

УДК 622.822

**ПОЛУЧЕНИЕ ИНЕРТИЗИРУЮЩИХ СОСТАВОВ
С ЗАМОРАЖИВАНИЕМ ЧАСТИЦ ЖИДКОСТИ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПОЖАРАМИ**

**GETTING INERTING STRUCTURES
FREEZE LIQUID PARTICLES TO FIGHT FIRES**

**Галсанов Нима Лайдапович,
соискатель., E-mail: galsanovnl@suek.ru
Galsanov Nima L., Candidate for a degree.**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation.

Аннотация. Предложено устройство для получения инертизирующих составов путем совместного распыления жидкого азота и воды. Инертизирующие составы могут использоваться для предупреждения и тушения очагов самовозгорания угля. Испытания устройства показали, что параметры получаемого состава соответствуют результатам расчета теплофизических параметров инертной состава в зависимости от соотношения исходных компонентов. Представлены схемы подачи низкотемпературного инертизирующего состава в выработанное пространство с очагом самовозгорания.

Abstract. A device for inerting compositions by co-sputtering of liquid nitrogen and water. Inerting compositions can be used for preventing and extinguishing pockets of spontaneous combustion of coal. The test device showed that the parameters of the resulting composition are consistent with the calculation of thermal parameters of an inert composition, depending on the ratio of the starting components. Schemes supplying low-temperature inertizing the composition in goaf of spontaneous combustion of the hearth.

Ключевые слова: шахта, уголь, выработанное пространство, очаг самовозгорания, жидкий азот, инертизирующий состав.

Keywords: mine, coal, mined-out space, center of spontaneous combustion, liquid nitrogen, an inverting structure.

Проведенные исследования показали, что в последние годы количество возникающих на шахтах Кузбасса подземных пожаров стабилизировалось [1]. Однако в последнее время увеличилась опасность самовозгорания угольной пыли, скапливающейся в выработанном пространстве [2,3]. Основную долю регистрируемых на угольных шахтах Кузбасса подземных пожаров составляют эндогенные пожары, причиняющие шахтам наибольший экономический ущерб. Для снижения экономических потерь от таких аварий необходимо применять способы быстрой ликвидации очагов самовозгорания.

Применение способа затопления [4] требует длительного времени и наносит значительный ущерб оборудованию и горным выработкам. Подача пены в выработанное пространство [5,6] не позволяет заполнить большие объемы из-за распада пены. Нагнетание газообразного азота и продуктов горения малоэффективно из-за низких хладагентных свойств инертного газа [7,8]. Подача распыленной жидкости в поток воздуха [9] используется только для предупреждения самовозгорания угля.

Расчеты показали, что для повышения эффективности охлаждения очагов самовозгорания целесообразно использовать инертный состав, содержащий замороженные частицы жидкости в инертном газе, получаемый при распылении жидкого азота и воды [10-13].

При перемешивании воды и жидкого азота тепло, теряемое водой при контакте с жидким азотом, равно количеству тепла, получаемому жидким азотом при испарении. Исходя из теплового баланса, получаем следующее выражение для расчета соотношения расхода жидкого азота к воде, необходимого для получения инертного состава с заданной температурой

$$\frac{G_a}{G_w} = \frac{1}{r} \left(\frac{c_w(t_o - t_L)}{+ r_L + c_L(t_L - t_c)} \right) \quad (1)$$

где G_a – расход азота, кг/с; r_a – удельная теплота испарения жидкого азота, кДж/кг; G_w – расход воды, кг/с; c_w – удельная теплоемкость подаваемой воды, кДж/(кг·К); t_0 – начальная температура воды, °C; t_L – температура замерзания воды, °C; r_L – удельная теплота замерзания воды, кДж/кг; c_L –

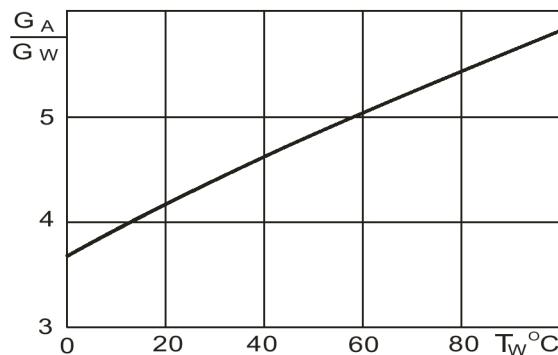


Рис. 1. Влияние начальной температуры воды (T_w) на соотношение расхода жидкого азота (G_A) и воды (G_W) для получения инертного состава

удельная теплоемкость льда, кДж/(кг·К); t_c – температура образуемого состава из азота и частиц замерзшей воды, °С.

На рис. 1 приведено рассчитанное по формуле (1) изменение соотношения расхода жидкого азота и воды для получения инертного состава, имеющего температуру -196 °С, в зависимости от величины начальной температуры воды. В расчетах принято, что удельная теплота испарения жидкого азота равна 197,5 кДж/кг, удельная теплоемкость воды 4,2 кДж/(кг·К), удельная теплоемкость льда 2,09 кДж/(кг·К), удельная теплота замерзания воды равна 324 кДж/кг,

Важным элементом для получения инертного состава является теплообменное устройство, в котором перемешиваются частицы распыляемого жидкого азота с каплями воды или водяным паром. В ходе выполнения работы было предложено несколько устройств для получения инертного состава. Условием надежной работы устройства является предотвращение контакта частиц воды с поверхно-

стью теплообменной камеры, что может вызвать появление слоя льда на корпусе внутри устройства. Поэтому жидкий азот должен подаваться вдоль стенок теплообменной камеры и частично испаряться при контакте с поверхностью, создавая при испарении зону повышенного давления газа, препятствующего попаданию частиц воды на поверхность теплообменной камеры.

Приведенное на рис. 2 устройство для получения инертного состава состоит из теплообменной камеры цилиндрической формы, трубопроводов для подвода жидкого азота и воды или пара к кольцевым распылителям, а также форсунок для распыления подводимых компонентов. Работает устройство следующим образом. Жидкий азот поступает по трубопроводу 5 в кольцевой распылитель 3, расположенный у внутренней поверхности теплообменной камеры, откуда распыляется форсунками 6 вдоль корпуса 1 с теплоизоляционным слоем. Затем по трубопроводу 4 подается вода в кольцевой распылитель 2, расположенный ближе к оси тепло-

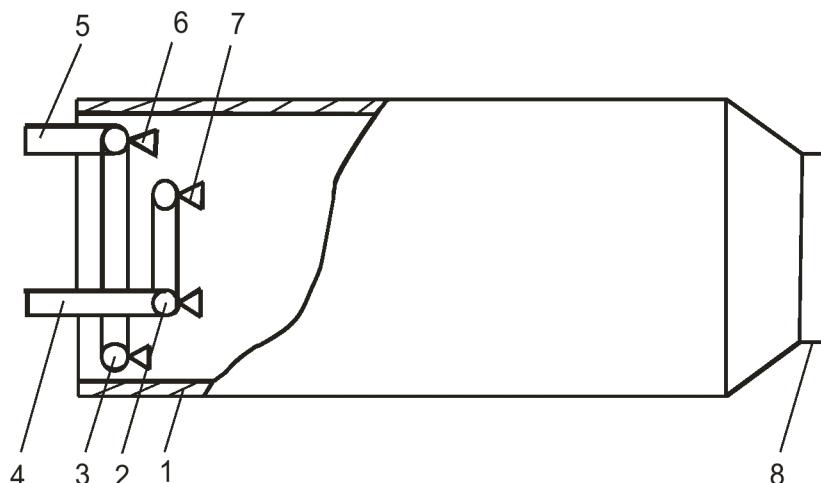


Рис. 2. Устройство для получения инертных составов:
1 – цилиндрический корпус с теплоизолирующими слоями; 2 – кольцевой распылитель воды (пара); 3 – кольцевой распылитель жидкого азота;
4 – трубопровод подачи воды (пара) к кольцевому распылителю;
5 – трубопровод подвода жидкого азота; 6 – форсунки для распыления жидкого азота; 7 – форсунки для распыления воды (пара); 8 – патрубок для выдачи инертного состава



Рис. 3. Работа устройства для получения инертного состава.

обменной камеры, откуда распыляется форсунками 7 в поток частиц жидкого азота. Взаимодействие частиц воды и жидкого азота приводит к интенсивному теплообмену, в результате которого жидкий азот испаряется, а частицы воды замерзают, превращаясь в кристаллы льда. По трубопроводу 4 может также подаваться водяной пар. Контактируя в теплообменной камере с частицами жидкого азота, пар конденсируется с последующим образованием мелкодисперсных частиц льда.

Образующийся состав, состоящий из газообразного азота и взвешенных частиц льда, выдается через патрубок 8 в трубопровод, через который поступает в обрабатываемое скопление угля. При движении через выработанное пространство происходит интенсивное охлаждение угля, что снижает его химическую активность. Поэтому инертные составы можно использовать для предупреждения самовозгорания угля. В случае попадания инертного состава в очаг пожара происходит его быстрое охлаждение. Для регулирования параметров инертного состава можно изменять расходы жидкого азота и воды (или пара), а также исходную температуру подаваемой воды или пара.

Для проверки результатов расчета теплофизических параметров инертной смеси в зависимости

от соотношения исходных компонентов была изготовленна экспериментальная устройство (рис. 3). Подача воды на форсунки осуществлялась насосом. Жидкий азот получали от установки АГУ 8К и под давлением также разбрызгивали в устройстве через форсунки. На выходе из устройства замеряли температуру инертного состава в зависимости от соотношения подаваемого азота и воды. Температура исходной воды равнялась 20 °С.

Проведенные исследования устройства показали, что при соотношении расходов жидкого азота к воде, равного 2, температура образующегося инертного состава составляла -100 °С. При увеличении подачи жидкого азота температура инертного состава снижалась и при соотношении $G_A/G_W = 4$ достигала значения -196 °С. Полученные результаты свидетельствуют о удовлетворительной сходимости результатов натурных и аналитических исследований свойств инертного состава.

Подача инертного состава с частицами замороженной жидкости позволяют не только эффективно охлаждать очаги самовозгорания, но предотвращать возможность повторного возникновения процессов самовозгорания в обработанной зоне выработанного пространства. Так, проведенные эксперименты показали, что охлаждение угля позволяет

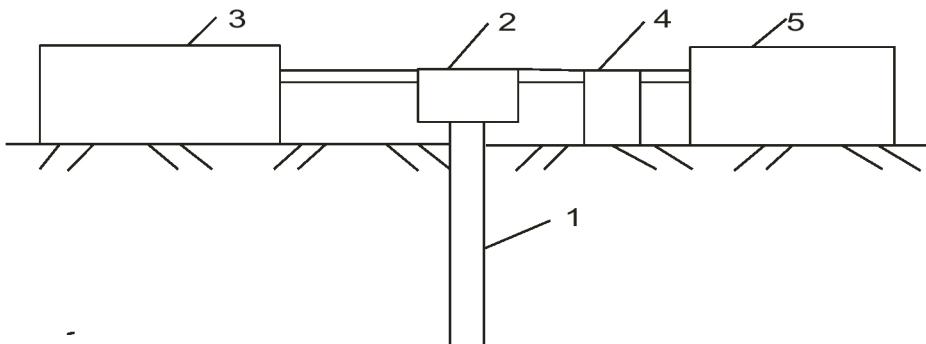


Рис. 4. Схема подачи инертного состава с земной поверхности:
1 - скважина; 2 – устройство для получения инертного состава; 3 – установка для хранения и выдачи жидкого азота; 4 – насос для подачи воды;
5 – емкость для хранения воды

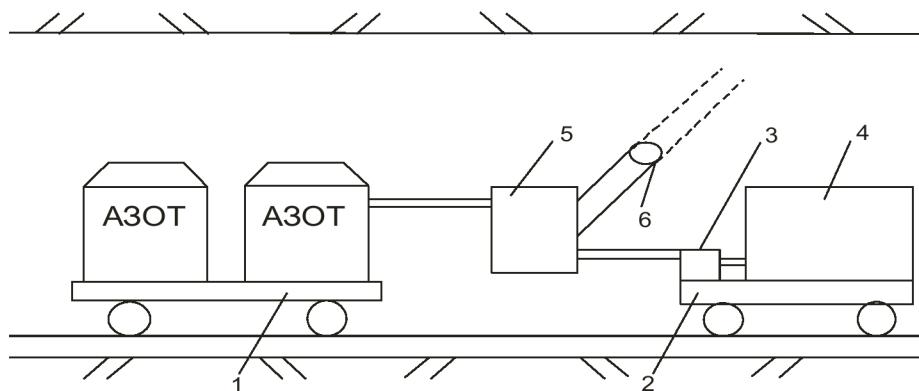


Рис. 5. Схема подачи инертного состава в горных выработках:

- 1 - платформа вагонетки с цистернами для жидкого азота;
 2 – платформа вагонетки для подачи воды; 3 – насос для подачи воды;
 4 – емкость для хранения воды; 5 - устройство для получения инертного
 состава; 6 – скважина для подачи инертного состава

значительно снизить сорбционную активность угля по отношению к кислороду [14,15].

Очаги самовозгорания угля могут возникать в различных местах выработанного пространства шахт. Поэтому подача инертных составов для предупреждения самовозгорания угля и тушения возникших очагов пожаров может производиться через скважины, пробуренные с земной поверхности или из действующих подземных горных выработок. Для подачи инертного состава с земной поверхности необходимы емкости для хранения и выдачи жидкого азота (желательно передвижные), насос для подачи воды, емкость для воды и устройство для получения инертного состава. Вместо насоса и емкости с водой для получения инертных составов можно использовать передвижную паровую промышловую установку, предназначенную для получения водяного пара. Схема подачи инертного состава по скважине с поверхности приведена на рис. 4.

Для предупреждения самовозгорания или подавления возникшего подземного пожара с земной поверхности бурят скважину 1 в выработанное пространство с очагом пожара или скоплением угля. Диаметр скважины выбирается в зависимости от необходимой производительности по инертному составу и может варьироваться в пределах 50–150 мм. На скважину устанавливают устройство для получения инертного состава 2, к которому с помощью трубопроводов подключают установку для выдачи жидкого азота 3, а также насос 4, нагнетающий воду из емкости 5. Совместное распыление жидкого азота и воды приводит к интенсивному теплообмену между компонентами с переходом жидкого азота в газообразное состояние, а частиц воды в кристаллы льда. Подаваемый низкотемпературный инертный состав распространяется в выработанном пространстве и поступает в скопление угля для профилактики самовозгорания или в очаг пожара, где охлаждает разогретый уголь.

Иногда особенности поверхности или большая глубина залегания очага подземного пожара не позволяют бурить скважину с земной поверхности или она оказывается экономически невыгодной. В таких случаях целесообразно бурить скважину из действующих горных выработок и оборудование располагать непосредственно в шахте (рис. 5). Диаметр скважины также выбирается в зависимости от необходимой производительности инертного состава. Для удобства работ по предупреждению и тушению эндогенных пожаров в горной выработке можно делать выемку, в которой располагается необходимое оборудование.

Для хранения и выдачи жидкого азота в шахтных условиях можно использовать установку УТЖА-2, состоящую из двух цистерн ЦТК-0,5/0,25, закрепленных на платформе вагонетки ВГ-3,3. Емкость двух цистерн 1 м³, рабочее давление жидкого азота 0,25 МПа. Масса заливаемого азота 760 кг. Потери азота на испарение при хранении 0,366 кг/ч. Габаритные размеры установки: длина 3,45 м; ширина 1,25 м; высота 1,7 м. Масса установки в сборе 1350 кг, в заправленном состоянии 2110 кг. Выдача жидкого азота происходит под давлением газа, создаваемым холодным газификатором, входящим в состав цистерн ЦТК-0,5/0,25.

Использовать в шахтных условиях можно и передвижную шахтную установку «Азот», предназначенную для хранения, транспортировки и выдачи жидкого азота в подземных выработках. Установка состоит из цистерны ЦТК-1/0,25, укрепленной на переоборудованной платформе шахтной вагонетки. Цистерна имеет ограждение для предохранения ее от возможных механических повреждений. Емкость цистерны 1 м³, рабочее давление 0,25 МПа. Масса заливаемого жидкого азота 900 кг. Масса установки в сборе 1650 кг, в заправленном состоянии 2550 кг.

Для подачи воды в установку можно использовать платформу вагонетки, на которой установлены насос и емкость с водой. Получать воду под повы-

шенным давлением можно и из шахтного пожарно-обрабатываемую зону со скоплением угля для прероросительного трубопровода. Образующийся в дупреждения самовозгорания или в очаг подземно-установке инертный состав подается по скважине в го пожара для его подавления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портола В.А., Галсанов Н.Л., Шевченко М.В., Луговцова Н.Ю. Эндогенная пожароопасность шахт Кузбасса. Вестник КузГТУ. – 2012. – № 2. – С. 44–47.
2. Портола В. А. Влияние угольной пыли на состав газов и эндогенную пожароопасность // Безопасность труда в промышленности. – 2003. – № 6. – С. 42–44.
3. Портола В.А. Опасность самовозгорания угольной пыли. Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 6. – С. 36–39.
4. Лагутин В.И., Портола В.А., Пробст И.И. Тушение подземных пожаров затоплением горных выработок // Безопасность труда в промышленности. – 1993. - № 12. – С. 10–12.
5. Игисhev В. Г. О предупреждении и тушении эндогенных пожаров пеной // Уголь. – 1977. – № 3. – С. 60–63.
6. Игисhev В.Г., Портола В.А. Оценка параметров пены, необходимых для тушения очагов самовозгорания // ФТПРПИ. – 1993. – № 4. – С. 74–78.
7. Портола В.А. Перспектива применения азота для борьбы с пожарами и взрывами в шахтах // Вестник КузГТУ, 2006. № 3, – С. 57–59.
8. Колышленко М. В. Применение генераторов инертного газа для борьбы с пожарами в шахтах / М. В. Колышленко. – М. : Недра, 1974. – 52 с.
9. Белавенцев Л. П. Применение антипирогенов в виде аэрозолей для профилактики эндогенных пожаров // Борьба с эндогенными пожарами в шахтах : труды / Вост. науч.-исслед. ин-т по безопасности работ в горной пром-сти. – Кемерово, 1984. – С. 36–45.
10. Галсанов Н.Л., Портола В.А. Распространение инертных составов в выработанном пространстве шахт. Вестник КузГТУ, 2013, № 6. С. 80-83.
11. Портола В.А., Галсанов Н.Л. Расчет процесса охлаждения очага самовозгорания угля инертными составами. Вестник КузГТУ, 2013, № 3. С. 58-62.
12. Портола В.А., Галсанов Н.Л. Повышение эффективности применения азота для подавления самовозгорания угля. Вестник КузГТУ, 2011 г. № 5.- С. 59-63.
13. Портола В.А., Галсанов Н.Л. Эффективность использования инертных составов для тушения пожаров в выработанном пространстве шахт. Безопасность труда в промышленности.- 2012.- № 6.- С. 34-37.
14. Портола В.А., Галсанов Н.Л., Луговцова Н.Ю. Развитие процесса самовозгорания в скоплении предварительно охлажденного угля. Вестник КузГТУ, 2013. № 1. - С. 49-52.
15. Луговцова Н.Ю., Портола В.А. Влияние предварительно охлажденного угля на развитие процесса самовозгорания // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/113-10985> (дата обращения: 04.12.2013).

REFERENCES

1. Portola V.A., Galsanov N.L., SHevchenko M.V., Lugovcova N.YU. EHndogennaya po-zharoopasnost' shaht Kuzbassa. Vestnik KuzGTU. – 2012. – № 2. – S. 44–47.
2. Portola V. A. Vliyanie ugol'noj pyli na sostav gazov i ehndogennuyu pozharo-opasnost' // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 2003. – № 6. – S. 42–44.
3. Portola V.A. Opasnost' samovozgoraniya ugol'noj pyli. Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 2015. – № 6. – S. 36–39.
4. Lagutin V.I., Portola V.A., Probst I.I. Tushenie podzemnyh pozharov zatop-leniem gornyh vyrabotok // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 1993. - № 12. – S. 10–12.
5. Igishev V. G. O preduprezhdenii i tushenii ehndogennyh pozharov penoj // Ugol'. – 1977. – № 3. – S. 60–63.
6. Igishev V.G., Portola V.A. Ocenka parametrov peny, neobhodimyh dlya tushe-niya ochagov samovozgoraniya // FTPRPI. – 1993. – № 4. – S. 74-78.
7. Portola V.A. Perspektiva primeneniya azota dlya bor'by s pozharami i vzryva-mi v shahtah // Vestnik KuzGTU, 2006. № 3, – S. 57–59.
8. Kolyshenko M. V. Primenie generatorov inertnogo gaza dlya bor'by s pozha-rami v shahtah / M. V. Kolyshenko. – M. : Nedra, 1974. – 52 s.

9. Belavencev L. P. Primenenie antipirogenov v vide aehrozolej dlya profilak-tiki ehndogennyh pozharov // Bor'ba s ehndogennymi pozharami v shahtah : trudy / Vost. nauch.-issled. in-t po bezopasnosti rabot v gornoj prom-sti. – Kemerovo, 1984. – S. 36–45.
10. Galsanov N.L., Portola V.A. Rasprostranenie inertnyh sostavov v vyrabo-tannom prostranstve shaht. Vestnik KuzGTU, 2013, № 6. S. 80-83.
11. Portola V.A., Galsanov N.L. Raschet processa ohlazhdeniya ochaga samovozgora-niya uglya inertnymi sostavami. Vestnik KuzGTU, 2013, № 3. S. 58-62.
12. Portola V.A., Galsanov N.L. Povyshenie ehffektivnosti primeneniya azota dlya podavleniya samovozgoraniya uglya. Vestnik KuzGTU, 2011 g. № 5.- S. 59-63.
13. Portola V.A., Galsanov N.L. EHffektivnost' ispol'zovaniya inertnyh sostavov dlya tusheniya pozharov v vyrabotannom prostranstve shaht. Bezopasnost' truda v promyshlennosti.- 2012.- № 6.- S. 34-37.
14. Portola V.A., Galsanov N.L., Lugovcova N.YU. Razvitie processa samovozgoraniya v skoplenii predvaritel'no ohlazhdennogo uglya. Vestnik KuzGTU, 2013. № 1. - S. 49-52.
15. Lugovcova N.YU., Portola V.A. Vliyanie predvaritel'no ohlazhdennogo uglya na razvitiye processa samovozgoraniya // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2013. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/113-10985> (data obrashcheniya: 04.12.2013).

Поступило в редакцию 12 октября 2016
Received 12 Oktober 2016