

Виктор К. КОСТЕНКО, Татьяна В. КОСТЕНКО
Донецкий национальный технический университет, Донецк
Юзеф СУЛКОВСКИ, Мариан КОЛЯРЧИК
Силезский политехнический институт, Гливице

ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОГО ТУШЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕМБРАННЫХ ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Аннотация. Использование мембранных газоразделительных средств при ликвидации сложных подземных пожаров не дало ожидаемых позитивных результатов. Причиной этого является несоответствие оперативных возможностей прогрессивной техники и традиционных тактических приемов. Авторами разработана технология подачи инертного газа к очагу горения, с заменой воздушных утечек в изолированный объем азотными за счет использования энергии поступающего из установки газа и конструктивных изменений изолирующего оборудования. Обоснованы режимы подачи газа к очагу горения с постепенным снижением содержания кислорода в огнегасящей среде, позволяющие обеспечить эффективное тушение очагов горения.

FOR PLACES WITH DIFFICULT OF ACCESS – TECHNOLOGY OF UNDERGROUND FIRE PUTTING OUT USING INERT GASES AND TYMPANIC DEVICES GAINING NITROGEN FROM THE AIR

Summary. Considering complicated cases of underground fires, application of tympanic devices which are gaining nitrogen from the air does not lead to positive results. Inadequacy of modern technique and its operating possibilities and traditional tactics methods of fire putting out are the reason of this situation. The technology of inert gas supplying to the fire-centre and air escapes replacing with nitrogen escapes have been presented in the article. (The escape air is flowing to the isolated area of the fire). It may be performed using energy of nitrogen which is flowing out of the tympanic device and it may be achieved by changing the nitrogen supplying installation behind isolating dam. Therefore, regarding progressive lowering of oxygen concentration in fire environment, conditions of nitrogen supply to the fire-centre have been analyzed. It allows to put out the fire effectively.

TECHNOLOGIA GASZENIA POŻARÓW PODZIEMNYCH W TRUDNO DOSTĘPNYCH MIEJSCACH ZA POMOCĄ GAZÓW INERTNYCH Z WYKORZYSTANIEM URZĄDZEŃ MEMBRANOWYCH POZYSKUJĄCYCH AZOT Z POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO

Streszczenie. Wykorzystanie urządzeń membranowych pozyskujących azot z powietrza atmosferycznego do likwidacji skomplikowanych pożarów podziemnych nie zawsze prowadzi do oczekiwanych pozytywnych wyników. Przyczyną tego jest nieodpowiedniość możliwości operacyjnych nowej techniki i tradycyjnych metod taktyki gaszenia pożarów. W artykule przedstawiono technologię podawania gazu inertnego do ogniska pożaru ze zamianą ucieczek powietrza (dopływającego w ten sposób do izolowanego rejonu pożaru) na ucieczki azotu. Można to zrealizować wykorzystując energię azotu wypływającego z urządzenia membranowego i dokonując zmian konstrukcyjnych w instalacji podawania azotu za tamę izolacyjną. W artykule przeanalizowano więc warunki podawania azotu do ogniska pożaru pod kątem stopniowego obniżania stężenia tlenu w środowisku pożaru, co pozwala na jego efektywne gaszenie.

1. Введение

Тушение подземных пожаров в труднодоступных местах, таких как выработанные пространства лав, деформированные угольные целики, купола за крепью подготовительных выработок, бункера и тому подобное, является наиболее трудоемким, продолжительным, опасным и дорогостоящим видом подземных горноспасательных операций в современной мировой практике угледобычи. В Украине ежегодно происходит несколько пожаров такого рода, что приводит к значительным прямым экономическим ущербам, а также сопряжено с потерей добычи, подготовленных к выемке запасов угля и другого рода косвенным последствиям. Иногда подобного рода аварии происходят на угольных шахтах Польши и других угледобывающих стран.

Непосредственное воздействие в таких условиях на очаг горения огнетушащими средствами, как правило, невозможно из-за сложности проникновения к очагу горения, угрозы осложнения таких аварий задымлением, загазированием, а нередко взрывами пылегазовоздушных смесей, обрушениями горных пород в выработки, нестабильности режимов проветривания и повышенными температурами в местах ведения аварийных работ. Вследствие труднодоступности и неинтенсивного проникновения воздуха неэффективным является использование водяных, пенных, порошковых и других, находящихся на оснащении горноспасательных частей средств пожаротушения.

Технологии, основанные на изоляции аварийных выработок искусственными сооружениями с последующим сооружением камер выравнивания давления, представляются весьма громоздкими и недостаточно надежными. Наиболее перспективным, а нередко единственно возможным, представляется дистанционное тушение с помощью газовых средств.

Горноспасательные части многих угледобывающих стран оснащены генераторами инертных газов на основе турбореактивных двигателей, криогенными азотными и баллонными углекислотными установками, другой техникой газового пожаротушения. Этим техническим средствам присущи такие недостатки как высокая стоимость исходных компонентов, сложность и опасность их транспортирования по выработкам, низкая производительность и другие.

Иногда можно транспортировать азот трубопроводом из металлургического завода непосредственно к угольным шахтам. Такие исключительные условия имели место в бассейне ОКР (Чехия) [1].

Одним из перспективных путей преодоления этих недостатков является реализация современных технологии получения из воздуха газовых смесей с низким содержанием кислорода с помощью газоразделительных мембран. Одни из первых лабораторных и полигонных экспериментов в этом направлении были проведены в 80-х годах прошлого столетия НПО «Респиратор» [2], вскоре экспериментальные образцы подобной техники появились в Германии и других странах.

В Польше в 1998 г Центральная горноспасательная станция (CSRG) закупила мембранную газоразделительную установку HPLC. С этого времени установки HPLC использовано в нескольких шахтах [4].

Одна из наиболее мощных установок разработана и принята на оснащение Государственной Военизированной Горноспасательной Службы (ГВГСС) Украины [5]. Однако первые попытки использования мембранных газоразделительных средств при ликвидации сложных подземных аварий не всегда дали ожидаемые позитивные результаты. Причиной этого является, по нашему мнению, несоответствие оперативных возможностей новой техники используемым тактическим приемам, а также некоторые технические недоработки, допущенные проектировщиками установок.

2. Технология подачи азота в изолированный объем

В силу технической сложности, отсутствия конструкторского опыта и четких требований заказчиков современные установки изготовлены в наземном, а не подземном исполнении. Они, имея высокую мобильность, в сравнительно короткое время могут быть доставлены на аварийную шахту, развернуты в рабочее состояние и подключены к трубопроводу или к скважине для подачи азота в шахту. Шахтный трубопровод надлежит специально подготавливать для доставки газа к аварийному участку, отключая другие ветви, улучшая герметичность. В соответствии с действующими нормативными документами производят изоляцию перемычками аварийного участка сети горных выработок, возводя изолирующие сооружения на свежей и исходящей струях. При этом возведение перемычки в выработке с исходящей от пожара воздушной струей производят после местного реверсирования вентиляционного потока, либо в респираторах с использованием теплозащитных средств. Оба варианта осуществления изоляции сопряжены с потерей времени и удорожанием работ. После возведения перемычек начинают подачу азота в изолированный объем. Из-за действия общешахтной депрессии свежий воздух фильтруется через тело перемычки и окружающие ее трещиноватые горные породы в изолированный объем, усиливая горение. Несмотря на применение различных видов современных уплотняющих материалов, паразитные утечки воздуха сопоставимы с подачей мембранной установки. Для успешной реализации комбинированного тушения пожара необходимо обеспечить подачу инертного газа $Q_{и}$ в 19...22 раза больше чем утечки воздуха за перемычку $Q_{ут}$, чтобы обеспечить содержание кислорода в поступающей к очагу горения газовой смеси на уровне $C_{к}=1...2\%$. Следует также учитывать, что аварийно переоборудованный трубопровод, как правило, не обеспечивает подачу инертного газа без потерь объема и напора, это снижает эффективность работы установок.

Для ликвидации подсосов воздуха была разработана технология подачи инертного газа к очагу горения, с заменой воздушных утечек в изолированный объем азотными [5-8]. Это обеспечивается за счет использования энергии поступающего от установки газа и конструктивных изменений изоляционного оборудования. Замена утечек достигается возведением в воздухоподающей выработке дополнительной перемычки и подачей за нее азота. Трубопровод для подачи азота имеет патрубок, через который газ подают в образованную двумя перемычками камеру. Регулируют подачу

с помощью задвижек, установленных в выработке со свежей струей. При этом подачу газа в камеру через патрубок осуществляют таким образом, чтобы на первой со стороны свежей струи перемычке (на рисунке это перемычка №1) отсутствовал перепад давления. Это нетрудно осуществить, так как давление азота в трубопроводе значительно больше, чем депрессия на перемычке. В результате вся депрессия, а также сопряженные с нею утечки, оказывается приложенными ко второй перемычке, но так как камера заполнена азотом, то именно он поступает в изолированный участок в виде утечек (рис.1).

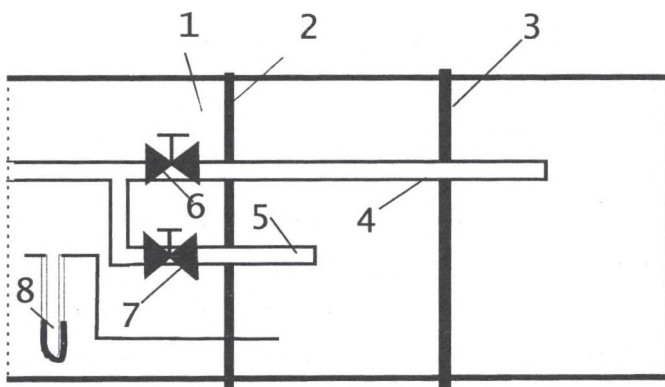


Рис. 1. Схема подачи азота в аварийную горную выработку: 1 – воздухоподводящая выработка; 2, 3 – изолирующие перемычки №1 и №2 соответственно; 4 – трубопровод; 5 – патрубок; 6, 7 – задвижки; 8 – манометр

Fig. 1. The diagram of nitrogen supply to emergency excavation. 1 – the excavation with intake air, 2, 3 – isolation dams no.1 and no.2 – respectively 4 – the pipeline, 5 – the stub pipe, 6, 7 – valves (gate valves), 8 – the manometer

Недостатком мембранной технологии получения газообразного азота является сравнительно низкое качество получаемого продукта. Так при номинальной производительности $Q_{уст} = 15 \text{ м}^3 \text{ мин}^{-1}$ и давлении $P_{уст} = 0.8 \text{ МПа}$ установка АМВП-15-0,7 (Украина) выдает газовую смесь с содержанием азота $C_a = 94...95,5\%$. Такая газовая смесь, содержащая около 4...6% кислорода, не обеспечивает эффективное тушение древесины, измельченного угля и некоторых других веществ.

Установка HPLC (Польша) при номинальной производительности $Q_{уст} = 10 \text{ м}^3 \text{ мин}^{-1}$ и давлении $P_{уст} = 1,05 \text{ МПа}$ выдает газовую смесь с немножко высшим содержанием азота $C_a = 97\%$. Такая газовая смесь содержит 3% кислорода [4]. Для снижения содержания кислорода, как показали ранее проведенные исследования

[2], следует снижать рабочее давление в мембранных модулях, однако, это сопряжено со значительным уменьшением подачи установок.

3. Эффективные тушение пожара с учетом особенностей работы мембранных установок

Разработанные в [5-8] способы тушения подземных пожаров позволяют обеспечить эффективное тушение пожара с учетом особенностей работы мембранных установок. Предусмотрены три режима подачи газа к очагу горения.

Первый режим используют после возведения перемычки №2 в период сооружения перемычки №1. При этом установка работает на полную мощность, а в изолированном объеме горных выработок содержание кислорода может быть снижено с 20 до уровня $C_k=10...15\%$ (рис. 2).

При угрозе взрывов метанопылевоздушной смеси в поток подаваемой к очагу горения газозвушной смеси, целесообразно дополнительно подавать газообразные ингибиторы. Для этого можно использовать генераторы инертных газов, криогенные азотные, углекислотные, а также другие средства инертзации или флегматизации газовой среды. Расход газов в изолированном объеме ($Q_{yч}$):

$$Q_{yч} = Q_{mp}^a + Q_{ym1}^a + Q_u$$

где: Q_{mp}^a - расход подаваемого по трубопроводу азота, при этом $Q_{mp}^a \ll Q_{уст}$;

Q_{ym1}^a - утечки воздуха через перемычку №1; Q_u - расход газообразных ингибиторов;

Второй режим применяют после возведения второй перемычки (№1), когда воздушные утечки через перемычку №2 заменяют азотными. При этом установка также работает на полную мощность и содержание кислорода в подаваемой к очагу горения смеси составляет 4...5%. Расход газа в аварийном участке ($Q_{yч}$):

$$Q_{yч} = Q_{mp}^a + Q_{ym2}^a$$

где Q_{ym2}^a - утечки азота через перемычку №2.

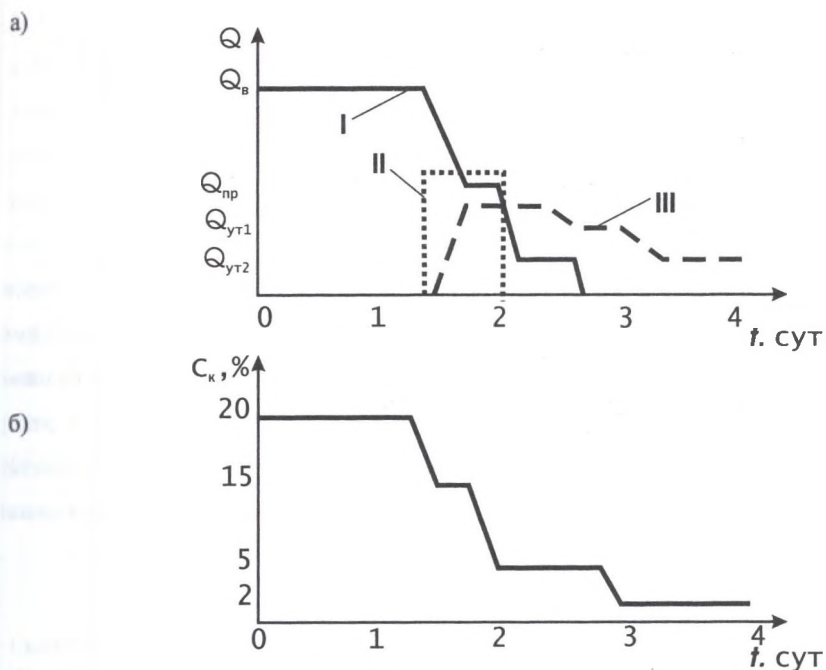


Рис. 2. Расход газов (а) и содержание кислорода (б) в изолированном объеме при тушении пожара в выработанном пространстве: I - расход воздуха в воздухоподающей выработке; II - подача газообразных ингибиторов; III - подача азота

Fig. 2. Values of the gases volume flows (a) and oxygen concentration (b) in isolated area during putting out the fire in the goafs. I - air volume flow in the excavation, II - Inhibitors supply which are transforming into gas state, III - nitrogen supply

Утечки азота через перемычку №2 равны расходу азота через патрубок и легко могут быть определены, например, с помощью диафрагмы. Подачу газообразных ингибиторов горения с этого момента следует прекратить.

После заполнения азотом пространства между изолирующими перемычками и очагом горения осуществляют *третий режим*. Он заключается в том, что прекращают подачу азота напрямую из трубопровода, а продолжают только через патрубок в количестве равном утечкам через перемычку №2 (см. рис.2). При этом подача установки и, соответственно, давление в мембранных модулях уменьшается, а качество азота улучшается. Содержание кислорода в подаваемой газовой смеси снижается до $C_k=1...2\%$.

$$Q_{уч} = Q_{ут2}$$

Ориентировочные расчеты показывают, что самая сложная стадия (первый и второй режимы) ликвидации пожара по предлагаемой технологии с использованием наиболее распространенных бетонитовых перемычек в оптимальных условиях занимает не менее двух суток (табл.1). Еще около суток может продолжаться переход к третьему режиму подачи газа. Такая продолжительность аварийных работ представляется nepозволительно большой.

Анализ хронограммы (см. табл.1) показывает, что операции подготовки трубопровода и возведения перемычек в лучшем случае занимают более суток, т.е. около половины оперативного времени. В современных условиях сложного финансово-организационного состояния шахт это время может реально увеличиться в 2...3 раза. Поэтому наиболее перспективными решениями по повышению эффективности использования мембранной техники представляются разработка подземных газоразделительных установок и быстровозводимых изолирующих перемычек.

Таблица 1

Хронограмма выполнения в воздухоподающей выработке основных работ по ликвидации очага горения угля в труднодоступном месте

Оперативные действия	Продолжительность выполнения действий, смен															
	1 сутки				2 сутки				3 сутки				4 сутки			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Вызов ГСС, разведка	■	■														
Доставка АМВП			■	■												
Подготовка трубопровода			■	■	■	■										
Возвед. перемычки №2			■	■	■	■										
Подача ингибиторов					■	■	■	■								
Подача азота (15% O ₂)					■	■	■	■								
Возвед. перемычки №1					■	■	■	■								
Подача азота (5% O ₂)									■	■	■	■				
Подача азота (2% O ₂)													■	■	■	■

Применение подземных установок позволит избавиться от наименее надежного элемента рассматриваемой технологии – трубопровода. Использование быстровозводимых [8], например, пневматических, изоляционных сооружений позволит существенно сократить время переход к эффективному воздействию на очаг пожара, кроме того, позволит применять мембранные установки для предупреждения самонагревания и самовозгорания угля.

4. Пример неэффективного дистанционного тушения пожара с помощью азота

7 ноября 2003 года на шахте „Сосьница” имели место воспламенение и взрыв метана в выработанном пространстве лавы номер 9, пласт 405/2 (рис. 3). Выделение метана в районе лавы доходило до $50 \text{ м}^3 \text{CH}_4/\text{мин}$. при добыче угля 4000 – 48000 Мг в сутки. В результате происшедшего случая обожглись и отравились 10 сотрудников, в том один получил телесные смертные повреждения. В выработанном пространстве тоже развился пожар из-за того, что в месте, где пласт собрался в складки, находился уголь. Итак, необходимым было построить перемычки изолирующие район лавы 9 [3]. Начальник акции решил, чтобы изоляционные взрывоустойчивые перемычки построить в выработках (рис. 3):

- в штреке 9, перемычка ТР-1,
- в штреке 8, перемычка ТР-2,
- в штреке 7, перемычка ТР-3.

В штреке 8, на расстоянии около 100 м за фронтом лавы 9, но перед местом воспламенения метана существовала мульда, которую при помощи уже подготовленного закладочного трубопровода начато выполнять смесью пыли от электростанции с водой.

10 ноября 2003 года по завершению стройки перемычек ТР-1, ТР-3, обладающих открытыми взрывоустойчивыми пропусками, трубопроводом доходящим до лавы 9 в выработанном пространстве начато поставлять азот в размере 2000 м^3 в час – получаемый с помощью установки для газификации жидкого азота АРА.

11 ноября 2003 года были закрыты пропуски в перемычках ТР-1, ТР-3, и в дальнейшем продолжалось выполнение мульды в штреке 8. Мимо закрытия перемычки ТР-1, из-за неплотности горного массива вокруг перемычки в лаву 9 по штреку текло слишком много воздуха. В результате стоило в штреке 8 в месте, где спланировано строить перемычку ТР-2 находилась взрывчатая смесь и невозможным было её построить.

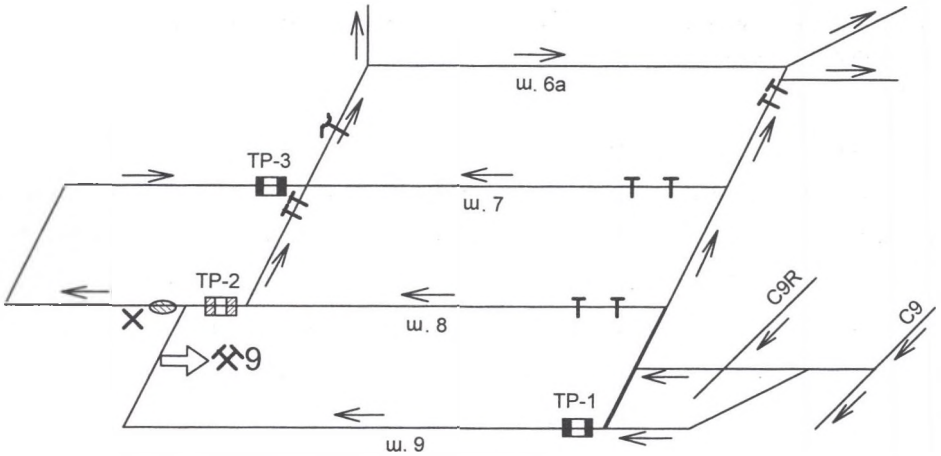


Рис. 3. Схема участка 9-й лавы пл. 405/2 на шахте "Сосьница" [3]
 Fig. 3. The diagram of longwall 9 area, 405/2 coal bed, "Sośnica" coal mine

×	место зажигания метана	the place of methane ignition
■	изолирующая перемычка	isolation dam
▤	проектная изолирующая перемычка (не исполнена)	designed isolation dam (not built)
T	вентиляционная дверь	the ventilation dam
⊖	мульда	the charging pan
X9	лава 9	galleries
C9, C9R	квершлаг	the longwall no.9
ш.6а, 7, 8,9	штреки	cross-cuts

13 ноября 2003 года решено построить регуляционную перемычку на бремсберге ниже штрека 6а для удаления взрывчатой смеси от места застройки планируемой перемычки TP-2. 14 ноября 2003 года решено поставлять азот со стороны перемычки TP-1 по целому квершлагу штрека 9 в размере 1800 м³ в час, приостанавливая поставку азота трубопроводом в выработанное пространство. Поставка азота оказалась малоэффективной, так как воздух тоже попадал трещинами. По выступлению 15 ноября 2003 года повторного воспламенения метана в районе лавы 9 расширено зону опасности через построение изоляционных перемычек в квершлагах C9, C9R на горизонте 900 м, в квершлагах D7, D7R, C7R на горизонте 700 м и C8 на горизонте 800 м.

23 ноября 2003 года были закрыты пролазы во всех изоляционных перемычках. Изоляция горного массива вокруг перемычек продолжалась до 22.11.2003 г. Поставка

азота в штрек 9 через перемычку TP-1 помогла спасательной акции по расширении территории охваченной изоляцией. Раньше, при первой попытке изоляции самого района лавы при помощи трёх перемычек TP-1, TP-2, TP-3, поставляемый азот не был в состоянии создать инертной смеси в штоке 9 и лаве 9. Через трещины горного массива вокруг перемычки попадало слишком много воздуха. Вне перемычки TP-1, а позже также вне перемычки TP-4 за 45 дней поставлено 537600 м³ азота. Однако видно, что кроме количества азота важным фактором является эффективность его подачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adamus A.: The historical verification of the usage of nitrogen in mines fires. Proc. 7-thb Intern. Mine Vent. Congr., June 17÷22, 2001, Cracow, Poland p. 841÷847 (www.vsb.cz/nitrogen).
2. Булгаков Ю. Ф.: Тушение пожаров в угольных шахтах. Донецк. НИИГД, 2001.- с. 280.
3. Buchwald P., Kohut J.: Przebieg akcji ratowniczej po zapaleniu metanu, pożarze i wypadku zbiorowym zaistniałym w listopadzie 2003 r. w KWK „Sośnica” – ocena i wnioski pokomisyjne. W materiałach seminarium na temat „Zwalczanie zagrożenia pożarowego w kopalniach – teoria i praktyka”. ROP’2004, Rybnik 27.10.2004, s. 29÷42.
4. Kajdasz Z., Buchwald P.: Inertyzacja z wykorzystaniem azotu. Ratownictwo Gómicze, nr 3, 1998.
5. Костенко В. К., Костенко Т. В.: Технологія профілактики та гасіння підземних пожеж у важкодоступних місцях. ”Форум гірників – 2005”, Матеріали міжнарод. конф., т. 3. Дніпропетровськ. 2005, с. 47 – 54.
6. Костенко В. К., Костенко Т. В.: Спосіб гасіння підземних пожеж. Корисна модель UA №5775. Оpubл. 15.03.2005, бюл. №3.
7. Костенко В. К., Костенко Т. В.: Спосіб попередження та гасіння джерел самонагрівання або горіння. Корисна модель UA №10260. Оpubл. 15.11.2005, бюл. №11.
8. Костенко В. К., Костенко Т. В.: Спосіб подавання інертного газу до джерела горіння або самонагрівання вугілля. Корисна модель UA №11376. Оpubл. 15.12.2005, бюл. №12.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Waclaw Dziurzyński