

пожарных газов до и после завесы с помощью термопар, выведенных через колодцы к измерительным приборам.

Давление воды в пожаро-оросительном трубопроводе составило 0,23 МПа, что обеспечило его расход через ороситель около  $6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$  на 1 м поперечного сечения штольни, скорость проветривания тупика – 1 м/с. Для розжига древесины использовали около 100 л керосина. Через 5 мин после достижения температуры  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  в очаге пожара на высоте 1 м от почвы автоматически включилась водяная завеса. В это время температура пожарных газов за завесой имела значение  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ , а через 2 мин она достигла  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , контрольная крепь не загорелась. В результате пожар был локализован и потушен.

Сравнительные результаты теоретических и данных экспериментальных исследований по инерционности автоматического устройства (см. рис. 3) показывают, что максимальная погрешность составляет не более 10 %, что подтверждает достоверность теоретических зависимостей.

**Выводы.** На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований гидравлических и тепловых процессов, происходящих в тупиковой выработке при использовании водяной завесы, определены параметры полидефлекторного оросителя и запорно-пускового устройства установки, обеспечивающие эффективную локализацию и тушение пожара.

#### Список литературы

1. Козлюк А.И. Водоснабжение угольных шахт для борьбы с пожарами и пылью / А.И. Козлюк.– М.: Недра, 1979.– 207 с.
2. Козлюк А.И. Локализация пожаров в тупиковой выработке автоматической водяной завесой / А.И. Козлюк, А.И. Ивченко, И.Ф. Дикенштейн // Горноспасательная техника и противоаварийная защита шахт: сб. науч. тр. / МакНИИ.– Донецк, 1988.– С. 77-83.
3. Беляев Н.М. Методы теории теплопроводности / Н.М. Беляев, А.А. Рядно.– М.: Высшая школа, 1982.–304 с.

### КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА В ВЫРАБОТКАХ ГЛУБОКИХ ШАХТ

*А.А. Мартынов, Н.В. Малеев, Донецкий экспертно-технический центр Госгорпромнадзора  
Украины, Украина*

*А.К. Яковенко, Государственный Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности, Украина*

Обоснован комплексный подход в решении проблемы регулирования температуры рудничной атмосферы в глубоких шахтах. Рассмотрены применяемые и новые способы и средства по улучшению микроклимата в горных выработках. Предложено программное обеспечение тепловых расчетов выработок выемочных участков глубоких шахт.

В Донецком бассейне в настоящий период добыча угля на многих шахтах производится на глубинах более 1000 м. На целом ряде шахт («Шахтерская-Глубокая», им. А.А. Скочинского, им. А.Ф. Засядько, «Красный партизан» и др.) разработка угольных пластов осуществляется на горизонтах 1200-1400 м. При значениях геотермического градиента для шахтных полей, в большинстве случаев,  $0,029-0,032 \text{ }^\circ\text{C}/\text{м}$  температура горного массива на указанных выше глубинах составляет  $40-52 \text{ }^\circ\text{C}$ . В таких сложных горнотехнических и геотермических условиях ведения горных работ одной из проблем, которая требует самого пристального внимания и принятия своевременных действенных мер, является формирование крайне «жесткого» теплового режима горных выработок. Температура воздуха в выработках глубоких горизонтов шахт, где постоянно в течение рабочей смены работают люди, без реализации эффективных мер по ее снижению может достигать  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  и более. Указанные значения температур воздуха в выработках недопустимы действующими

в угольной промышленности Украины нормативно-правовыми документами [1,2]. Очевидно, что от своевременного решения данной проблемы зависит обеспечение безопасных и здоровых условий труда в выработках глубоких шахт.

На основании выполненных в последние два десятилетия аналитических и экспериментальных исследований, полученных научных и практических результатов [3,4] установлено, что вопросы регулирования температурных условий в глубоких угольных шахтах Донбасса могут позитивно решаться (полностью или частично в зависимости от глубины разработки пластов и геотермических характеристик шахтных полей) только при реализации комплексного подхода в регулировании микроклимата в очистных и подготовительных тупиковых выработках глубоких горизонтов.

Комплексный подход в регулировании теплового режима глубоких шахт заключается в совокупном взаимоувязанном между собой применении на практике рациональных по тепловому фактору горнопланировочных решений по вскрытию и подготовке глубоких горизонтов, рациональных по тепловому фактору технологических схем и параметров отработки выемочных полей с обеспечением интенсивного проветривания очистных забоев и применении эффективных систем и средств искусственного охлаждения воздуха.

Как известно, для улучшения тепловых условий в горных выработках шахтами должны выполняться, в первую очередь, горнотехнические мероприятия по снижению нагрева воздуха, поступающего на проветривание лав и тупиковых подготовительных выработок.

Целесообразными горнотехническими решениями по регулированию теплового режима выемочных участков глубоких угольных шахт являются: вскрытие глубоких горизонтов дополнительными отнесенными по падению пластов вертикальными воздухоподающими стволами или скважинами большого диаметра [3]; бурение в отдельных конкретных случаях фланговых вентиляционных скважин большого диаметра для вывода исходящей струи воздуха; подготовка шахтных полей с обеспечением обособленного проветривания общешахтных и групповых транспортных выработок с конвейерной доставкой угля; применение рациональных по тепловому фактору технологических схем и параметров разработки угольных пластов [3,4]; применение рациональных по тепловому фактору схем и параметров проветривания глубоких горизонтов шахт, крыльев шахт, блоков, выемочных участков (с обеспечением максимально допустимой скорости воздуха в лавах); исключение последовательного проветривания подготовительных тупиковых выработок и выемочных участков; снижение величины утечек воздуха через выработанное пространство лав и соответственно уменьшение поступления тепла в выработки выемочных участков из зоны выработанного пространства; осушение воздухоподающих выработок, особенно в пределах выемочных участков, где сопряженные процессы тепломассообмена рудничного воздуха с горным массивом протекают наиболее интенсивно; применение теплоизоляции стенок горных выработок [3,4].

Осуществление на действующих глубоких шахтах только отдельных из перечисленных выше горнотехнических решений или специальных мер, в том числе и искусственного охлаждения воздуха, в условиях разработки пластов с высокой температурой вмещающих горных пород, как показывает практика, не обеспечивает поддержание температурных условий в выработках выемочных участков в пределах допустимых норм.

Данный вывод подтверждают результаты многочисленных шахтных наблюдений, научных исследований, разработок и внедрения средств искусственного охлаждения воздуха в глубоких шахтах Донбасса [4].

Последнее объясняется весьма высокими значениями необходимой холодопотребности для нормализации тепловых условий в лавах и выработках выемочных участков глубоких горизонтов шахт. Холодопотребность только одной лавы на шахтах глубиной 1000-1300 м составляет 700-1000 кВт и более. Нормализация температурных условий в таких лавах возможна только на основе реализации комплексного метода регулирования с обязательным применением искусственного охлаждения воздуха.

Пройденные на ряде шахт новые вертикальные воздухоподающие стволы непосредственно на глубокие горизонты позволили несколько улучшить климатические параметры воздуха в очистных и подготовительных тупиковых выработках, однако проблема повышенных температур воздуха в шахтах осталась не решенной.

Поставленные в последние несколько лет на ряд глубоких шахт Украины (им. А.А. Скочинского, им. В.М. Бажанова, «Шахтерская-Глубокая» и др.) подземные холодильные установки с водоохлаждающими холодильными машинами типа МХРВ [4] и передвижные кондиционеры типа КПШ (таблица) так же не сняли остроту проблемы высоких температур воздуха в выработках этих глубоких шахт. Зарубежные аналоги указанным выше шахтным холодильным средствам приведены в таблице.

Таблица

Основные технические характеристики холодильных машин, используемых при кондиционировании воздуха в шахтах

Тип холодильной машины	Холодильная мощность, кВт	Основная область применения холодильной машины	Страна изготовитель
Водоохлаждающие машины			
МХРВ-1	1000	Охлаждение воды, используемой в системах кондиционирования воздуха на выемочных участках глубоких шахт	Украина
КМ 1000	1030		Германия
КМ 2000	2040		Польша
GMC 1000	1108		
GMC 2000	2000		
Машины непосредственного охлаждения воздуха			
КПШ 130-2-0	130	Охлаждение воздуха в тупиковых выработках глубоких шахт	Украина
КПШ 300	300		
DV 150	155		Германия
DV 200	225		
DV 250	300		
DV 350	350		
DV 400	450		Польша
GMC 350	395		

Это еще раз подтверждает необходимость комплексного решения сложнейшей в настоящее время проблемы борьбы с высокими температурами воздуха в выработках глубоких шахт. В связи с этим, требуются наряду с внедрением известных способов и средств регулирования микроклимата в выработках новые научно-технические разработки, внедрение которых позволит действующим глубоким шахтам Донбасса продлить свой срок эксплуатации и добывать уголь с глубины 1400-1500 м.

Исследованиями установлено, что вариант реализации пространственно-планировочного решения с центрально-отнесенной по падению пластов воздухоподающей скважиной, принципиальная схема которого показана на рис.1., позволяет существенно влиять на формирование микроклимата в горных выработках глубоких горизонтов. В сравнении с базовым вариантом - блоковой отработкой пластов с панельной подготовкой без скважин данное пространственно-планировочное решение со скважинами в сходных горнотехнических условиях позволяет в 1,6-3,4 раза уменьшить нагрев свежего воздуха, подаваемого на проветривание лав. Максимальный эффект в улучшении теплового режима выработок глубоких горизонтов шахт при внедрении данных горнопланировочных решений со скважинами большого диаметра может быть достигнут при

условии рационального по тепловому фактору построения схем и выбора параметров сетей основных горных выработок и выработок выемочных участков.

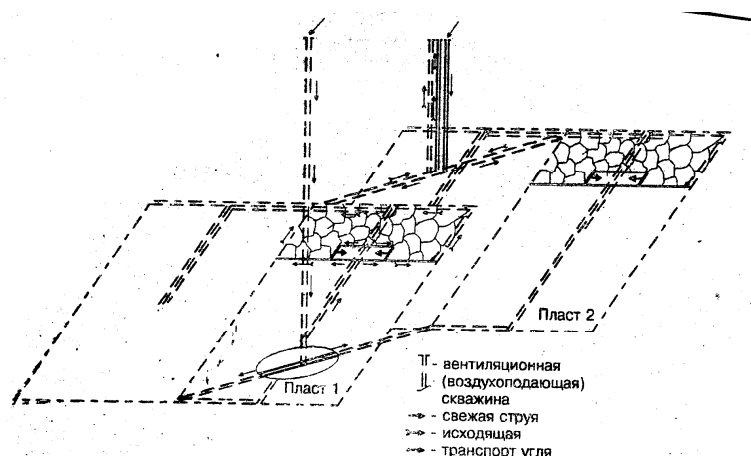


Рис. 1 Принципиальная схема планировки горных работ с центрально отнесенной воздухоподающей скважиной

Указанный выше вариант схемы подготовки выемочных полей со скважинами большого диаметра в сложных геотермических условиях является эффективной альтернативой существующим способам развития действующих глубоких шахт.

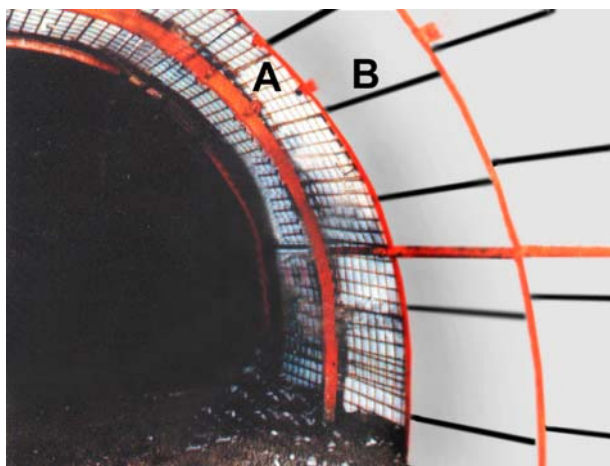
В результате выполненных исследований установлено, что технически целесообразным способом нормализации тепловых условий в комплексно-механизированных лавах глубоких шахт при применении на выемочных участках искусственного охлаждения воздуха может являться использование, в качестве воздухоохлаждающих устройств, элементов забойного оборудования [5]. Реализация указанного технического решения позволяет обеспечить развитую поверхность теплообмена, минимальное загромождение призабойного рабочего пространства лавы, простоту эксплуатации воздухоохлаждающих устройств. В лабораторных условиях, к настоящему времени, экспериментально подтверждена целесообразность использования теплообменных устройств на перекрытиях механизированной крепи для локализации тепловыделений горного массива в призабойных зонах лав. Локализация тепловыделений от работы выемочного комбайна при этом обеспечивается хладоносителем, циркулирующим между водоохлаждающей машиной и теплообменными устройствами на выемочном комбайне, а вода, подаваемая на пылеподавление, охлаждается в теплообменнике, подсоединенном к системе хладоносителя.

На основе реализации комплексного способа, включающего охлаждение воздуха на входе в лаву в штрековых воздухоохладителях, рассредоточенное охлаждение воздуха с помощью теплообменных устройств на перекрытиях механизированной крепи вдоль очистного забоя, отвод теплоты от работы электродвигателя выемочного комбайна хладоносителем и локализацию тепловыделений разрушаемого угля охлажденной водой, подаваемой на пылеподавление, тепловые условия в лавах глубоких шахт могут быть существенно улучшены. Последнее позволит шахтам Донбасса добывать уголь на глубоких горизонтах 1400-1500 м.

Выполненными исследованиями установлено, что перспективным способом холодоснабжения лав может являться способ, основанный на подаче в лаву охлажденного воздуха с низким влагосодержанием. Охлажденный воздух с низкой температурой, осушенный предварительно до влагосодержания 2-3 г/кг, подается в рабочее пространство. Воздух с такими параметрами обладает высокой теплоаккумулирующей способностью. Однако, технология и средства охлаждения для реализации данного способа в настоящее время не разработаны.

Исследованиями установлено, что 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 яв-

латься внедрение эффективных способов и средств уменьшения теплоотдачи горного массива и потерь выработанного холода в выработках, в которых установлены воздухоохлаждающие установки для нормализации тепловых условий в очистных забоях. На рис.2 приведена принципиальная схема теплоизоляции стенок горной выработки, закрепленной арочной металлической крепью с использованием в качестве затяжки металлической сетки. Теплоизоляция горного массива (зона **A**) выполнена 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 **B**, 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 [4, 6].



**A** - вспенившийся легкий пористый материал; **B** - эластичные емкости, предварительно заполненные сжатым воздухом, в последующем - вспенившимся внутри материалом с образованием легкой пористой пены с низким коэффициентом теплопроводности

Рис.2. Принципиальная схема теплоизоляции горного массива по длине участковой воздухоподающей выработки

В решении сложнейшей проблемы нормализации тепловых условий в лавах глубоких шахт заслуживает внимания вопрос совершенствования известных и разработки новых локальных и индивидуальных систем защиты горнорабочих от перегрева, как дополнительной составляющей при наличии кондиционирования шахтного воздуха.

Одним из направлений при разработке систем защиты от перегрева является создание локальных зон кондиционирования воздуха на рабочих местах, в местах отдыха, в пунктах оказания медицинской помощи в горных выработках с помощью средств, работающих на пневмоэнергии. Такие средства просты в эксплуатации, имеют малые габаритные размеры и малый вес, высокую надежность и безопасность в работе. Основным элементом таких устройств является неадиабатная вихревая труба и пневматический эжектор. На устройство локального охлаждения шахтного воздуха получен патент Украины [7].

Для профилактики тепловых поражений горнорабочих, работающих в выработках с повышенными температурами воздуха, предложены защищенные патентами устройства, обеспечивающие возможность регулирования параметров микроклимата в климатических камерах [8]. В результате пребывания горнорабочих в камерах с комфортным микроклиматом происходит отбор тепловой энергии от организма, восстановление его нормального состояния. Последнее служит профилактическим средством предупреждения тепловых поражений горнорабочих, работающих в выработках с нагревающим микроклиматом.

Перспективным направлением, заслуживающим самого пристального внимания со стороны научных организаций, занимающихся вопросами низких температур, является выполне-

ние научных исследований по созданию и внедрению в глубоких шахтах принципиально новых средств индивидуальной противотепловой защиты для работающих в условиях нагревающего шахтного микроклимата.

Для выполнения многовариантных тепловых расчетов выработок выемочных участков и установления (разработки) с учетом полученных результатов комплекса мер по улучшению тепловых условий в выработках разработана специальная компьютерная технология [9]. Выполнение указанных тепловых расчетов необходимо при разработке проектов отработки новых глубоких горизонтов шахт, планировании ввода в эксплуатацию новых выемочных участков, разработке практических мер по улучшению теплового состояния шахтной атмосферы.

Современный вид и содержание разработанной программы прогнозирования температурных условий в выработках выемочных участков на основании действующих нормативных документов представлены в среде Delphi v. 7.0. Область применения разработанной программы тепловых расчетов горных выработок на ПЭВМ распространяется на шахты, разрабатываемые пологие и наклонные угольные пласты.

При выполнении расчетов по конкретному выемочному участку сначала производится выбор модуля, соответствующего применяемой системе разработки угольного пласта и схеме проветривания выработок выемочного участка.

После ввода данных для выемочного участка производится последовательно расчет участковой воздухоподающей выработки, лавы и вентиляционной выработки с исходящей струей воздуха.

Процедура теплового расчета воздухоподающей выработки позволяет редактировать и сохранять на диске исходные данные, а также отображать результаты теплового расчета.

Расчет лавы позволяет определить температуру воздуха в лаве и температуру утечек воздуха через выработанное пространство.

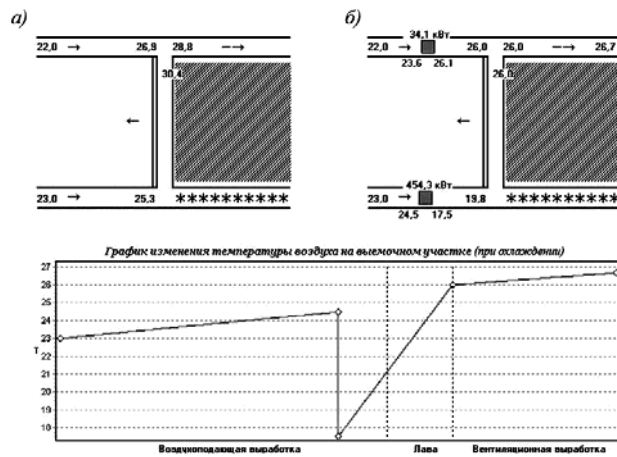
Процедуры определения холодопотребности лавы и мощности воздухоохлаждающего устройства позволяют определить необходимую температуру в начале лавы для того, чтобы обеспечить заданную температуру воздуха в конце лавы. После этого задается удаление воздухоохладителя от лавы и расход воздуха через него. На основании этих данных, а также результатов расчета воздухоподающей выработки, определяется необходимая мощность воздухоохладителя и температура воздуха на входе и выходе из воздухоохладителя. Панель результатов теплового расчета выемочного участка показана на рис.3.

Разработанная компьютерная технология позволяет с достаточной степенью точности решить следующие задачи: выполнить прогноз температуры воздуха в выработках выемочного участка при естественном режиме формирования климатических условий и применении искусственного охлаждения; определить холодопотребность лавы; рассчитать необходимую холодильную мощность оборудования для нормализации теплового режима в выработках в соответствии с требованиями ПБ. Возможно также определить температуру притока воздуха из выработанного пространства лавы при наличии утечек воздуха, рассчитать величины поступления тепла из него непосредственно в лаву и на вентиляционный штрек.

Внедрение компьютерной технологии прогноза температурных условий в выработках выемочных участков обеспечивает возможность оперативной оценки по тепловому фактору следующих горнотехнических решений и параметров разработки угольных пластов на глубоких горизонтах: системы разработки; направления перемещения очистного забоя; способа управления горным давлением; схем проветривания выемочного участка и лавы; способа и средств охраны участковых выработок; расхода воздуха на выемочном участке; механизации очистных работ; длины выемочного поля, лавы; нагрузки на очистной забой и др.

Разработанная компьютерная технология достаточно широко апробирована на глубоких шахтах Донецкого бассейна.

Результаты практического использования компьютерной технологии на ряде шахт с глубокой разработки угольных пластов более 1000 м показали ее надежную работоспособность, точность и достоверность выполняемых прогнозных тепловых расчетов, преимущества оптимизации параметров разработки пластов по тепловому фактору. Обоснованный выбор рациональных с учетом теплового фактора технологических схем разработки пластов обеспечивает минимальные холодопотребности очистных забоев и затраты на кондиционирование воздуха.



а) - при естественном режиме формирования температуры воздуха в горных выработках; б) - при применении искусственного охлаждения воздуха

Рис. 3. Результаты теплового расчета выемочного участка с использованием компьютерной программы

Положительные результаты использования компьютерной программы позволяют рекомендовать ее для широкого применения работниками угольной промышленности, занимающихся решением проблемы борьбы с высокими температурами воздуха в шахтах.

**Выводы.** Решение проблемы регулирования теплового режима на выемочных участках глубоких шахт может быть осуществлено только на основе комплексного горнотехнологического подхода с искусственным охлаждением рудничного воздуха в выработках разрабатываемых горизонтов. В условиях разработки глубоких горизонтов с естественной температурой горного массива 45-50°C и более неотъемлемой частью реализации комплексного регулирования микроклимата в горных выработках должно являться внедрение технологий теплоизоляции горного массива в выработках, применение других специальных способов и средств, технических решений по регулированию температуры воздуха в горных выработках. Для разработки и обоснования рациональных по тепловому фактору горнотехнических, технологических и специальных мер по регулированию теплового состояния рудничной атмосферы в очистных забоях при планировании ведения горных работ на больших глубинах разработана и рекомендуется для практического использования специальная компьютерная технология.

#### Список литературы

1. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. - К., 2010.
2. Державні санітарні правила та норми. Підприємства вугільної промисловості. ДСП 3.3.1.095-2002. - К., 2003.
3. 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 інші.- Донецьк, ДонНТУ, 2004. - С.121-128.
4. Способы и направления улучшения температурных условий в глубоких шахтах /А.А. Мартынов, Н.В. Малеев, А.К. Яковенко, В.А. Орищак // Уголь Украины.- 2010. - № 5.- С.20-26.
5. Яковенко А.К. Кондиционирование воздуха в лавах и подготовительных выработках глубоких шахт. - Уголь Украины. - 2005, №5, С.39-42.
6. Устройство для теплоизоляции и герметизации выработок. – Патент № 60721А Украины E21F3/00, 15.03.2004.
7. Система для локального охолодження повітря в лаві Патент України на корисну модель № 24662.- Бюл. №10, 2007.
8. Пристрій для профілактики теплових уражень гірників. Патент України на корисну модель № 27730.- Бюл. № 2, 2008.
9. Мартынов А.А., Малеев Н.В. Яковенко А.К.. Программное обеспечение расчета температуры воздуха на выемочных участках глубоких шахт. - Уголь Украины, 2011.- № 3. - С. 34-36.