

# ИНЕРТИЗАЦИЯ ПРОТИВ ПОЖАРА

## ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ БОРЬБЫ С САМОВОЗГОРАНИЕМ УГЛЯ



**А.П. Федорович, к.т.н.,  
генеральный директор  
ОАО «РосНИИГД»**



**В.Г. Игишев, д.т.н.,  
профессор, заместитель  
генерального директора  
по научной работе  
ОАО «РосНИИГД»**

Аварии последних лет наглядно свидетельствуют о том, что работы по совершенствованию защиты шахт от пожаров и инициируемых ими взрывов не теряют своей значимости. Особенно актуальна эта проблема для Кузбасса, на долю которого приходится ежегодно 67 процентов эндогенных пожаров и 82 процента взрывов, из общего числа подобных происшествий, регистрируемых в шахтах России.

Основой успешной борьбы с эндогенными пожарами является понимание процессов, обуславливающих самонагревание и самовозгорание угля, которые остро обозначились во второй половине XVIII века в связи с его самовозгораниями на складах морских портов и в трюмах судов. С самого начала становления проблемы было очевидно, что их причиной является превращение химической энергии угля в тепловую.

Тепловой эффект окисления угля зависит от его объема, удельной теплоты сорбции, константы скорости реакции, концентрации кислорода и плотности скопления. В приходной статье теплового баланса угольного скопления, таким образом, имеются два управляемых параметра: химическая активность и концентрация кислорода. Как показала практика, попытки уменьшения влияния первого из них путем воздействия антипирогенами при возникновении очагов самовозгорания в выработанном пространстве (90% эндогенных пожаров в Кузбассе относятся к этому

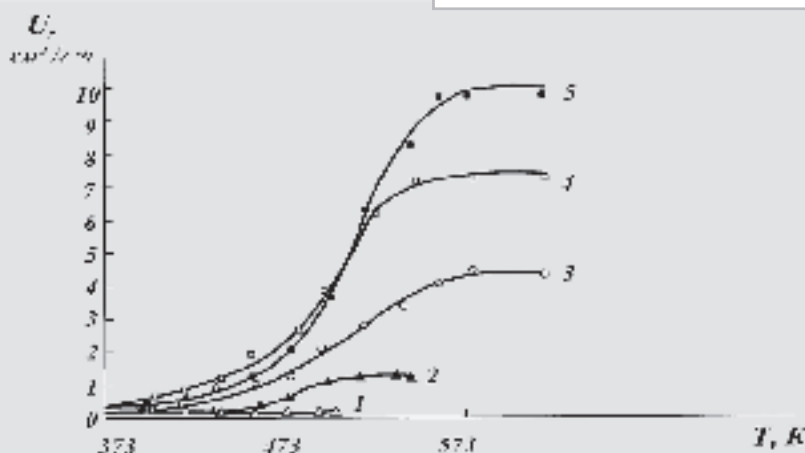


Рис.1. Кинетика сорбции кислорода углем при концентрации кислорода: 1 — 0,7%; 2 — 4,0%; 3 — 9,7%; 4 — 15,6%; 5 — 20,7%.

типу) оказались малопродуктивными. Положительные результаты, как за рубежом, так и в России (Кузбасс), достигнуты при применении инертного газа, снижающего концентрацию кислорода в зонах формирования угольных скоплений [1, 2].

Результаты лабораторных исследований кинетики сорбции кислорода углем при регулировании его концентрации в пределах от 0,7 до 20,8% приведены на рис 1. Для конкретных условий опытов (масса угля — 60 г, объемная скорость фильтрации — 500 см<sup>3</sup>/мин.) очевидно резкое изменение характера окисления при снижении концентрации кислорода до 9,7% и менее.

Процесс протекает в промежуточной области с переходом в диффузионное окисление. При этом термодинамическая стабилизация гетерогенной системы «уголь-воздух» имеет место при более низких температурах.

Изменение температуры уже сформировавшегося очага самонагрева исследовано на математической модели, описанной в работе [2]. При этом концентрация кислорода изменялась от 1,0 до 10,0%. Одновременно изменялась и скорость фильтрации в пределах (1,67 — 41,7) • 10<sup>-4</sup> м/с. Результаты исследований, выполненных при максимальной температуре очага 383 К, приведены на рис. 2. Они свидетельствуют о том, что уменьшение концентрации кислорода в фильтрующем газе позволяет снизить температуру очага. При этом эффективность такого воздействия зависит не только от концентрации кислорода, но и от скорости потока. Чем меньше скорость газа, тем меньше предельное значение концентрации кислорода, при котором происходит снижение температуры очага.

Моделирование и лабораторные опыты показали, что при концентрации кислорода менее 3% самовозгорание угольного скопления практически невозможно даже при очень низкой скорости фильтрации газа.

С использованием уравнения фильтрации на модели исследованы утечки воздуха в лаве в условиях нагнетания азота в разные зоны вы-

работанного пространства. Подача азота имитировалась созданием постоянного давления, равного давлению воздуха у входа в лаву. Распределение потоков фильтрующего воздуха и азота при его подаче в центре монтажной камеры и на расстоянии 150 м от лавы (у вентиляционного и конвейерного штреков) приведены на рис. 3.

Наименьший расход инертного газа (3 м<sup>3</sup>/мин.) необходим при подаче азота в район монтажной камеры. Однако при такой схеме нагнетания достигается инертнизация выработанного пространства на расстоянии, удаленном от линии забоя более чем на 150 м. Общие утечки воздуха при этом снижаются незначительно —

## СПОСОБ ТУШЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ С ПОМОЩЬЮ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ ИЗВЕСТЕН С КОНЦА XIX ВЕКА

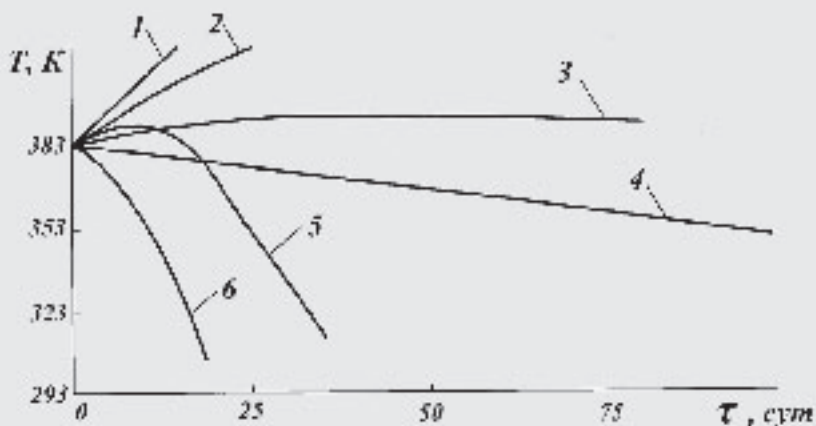


Рис.2. Влияние концентрации кислорода и скорости фильтрации газа на температуру очага: 1 — O<sub>2</sub> = 10%, V<sub>ф</sub> = 16,7 • 10<sup>-4</sup> м/с; 2 — O<sub>2</sub> = 5,0%, V<sub>ф</sub> = 1,67 • 10<sup>-4</sup> м/с; 3 — O<sub>2</sub> = 2,0%, V<sub>ф</sub> = 1,67 • 10<sup>-4</sup> м/с; 4 — O<sub>2</sub> = 1,0%, V<sub>ф</sub> = 2,78 • 10<sup>-4</sup> м/с; 5 — O<sub>2</sub> = 5,0%, V<sub>ф</sub> = 16,7 • 10<sup>-4</sup> м/с; 6 — O<sub>2</sub> = 3,0%, V<sub>ф</sub> = 41,7 • 10<sup>-4</sup> м/с;

## ИССЛЕДОВАНИЯ

с 16,2 до 15,7 м<sup>3</sup>/мин. По мере перемещения источника инертного газа к линии очистного забоя эффективность инертизации увеличивается при одновременном возрастании его расхода. При подаче азота в район конвейерного штрека на расстоянии 150 м от забоя удается инертзировать зону, удаленную от забоя на 50 м. Утечки воздуха в этом случае уменьшаются до 8,1 м<sup>3</sup>/мин., а расход азота увеличивается до 20 м<sup>3</sup>/мин.

Способ тушения подземных пожаров с помощью инертных газов известен с конца XIX века. Первоначальное применение инертных газов было вызвано невозможностью потушить пожары другими имевшимися средствами. Инертизация атмосферы пожарных участков имела две цели: снизить содержание кислорода в районе очага, для того чтобы остановить развитие процесса горения или хотя бы сократить его до минимума, и создать невзрывоопасную газозвдушную смесь. Действие, оказываемое сравнительно малым количеством

инертного газа, регулярно вводимым в район пожара, заключалось не столько в тушении огня, сколько в прекращении проникновения в зону пожара путем уравнивания резких изменений давления в районе пожара.

Инертные газы применяются как основное средство и как дополнительное к другим методам тушения пожара. Различают объемную и объектную (направленную) инертзацию. При объемной инертзации изолированное пространство пожарного участка заполняется газом, что позволяет быстрее возобновить работы на этом участке. Направленная (объектная) инертзация предусматривает подачу газа непосредственно к очагу самовозгорания и применяется обычно для инертзации зоны очага в условиях нормального проветривания пожарного участка.

Анализ литературы данных, выполненный в работе [3], позволил сделать следующий вывод. В последние годы четко прослеживается тенденция к

использованию инертных газов для предупреждения и локализации очагов самонагревания и самовозгорания в выработанном пространстве действующих выемочных полей без прекращения работ по выемке угля. В качестве инертных газов использовались топочные газы, углекислота, водяной пар, азот. Начиная с 1970-х годов заметное предпочтение отдается азоту, имеющему ряд преимуществ при его получении, транспортировке, хранении, газификации и запуске в горные выработки. Азот в пожарные участки подается как в жидком, так и в газообразном виде.

Недостаток инертных газов, в том числе и азота, обусловлен большим расходом по инертзации пожарного участка. В среднем на один эндогенный пожар при его локализации без остановки очистных работ расходуется 2,7 млн. т газообразного азота (более 3000 т жидкого). В Германии при тушении одного из пожаров было подано 10 млн. м<sup>3</sup> газообразного азота [1].

Для уменьшения расхода азота в практике борьбы с самовозгоранием угля в шахтах Кузбасса с 1980 г. его применяют в связанном в пену виде. По данным РосНИИГД, это позволяет при одной и той же эффективности на порядок уменьшить расход жидкого азота на одно выемочное поле. Однако при этом эффективность и масштабы работ зависят от поставок жидкого азота из г. Новосибирска и пенообразователя из западных областей России.

В конце XX века проблемы в снабжении аварийных объектов промышленности, в том числе и шахт, азотом удалось решить путем создания и освоения двух новых систем его генерации. Обе системы осуществляют генерацию азота на базе сжатого воздуха. Первая — способом короткоциклового адсорбции с использованием в качестве сорбента кислорода активированного угля, вторая — путем мембранного разделения газов. В Кузбассе в настоящее время приобретены и находятся в работе обе системы генерации. Первая из них (китайского производства) на шахте «Ольжерасская» с 2006 г. используется для профилактики эндогенных пожаров при отработке лавы 21-1-5 по технологии выпуска верхней толщи пласта под комплекс в первом слое.

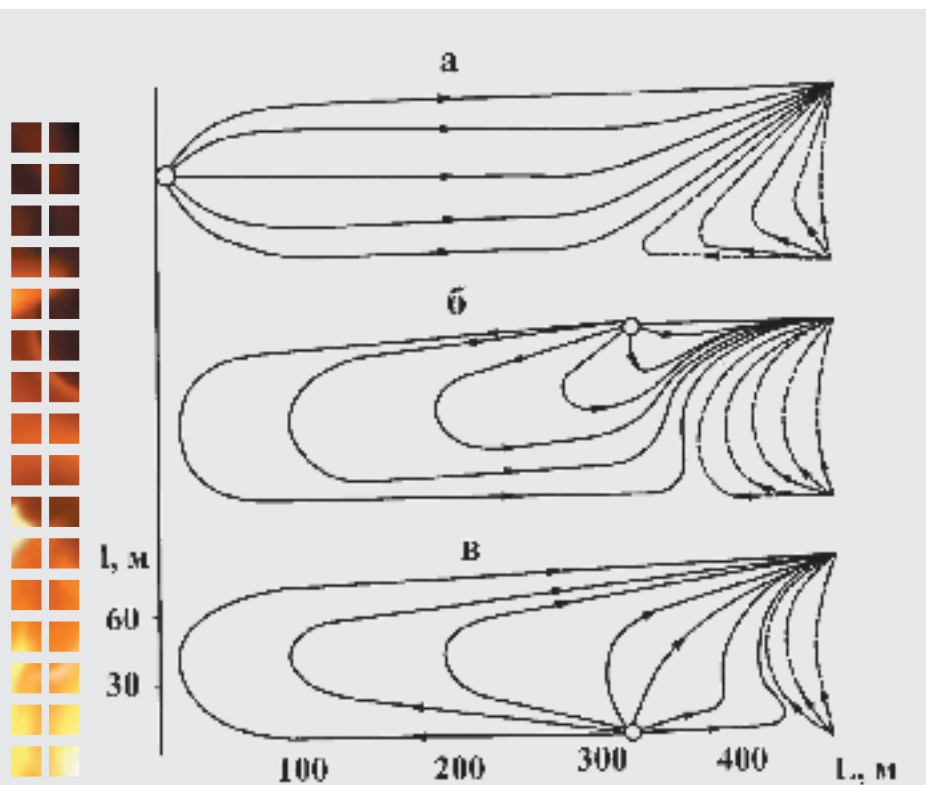


Рис.3. Распределение токов воздуха и азота в выработанном пространстве:  
 — токи воздуха; — токи азота; о — точка ввода азота  
 (а — в монтажной камере, б — на вентиляционном штреке,  
 в — на конвейерном штреке).



В установках второго типа используются мембранные сепараторы. Эти сепараторы состоят из пучка полых волокон в цилиндрическом кожухе. По мере подачи сжатого воздуха в сепаратор кислород, диоксид углерода и водяной пар проникают в стенки волокон на более высокой скорости, чем азот, оставляя за собой поток сухого азота. Поток вторичного, обогащенного кислородом продукта выпускается в атмосферу. Азот требуемой чистоты выходит из сепаратора под давлением питающего систему компрессора.

В России установки второго типа изготавливаются на ряде заводов, из которых наиболее известным, благодаря обслуживанию космических программ, является ОАО «Криогенмаш» (г. Балашиха Московской области). С 1975 г. по 2007 г. здесь изготовлено более 200 установок нового поколения. Одна из таких установок (МВ-09 производительностью 1000 м<sup>3</sup>/ч) в Кузбассе применяется с мая 2007 г. при тушении пожаров на шахтах «Комсомолец», «Польсаевская», им. Дзержинского. С февраля 2008 г. установка задействована на подавлении самонагревания угля в лаве 5а-7-26 на шахте «Распадская».

На рис. 4 показано размещение газоразделительной установки вблизи скважины, пробуренной в выработанное пространство аварийной лавы. По состоянию на 10.07.08 г. при непрерывной автономной работе на установке МВ-09, обслуживаемой двумя операторами, не было ни одной остановки из-за технических неполадок. За время работы на этом объекте генерация азота составила 3 млн. м<sup>3</sup>. Производительность установки соответствовала паспортной — 1000 м<sup>3</sup>/ч. Концентрация примеси кислорода не превышала 2,5%.

В ходе ликвидации очага самонагревания установка неоднократно переключалась на режим генерации инертной пены. Ни в одном из этих случаев осложнений в работе установки не наблюдалось.

Институт РосНИИГД, являясь головным по проблемам борьбы с самовозгоранием угля в шахтах России, с 1980 г. отслеживает состояние научных исследований и опыт практической реализации по профилактике



и тушению эндогенных пожаров с применением инертного газа. Это позволяет сделать следующие обобщающие выводы:

1. Инертизация выработанных пространств азотом является перспективным направлением защиты шахт Кузбасса от эндогенных пожаров и инициируемых ими взрывов газа и пыли.

2. Из реализованных в Кузбассе двух способов получения азота (газификация жидкого азота и разделение с помощью молекулярных сит) предпочтение должно быть отдано способу его генерации с использованием мембранных сепараторов. Это обусловлено простотой монтажа, высокой оперативностью при реализации в аварийных ситуациях, низкими эксплуатационными расходами,

автономностью, независимостью от поставщиков и, как следствие, низкой (более чем в 2 раза) стоимостью получаемого азота.

3. Используемая в Кузбассе с 2007 г. мембранная воздухоразделительная установка МВ-09, изготовленная на заводе «Криогенмаш» (г. Балашиха, Московская обл.) зарекомендовала себя как надежное техническое средство бесперебойной генерации газообразного азота.

Наличие в Кузбассе специальной компании по сервисному обслуживанию таких установок («Азот Сервис») позволяет рекомендовать их в качестве технической базы для объемной и объектной инертизации профилактических и аварийных выемочных полей, как силами шахт, так и силами ВГСЧ.

**1. Хайн Н. Кок Ф.-И. Тактика применения азота при ликвидации подземных пожаров и задачи горноспасателей.** Глюкауф. 1980. № 15. С. 16-21.

**2. Игишев В.Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах.** М. Недра. 1987. С. 177.

**3. Игишев В.Г., Малахов А.Н., Федорович А.П. Локализация и тушение пожаров в шахтах с применением холодного газификатора ГАС-100.** Кемерово. Кузбассвуиздат. 2007. С. 55.