

Разработка технологии локализации и ликвидации очага самонагревания массива в условиях интенсивного окисления горных пород

Конурина Мария Игоревна, студент 3 курса НИТУ МИСИС, лаборант лаборатории гибридных аддитивных технологий, kmi1212@yandex.ru

Локализация и ликвидация очагов самонагревания массива в условиях интенсивного окисления горных пород является важной научной задачей, актуальной как для угольных месторождений, так и для полиметаллических, содержащих серу. Этапы реализации технологии показаны на рис. 1.

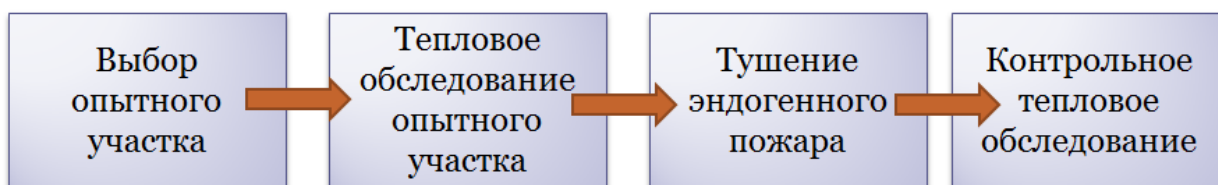


Рис. 1. Этапы реализации технологии

Тепловое обследование в условиях подземного пространства включает тепловизионные исследования, измерение температуры в выработках и скважинах, измерение параметров проветривания, расчет шахтного воздухораспределения.

Тепловое обследование в условиях подземного пространства

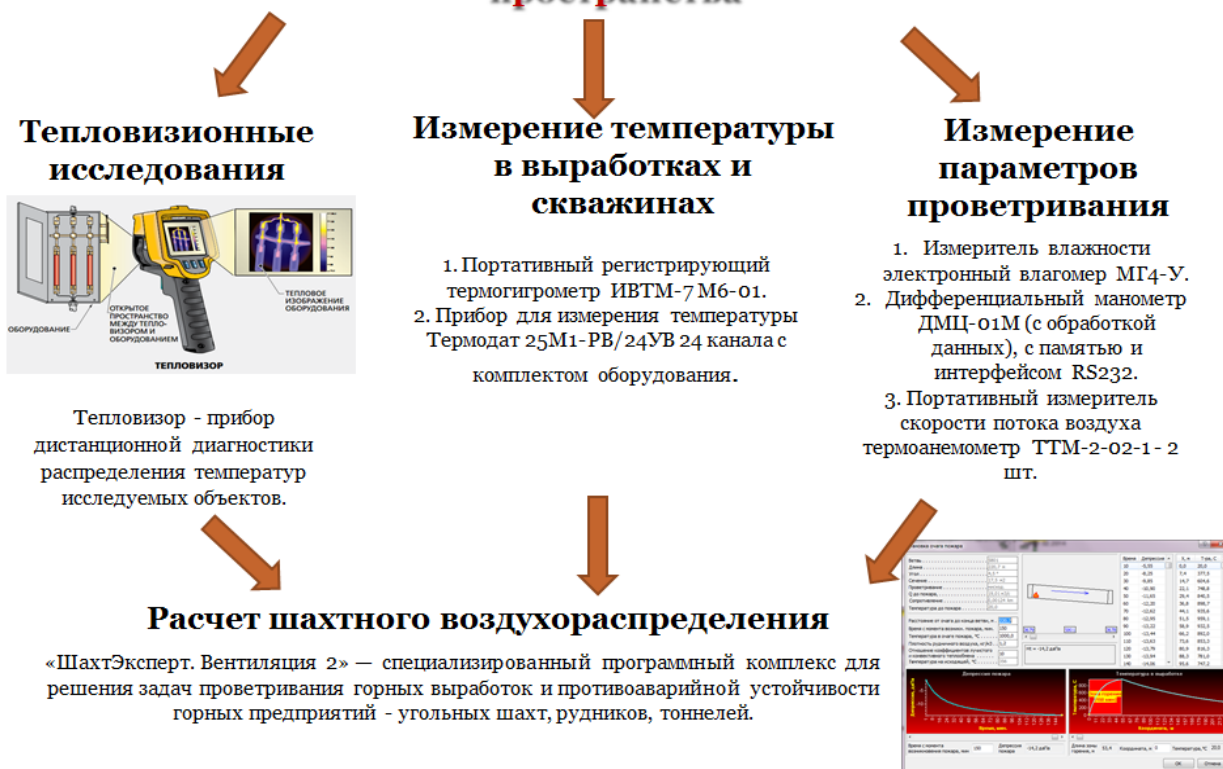


Рис. 2. Тепловое обследование в условиях подземного пространства

Признаками развития окислительных процессов являются:

1) изменение состава рудничного воздуха в очистных забоях, характеризующееся снижением содержания кислорода и увеличением углекислоты;

2) повышение в забоях температуры воздуха, отбитой рудной массы и воды;

3) постепенное повышение в шахтной или рудничной воде свободной серной кислоты (свыше 0,2- 0,3 г/л).

Признаком подземного эндогенного пожара при разработке рудных месторождений является устойчивое содержание в пробах рудничного воздуха, отбираемых в очистных забоях при остановленных вентиляторах местного проветривания через каждые 3-4 часа, окиси углерода 0,01% и выше или сернистого газа 0,001% и выше в продолжении двух суток, если присутствие этих газов не связано со взрывными работами. При подземном пожаре могут появляться в доступных для наблюдения местах в горных выработках как оба указанных газа, так и один из них.

Контроль за развитием окислительных процессов при ведении очистных работ осуществляется:

1) замером температуры отбитой руды и рудничной атмосферы отработываемых участков (блоков);

2) отбором и анализом проб воздуха в очистных забоях;

3) определением кислотности воды (содержание свободной серной кислоты и рН).

Методы и подходы

Предлагаемая технология локализации и ликвидации очага самонагревания массива в условиях интенсивного окисления горных пород включает:

- пропитку массива антипирогенными составами для подавления окислительных процессов. Подача водных растворов с добавками антипирогенов в рудный массив может осуществляться по шпурам или скважинам, на поверхность выработки - путем распыления или обмазки;

- обработку выработанных пространств и горного массива газообразным азотом и инертной пеной. Данная технология хорошо себя зарекомендовала и прошла практическую апробацию на шахтах ОАО «Прокопьевскуголь», ООО «Шахта «Красногорская», ООО «Шахта «им. Ворошилова», ООО «Шахта «Зиминка», ООО «Шахта им. Дзержинского», шахте Распадская, ОАО «Шахта им. Ленина», ООО «Спецуправление» и др. Компактные азотные генераторы успешно эксплуатируются на шахтах американских компаний: Patriot Coal (шахты в Аппалачах и в Иллинойсе); Independence Coal (штат Западная Виргиния); Massey Energy (штаты Западная Виргиния, Кентукки и Виргиния); Eastern Coal (штат Кентукки). Для практической реализации данной технологии промышленностью широко выпускаются мембранные воздухоразделительные азотные установки, например, ЗАО «Грасис» (г.

Москва), ООО «Тегас» (г. Краснодар), ООО «Челябинский компрессорный завод», ОАО «Криогенмаш» (г. Балашиха) и др. Подача газообразного азота и инертной пены производится в или на рудный массив или выработанное пространство с поверхности, или из места, расположенного в непосредственной близости от опытного участка по скважинам или технологическим трубопроводам;

- изоляцию очагов самонагрева путем установки изолирующих перемычек и покрытие подходов выработок плёнкообразующим компонентом, обеспечивающим уменьшение диффузии и просачивание кислорода к очагам самовозгорания сульфидных руд в виде утечек воздуха, который фильтруется через тело перемычки и трещины во вмещающих выработку породах.

Длительный опыт применения в Кузбассе способа заиливания выработанных пространств глинистой пульпой (рис. 3) выявил его характерные недостатки:

- невозможность объемной обработки угольных скоплений из-за стекания пульпы по почве пласта;
- длительный срок изоляции при тушении;
- возникновение рецидивов;
- большой объем восстановительных работ после тушения;
- опасность прорыва глины в действующие выработки.



Рис. 3. Заиловочный комплекс на шахте им. С.М. Кирова (емкости – кузова большегрузных автомашин для приготовления глинистой пульпы)

Антипирогенами называют вещества, которые тормозят процессы окисления и препятствуют самовозгоранию руды. В качестве антипирогенов наиболее распространены водные растворы хлорида кальция, жидкого стекла, известкового раствора хлорида аммония и др. Антипирогены в виде тампонирующих составов готовят из цемента или жидкого стекла с добавлением в качестве наполнителей песка, глины, извести и др.

Антипирогенами обрабатывают рудные целики, скопления отбитой руды, поверхность выработок, пройденных по рудам весьма склонным к

самовозгоранию В рудные целики и выработанные пространства антипирогены нагнетают через шпуры или скважины; на поверхность выработки они наносятся путем распыления или обмазки.

Известна практика применения антипирогенов в виде порошков. В качестве антипирогена в шахтах используются хлористый кальций, хлористый аммоний, карбамид, диаммоний фосфат и др. Подача антипирогена производится в пробуренные скважины с помощью пневмозарядчика.

Для обработки выработанного пространства использовали и летучую золу, подаваемую в потоке сжатого инертного газа.

Способ тушения подземных пожаров с помощью инертных газов, в основном углекислого газа CO_2 , известен с конца XIX века. Его эффективно применяли на шахтах Бельгии, Германии, Англии, США, Франции, Польши, Чехословакии и России (Донбасс).

Методика азотного пожаротушения: кислород, находящийся в воздухе требуемый для горения, вытесняется азотом – до той доли кислорода (1-2%), когда тлеющее горение физически не происходит, кроме того происходит охлаждение высокотемпературной зоны рудного массива до безопасной.

Недостатки инертных газов, в том числе азота, связаны с большим расходом по инертзации пожарного участка. В связи с этим целесообразнее использовать азот в составе инертной пены, обеспечивающей более высокий теплосъем и продолжительность нахождения в заполняемом пространстве.

Инертная пена представляет собой дисперсную систему, состоящую из пузырьков газа, разделенных тонкими пленками жидкости. Для образования устойчивых пен в жидкость вводят в небольших количествах (1...5%) пенообразователи, в состав которых входят поверхностно-активные вещества. В качестве пузырьков газа в данном продукте и используется газообразный азот. Пенная завеса, создаваемая между очагом, выработанным пространством, потушенными пожарами и очистным забоем, позволяет снизить концентрацию горючих газов до пожаробезопасных концентраций, предотвращает вынос горючих и пожарных газов в действующие выработки. При нагнетании пены в выработанное пространство происходит его объемная обработка. Из-за малой плотности и большой вязкости пена, в отличие от воды и глинистой пульпы, не стекает по почве, а накапливается в пустотах обрушенных пород.

Из жидкости, образующей пену, получается пленка. Эта пленка очень тонкая: в наиболее тонких частях ее толщина не превосходит сотысячной доли миллиметра. Несмотря на это, она очень устойчива. Пленка растягивается и деформируется, обволакивая твердые поверхности, а при порыве немедленно восстанавливается. Обработанные пеной разрыхленные породы покрываются пленкой жидкости, препятствующей проникновению кислорода к активному веществу серосодержащих руд. Пленка жидкости, образующаяся после подачи пены на поверхности руды и породы, снижает интенсивность самонагревания за счет дополнительных потерь тепла на

нагрев и испарение жидкости, а также в результате роста коэффициента теплопроводности и теплоемкости скопления.

Газообразный азот в составе инертной пены и без нее производит инертизацию атмосферы выработанного пространства, где притечки воздуха за счет заполнения пустот инертной пеной находятся в пределах, при которых обеспечивается (при заданном дебете газа) взрывобезопасное содержание кислорода, в том числе на выемочных полях, имеющих аэродинамическую связь с поверхностью.

Суть способа локализации пожара с помощью водовоздушной пены основан на таких свойствах пены, как способность ее проникать под давлением через обрушенные породы, заполнять пустоты между обрушенными кусками породы от почвы до купола обрушения, а также на ее свойствах сохранять определенное время свою структуру и не пропускать при этом потоки воздуха.

Подача пены может осуществляться следующим образом. Из полевых выработок бурят скважины диаметром 80 мм (2-3 на очистной забой), по которым под давлением 0,06-0,75 МПа в пространство подают водовоздушную пену кратностью от 40 до 160 с помощью пеногенератора, например, УЛЭП-2 на сжатом воздухе. Одной скважиной обрабатывается пространство над щитом в радиусе 10-15 м. Стойкость пены в обрушенных породах составляет 150 мин. В течение этого времени пенная подушка сохраняет свою структуру и не пропускает воздух. Одна скважина может принять до 30 тыс. м³ пены.

Пену возможно нагнетать в выработанное пространство по трубопроводам, укладываемым в вентиляционном штреке. К концам трубопроводов крепят перфорированные отрезки трубы для выхода пены.

Для локализации и ликвидации очагов самонагревания массива горных пород в условиях интенсивного окисления необходимо предусматривать комплекс мероприятий, направленных на снижение сорбционной активности руд, уменьшение притока кислорода к окисляющемуся материалу и активный отвод тепла от скопления руд.

В качестве более надежной и оперативной альтернативы азоту, подаваемому с поверхности, компания «O2N2 Site Gas Systems» в 2009 г (рис. 4). разработала и изготовила адсорбционный азотный генератор для размещения внутри шахт. Установка отличается компактностью (5 × 2,1 × 1,1 м), высокой производительностью (до 520 м³/ч) и умеренной потребностью в сжатом воздухе (1050 м³/ч при давлении 6,2 бар). Компактный и высокопроизводительный адсорбционный генератор может быть помещен в непосредственной близости от места, которое необходимо инертировать. При этом отпадает необходимость в бурении скважины, как того требует способ подачи азота с поверхности.



Рис. 4. Компактный адсорбционный генератор азота для работы внутри шахты

Способы и средства подачи азота выбирают, исходя из горнотехнических условий, наличия технических средств подачи азота, принятой технологической схемы выпуска его в горные выработки аварийного участка и избранного способа ликвидации аварии.

Опыт разработки руд, склонных и весьма склонных к самовозгоранию, показал, что для снижения эндогенной пожароопасности следует предусматривать профилактическую обработку выработанного пространства по техническим трубопроводам или скважинам, пробуренным из рядом расположенных выработок или с поверхности технической водой, составами антипирогенов, газообразным азотом и инертной пеной.

Подача газообразного азота в тупиковую часть выработок возможна по трубопроводу (возможный вариант подачи азота через вентиляторы местного проветривания и вентиляционные трубопроводы), а при ведении взрывных работ в горных выработках, для создания инертной среды в месте производства взрыва.

Одним из наиболее перспективных способов предупреждения, локализации и гашения пожаров в шахтах является инертизация атмосферы пожарного участка, под которой понимают искусственное снижение концентрации кислорода в атмосфере пожарного участка путем подачи в него инертного газа. Для этого, как правило, используют жидкий азот и установки для его газификации.

Газообразный азот обладает следующими свойствами:

- охлаждение очага пожара;
- инертизирует рудничную атмосферу азотом;
- плотность азота $1,25 \text{ кг/м}^3$, что немного меньше плотности воздуха ($1,29 \text{ кг/м}^3$), вследствие чего при подаче его в изолирующие пожарные участки он заполняет пустоты под кровлей и «всплывает» по восстающим выработкам;
- незначительно сорбируется породами;
- малорастворим в воде;

- для подачи азота с поверхности шахты в пожарный участок можно использовать любые шахтные трубопроводы;

- при атмосферном давлении азот безопасен для человеческого организма (пребывание человека в изолирующем дыхательном аппарате в атмосфере, которая содержит 100 % азота, не вызовет для него никаких последствий).

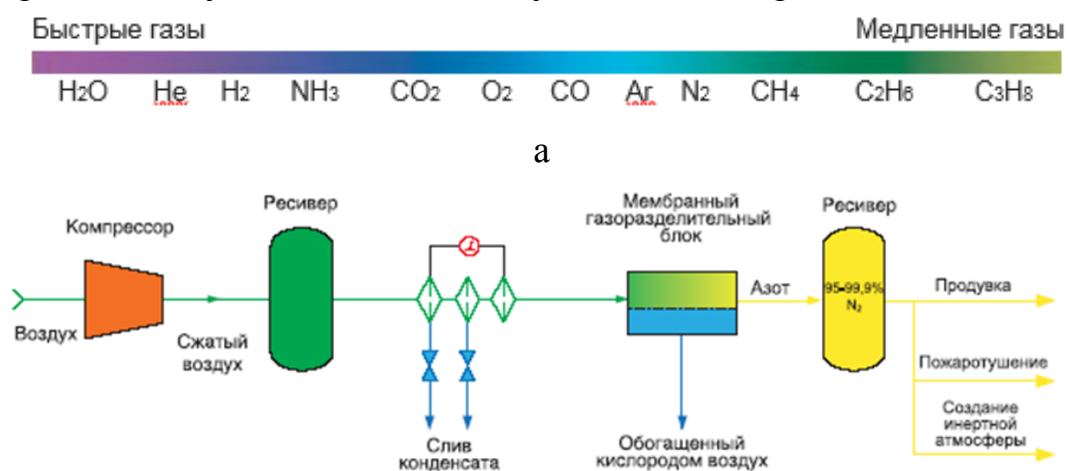
Инертизация с помощью газообразного азота позволяет решить следующие задачи в ходе ликвидации подземного пожара: сократить срок ликвидации аварии; ускорить охлаждения высокотемпературной зоны до безопасного уровня; сократить к минимуму или полностью прекратить процесс горения.

Основой мембранной технологии разделения газов является мембрана, с помощью которой происходит разделение газов.

Для технологий мембранного разделения газов применяется современная полволоконная мембрана, состоящая из пористого полимерного волокна с нанесенным на его внешнюю поверхность газоразделительным слоем. Пористое волокно имеет сложную асимметричную структуру, плотность полимера возрастает по мере приближения к внешней поверхности волокна. Применение пористых подложек с асимметричной структурой позволяет разделять газы при высоких давлениях (до 6,5 МПа).

Толщина газоразделительного слоя волокна не превышает 0,1 мкм, что обеспечивает высокую удельную проницаемость газов через полимерную мембрану. Существующий уровень развития технологии позволяет производить полимеры, которые обладают высокой селективностью при разделении различных газов, что, соответственно, обеспечивает высокую чистоту газообразных продуктов. Современный мембранный модуль, используемый для технологии мембранного разделения газов, состоит из сменного мембранного картриджа и корпуса. Плотность упаковки волокон в картридже достигает значений 3000 - 3500 м² волокна на 1 м³ картриджа, что позволяет минимизировать размеры газоразделительных установок.

Принцип получения азота из воздуха показан на рис. 5.



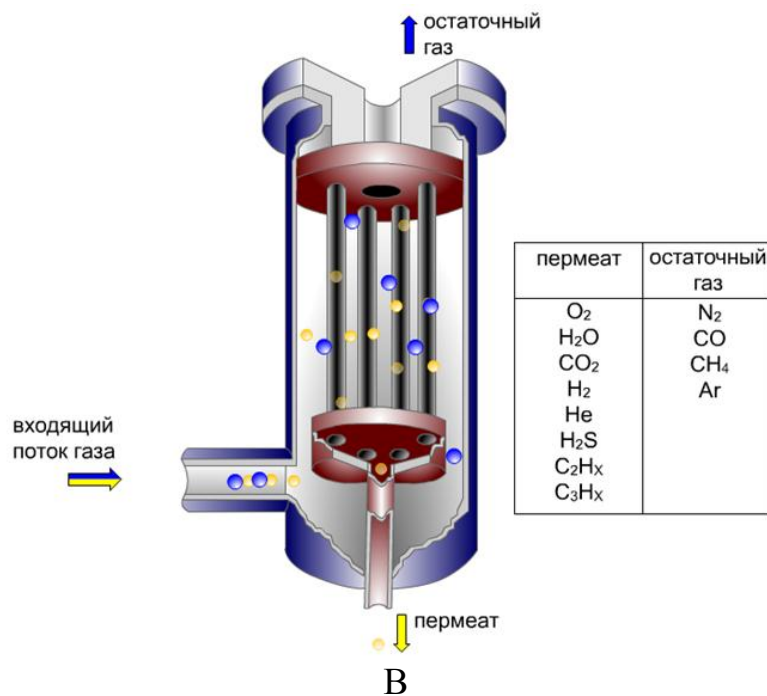


Рис. 5. Принцип получения азота из воздуха: а - Скорость проникновения газов через вещество мембраны, б - Принципиальная схема работы мембранных азотных установок, в - Схематическое изображение газоразделительного картриджа

Азотные установки позволяют получать азот до 5000 м³/ч при его чистоте от 90 до 99,95%.

Нагнетание в выработанное пространство газообразного азота и инертной пены

Газообразный азот в составе инертной пены и без нее производит инертнизацию атмосферы выработанного пространства, где приточки воздуха за счет заполнения пустот инертной пеной находятся в пределах, при которых обеспечивается (при заданном дебете газа) взрывобезопасное содержание кислорода, в том числе на выемочных полях, имеющих аэродинамическую связь с поверхностью (рис. 6).

Азот нагнетается в шахту и вытесняя другие газы, такие как метан, кислород и так далее, находящиеся в выработанном пространстве, предотвращает процесс возгорания, то есть делает процесс добычи угля безопасным.



Рис. 6. Мембранная азотная установка ГРАСИС

Азотная компрессорная станция предназначена для выработки азота из атмосферного воздуха. Он будет нагнетаться на шахтах в выработанное пространство, где существует возможность самовозгорания угля.

Суть способа локализации пожара с помощью водо-воздушной пены основан на таких свойствах пены, как способность ее проникать под давлением через обрушенные породы, заполнять пустоты между обрушенными кусками породы от почвы до купола обрушения, а также на ее свойствах сохранять определенное время свою структуру и не пропускать при этом потоки воздуха

Инертная пена представляет собой дисперсную систему, состоящую из пузырьков газа, разделенных тонкими пленками жидкости. Для образования устойчивых пен в жидкость вводят в небольших количествах (1...5%) пенообразователи, в состав которых входят поверхностно-активные вещества. В качестве пузырьков газа в данном продукте и используется газообразный азот. Пенная завеса, создаваемая между очагом, выработанным пространством, потушенными пожарами и очистным забоем, позволяет снизить концентрацию горючих газов до пожаробезопасных концентраций, предотвращает вынос горючих и пожарных газов в действующие выработки. Из жидкости, образующей пену, получается пленка. Эта пленка очень тонкая: в наиболее тонких частях ее толщина не превосходит стотысячной доли миллиметра. Несмотря на это, она очень устойчива. Пленка растягивается и деформируется, обволакивая твердые поверхности, а при порыве немедленно восстанавливается. Обработанные пеной разрыхленные породы покрываются пленкой жидкости, препятствующей проникновению кислорода к активному веществу серосодержащих руд. Пленка жидкости, образующаяся после подачи пены на поверхности руды и породы, снижает интенсивность самонагрева за счет дополнительных потерь тепла на нагрев и испарение жидкости, а также в результате роста коэффициента теплопроводности и теплоемкости скопления. Для генерации пены может использоваться генератор пены азотный ГПА-1 (рис. 7).



Рис. 7. Генератор пены азотный ГПА-1

Он предназначен для смешивания воды с пенообразователем, генерации инертной пены за счёт впрыска газообразного или жидкого азота в пенообразующую смесь и нагнетания её по скважинам и подземным трубопроводам в зоны формирования очагов самовозгорания с целью их профилактики, локализации и тушения. Генерацию пены предпочтительно производить в подземных условиях непосредственно перед подачей в очаг самовозгорания сульфидных руд. Для этого необходимо иметь емкость с водой и склад хранения пенообразователей.

Тушение эндогенного пожара

1. Локализация участка

Для исключения притока кислорода к очагу эндогенного пожара выработанное пространство в районе очага должно быть изолировано путем установки изолирующих перемычек и покрытия подходных выработок плёнкообразующим компонентом, обеспечивающим уменьшение диффузии и просачивание кислорода к очагам самовозгорания сульфидных руд в виде утечек воздуха, который фильтруется через тело перемычки и трещины во вмещающих выработку породах.

Технология тушения пожаров инертизацией выработанных пространств азотом хорошо себя зарекомендовала и прошла практическую апробацию на ОАО «Прокопьевскуголь», ООО «Шахта «Красногорская», ООО «Шахта «им. Ворошилова», ООО «Шахта «Зиминка», ООО «Шахта им. Дзержинского», шахте Распадская, ОАО «Шахта им. Ленина», ООО «Спецуправление» и др. Компактные азотные генераторы успешно эксплуатируются на шахтах американских компаний: Patriot Coal (шахты в Аппалачах и в Иллинойсе); Independence Coal (штат Западная Виргиния); Massey Energy (штаты Западная Виргиния, Кентукки и Виргиния); Eastern Coal (штат Кентукки).

Для практической реализации данной технологии промышленностью широко выпускаются мембранные воздухоразделительные азотные

установки, например, ЗАО «Грасис» (г. Москва), ООО «Тегас» (г. Краснодар), ООО «Челябинский компрессорный завод», ОАО «Криогенмаш» (г. Балашиха) и др.

Тушение пожара, вариант 1. Наземная азотная мембранная установка с пеногенератором

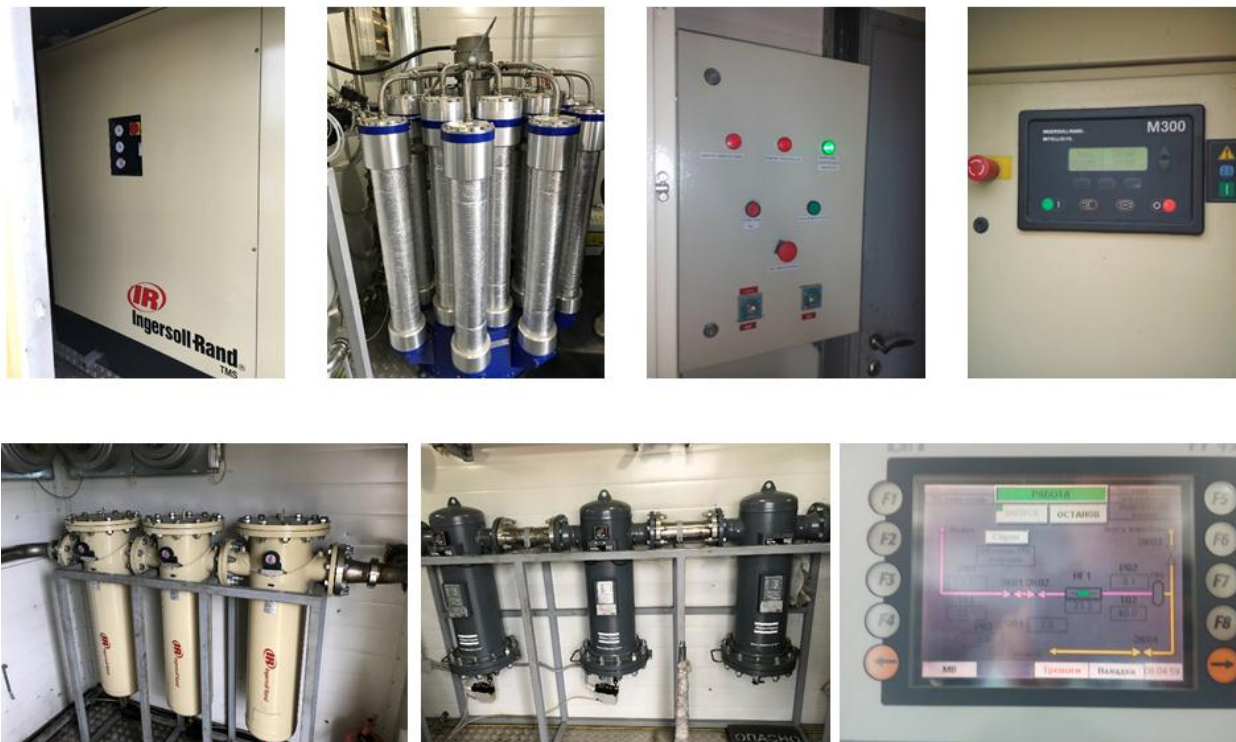


Рис. 8. Наземная азотная мембранная установка «ГРАСИС»

Подача газообразного азота:

- по обсаженной скважине с поверхности в выработанное пространство.
- по пожарным рукавам и далее по горным выработкам по пожарным рукавам в выработанное пространство.

Генерацию пены предпочтительно производить в подземных условиях непосредственно перед подачей в очаг самовозгорания сульфидных руд. Для этого необходимо иметь емкость с водой и склад хранения пенообразователей.

Преимущества и недостатки варианта 1: Наземная азотная мембранная установка с пеногенератором

- Высокая производительность по азоту - $\sim 650 \text{ м}^3/\text{ч}$
- Оператор азотной установки работает на поверхности
- Стоимость наземной установки для производства азота – от 30 млн. руб.
- Требуется разработка мер по транспортировке азота: бурение скважин или прокладка азотных магистралей

Тушение пожара, вариант 2. Малогабаритная азотная мембранная установка шахтного исполнения с пеногенератором.

Подача газообразного азота и инертной пены производится по трубопроводу или пожарному рукаву через изолирующую перемышку в выработанное пространство.

В данном варианте ведения работ необходимо:

- в непосредственной близости от пеногенератора устанавливать емкость под воду и склад хранения пенообразователей.

- требования к изоляции выработанного пространства - как в варианте 1.

Азотная установка может быть малогабаритной или разборной (подходящей для транспортировки по горным выработкам).

Преимущества и недостатки варианта 2: Малогабаритная азотная мембранная установка шахтного исполнения с пеногенератором.

• Установка оборудования непосредственно рядом с местом ведения работ

• Возможность перемещения установки

• Стоимость установки для производства азота шахтного исполнения – от 30 млн. руб.

• Низкая производительность по азоту - $\sim 150 \text{ м}^3/\text{ч}$.

• Нагрев шахтного воздуха от работы компрессора

• Оператор азотной установки работает в подземных условиях

Тушение пожара, вариант 3. Малогабаритная азотная установка с жидким азотом на рельсовом ходу с емкостью для жидкого азота и пеногенератор.

Оборудование устанавливается в районе ведения работ, подача газообразного азота и инертной пены производится по трубопроводу или пожарному рукаву через изолирующую перемышку в выработанное пространство.

Для работы установки необходимо снабжать ее жидким азотом (рис. 9), а также иметь емкость с водой и склад хранения пенообразователей. Требования к изоляции выработанного пространства - как в варианте 1.



Рис. 9. Емкость с жидким азотом

Преимущества и недостатки варианта 3: Малогабаритная азотная установка с жидким азотом на рельсовом ходу с емкостью для жидкого азота и пеногенератор.

- Высокая производительность по азоту - $\sim 650 \text{ м}^3/\text{ч}$
- Низкая стоимость оборудования
- Дополнительное охлаждение шахтного воздуха при испарении жидкого азота
- Ежедневная транспортировка емкостей с жидким азотом в шахту
- Транспортировка и хранение запасов жидкого азота на поверхности

Утилизация метана

Параллельно с локализацией и тушением пожаров может выполняться утилизация метана.

Так, например, в 2009 году на шахте им. С.М. Кирова была построена стационарная вакуумно-насосная станция, смонтирована вакуумная установка для сжигания метана, в котельной установлено оборудование, позволяющее производить совместное сжигание угля и газа, запущены в эксплуатацию три контейнерных электростанции PRO-2 (Германия) суммарной мощностью 4 МВт/час (рис. 10). Реализованный проект позволил значительно сократить выброс парниковых газов, снизить потребности в электроэнергии, снизить скопление метана в шахте.

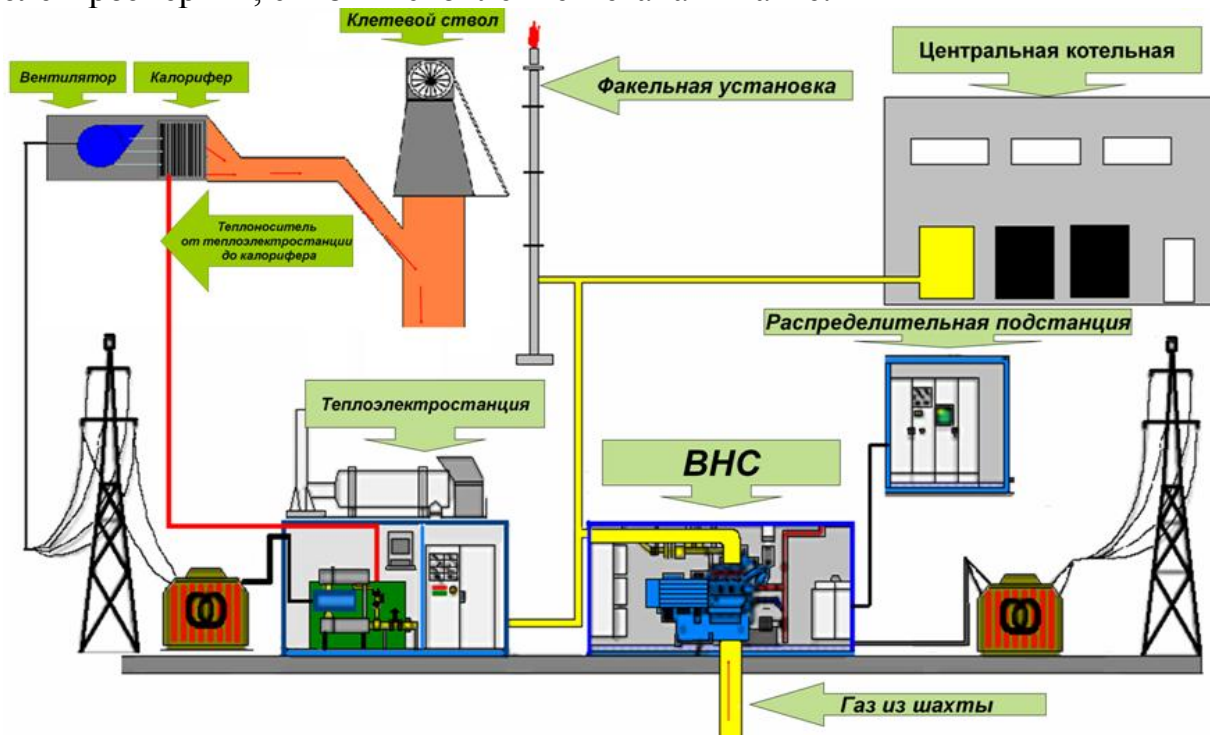


Рис. 10. Схема станции по утилизации метана

В зависимости от геологических особенностей пластов дегазация может проводиться посредством бурения вертикальных скважин в неотработанные

и обработанные участки или горизонтальных и наклонных скважин из шахтного пространства.

Официальный мировой рекорд суточного подземного бурения, установленный на шахте имени Кирова буровой установкой с системой ориентирования в пространстве VLD 1000А (Австралия) - 564 метра дегазационных скважин диаметром 96 мм (рис. 11).



Рис. 11. Буровая установка с системой ориентирования в пространстве VLD 1000А (Австралия)

Список литературы

1. Руководство по борьбе с эндогенными пожарами на шахтах Миуглепрома СССР, Минуглепромом СССР, 1990.
2. Экспертное заключение о причинах самонагревания горных пород в выработках рудника «Орловский» ТОО «Востокцветмет» // ТОО Научно-инженерный центр «ГеоМарк», Караганда, 2014.
3. Технические условия «Азот газообразный и жидкий» // ООО «Инерт газ сервис», Оренбург, 2015.
4. Куглер У. Ликвидация пожара в шахте «Osterfeld» с применением азота // Глюкауф, 1975, №10. - С. 467-472.
5. Леман Г. Инертные газы для борьбы с подземными пожарами // Глюкауф, №8. - С. 357.
6. Белик И.П. Тушение пожара в тупиковых выработках // Безопасность труда в промышленности, 1979, №3. - С. 40-41.
7. Соболев Г.Г. Инертные газы – надежное средство предупреждения взрывов при подземных пожарах // Уголь, 1976, №3. - С. 40-41.
8. Ликвидация эндогенного пожара с помощью азота / В. Бот [и др.] // Глюкауф, 1975, №20. - С. 979-982.
9. Мюллер Р. Борьба с пожарами с помощью азота в ФРГ // Глюкауф, 1979, №19. - С. 944-949.

10. Борьба со скрытым подземным пожаром инертризацией азотом / Р. Мюллер [и др.] // Глюкауф, 1976, №14. - С. 810-816.
11. Борьба с открытым рудничным пожаром с применением азота / М. Генте [и др.] // Глюкауф, 1977, №8. - С. 407-411.
12. Костроц Х. Борьба с рудничными пожарами путем использования жидкого азота // Глюкауф, 1979, №10. - С. 490-492.
13. Руководство по применению инертных газов при ликвидации пожаров в шахтах, Донецк, 1989. - 190 с.
14. Твердов А.А., Ляхов А.В., Хазеев В.Б., Никишичев С.Б. Предупреждение и ликвидация пожаров на угольных шахтах с использованием современных некриогенных технологий инертирования азотом // Уголь, 2012, №9. – С. 48-52.
15. Ефимов В.И., Вибе Ю.В. Борьба с подземными пожарами путем инертизации выработанных пространств на шахтах ООО «Объединение «Прокопьевскуголь» // Известия ТулГУ, Науки о Земле, 2013, Вып. 2. – С. 29-41.
16. Венгеров И.Р. Теплофизика шахт и рудников. Математические модели, Том 1, Анализ парадигмы. - Донецк: Норд-Пресс, 2008. - 632 с.
17. Инструкция по изоляции неиспользуемых горных выработок и выработанных пространств в угольных шахтах и контролю качества изоляции", Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2014.
18. Алтаев Ш.А., Бекбаев С.М., Юсупова Г.М., Ахмеджанов Т.К., Ильясов К.О., Тшлканбаев Д.Ч. Анализ и прогноз условий возникновения и рецидива подземных пожаров на рудниках при слоевых системах разработки с обрушением // Комплексное использование минерального сырья, АН СССР, АН КазССР, Алма-Ата, 1990, №10 - С. 6-10.
19. Ахмеджанов Т.К., Жанбатыров А.А. Изменение температурного режима в объеме окисляющейся сульфидной руды // Повышение безопасности работ и совершенствование проветривания на горнодобывающих предприятиях Казахстана. - Алма-Ата, 1982.
20. Мананов В.Я. Классификация колчеданных и полиметаллических руд по степени склонности к самовозгоранию // Тр. ин-та Унипромедь. - Свердловск, 1978.
21. Завиркина Т.В. Обеспечение эндогенной пожаробезопасности выемочных полей на основе исследования процессов теплонакопления и массопереноса в выработанном пространстве // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2013. - №8. - С. 308-314.
22. Евсеев В.С. Схемы подачи гелеобразующих составов в выработанное пространство для предупреждения эндогенных пожаров «Комплексные способы борьбы с эндогенными пожарами: труды / Вост. науч.- исслед. ин-т по безопасности работ в горной промышленности, Кемерово, 1985. - С. 9-13.
23. Профилактика и тушение эндогенных пожаров: учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Подземная разработка

пластовых месторождений» для студентов специализации «Подземная разработка пластовых месторождений» и «Профилактика и тушение эндогенных пожаров» специализации «Технологическая безопасность и горноспасательное дело» / А.М. Вандышев. Урал. гос. горный ун-т. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013.