

## К ВОПРОСУ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ГОРНОГО МАССИВА В ВЫРАБОТКАХ ГЛУБОКИХ ШАХТ

*А.А. Мартынов, В.И. Зазимко, А.К. Яковенко, ГП «Донецкий экспертно-технический центр Госгорпромнадзора Украины», Украина*

Рассмотрены известные и предложены новые способы и средства теплоизоляции высокотемпературного горного массива в воздухоподающих выработках выемочных участков глубоких шахт, являющейся неотъемлемой частью комплекса мер в решении проблемы борьбы с высокими температурами рудничной атмосферы. Для теплоизоляции стенок выработок предложен способ, основанный на применении вспенивающихся при соединении двух жидких компонентов с образованием отвердевшего покрытия (слоя пены) с низким коэффициентом теплопроводности.

Угольные месторождения Украинского Донбасса характеризуются сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями разработки угольных пластов: большой глубиной разработки (до 1400 м), малой мощностью пластов (0,5-1,8 м), высокой их газоносностью, наличием в кровле и почве слабых неустойчивых горных пород, высокими значениями водопритоков в горные выработки, склонностью многих пластов к внезапным выбросам угля и газа и самовозгоранию угля.

Шахты характеризуются при преимущественно длительных сроках эксплуатации от 40 до 100 лет многоступенчатостью вскрытия глубоких горизонтов, сложными протяженными и разветвленными вентиляционными сетями горных выработок с большим количеством вентиляционных сооружений и установленных перемычек. Следствием являются высокие значения внутренних утечек воздуха, подаваемого на проветривание очистных и подготовительных тупиковых забоев глубоких горизонтов.

Одной из наиболее актуальных и сложных в решении горнотехнических проблем является в настоящее время поддержание в горных выработках глубоких шахт температурного режима, соответствующего для нормальной трудовой деятельности горняков в подземных условиях. Естественная температура горного массива на обрабатываемых шахтами горизонтах 1000-1400 м составляет 40-52°C, а температура рудничной атмосферы в выработках без принятия специальных мер превышает установленные Правилами безопасности нормы [1].

Исследованиями установлено, что одним из перспективных технических направлений в борьбе с формированием высоких температур воздуха в горных выработках глубоких горизонтов шахт является теплоизоляция стенок горных выработок. Последняя уменьшает тепловыделение горного массива и соответственно способствует снижению нагрева воздуха по длине горной выработки.

При теплоизоляции стенок выработок снижается величина теплового потока из горного массива в воздух за счет искусственного создания термического сопротивления на границе сред горный массив - воздух и уменьшения количества испаряющейся влаги, поступающей из массива.

Снижение теплоотдачи стенок горных выработок может быть целесообразным для свежепройдённых выработок, так как с увеличением времени проветривания возрастает глубина охлажденной зоны горных пород, которая в свою очередь представляет собой термическое сопротивление на пути теплового потока. В связи с этим, применение теплоизоляции может быть эффективным для горных выработок, находящихся в стадии проходки, и воздухоподающих участков выработок, по которым воздух подается на проветривание лав.

В качестве теплоизоляционных материалов в шахтных условиях могут использоваться различные пористые материалы или изделия из них, которые обладают низким коэффициентом теплопроводности, а также низкой влагопроницаемостью и огнестойкостью,

хорошей адгезией к горным породам, долговечностью, не выделяющими токсичных веществ. Теплоизоляционные покрытия должны быстро и легко устанавливаться в горных выработках и быть относительно недорогими.

Из литературных источников известны различные способы теплоизоляции стенок горных выработок в глубоких шахтах и рудниках [2,3].

ДонУГИ более 15 лет назад была разработана технология теплоизоляции стенок выработок, заключающаяся в оборудовании специального теплоизоляционного ограждения на стенках и кровле (на затяжках) в промежутке между выступами стоек (арок) крепи (рис. 1) [3].

Разработанная конструкция теплоизоляции [3] состоит из двух слоев (рис.1). Основной внешний слой выполняется из плит (блоков) пеностекла или теплоизоляционных плит из фенольно-резольного пенопласта, применяемых в строительстве. Указанные теплоизоляционные плиты закрепляются на стенке выработки с помощью пенополиуретана КН-96.

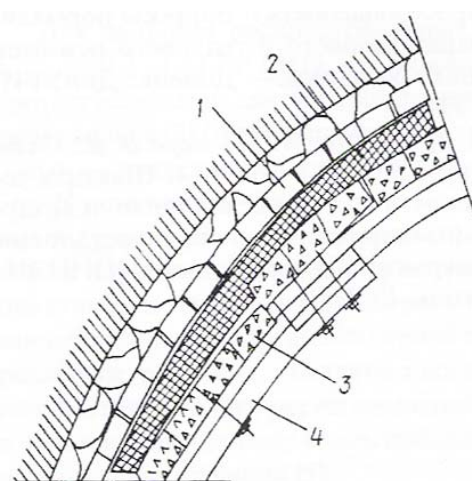


Рис. 1. Конструкция теплоизоляционного ограждения:  
1 – затяжка; 2 – слой пенополиуретана;  
3 – блоки (плиты) теплоизоляции; 4 – арка крепи

Данная технология теплоизоляции [3] была испытана в реальных условиях при проходке 6-го западного конвейерного штрека на глубине 1237 м шахты «Шахтерская - Глубокая». Температура вмещающих горных пород в штреке составляла 45°C. Результаты испытаний данной технологии на практике положительные. Через 2,5 месяца нанесенный на стенки штрека теплоизоляционный слой сохранил целостность и предусмотренные расчетным путем свои теплоизоляционные свойства. Из-за ограниченного количества оборудованного в штреке изоляционного покрытия эффективность его в отношении влияния на формирование климатических условий по длине выработки не оценивалась. Однако следует отметить, что применение данной теплоизоляции на глубоких горизонтах позволит позитивно влиять на улучшение микроклимата в выработках за счет снижения нагревания воздуха по пути движения его к забоям [3].

На практике указанные выше технология и материалы теплоизоляции стенок горных выработок в глубоких шахтах Украины в настоящее время по различным причинам не применяются, что негативно отражается на формировании температурных условий в выработках глубоких горизонтов действующих шахт.

Для теплоизоляции стенок горных выработок, на наш взгляд, наиболее технологичным в шахтных условиях является способ, основанный на применении вспенивающихся при соединении двух жидких компонентов (материалов) с образованием отвердевшего покрытия (пены) [4]. При наличии таких исходных материалов работы по теплоизоляции стенок

выработок осуществляются непосредственно на месте применения.

В условиях высоких температур горных пород теплоизоляцию стенок горных выработок целесообразно применять на участках с искусственным охлаждением воздуха в воздухоподающих выработках по ходу движения холодного воздуха. Эффект, который можно получить в снижении затрат на кондиционирование в результате применения теплоизоляции выработок, имеет предел, определяемый долей ее влияния (участия) в общем тепловом балансе охлаждаемого участка.

По данным зарубежных исследований, для примера, рассмотрим эффект от теплоизоляции стенок горной выработки пенополиуретаном [5].

Промышленная проверка эффективности теплоизоляции стенок горной выработки пенополиуретаном [5] производилась в глубоком руднике с естественной температурой горных пород в массиве 50°C. Скорость проведения выработки составляла 100-120 м/мес. Выработка крепилась анкерами или арочной крепью. Для создания нормального теплового режима в забое выработки и по ее длине применяли передвижные холодильные установки холодопроизводительностью 140 кВт. При этом, одна из холодильных установок работала постоянно на забой и передвигалась вслед за ним, а остальные были установлены на расстоянии 150-180 м друг от друга и обеспечивали промежуточное охлаждение воздуха по всей длине выработки.

Нанесение слоя теплоизоляции (пенополиуретана) толщиной 40-50 мм на стенки выработки позволило снизить величину удельного теплового потока из горного массива в 5 раз, что, в свою очередь, позволило уменьшить число передвижных кондиционеров, работающих в выработке, и в то же время сохранить нормальные условия труда горнорабочих [5].

Способ возможного применения вспенивающихся материалов в угольных шахтах Украины для теплоизоляции стенок горных выработок до настоящего времени мало изучен и на практике не используется. Однако, этот способ теплоизоляции является перспективным в связи с дальнейшим углублением горных работ на шахтах Донбасса и возрастанием температуры окружающих горные выработки пород на добычных горизонтах до 50°C и более.

В связи с этим, в качестве концептуального направления в решении проблемы регулирования микроклимата шахтного воздуха на больших глубинах предложена новая технология теплоизоляции горного массива в участковых воздухоподающих выработках со стороны выработанного пространства лав [6].

Теплоизоляция стенок в этих выработках необходима для существенного уменьшения теплопритока в рудничную атмосферу из высокотемпературного горного массива, с одной стороны, а с другой – снижения потерь выработанного холода и более эффективного его использования в регулировании температуры шахтного воздуха.

На основании анализа известных способов теплоизоляции горного массива в выработках, применения тех или иных теплоизоляционных материалов и устройств и выполненных исследований разработано принципиально новое техническое решение по теплоизоляции стенок горных выработок [7].

Сущность его заключается в упорядоченном размещении эластичных емкостей, заполненных газообразной инертной средой, между элементами арочного крепления без загромождения поперечного сечения выработки.

Данное техническое решение в сравнении с известными имеет следующие преимущества: простота конструкции теплоизоляционного покрытия, его монтажа, высокие теплоизоляционные характеристики, возможность повторного использования (рис.2).

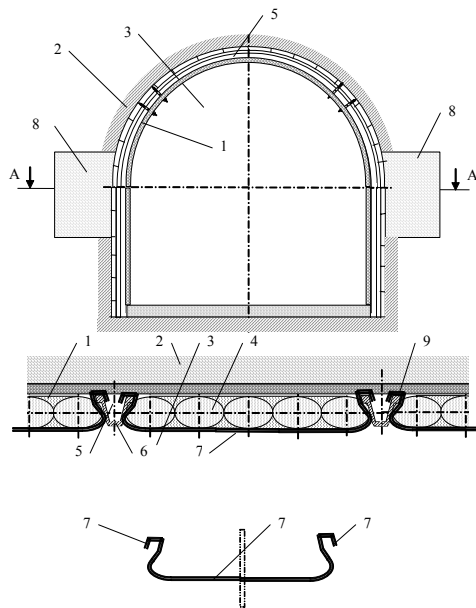


Рис..2. Принципиальная схема теплоизоляции стенок выработки

На рис.2. изображена горная выработка с устройством теплоизоляции ее стенки, включающим эластичные емкости 1, заполненные воздухом. Емкости установлены между массивом (затяжкой) 2 и выработкою 3 и выполнены в виде секционных баллонов 4. Их длина и ширина соответствуют расстоянию между рамами крепления 5 и периметру рамы, а толщина – высоте спецпрофиля рамы 6. Емкости 1 закрепляются на рамах крепления 5 с помощью гибких связей 7, 8 – угольный пласт (выработанное пространство).

Тепловыми расчетами участковой воздухоподающей выработки с теплоизоляцией стенок при толщине заполненной воздухом эластичной емкости 100-120 мм установлено, что коэффициент теплоотдачи горного массива при применении такого теплоизоляционного покрытия уменьшается в 14 раз.

Заполнение эластичных емкостей воздухом придает теплоизоляционному покрытию податливость и возможность изменять конфигурацию, что обеспечивает герметичность теплоизоляции в период ее эксплуатации при деформациях крепи.

На это принципиально новое для угольной промышленности решение получен патент Украины [7]. Для применения на практике данного способа теплоизоляции требуется проведение дополнительных исследований и испытаний экспериментальных образцов теплоизоляции в натуральных условиях.

В конкретных условиях, наряду с указанным, в реализации предложенного способа [7] на практике может быть эффективным способ теплоизоляции горного массива в выработках, сущность которого заключается в последующем заполнении закрепленных на стенках участковой выработки эластичных емкостей с воздухом вспенивающимся составом (смола + катализатор) и образованием внутри емкости легкого пенопористого материала с низким коэффициентом теплопроводности [8].

На рис.3 приведена принципиальная схема теплоизоляции стенок горной выработки, закрепленной арочной металлической крепью с использованием в качестве затяжки металлической сетки. Теплоизоляция горного массива (зона А) может быть выполнена, например, путем заполнения «пустого» пространства на всем протяжении горной выработки за металлической сеткой-затяжкой вспенивающимся материалом с образованием легкой пористой пены с низким коэффициентом теплопроводности. В зоне В, дополнительно к уже имеющейся теплоизоляции, между рамами арочной металлической крепи устанавливаются и закрепляются эластичные емкости, наполняемые сжатым воздухом, а в последующем, при необходимости, вспенивающимся внутри материалом с образованием легкой пористой пены

с низким коэффициентом теплопроводности, без загромождения поперечного сечения горной выработки [8].

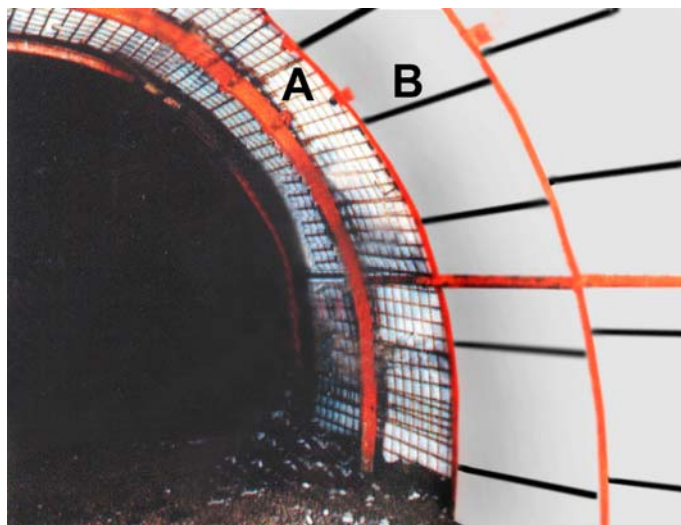


Рис.3. Принципиальная схема теплоизоляции горного массива по длине участковой воздухоподающей выработки:

зона А - «вспенившийся» легкий пористый материал; зона В - эластичные емкости, предварительно заполненные сжатым воздухом, в последующем – «вспенившимся» внутри материалом с образованием легкой пористой пены с низким коэффициентом теплопроводности

Другим перспективным направлением по теплоизоляции горного массива в выработках, уплотнению и изоляции выработанных пространств лав со стороны выемочных штреков является внедрение современных технологий и технических решений по физико-химическому укреплению горного массива, обрушенных горных пород и созданию различного типа теплогидроизоляционных полос и уплотнительных теплоизоляционных покрытий на основе быстро вспенивающихся при соединении полимерных материалов [4].

С целью уменьшения тепловыделения горного массива в воздухоподающих выработках выемочных участков и теплопритока из выработанного пространства лав наиболее целесообразными являются следующие технологические модули применения полимерных пен: уплотнение около штрековых бутовых полос или оборудование специальных полос для уменьшения утечек воздуха через выработанное пространство лав и соответственно уменьшения тепловыделений из него; теплоизоляция стенок горных выработок слоем пены с низким коэффициентом теплопроводности в период ее непосредственного создания в закрепленном арочной крепью пространстве. Одним из вариантов последнего является возведение теплоизоляционного покрытия из пены между элементами арочной крепи без загромождения сечения в свету горной выработки [7,8].

Для снижения тепловыделений в призабойных зонах тупиковых выработок в качестве теплоизоляционного материала в последнее время находит применение жидкая пена. Слой жидкой пены наносят на поверхность забоя, стенки призабойной части проводимой выработки и отбитую горную массу, находящуюся после взрыва в забое, при помощи передвижной пеногенераторной установки. Жидкая пена, состоящая из множества пузырьков, обеспечивает эффективную теплоизоляцию породы от окружающей атмосферы и снижение нагрева воздуха в забое. В то же время пена не мешает уборке породы и связывает пыль. Разрушаемый в процессе погрузки породы слой пены снова восстанавливают для образования надежной теплоизоляции.

Уплотнительные теплоизоляционные материалы (двухкомпонентные пены) получают в результате соединения двух жидких компонентов - смолы и катализатора.

В настоящее время известны специально разработанные для применения в подземных условиях легкие пены, например, производства фирмы «GarboTech» (Германия) и др., образуемые смешиванием двух компонентов в холодном виде с использованием сжатого воздуха.

Пены обладают хорошими уплотняющими свойствами, согласно техническим характеристикам фирм производителей, устойчивы к действию воды, устойчивы к воздействию температуры до +110 °С (температура разложения около +220 °С, без образования токсичных газов). Эти технологии с точки зрения влияния на формирование теплового режима горных выработок в глубоких угольных шахтах Украины еще недостаточно изучены, в связи с этим не получили широкого применения. Однако следует отметить, что применение двухкомпонентных полимерных составов при разработке глубоких горизонтов шахт может оказать позитивное влияние на улучшение температурных условий в горных выработках. Непременным условием применения в горных выработках шахт легких пористых материалов (пен) должно быть получение соответствующих разрешений органов государственного горного надзора в установленном в Украине порядке.

Для укрепления слабых неустойчивых горных пород в шахтах многие десятилетия использовались и продолжают использоваться композиции на основе карбамидной смолы и полиуретановых составов (полимерные клеи) отечественного и зарубежного производства.

В Украине освоен выпуск карбамидного состава «СКАТ» [9] на основе карбамидной смолы КФ-МТ-15. Данный упрочняющий состав характеризуется высокой проникающей способностью за счет низкой вязкости, полимеризуется в средах любой степени влажности и в широком диапазоне температур. Через 8 час после начала реакции прочность продукта на одноосное сжатие составляет 25-31 МПа, а через 30 суток достигает 45-65 МПа. Указанный состав апробирован на ряде шахт с положительными результатами и рекомендуется для промышленного применения по укреплению и гидроизоляции горных массивов [9].

Из зарубежных полиуретановых составов положительно зарекомендовали себя при выполнении работ по упрочнению и гидрогермитизации горных массивов «Беведол S-Беведан» («Garbo-Tech», Германия), «Випур» («Willich», Германия), ППУ-328 («Полимерсинтез», Россия) и др. Применение их на практике характеризуется очень малым периодом времени отвердевания, измеряемого в минутах, и последующей устойчивой адгезионной прочностью «склеенной» обработанной структуры горного массива.

В настоящее время рассматривается вопрос применения для упрочнения трещиноватых горных массивов путем инъекций в горный массив через специально пробуренные скважины высокопрочного конкурентного вышеуказанным составам полиуретанового клея типа «Marithan» («A.Weber», Франция). Клей получают из двух компонентов: смолы и катализатора. Смешивание этих двух компонентов в объемном соотношении 1:1 вызывает реакцию полимеризации, которая ведет к отвердеванию продукта.

#### Выводы.

В условиях высокотемпературного горного массива неотъемлемой частью при комплексном регулировании шахтного микроклимата, в том числе и при применении искусственного охлаждения воздуха на выемочных участках, должно являться внедрение эффективных способов и средств теплоизоляции горного массива для уменьшения теплоотдачи горного массива и потерь выработанного холода в выработках, в которых установлены воздухоохлаждающие установки для нормализации тепловых условий в очистных забоях.

Для теплоизоляции стенок горных выработок наиболее эффективным и технологичным является способ, основанный на применении вспенивающихся при соединении двух жидких компонентов с образованием отвердевшего покрытия (слоя пены) с низким коэффициентом теплопроводности.

#### Список литературы

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. НПАОП 10.0-1.01-10. – К., 2010. - 432 с.

2. Волощук С.Н., Андреев Г.Г., Мельниченко В.М. Кондиционирование воздуха на глубоком руднике. М., Недра, 1975. - 152 с.
3. Сучков А.Н., Шведик П.П. Технология изоляции стенок подземных выработок. - Уголь Украины. – 2000, №1. – С. 20-22.
4. Мартынов А.А., Малеев Н.В., Захаров В.С., Тулуб И.Б. Перспективы теплогидроизоляции и укрепления горного массива в глубоких угольных шахтах специальными двухкомпонентными составами / Известия Донецкого горного института: Всеукраинский научно-технический журнал горного профиля. – Донецк: ДонНТУ, 2003, №2. - С. 44-47.
5. Божилон В., Петров К. Тепло- и гидроизоляция – эффективное средство улучшения микроклимата в рудниках // Доклады 9-й сессии Международного бюро по горной теплофизике.- Польша: Гливице, 2000 - С. 245-255.
6. Мартынов А.А. Горнотехнологические основы комплексного регулирования теплового режима глубоких шахт с теплоизоляцией горного массива в выработках / Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-геологічна». Випуск 72/ Редкол.: Башков Є.О.(голова) та інш.- Донецьк: ДонНТУ, 2004. - С. 121-128.
7. Литвинский Г.Г., Мартынов А.А. Устройство для теплоизоляции и герметизации выработок. - Патент № 60721А Украины, 2004. - Бюл. №10.
8. Мартынов А.А., Малеев Н.В., Яковенко А.К. Комплексный подход в решении проблемы высоких температур воздуха в выработках глубоких шахт / Школа подземной разработки. Материалы VI Международной научно-практической конференции. - Днепропетровск: НГУ, 2012. - С. 39-47.
9. Канин В.А., Пашенко А.В. Новый состав для укрепления неустойчивых горных пород.- К. - Уголь Украины, №2-3, 2002.- С. 18-22.