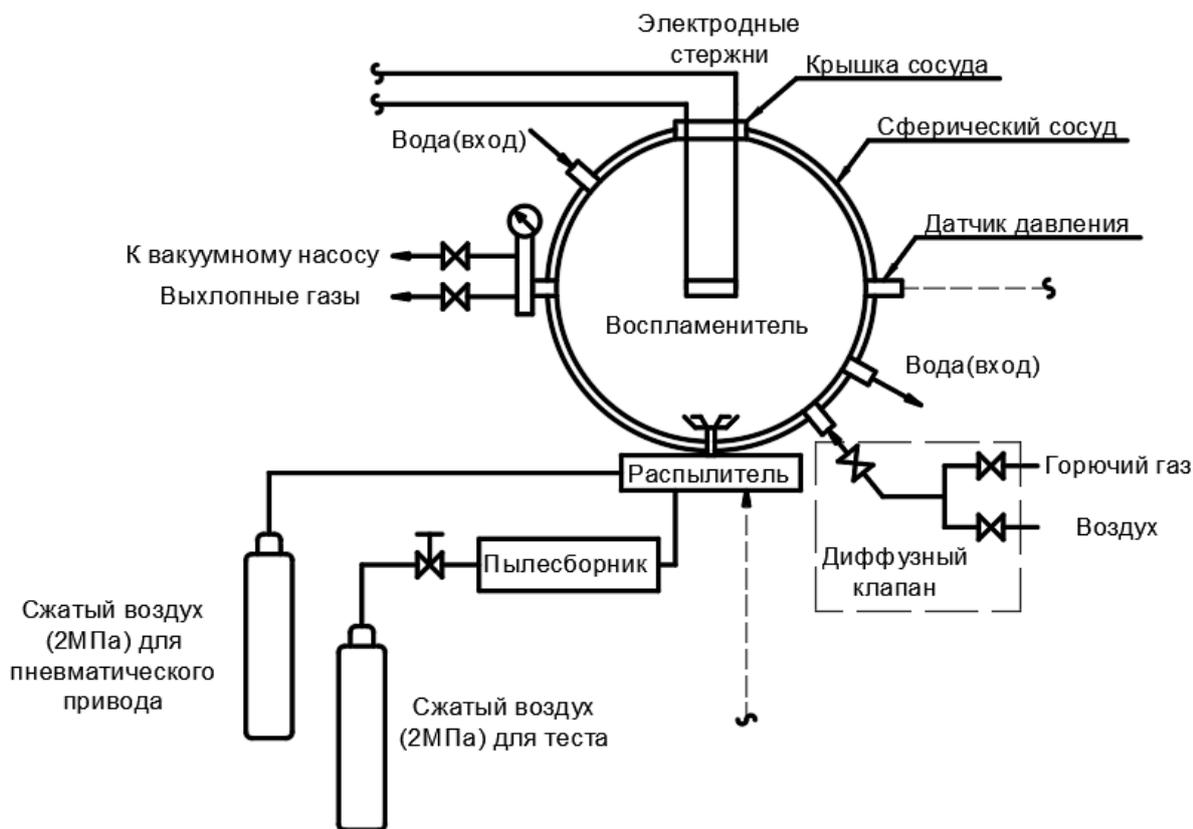


Рис. 1. Схема установки для исследования показателей взрывопожароопасности горючих пылей

В ходе эксперимента проведена серия опытов, с различным соотношением угольной и ИП (табл.).

Контрольный образец угольной пыли представлял собой каменный уголь марки Д (длиннопламенный).

Для получения экспериментального материала проводили ряд промежуточных операций. Во избежание морфологических и физико-химических изменений в анализируемом образце все экспериментальные работы проводились в кратчайшие сроки.

Для получения образца требуемой дисперсности проводили гранулометрический рассев. На этапе пробоподготовки герметично упакованный отбитый от груди забоя шахты образец каменного угля доставляли в лабораторию. Подвергали измельчению на дробильной установке. Проводили гранулометрический рассев. Для дальнейшей работы отбирали требуемую по дисперсности фракцию, с которой и осуществляли все необходимые в дальнейшем действия.

С помощью прикладного программного обеспечения проводили обработку полученных результатов. По полученному массиву данных выполняли построение графиков зависимости давления взрыва ($P_{взр}$) пылевоздушной смеси от концентрации и фракционного состава угольной пыли (рис. 2) и времени детонационного горения пылегазовой смеси (рис. 3).

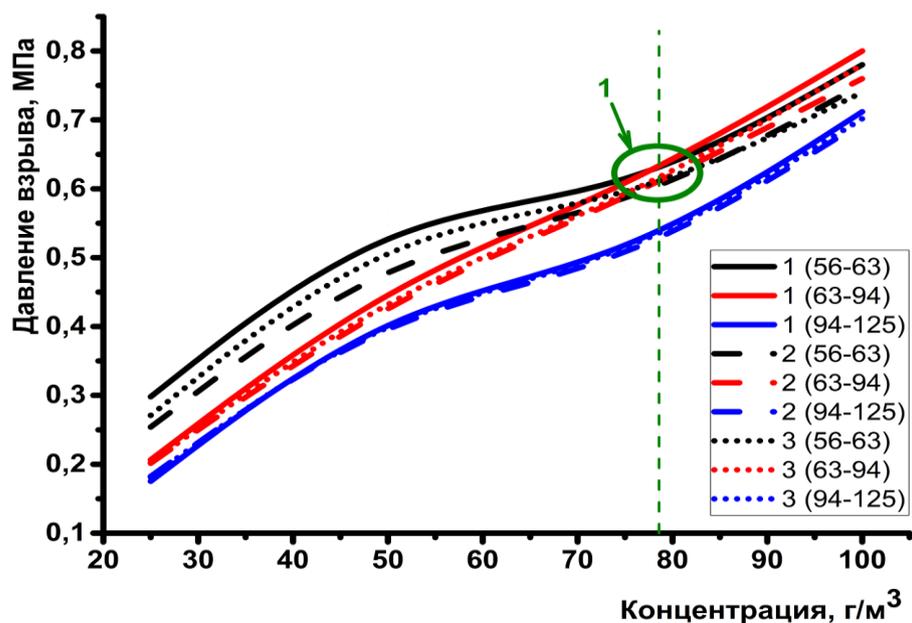


Рис. 2. График зависимости давления взрыва пылевоздушной смеси от концентрации и дисперсности угольной пыли

Зона 1, выделенная на графике, – зона равенства давлений взрыва, фракций дисперсности 56–63 и 63–94 мкм при концентрации пыли в области 76–80 г/м³.

В результате экспериментального исследования было установлено, что фракции менее 94 мкм представляют большую опасность, так как имеют большее давление взрыва. Кроме того, для фракций пыли с размерами более 94 мкм установлен факт того, что давление взрыва не зависит от марки угля для пылей дисперсностью более 100 мкм. Согласно полученным данным необходимо большее внимание уделить фракциям дисперсностью менее 63 мкм, так при концентрациях менее 70 г/м³ давление взрыва у них более высокое, чем у образцов 1, 2 и 3 пыли дисперсностью 63–94 мкм. Необходимо обратить внимание на то, что при концентрациях пыли более 80 г/м³ давление взрыва становится больше, чем у фракций 56–63 мкм.

На основании полученных результатов авторы считают, что дальнейшую работу по определению факторов взрыва необходимо проводить с фракциями пыли менее 63 мкм в области низких концентраций (менее 70 г/м³), а для фракций пыли 63–94 мкм в области высоких концентраций (более 80 г/м³).

В результате выполненных исследований с данным образцом каменного угля для дальнейших исследований отобрали пробу фракционного состава 63–94 мкм. Именно в данном интервале наблюдали максимальные характеристики процесса детонационного сгорания каменноугольной пыли. Полученные результаты подтверждаются рекомендациями [12] и данными работ [3, 8, 13, 14], также хорошо согласуются с результатами, изложенными в [2, 3, 15–19].

Дальнейшие исследования по влиянию концентрации ИП на поражающие факторы волны дефлаграционного/детонационного горения проводили для различных соотношений инертной и угольной пыли (на 2 г УГ приходилось 2, 4, 6 и 8 г ИП соответственно, результаты в таблице).

В качестве инертной добавки применяли – ИП (комбинированный состав, включающий в себя сланец+доломит+известняк), одобренную «Центральной углехимической лабораторией» г. Киселевска для использования в горно-геологических условиях шахты марки ПИГ в соответствии с ГОСТ Р 51569.

Данная пыль обладает высокой степенью гидрофобизации и предназначена для применения в обводненных выработках и местах высокого пылеобразования, рекомендована

к применению в угледобывающей и углеперерабатывающей промышленности для предупреждения и гашения взрывов угольной пыли.

Таблица

№ п/п	Масса угольной пыли, g	Масса ИП, g	Максимальное давление, МПа	Скорость нарастания давления взрыва, МПа/s
1	2	2	0,458	17,80
2		4	0,395	12,41
3		6	0,253	10,38
4		8	0,145	7,09
5		–	0,745	43,86

Визуализация полученных авторами статьи экспериментальных данных выполнена в среде OriginPro, так как имеющееся программное обеспечение «ExTest» не позволяет получать графические данные хорошего разрешения и проводить их дальнейшую математическую обработку. Обработка результатов возможна в широко распространённом пакете Microsoft Office с использованием приложения Excel [13].

Графические результаты, а именно зависимость динамики изменения давления взрыва от концентрации ИП в контрольном образце и давление взрыва контрольного образца представлены на рис. 2.

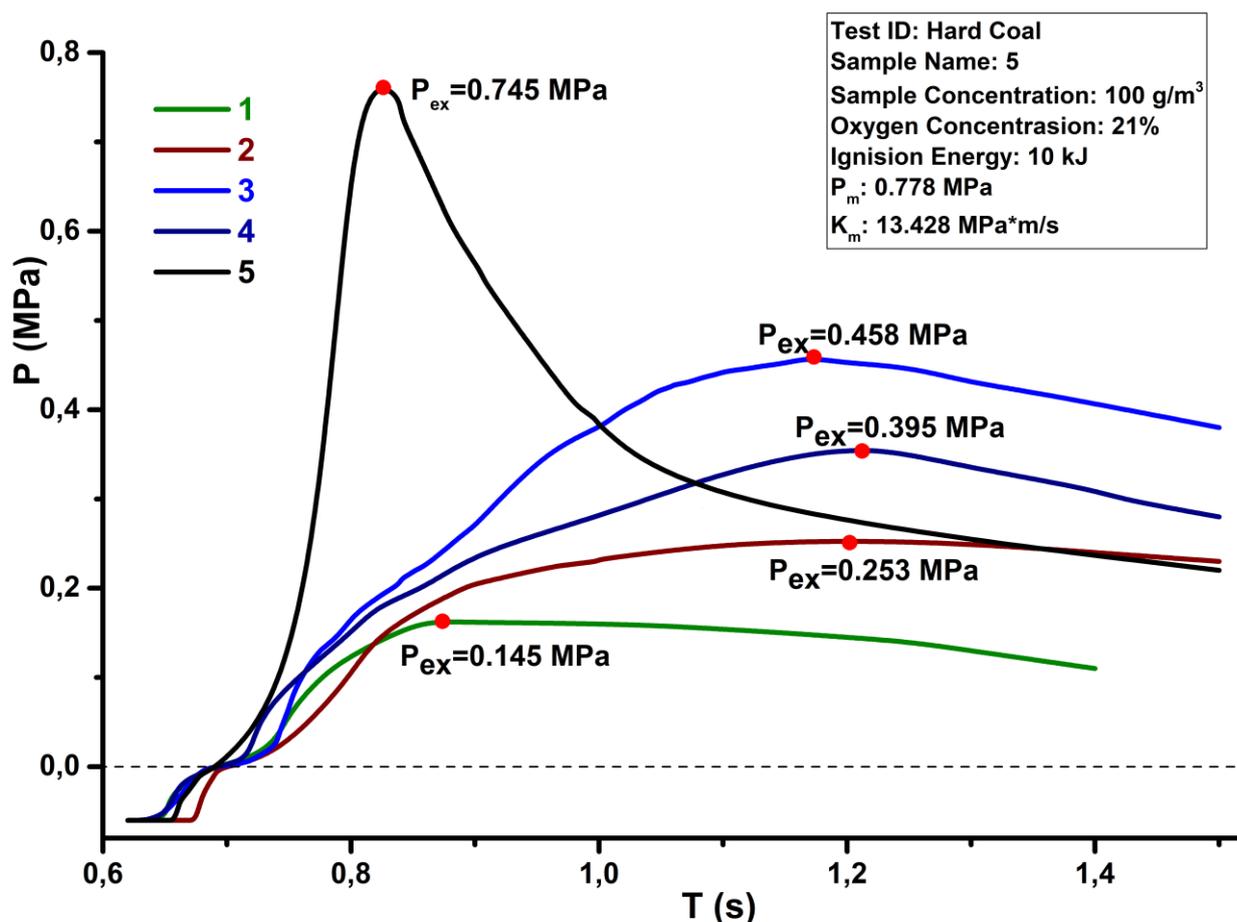


Рис. 3. График давления при постоянной концентрации угольной (5) и изменяющейся концентрации ИП (1–4)

При воспламенении чистой угольной пыли давление внутри взрывной камеры составило максимальное значение (0,745 МПа).

Разбавление контрольного образца ($P_{ex}=0,745$ МПа) ИП до соотношения 1:1 недостаточно снижает параметры детонационного сгорания пыли до $P_{ex}=0,458$ МПа.

Только при разбавлении контрольного образца ИП до соотношения 1:4 (2 g:8 g) происходит снижение опасных факторов взрыва до значения $P_{ex}=0,14$ МПа.

Скорость нарастания давления при взрыве уменьшилась по сравнению с контрольным образцом с 43,86 МПа/с до 7,09 МПа/с, что свидетельствует о целесообразности применения СП в тех или иных концентрациях для целей взрывоподавления процессов распространения фронта волны детонационного горения по горным выработкам. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами, полученными в работах [3, 8, 13, 14].

Таким образом, на основе проведенного эксперимента можно заключить, что из применяемых на сегодняшний день мероприятий по обеспечению пылевзрывобезопасности подземных выработок угольных шахт использование ИП при определенной концентрации, дисперсности и влажности позволяет наиболее эффективно предотвратить воспламенение и взрыв угольной пыли.

Однако авторы считают, что необходимо продолжить работу в данном направлении. Изучить вопрос введения в состав ИП ингибирующих добавок, позволяющих как повысить эффективность применения СП, так и уменьшить ее количество. Это, в свою очередь, позволит компенсировать экономические затраты на введение ингибиторов в состав ИП.

Совершенствование способов осланцевания горных выработок позволит повысить эффективность данного мероприятия и обеспечить более высокую степень пылевзрывозащиты угольных шахт и, как следствие, позволит предотвратить или уменьшить риск несчастных случаев со смертельным исходом в результате взрыва пылеугольных аэрозолей в пространстве горных выработок.

Литература

1. Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 1. С. 82–87
2. Жихарев С.Я., Пихконен Л.В., Родионов В.А. Исследование взрывопожароопасных свойств каменного угля Прокопьевского месторождения Кузнецкого угольного бассейна // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. Сер.: Науки о Земле. 2017. № 3. С. 65–74.
3. Черечукин В.Г., Любомищенко Е.И. Теоретические исследования влияния выхода летучих веществ на определение концентрационных пределов взрывоопасности угольной пыли // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 380–385.
4. Зубов В.П. Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса // Записки Горного института. 2017. Т. 225. С. 292–298.
5. Magomet R.D., Mironenkova N.A. Methane Problem of coal beds // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Т. 7. № 3. С. 2 276–2 284.
6. Пихконен Л.В., Родионов В.А., Жихарев С.Я. Определение взрывопожароопасных свойств каменного угля Ленинск-Кузнецкого Каменноугольного месторождения // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. Сер.: Науки о Земле. 2017. № 3. С. 74–84.
7. Лебецки К.А., Романченко С.Б. Пылевая взрывоопасность горного производства. М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2012. 464 с.
8. Родионов В.А., Пихконен Л.В., Жихарев С.Я. Дисперсность каменноугольной пыли марки Ж Воргашорского месторождения и её влияние на процесс термической деструкции // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2017. Т. 16. № 4. С. 350–356. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.4.6

9. Лилиана Медич Пейч, Хавьер Гарсия Торрент, Ниевез Фернандез Аньез, Хорзе Мартин Молина Эскобар. Предотвращение распространения взрывов метана и пыли в угольных шахтах // Записки Горного института. 2017. Т. 225. С. 307–313.
10. Hou B. Hydraulic fracture initiation theory for a horizontal well in a coal seam / Hou B., Chen M., Wang Z., Yuan J., Liu M. // Petroleum Science. 2013. Vol. 10. Issue 2. Pp. 219–225.
11. Zhao J. High production indexes and the key factors in coalbed methane production: A case in the Hancheng block, southeastern Ordos Basin, China / Zhao J., Thang D., Xu H., Lu Y., Tao S. // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015. Vol. 130. Pp. 55–67.
12. BS EN 14034-1:2004+A1:2011 Determination of explosion characteristics of dust clouds. Part 1: Determination of the maximum explosion pressure P_{max} of dust clouds British Standard Date Views: 10 September 2018. URL: <https://clck.ru/FAR8u> (дата обращения: 11.02.2019).
13. Методика исследования влияния ингибирующих и флегматизирующих добавок на воспламеняемость и взрывчатость угольной пыли / В.А. Родионов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (науч.-техн. журн.). 2018. № 5. С. 26–34. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-26-34.
14. Li Qingzhao, Zhai Cheng, Wu Haijin Investigation on coal dust explosion characteristics using 20 L explosion sphere vessels // Journal of China Coal Society. 2011. 36 p.
15. Karaoulis M., Revil A., Mao D. Localization of a coal seam fire using combined self-potential and resistivity data // International Journal of Coal Geology. Vol. 128–129. 1 August 2014. Pp. 109–118.
16. Explosion Characteristics Measurement of Combustible Dusts, 2012. Industrial Explosion Protection Institute, Northeastern University. Date Views: 10 December 2018. URL: <http://iepi.neu.edu.cn/Service/PDF/Explosion%20Characteristics%20Measurement.pdf>. (дата обращения: 11.01.2019).
17. Chen Y. Dynamic permeability change during coalbed methane production and its controlling factors / Chen Y., Liu D., Yao Y., Cai Y., Chen L. // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2015. Vol. 25. Pp. 335–346.
18. Research on characteristic parameters of coal dust explosion / Weiguoa Cao, Sen Xu, Liyuana Huang, Jianxinb Zang, Shanshana Qiu, Feng Pan // Procedia Engineering. 2012. Vol. 45. P. 442–447. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.183.
19. Lu T. Improvement of coal seam gas drainage by under-panel cross-strata stimulation using highly pressurized gas / Lu T., Wang Z., Yang H., Han Y., Sun X. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2015. Vol. 77. Pp. 300–312.

References

1. Promyshlennaya bezopasnost' predpriyatij mineral'no-syr'evogo kompleksa v XXI veke // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2017. № 1. S. 82–87
2. Zhiharev S.Ya., Pihkonen L.V., Rodionov V.A. Issledovanie vzryvopozharoопасnyh svojstv kamennogo uglja Prokop'evskogo mestorozhdeniya Kuzneckogo ugol'nogo bassejna // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki. Ser.: Nauki o Zemle. 2017. № 3. S. 65–74.
3. Cherechukin V.G., Lyubomishchenko E.I. Teoreticheskie issledovaniya vliyaniya vyhoda letuchih veshchestv na opredelenie koncentracionnyh predelov vzryvoопасnosti ugol'noj pyli // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. 2016. № 5. S. 380–385.
4. Zubov V.P. Sostoyanie i napravleniya sovershenstvovaniya sistem razrabotki ugol'nyh plastov na perspektivnyh ugol'nyh shahtah Kuzbassa // Zapiski Gornogo instituta. 2017. Т. 225. S. 292–298.
5. Magomet R.D., Mironenkova N.A. Methane Problem of coal beds // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Т. 7. № 3. S. 2 276–2 284.
6. Pihkonen L.V., Rodionov V.A., Zhiharev S.Ya. Opredelenie vzryvopozharoопасnyh svojstv kamennogo uglja Leninsk-Kuzneckogo Kamennougol'nogo mestorozhdeniya // Izvestiya

Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki. Ser.: Nauki o Zemle. 2017. № 3. S. 74–84.

7. Lebecki K.A., Romanchenko S.B. Pylevaya vzryvoopasnost' gornogo proizvodstva. M.: Gornoe delo OOO «Kimmerijskij centr», 2012. 464 s.

8. Rodionov V.A., Pihkonen L.V., ZHiharev S.Ya. Dispersnost' kamennougol'noj pyli marki Zh Vorgashorskogo mestorozhdeniya i eyo vliyanie na process termicheskoy destrukcii // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo. 2017. T. 16. № 4. S. 350–356. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.4.6

9. Liliana Medich Pejch, Hav'er Garsiya Torrent, Nieves Fernandez An'ez, Horze Martin Molina EHskobar. Predotvrashchenie rasprostraneniya vzryvov metana i pyli v ugol'nyh shahtah // Zapiski Gornogo instituta. 2017. T. 225. S. 307–313.

10. Hou B. Hydraulic fracture initiation theory for a horizontal well in a coal seam / Hou B., Chen M., Wang Z., Yuan J., Liu M. // Petroleum Science. 2013. Vol. 10. Issue 2. Pp. 219–225.

11. Zhao J. High production indexes and the key factors in coalbed methane production: A case in the Hancheng block, southeastern Ordos Basin, China / Zhao J., Thang D., Xu H., Lu Y., Tao S. // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015. Vol. 130. Pp. 55–67.

12. BS EN 14034-1:2004+A1:2011 Determination of explosion characteristics of dust clouds. Part 1: Determination of the maximum explosion pressure Pmax of dust clouds British Standard Date Views: 10 Septemberber 2018. URL: <https://clck.ru/FAR8u> (data obrashcheniya: 11.02.2019).

13. Metodika issledovaniya vliyaniya ingibiruyushchih i flegmatiziruyushchih dobavok na vosplamenaemost' i vzryvchatost' ugol'noj pyli / V.A. Rodionov [i dr.] // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauch.-tekhn. zhurn.). 2018. № 5. S. 26–34. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-26-34.

14. Li Qingzhao, Zhai Cheng, Wu Haijin Investigation on coal dust explosion characteristics using 20 L explosion sphere vessels // Journal of China Coal Society. 2011. 36 p.

15. Karaoulis M., Revil A., Mao D. Localization of a coal seam fire using combined self-potential and resistivity data // International Journal of Coal Geology. Vol. 128–129. 1 August 2014. Pp. 109–118.

16. Explosion Characteristics Measurement of Combustible Dusts, 2012. Industrial Explosion Protection Institute, Northeastern University. Date Views: 10 December 2018. URL: <http://iepi.neu.edu.cn/Service/PDF/Explosion%20Characteristics%20Measurement.pdf>. (data obrashcheniya: 11.01.2019).

17. Chen Y. Dynamic permeability change during coalbed methane production and its controlling factors / Chen Y, Liu D, Yao Y., Cai Y, Chen L. // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2015. Vol. 25. Pp. 335–346.

18. Research on characteristic parameters of coal dust explosion / Weiguoa Cao, Sen Xu, Liyuana Huang, Jianxinb Zang, Shanshana Qiu, Feng Pan // Procedia Engineering. 2012. Vol. 45. P. 442–447. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.183.

19. Lu T. Improvement of coal seam gas drainage by under-panel cross-strata stimulation using highly pressurized gas / Lu T., Wang Z., Yang H., Han Y., Sun X. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2015. Vol. 77. Pp. 300–312.