

УДК 622.8:681.51:614.83/.84

## МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ В ШАХТАХ

**Колесников С.В.**

*Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, e-mail: 9serzh9@mail.ru*

В данной статье рассмотрены методы диагностики и подавления пожаровзрывоопасности угольных шахт и обеспечения экологически безопасной добычи угля. Исследованы крупнейшие аварии, произошедшие на угольных шахтах России. Проанализированы принципы локализации взрывов автоматическими системами и средствами индивидуальной защиты. Синтезирована модель автоматизированной системы, которая, во-первых, реализует альтернативный способ вентиляции шахты – самоприток, во-вторых, создает и поддерживает «пожаровзрывобезопасную атмосферу» в каждом штреке, удаляя для переработки на поверхности по отдельным трубопроводам, кислород–парамагнетик и остальные шахтные газы–диамагнетики, оставляя и регулируя градиент концентрации азота в штреке таким образом, чтобы взрывы и пожары стали невозможными. При этом шахтеры оснащаются СИЗОДЗ, которые работают на принципе термомагнитной сепарации окружающего воздуха и обеспечивают 20% содержание кислорода, при его концентрации в штреке не менее 5%.

**Ключевые слова:** взрыв, угольная шахта, авария, средства индивидуальной защиты горняков, локализация взрыва, метан, угольная пыль, термомагнитная сепарации воздуха

## MODEL OF THE AUTOMATED SYSTEM IS FIRE AND EXPLOSION PROOF AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY COAL MINING IN THE MINES

**Kolesnikov S.V.**

*Don state technical University, Rostov-on-Don, e-mail: 9serzh9@mail.ru*

In this article methods of diagnostics and suppression of fire-and-explosion hazard of coal mines and ensuring ecologically safe coal mining are considered. The largest accidents which have happened on coal mines of Russia are investigated. The principles of localization of explosions are analyses by automatic systems and individual protection equipment. The model of the automated system which, firstly, realizes an alternative way of ventilation of the mine is synthesized – self-inflow, secondly, creates and supports « the fire safety and explosion-proof atmosphere» in each drift, deleting for processing on a surface on separate pipelines, oxygen paramagnetic and other mine gases-diamagnetics, leaving and regulating a gradient of concentration of nitrogen in a drift so that explosions and the fires became impossible. At the same time miners are equipped with individual protection equipment of respiratory organs and sight (SIPEROS), which work at the principle of thermomagnetic separation of air and provide 20% the content of oxygen, at its concentration in a drift not less than 5%.

**Keywords:** explosion, coal mine, accident, means of individual protection of miners, localization of the explosion, methane, coal dust, thermomagnetic separation of air

По добыче угля Россия занимает второе место в мире с показателем чуть более 157 млрд. тонн, из которых на долю каменного угля приходится 49.1 млрд. тонн или 31.2%. Добыча угля ведется в 25 субъектах Российской Федерации: Кузнецкий бассейн – 52%; Канско-Ачинский – 12%; Печорский – 5%; Восточный Донецкий – 3%; Южно-Якутский – 3% от общей добычи [7].

Горнодобывающая промышленность является одной из наиболее загрязняющих воздушный бассейн отраслей. Так, например, в 1999 году предприятиями угольной промышленности было выброшено в атмосферу 620,8 тыс. т вредных веществ, в том числе 443,5 тыс. т метана, в 2004 г. объем выброшенного в атмосферу метана возрос до 660,7 тыс. тонн [11].

В тоже время в европейских странах такие «бесполезные» газы, как конверторный,

коксовый, ферросплавный, шахтный метан и газ мусорных свалок давно стали обычным топливом, на котором уже десятками лет вырабатываются электроэнергия, пар и горячая вода, что делает актуальным разработку способов и систем в этой области [14].

Общепринятым в мировой практике горного дела является метод предупреждения взрывов метана в шахтах, путем интенсивной вентиляции [12], который предусматривает постоянную подачу в горные выработки свежего воздуха для снижения концентрации выделяющегося метана до значений, меньших нижнего предела взрываемости (менее 5%).

Недостатком этого метода являются, во-первых, высокие единовременные и эксплуатационные затраты на его осуществление, во-вторых, невозможность дальнейшего использования этого горючего газа (напри-

мер, для получения тепла, электроэнергии), т.к. подаваемый в шахту воздух разбавляет метан, и в-третьих, низкая эффективность, т.к. при существующих ограничениях по скорости движения воздуха в горных выработках, в шахтах образуются и взрываются скопления метана (например, при высокой интенсивности поступления метана, при суффлярных выделениях, при выбросах угля и сопутствующих газов), что подтверждает нижеприведенный анализ крупнейших аварий на них.

«Тайжина» (Осинники, Кемеровская обл.) 10 апреля 2004 год.

К аварии привела совокупность факторов: из-за обрушения породы был поврежден силовой кабель, в условиях сильной загазованности возникла искра, которая и вызвала взрыв, от чего погибли 47 горняков. Применяемая на газовых шахтах система газовой защиты – стационарная аппаратура АМТ-3 и «Метан» физически и морально устарела. Системы орошения отечественных выемочных и проходческих комбайнов не обеспечивают эффективное пылеподавление и защиту от воспламенения метановоздушной смеси в результате фрикционного искрения при выемке угля [1].

«Юбилейная» (Новокузнецк, Кемеровская обл.) 24 мая 2007 год.

Причина: короткое замыкание, возникшее из-за соединения кабелеукладчика с комбайном гибкой тягой, которая не соответствовала заводскому исполнению. Расследовавшая аварию комиссия установила, что датчики, оповещающие о повышении концентрации метана, оказались неработоспособными. Последствия – 39 погибших. На шахте применялась сланцевая пылевзрывозащита, и, наряду с со сланцевыми заслонами были установлены системы взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ. Системы АСВП-ЛВ №05–117 и №05–131 защищали сопряжение Восточного конвейерного бремсберга с Путевым уклоном пл.16, а система АСВП-ЛВ №06–313 защищала сопряжение Путевого уклона пл.16 с конвейерным штреком 16–15. Взрыв МВС и угольной пыли за системами АСВП-ЛВ был локализован, а за ними не погиб ни один человек, все 39 погибших находились в сети горных выработок, которые защищались сланцевыми заслонами [1].

«Ульяновская» (Усковская), Новокузнецк, Кемеровская обл.) 19 марта 2007 г.

Причина: скопление газа произошло из-за того, что рабочие по указанию руководства отключили газозащитное обо-

рудование. Причиной взрыва стала искра, которая возникла при повреждении комбайнового кабеля. Последствия – 110 погибших. На шахте применялась сланцевая пылевзрывозащита, и, наряду с более чем 15-ю сланцевыми заслонами были установлены системы взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ. Следует обратить внимание на тот факт, что системы АСВП-ЛВ были установлены таким образом, что защищали только от взрыва, который мог выйти только из очистного забоя [2].

«Распадская» (Междуреченск, Кемеровская обл.) 8–9 мая 2010 год.

Причина: произошли два взрыва метана. В момент первого взрыва под землей находились 359 шахтеров, 276 были выведены на поверхность. Для проведения спасательных работ в шахту было направлено 9 отделений горноспасателей – всего 54 человека. В это время произошел второй, более мощный взрыв, разрушивший наземные сооружения шахты. Последствия: 91 погибший, порядка 100 получили ранения. Тела 11 погибших так и не были найдены. Восстановить добычу угля на шахте в полном объеме удалось только в конце 2014 года.

Взрывозащита шахты осуществлялась автоматической системой типа АСВП-ЛВ с пассивными заслонами, которые зачастую взрыв не локализуют, и взрывная волна распространяется по протяженной сети горных выработок, в связи с чем, все работавшие в шахте в момент аварии люди погибли, а взрыв вышел на поверхность, разрушив копер [7, 15].

«Северная» (Воркута, Республика Коми) 25 февраля 2016 год.

Причина: на глубине 780 м произошел внезапный выброс метана и два взрыва, повлекшие обрушение породы. Во время спасательной операции ночью 28 февраля произошел третий взрыв. В этот момент под землей находились 111 человек. В первые часы удалось вывести на поверхность 81 горняка, из них шестеро были госпитализированы. В результате третьего взрыва погибли пять горноспасателей и работник шахты, еще пять человек получили ранения. Для локализации возможных взрывов метана и угольной пыли на шахте были установлены современные взрыволокализирующие заслоны на базе автоматических систем АСВП-ЛВ.1М [1,8]

Автоматическая система СЛВА была разработана на Украине и поставлялась на угольные шахты России. Она предназначена для подавления воспламенения метана

для предотвращения взрыва метана и (или) угольной пыли в начальной стадии его развития в горных выработках угольных шахт путем принудительной подачи огнетушащего порошка в зону очага воспламенения. Системы СЛВА состоят из двух или трёх, в зависимости от сечения выработки, взрывоподавляющих устройств, датчиков пламени с фотоприемником излучения, блока обработки информации, служащего для преобразования сигнала от датчиков пламени, выдачи импульса тока на электровоспламенители газогенерирующих зарядов взрывоподавляющих устройств, контроля и сигнализации состояния электронной части системы и сетевого источника питания (Разрешение на изготовление и применение Госгортехнадзора России № РРС 04–7908 от 25.02.2007). К недостаткам этой системы можно отнести наличие автономного блока питания, а также то, что при работе в режиме «ожидания» на поверхность стекла датчиков осаждается слой пыли, что снижает надежность действия всей системы [8,10].

Автоматические системы взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ.1М представляют собой автономное устройство. Система полностью автономна, снаряжается огнетушащим порошком массой 25 кг и имеет емкость со сжатым воздухом высокого давления. Система не требует подачи внешнего электропитания, не имеет в составе пиротехнического заряда, компактна и легко крепится к специально установленным анкерам или к элементам крепи. Системы АСВП-ЛВ(.1М) устанавливаются в направлении распространения возможного взрыва, приемными щитами в сторону прихода ударной воздушной волны. Система АСВП-ЛВ.1М работает в ждущем режиме и приводится в действие ударной воздушной волной (УВВ), образованной в результате взрыва метано-пылевоздушной смеси. От воздействия УВВ на приёмный щит АСВП-ЛВ.1М происходит динамическое выбрасывание в пространство горной выработки огнетушащего порошка энергией сжатого воздуха, находящегося под высоким давлением в рабочей полости системы (Патент РФ на изобретение № 2342535 от 14.05.2007) [8].

ВЗЛ(У) «СТАРТ» разработана и выпускается ООО «НПП «Шахтпожсервис». Данное оборудование представляет собой автоматическую водяную завесу (АВЗ), укомплектованную дополнительными сетчатыми преградами, призванными уменьшить давление на фронте ударной

воздушной волны от возможного взрыва метана или угольной пыли. Данное устройство ошибочно называют устройством локализации взрывов, т.к. согласно своим конструктивным особенностям оно относится к средствам предупреждения взрыва (Разрешение на изготовление и применение Госгортехнадзора России № РРС 04–7908 от 25.02.2011). Однако нет сведений об эксплуатации данного устройства в условиях действующей угольной шахты и его реальной эффективности [15].

Известен способ предупреждения взрывов метана в шахтах, включающий: изоляцию горных выработок, в которых выделяется метан, от притока свежего воздуха, заполнение их инертным газом, для снижения концентрации кислорода до взрывобезопасных значений (8%), а затем повышение концентрации метана за счет выделения его из добываемого угля, выработанного пространства и вмещающих пород до значений, превышающих верхний предел взрываемости метана (более 15%). Такую «инертно-метановую атмосферу» изолированных горных выработок откачивают, постоянно поддерживая небольшое избыточное давление газа по сравнению с атмосферным давлением на земной поверхности.

К недостаткам этого способа относятся: высокие и непроизводительные одновременные и эксплуатационные затраты и технологические потери (времени) при осуществлении изоляции горных выработок: на установку стен/перегородок со специальными шлюзами для доставки людей и грузов, на специальное исполнение работающих механизмов и электроаппаратуры для метановой среды, на изолирующую дыхательную аппаратуру с ограниченным ресурсом времени для работы людей, на зачку инертного газа с поверхности [13].

Известен способ биотехнологической защиты, в котором метан из атмосферы горных выработок потребляется метано-кисляющими бактериями. Недостатками этого способа являются: высокие одновременные и эксплуатационные затраты на его осуществление и низкая эффективность использования в шахтах с высокой интенсивностью выделения метана, биотехнологические проблемы по приготовлению и использованию метано-кисляющих бактерий, невозможность предотвращения загорания и взрыва от выбросов угля и других горючих газов, кроме метана (например, водорода, сероводорода и т.д.) [5].

Представляет интерес «Безопасная угольная шахта Золотарева для отработки газоносных пожароопасных пластов» [9], в которой предусматривается одновременное ведение горных работ в трех выемочных столбах, нарезаемых по простиранию пласта от центрального трехсекционного наклонного ствола, по которому поступает свежий воздух, до трех изолированных друг от друга фланговых наклонных стволов, по которым раздельно отводят исходящую струю от проходческих работ, от очистных работ и метановоздушную смесь из выработанного пространства, а забой располагают в нижнем выемочном столбе. Недостатком такой системы проектирования и эксплуатации угольных шахт являются огромные производительные единовременные и текущие затраты (на проходку верхнего выемочного столба, с базированием на фланговый ствол, промежуточного штрека и двухсекционного штрека с разделительной, перфорированной проемами, закладочной бетонной стенкой; на проходку среднего выемочного столба, для проведения дегазационных работ по предварительному отсосу метана из угольного пласта и горного массива с размещением буровых станков и дегазационного вакуумного трубопровода на ранее пройденном двухсекционном штреке с обособленным проветриванием и т.д.), которые не могут окупиться использованием, получаемой «исходящей воздушной струи с содержанием дегазационного метана не более 1%, в газопоршневой электростанции» на поверхности.

Известна установка для уменьшения взрывоопасности угольных шахт, которая содержит компрессор, воздухозаборное устройство, размещённое в непосредственной близости от угольного комбайна, систему из двух вихревых охладителей для сжижения метана, отделитель жидкого метана от воздуха, баллон или трубу для удаления сжиженного метана из шахты. Недостатком данной установки является, во-первых, большая энергоёмкость и высокие производительные единовременные и текущие затраты взрывоопасного исполнения двух вихревых газоохладителей, работающих под высоким давлением, а также на криогенный трубопровод жидкого метана, во-вторых, «убирая только метан», установка не регулирует газовый состав и не создаёт взрывопожаробезопасную воздушную среду в забое, а в-третьих, применение её в штреках горных выработок экономически не эффективно, т.к. при малых просачива-

ниях метана, эксплуатация такой высокопроизводительной системы будет убыточной, а при возникновении пожара от других горючих газов или угольной пыли, данная установка и криогенный трубопровод только повысят пожарную опасность, т.к. при воздействии на них высокой температуры появляется вероятность выброса и воспламенения метана из них [18].

Наиболее близким к разработанному методу, т.е. прототипом по способу (флегматизация) и типу инертного газа (газообразный азот), является способ вентиляции шахтной атмосферы, заключающийся в том, что в шахту периодически в зависимости от превышения уровня метано- и пылевых выделений подают инертный газ, для предотвращения пожаро- и взрывоопасных ситуаций, а шахтеры оснащаются индивидуальной изолирующей баллонной дыхательной аппаратурой, заправку баллонов которой атмосферным воздухом осуществляют централизованной из специальных трубопроводов в шахте. К основным недостаткам прототипа, относятся, во-первых, высокие единовременные и эксплуатационные затраты на «поверхностное» оборудование (азотной станции, компрессорной и т.д.) и сети трубопроводов высокого давления, во-вторых, необходимость перезарядки баллонов для шахтеров, в-третьих, низкая эффективность в шахтах с высокой интенсивностью поступления метана (суфлярными выделениями, выбросами угля и горючих газов), т.к. из-за отсутствия «отсоса» и удаления выделяющихся газов, флегматизация газообразным азотом «не успевает» понизить взрывопожароопасную концентрацию до безопасного уровня, а, в-четвертых, «сброс» выделяющихся в шахте газов в атмосферу [17].

В качестве способов и средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) горняков обычно применяются фильтрующие и изолирующие противогазы [ПФСГ-98 СУПЕР, КИП-8 и др. – <http://www.fc01.spb.ru/katalog/resp/izolir.html>]. Однако общим недостатком их применения является ограниченность времени непрерывной работы в них, а также значительный вес и неудобство при выполнении работ, в т.ч. из-за необходимости периодической перезарядки (фильтров в ПФСГ-98, дыхательной смеси в КИП-8 и т.д.).

Принимая во внимание тот факт, что угольная пыль является причиной профессиональных заболеваний шахтеров (пылевых бронхитов и ишемической болезни), одной из задач повышения безопасности горня-

ков в шахтах, является защита их не только от метановых выбросов и других токсичных газов, но и от пылеобразования [16].

Таким образом, разработка метода и приборов обеспечения безопасности горняков и шахт, построенных, в отличие от других способов [6], на принципах термомагнитной сепарации воздуха (ТМСВ) на кислород – парамагнетик и азот с остальными атмосферными газами – диамагнетиками, может принципиально по-новому [3] решить проблемы экологической и пожаро-взрывобезопасности шахт [4].

Как следует из блок-схемы (рис. 1) модель автоматизированной системы обеспечения пожаровзрывобезопасной и экологически «чистой» добычи угля в шахтах, базирующаяся на ТМСВ – СИЗОДЗ и ТМСВ-ГРДМ, в отличие от существующих систем, призвана реализовать:

– контроль кислорода в штреках и забоях (в отличие от контроля метана),

– сепарацию кислорода из воздушной среды в штреках и забоях и вывод его на поверхность в «парамагнитном» трубопроводе (на дальнейшую переработку или стравливание в атмосферу), для создания градиента его концентрации от 21% (на входе в штрек) до 5% в забое с помощью ряда ТМСВ-ГРДМ,

– отделение охлажденного азота от остальных диамагнетиков во 2-м каскаде (ГРДМ) и возвращение его в штреки и забой для создания градиента его концентрации от 78% (на входе в штрек) до 95% в забое с помощью ряда ТМСВ-ГРДМ, а также вывод оставшихся диамагнетиков ( $\text{CH}_4$ , Ar,  $\text{H}_2$  и др) на поверхность в «диамагнитном» трубопроводе (на дальнейшую переработку),

– самовентиляцию шахты (самоприток атмосферного воздуха с поверхности) через

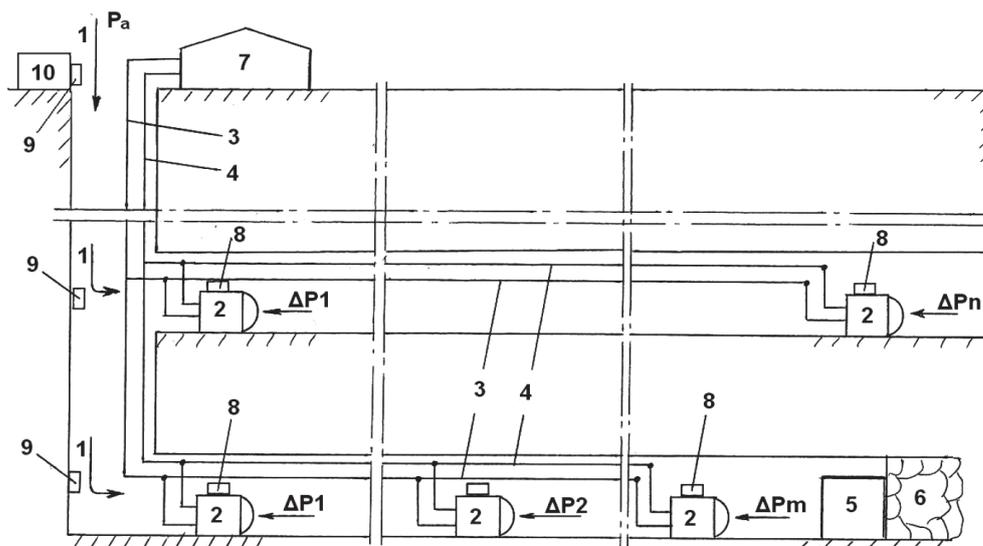


Рис. 1. Блок-схема системы обеспечения безопасности угольных шахт:

1 – атмосферный воздух, 2 – термомагнитный сепаратор воздуха с блоком газоразделения диамагнетиков (ТМСВ-ГРДМ), 3 – кислородный трубопровод («парамагнитный»), 4 – трубопровод остальных газов («диамагнитный»), 5 – угольный комбайн, 6 – угольный забой, 7 – центр переработки сепарированных газов, 8 – радиомодемы, 9 – ретрансляторы, 10 – пункт диспетчерского управления,  $P_a$  – атмосферное давление,  $\Delta P_{т,п}$  – разность давлений в зоне работы «т»-го ТМСВ-ГРДМ в «п»-м штреке

центральную штольню за счет градиента давлений в штреках и забоях, в результате вывода на поверхность в «парамагнитном» и «диамагнитном» трубопроводах более 20% их воздушных компонент.

Как следует из приведенной выше модели системы, ни отечественных, ни мировых аналогов разрабатываемым методом, приборам и комплексу – не существует.

### Список литературы

1. 10 крупнейших аварий на угольных шахтах России // Досье ТАСС//БНК – 29.02.2016 – Сыктывкар: «Север-Медиа» – URL: <https://www.bnkomi.ru/data/news/47794>.
2. Акт технического расследования причин аварии, произошедшей 19.03.2007 года на филиале «Шахта Ульяновская» – Кемерово: ОАО «Южвостуголь», 2007. – 85 с.
3. Белозеров В.В., Новакович А.А., Топольский Н.Г. Модель сепаратора воздуха для систем безопасности // Ежегодная международная научно-техническая конференция Системы безопасности (СБ-2003). – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – С. 198–199.
4. Белозеров В.В., Босый С.И., Плахотников Ю.Г., Прус Ю.В. Метод и система защиты горняков и шахт от пожаров и взрывов // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 9. – С. 48–50.
5. Бондарь В.А. и др. Способ борьбы с метаном в угольных шахтах, Заявка на изобретение № 4240934/03, 27.08.1999, МПК6 E21F5/00, C12N11/00.
6. Воронин Г.И., Чижиков Ю.В. Способ обогащения воздуха кислородом – SU № 255298, 20.02.2006, F25J 3/04.
7. Джигрин А.В., Исаев И.Р., Мясников С.В. Прогнозирование взрывов газа и пыли в угольных шахтах // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – №4. – С. 38–42.
8. Заключение экспертизы МакНИИ № 232.09.00.010.09 по автоматической системе взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ.
9. Золотарев Г.М. Патент РФ на изобретение № 2310073, 10.11.2007, МПК E21C41/18.
10. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. – Донецк: Донбасс. 2012. – 392 с.
11. Минерально-сырьевая база угольной промышленности России. В 2-х томах. Том 1 (состояние, динамика, развитие). – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 1999. – 648 с.
12. Охрана труда: Учебник для вузов / К.З. Ушаков, Б.Ф. Кирилл, Н.В. Ножкин и др.; под ред. К.З. Ушакова. – М.: Недра, 1986. – 624 с.
13. Портола В.А., Способ предупреждения взрывов метана в шахтах, Патент РФ на изобретение № 2371583, 27.10.2009, E21F5/00.
14. Пучков Л.А., Красюк Н.Н., Золотых С.С., Максименко Ю.М. Опыт и перспективы использования угольного метана / Препринт. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004. – 32 с.
15. Смирнов Н.Н., Никитин В.Ф., Антоньев А.В., Исаев И.Р. Параметры распространения в выработках ударных и детонационных волн, образующихся при взрыве пыле-метановоздушной смеси // Взрывное дело. – 2013. – № 109/66. – С. 229–238.
16. Филимонов С.Н., Станкевич Н.Г., Разумов В.В., Панев Н.И., Способ прогнозирования риска развития ишемической болезни сердца у шахтеров с хроническим пылевым бронхитом – Заявка на изобретение № 2002120782/15, 27.04.2004, МПК A61B10/00.
17. Халафов Ф.Р., Шахвердиев А.Х. Способ вентиляции шахтной атмосферы, Патент РФ на изобретение № 2282035, 20.08.2006, МПК E1F 1/00, E21 F5/00.
18. Шелудяков Е.П. Установка для уменьшения взрывоопасности угольных шахт, Патент РФ на изобретение № 2347910, 27.02.2009, МПК E21F5/00.