

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА В ВЫРАБОТКАХ ГЛУБОКИХ ШАХТ

А.А. Мартынов, Н.В. Малеев, ГП «Донецкий экспертно-технический центр Госгорпромнадзора Украины»

А.К. Яковенко, МакНИИ, Украина

В.А. Петросяни, ЗАО «Турбо-Веста», Украина

Обобщены результаты исследований и практической реализации применения для охлаждения воздуха в выработках глубоких шахт Донбасса установок, работающих на принципе расширения сжатого воздуха. Представлены результаты экспериментальных испытаний образцов разработанной модели установки турбодетандерного охлаждения воздуха в шахтных условиях.

Развитие добычи угля в Донбассе осуществляется преимущественно за счет освоения глубоких горизонтов действующих шахт. Средняя глубина горных работ в настоящее время превышает 750 м, 30 шахт ведут горные работы на глубинах 1000-1400 м. Естественная температура вмещающих горных пород на указанных горизонтах составляет 40-52°C. Высокая температура горного массива и характерная для современных шахт большая энерговооруженность выемочных участков и проходческих забоев определяют формирование в горных выработках глубоких горизонтов весьма тяжелых климатических условий. Превышение температуры воздуха в очистных и подготовительных тупиковых выработках над максимально допустимыми ее значениями [1,2] без применения специальных мер по ее снижению может достигать 6-12°C и более. Труд горнорабочих в условиях высоких температур рудничной атмосферы опасен и вреден для здоровья. Известно, что при выполнении работ в условиях высоких температур воздуха в шахтах увеличивается частота общих и сердечно-сосудистых заболеваний, возрастает травматизм, ускоряются процессы развития профзаболеваний, резко сокращается работоспособность, а эффективное рабочее время сокращается на 2 - 3 часа, возрастает число случаев внезапной смерти горнорабочих на рабочих местах или непосредственно после выезда из шахты от острой сердечно-сосудистой недостаточности.

При отработке глубоких горизонтов температурный фактор становится одним из основных, сдерживающих развитие угледобычи, отрицательно сказывается на перспективах и возможностях дальнейшей эксплуатации многих глубоких шахт.

В настоящее время многие способы и средства, осуществляемые меры в борьбе с высокими температурами воздуха в выработках глубоких шахт достаточно известны, результаты от их использования на практике широко освещены в технической и специальной литературе [3,4,5].

Результаты выполненных в последние два десятилетия исследований по новым альтернативным (дополняющим) способам и направлениям в регулировании теплового режима глубоких шахт опубликованы недостаточно. И это наряду с тем, что реализация на действующих глубоких шахтах известных горнотехнических решений по снижению нагрева воздуха в сети воздухоподающих выработок, применение искусственного охлаждения рудничной атмосферы, других специальных мер, связанных с решением проблемы шахтного микроклимата 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. 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.

Целью статьи является ознакомление широкого круга специалистов, занимающихся вопросами улучшения тепловых условий в выработках глубоких шахт, с результатами выполненных исследований, выводами и обоснованиями по разработке новых технических реше-

ний и средств регулирования микроклимата в рабочих зонах горных выработок, где постоянно в течение смены работают люди, прежде всего, в рабочих зонах с экстремальными высокими тепловыми параметрами рудничной атмосферы, например, в тупиковых забоях глубоких шахт, на основе использования охлаждающего действия от расширения сжатого воздуха.

Для охлаждения воздуха в подготовительных тупиковых выработках преимущественное распространение получили передвижные холодильные установки, оборудованные пароконденсационными кондиционерами типа КПШ.

В Украине для угольной отрасли разработаны и выпускаются в настоящее время шахтные передвижные кондиционеры КПШ 130-2-0 и КПШ 300 холодопроизводительностью соответственно 130 и 300 кВт. Выпуск кондиционеров обеспечивает ПАО «Холодмаш» (г. Одесса).

Кондиционер является основным элементом передвижной холодильной установки. При работе кондиционер встраивается в вентиляционный трубопровод для проветривания тупиковой выработки. Кроме пароконденсационного кондиционера в состав передвижной холодильной установки входит также вентиляционная система, обеспечивающая подачу воздуха на проветривание тупиковой выработки через воздухоохладитель и создание тепловой нагрузки на кондиционер, система отвода теплоты конденсации холодильного агента, средства энергоснабжения и автоматизации. В качестве рабочего тела в пароконденсационных кондиционерах используется допускаемый к применению холодильный агент R-22 (хладон-22).

Подача воздуха через кондиционер КПШ 130-2-0 и КПШ 300 осуществляется вентиляторами местного проветривания типа ВМ, ВМЦ, ВЦО по вентиляционным трубопроводам диаметром 800-1000 мм. В зависимости от конкретных условий применения (холодопотребности выработок, притока и физико-химических свойств шахтной воды, параметров исходящей вентиляционной струи и ряда других) могут применяться различные варианты технологических схем охлаждения и размещения холодильного и вспомогательного оборудования передвижных холодильных установок [4,5].

Эффективность применения передвижных холодильных установок, оборудованных кондиционерами типа КПШ, определяется принятыми технологическими схемами, их параметрами и условиями эксплуатации. Холодильные установки, оборудованные шахтными передвижными кондиционерами КПШ 130-2-0 и КПШ 300, обеспечивают возможность нормализации микроклимата в призабойных рабочих зонах в широком диапазоне условий проведения тупиковых подготовительных выработок.

Из трудностей, неизбежно возникающих при использовании пароконденсационных кондиционеров в проводимых выработках, наиболее существенными являются: вносимое дополнительное аэродинамическое сопротивление потоку подаваемого воздуха воздухоохладяющим аппаратом кондиционера, выстраиваемым в вентиляционный трубопровод для проветривания тупиковой выработки, что затрудняет ее проветривание, особенно при большой длине последней; необходимость устройства уширений в проводимых выработках для поддержания регламентируемых Правилами безопасности [1] зазоров в пунктах размещения кондиционеров, что связано с увеличением затрат на проведение выработок; необходимость применения системы отвода теплоты конденсации холодильного агента, что связано с увеличением капитальных и эксплуатационных затрат на устройство и эксплуатацию передвижной установки кондиционирования воздуха.

Создание альтернативных средств охлаждения воздуха в тупиковых выработках глубоких шахт и рудников на различных этапах осуществлялось на основе применения холодильных машин, использующих в качестве рабочего тела сжатый воздух. Использование воздушных холодильных машин упрощает решение задачи получения холода, т.к. потребность в подводе воды для обеспечения их работы незначительна или отсутствует.

В 70-80-е годы прошлого столетия МВТУ им. Баумана и институтом «ПромНИИпроект» были выполнены работы по созданию роторных воздушных кондиционеров типа РВК.

Передвижной воздушный кондиционер типа РВК предназначен для охлаждения рудничного воздуха в призабойной зоне тупиковой выработки шахт всех категорий по газу [6]. Источником энергии для работы кондиционера служит шахтная пневмосеть с давлением сжатого воздуха 0,45 - 0,6 МПа.

Основа кондиционера - роторный детандер. Главными рабочими элементами являются два цилиндрических ротора, синхронно вращающихся в расточках чугунного корпуса 1. Ведущий ротор 2 имеет два симметрично расположенных зуба, ведомый 3 - две впадины. Синхронизация вращения роторов осуществляется двумя косозубыми разрезными шестернями, закрепленными консольно на концах обоих роторов. Роторы вращаются в радиально упорных подшипниках. В качестве нагрузки (тормозного устройства) для потребления мощности, создаваемой детандером, используется рабочее колесо шахтного осевого вентилятора СВМ-бм, насаженное на удлиненный свободный конец вала ведущего ротора. Синхронизирующие шестерни располагаются в цилиндрическом картере, прикрепленном к корпусу детандера.

Для очистки сжатого воздуха предусмотрен сетчатый фильтр. Для удобства транспортировки по горным выработкам корпус кондиционера размещается на платформе с ходовой частью от вагонетки. Со стороны рабочего колеса и со стороны картера к наружному корпусу кондиционера крепятся глушители шума.

Рабочий процесс в кондиционере осуществляется следующим образом. Сжатый воздух из пневмосети через фильтр поступает в детандер и приводит в движение ведущий ротор. При вращении ведомый ротор открывает впускное окно и сжатый воздух заполняет рабочую полость детандера, образованную зубом ведущего и впадиной ведомого роторов, корпусом детандера, телами роторов и торцами стаканов. Процесс впуска продолжается до тех пор, пока тело ведомого ротора не перекроет впускное окно и не отсечет рабочую полость от магистрали сжатого воздуха. Поступивший в машину воздух расширяется. При этом воздух, расширившийся в полости впадины ведомого ротора, перетекает по перепускным каналам в основную полость машины. Расширяясь, воздух совершает работу и охлаждается. Расширившийся холодный воздух переносится на сторону низкого давления и выталкивается в выхлопной трубопровод. Пройдя глушитель, холодный воздух поступает в вентиляционный трубопровод, где смешивается с потоком воздуха, поступающего от ВМП, понижает его температуру и подается в призабойное пространство выработки. Энергия, вырабатываемая детандером, расходуется на вращение рабочего колеса, отсасывающего воздух из призабойного пространства.

При рабочем давлении сжатого воздуха 0,45 - 0,6 МПа и расходе его 15 - 17 м³/мин кондиционер обеспечивает холодильную мощность 14-17,4 кВт. Длина кондиционера с глушителем шума - 1900 мм, ширина - 857 мм, высота - 4076 мм, масса - 713 кг.

При работе кондиционер устанавливается горизонтально на расстоянии 20 - 30 м от забоя подготовительной выработки и соединяется с трубопроводом сжатого воздуха и вентиляционным трубопроводом резиновыми шлангами.

Целесообразной областью применения передвижных кондиционеров с роторным детандером типа РВК являются призабойные зоны вентиляционных штреков шахт крутого падения, в которых затруднено применение парокompрессионных кондиционеров.

Холодопроизводительность таких кондиционеров не удовлетворяет холодопотребностям тупиковых выработок, проводимых на больших глубинах. Область их применения весьма ограничена.

В турбохолодильном агрегате АТХ-50/50, предложенном ОАО «МоторСіч», в качестве рабочего тела также используется воздух. Основными узлами турбохолодильного агрегата является приводной электродвигатель, мультипликатор, компрессор, турбина, водовоздушный теплообменник, водяной насос, система водообеспечения, агрегат маслосистемы, трубопроводы обвязки и система автоматики управления и защиты, смонтированные на общей раме. Мощность, потребляемая электродвигателем компрессора, составляет 80-100 кВт. Холодопроизводительность агрегата - 50÷75 кВт, количество вырабатываемого холодного воздуха

- $7400 \div 10000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($2,1 \div 2,7 \text{ м}^3/\text{с}$). Длина агрегата - 3100 мм, ширина - 1140 мм, высота - 1500 мм, масса - 1440 кг [7].

При работе указанный турбохолодильный агрегат имеет высокий уровень шума. Применение его без системы шумоглушения в условиях проводимой горной выработки недопустимо. При укомплектовании агрегата системой шумоглушения габаритный размер охлаждающего устройства по длине составит 4200 мм, по ширине - 2000 мм, по высоте - 2567 мм. Масса контейнера системы шумоглушения составляет 1500 кг. В связи с большими массогабаритными размерами турбохолодильного агрегата использование его в условиях тупиковых выработок трудоемко и малоэффективно. Удельная холодопроизводительность турбохолодильного агрегата на единицу потребляемой мощности составляет 0,5 - 0,9 кВт/кВт. Для пароконденсационных кондиционеров этот показатель превышает 3 кВт/кВт.

Таким образом, использование турбохолодильного агрегата в условиях подготовительных выработок глубоких шахт нецелесообразно, как по энергетическим показателям, так и по массогабаритным размерам.

Харьковской государственной академией железнодорожного транспорта и научно-производственной фирмой «АСУ-Комплекс» еще в 90-е годы прошлого столетия была разработана для нормализации температурных условий в призабойных зонах тупиковых выработок экспериментальная установка турбодетандерного охлаждения воздуха [8].

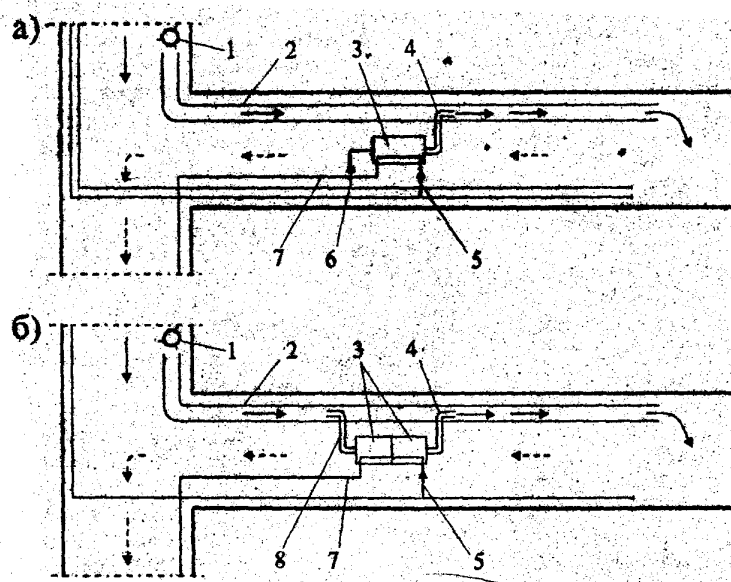
Принцип работы данной установки основан на использовании цикла воздушных холодильных машин. Последняя может работать от сжатого воздуха при избыточном давлении $1,3 - 2,0 \text{ кгс}/\text{см}^2$, поступающего либо от общешахтной пневмосети (вариант 1), либо от автономного воздушно-силового агрегата или воздуходувки (вариант исполнения 2).

В варианте исполнения 1 получение холода основано на принципе воздушного холодильного цикла с промежуточным охлаждением воздуха и расширением его в центростремительной турбине турбодетандерного агрегата (ТДА). Последний состоит из центростремительной турбины и центробежной воздуходувки, имеющих общий вал, который вращается в бронзовом подшипнике. Между рабочими колесами и корпусами воздуходувки и турбины выполнены зазоры, гарантирующие бесконтактную работу этих агрегатов.

Схема охлаждения воздуха в тупиковых выработках при работе экспериментальных образцов холодильной установки, выполненной по варианту 1, приведена на рис. 1а, по варианту 2 - на рис. 1б.

ТДА выполнен на отдельной раме и состоит из турбодетандера, водовоздушного охладителя воздуха, водяных и воздушных трубопроводов, запорной арматуры. Водовоздушный охладитель выполнен прямоточным по воздуху и предназначен для охлаждения воздуха, поступающего от воздуходувки.

Воздух в ТДА поступает из трубопровода сжатого воздуха с избыточным давлением $0,5 - 0,8 \text{ кгс}/\text{см}^2$, повторно сжимается в воздуходувке до давления $1,2 - 1,7 \text{ кгс}/\text{см}^2$ и после охлаждения в охладителе расширяется в центростремительной турбине с понижением температуры до минус $10 - 18^\circ\text{C}$.



а) подача сжатого воздуха из общешахтной пневмосети;
 б) подача сжатого воздуха от автономного
 воздушно-силового агрегата.

1-ВМП; 2-вентиляционный трубопровод; 3-турбо-детандерная холодильная установка; 4 - патрубков для выпуска охлажденного воздуха и вентиляционный трубопровод; 5 - трубопровод для подачи охлаждающей воды; 6 - трубопровод для подвода сжатого воздуха; 7- трубопровод для отвода отепленной воды; 8 - воздухозаборный патрубок.

Рис. 1а,б. Схемы охлаждения воздуха в тупиковых выработках при работе холодильной установки

Охлажденный воздух поступает в смесительную камеру вентиляционного трубопровода и, смешиваясь с теплым воздухом, охлаждает последний. Охлаждающая вода подводится к блоку ТДА по трубе диаметром 15 мм от противопожарно-оросительного трубопровода. Электрическая цепь ТДА аналогична цепи подключения ручного электросверла СЭР-1. ТДА располагается на расстоянии 35-50 м от забоя проводимой тупиковой выработки. Габаритные размеры агрегата - 1200x800x800 мм. По мере удаления забоя от места подсоединения ТДА к вентиляционному ставу производится демонтаж установки и перемещение ее на новое место ближе к забою.

Вариант 2 (рис.1б) турбодетандерной холодильной установки отличается от варианта 1 только тем, что вместо забора сжатого воздуха из общешахтной пневмосети турбодетандерный агрегат снабжен воздушно-силовым агрегатом для выработки автономно сжатого воздуха. Получение холода в установке основано на принципе воздушного холодильного цикла с двухступенчатым сжатием воздуха, промежуточным охлаждением сжатого воздуха после каждой ступени сжатия и одноступенчатым расширением в центросгремительной турбине.

В ходе экспериментальных испытаний воздушно-силовым агрегатом (воздуходувкой) автономно вырабатывалось 30 м³/мин воздуха, температура которого по данным замеров составляла после сжатия 140-147°С. Избыточное давление воздуха перед турбодетандерным агрегатом не превышало 1,3 кгс/см².

Целью шахтных испытаний экспериментальной установки являлась проверка ее работоспособности, надежности и расчетных теплотехнических характеристик в горных выработках при различных операциях горнопроходческого цикла, оказывающих влияние на приращение энтальпии и уровень запыленности рудничной атмосферы, влажностное состояние воздуха и т.д.

Результаты замеров параметров работы установки и ее влияния на тепловой режим тупикового забоя приведены в табл. 1.

Таблица 1

Условия и основные результаты шахтных испытаний экспериментальных образцов турбодетандерной холодильной установки

Наименование показателей	Место проведения испытаний	
	Северный полевой штрек гор. 775 м ш. "Золотое" ПО "Первомайскуголь"	70-й конвейерный штрек гор. 1200 м ш. им. Володарского ПО "Свердловантрацит"
Глубина расположения тупиковой выработки, м	775	1200
Длина выработки, м	600	800
Температура горного массива, °С	30,6	38,0
Тип и количество вентиляторов местного про-	ВМЦ-8 –1 шт.	ВМ-6 –3 шт.
Диаметр вентиляционного трубопровода, м	0,8	0,8
Температура воздуха на выходе из вентиляционного трубопровода без охлаждения, °С	22,4	37,8
Температура воздуха в призабойной зоне, °С	23,0	38,0
Расход воздуха в забое, м ³ /мин	200	79
Вариант исполнения установки	1	2
Место расположения холодильной установки	50 м от забоя	40 м от забоя
Температура охлаждаемого воздуха, °С	22,0	35,0
Температура охлажденного воздуха, °С	- 18,0	13,0
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	52,0	30,0
Температура охлаждающей воды, на входе/выходе,	22,0/38,0	35,0/50,0
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	2,8	3,0
Избыточное максимальное давление перед турбодетандером,	1,9	1,3
Избыточное давление воздуха за воздушно-силовым агрегатом, кгс/см ²	Из сети 1,0	0,6
Максимальная температура сжатого воздуха после воздушно-силового агрегата, °С	-	147
Температура воздуха перед турбодетандером, °С	36,0	40,0
Температура воздуха на выходе из вентиляционного трубопровода при работе установки, °С	16,3	28,6
Температура воздуха в призабойной зоне при работе установки, °С	19,4	31,0
Расход воздуха в забое при работе установки, м ³ /мин	252	109
Холодопроизводительность установки, кВт	50	35

В период испытаний установки, выполненной по варианту 1, температура воздуха в призабойной зоне тупиковой выработки была снижена на 3,0°С при его расходе 200 м³/мин. Расчетная холодопроизводительность установки по данным фактических замеров температуры

воздуха, его относительной влажности, расхода составила 50 кВт. Температура охлажденного воздуха после установки при расходе $52 \text{ м}^3/\text{мин}$ опускалась до -18°C .

При испытаниях установки, выполненной по второму варианту исполнения, в 70-м конвейерном штреке шахты им. Володарского ПО «Свердловантрацит» в забое температура воздуха была снижена на $6,8^\circ\text{C}$ при его расходе $109 \text{ м}^3/\text{мин}$. Расчетная холодопроизводительность установки составила 35 кВт.

В настоящее время для модернизации данной установки, усовершенствования ее конструкции, изготовления ряда опытных образцов и проведения их промышленных испытаний в шахтах требуются финансовые инвестиции со стороны заинтересованных угольных предприятий. Инициативно данными работами продолжает сегодня заниматься предприятие ЗАО «Турбо-Веста» (г. Харьков).

Выводы.

1. Экспериментальная установка турбодетандерного охлаждения воздуха как в первом, так и во втором вариантах исполнения работоспособна и может использоваться для улучшения теплового режима в призабойных зонах тупиковых выработок.

2. По итогам исследований в шахтных условиях подтверждены преимущества использования установки турбодетандерного охлаждения воздуха - отсутствие фреонсодержащих холодильных агентов, небольшой расход воды для отвода теплоты от работающего оборудования, отсутствие воздухоохлаждающего аппарата, вносимого аэродинамическое сопротивление в вентиляционный трубопровод, компактность и мобильность установки, возможность применения ее вблизи охлаждаемых зон.

3. Создание и внедрение установки турбодетандерного охлаждения воздуха позволит глубоким шахтам регулировать тепловые условия в горных выработках, где применение существующей холодильной техники проблематично.

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. Передвижная холодильная установка с кондиционером КПШ 130-2-0 /А.К. Яковенко, М.В. Юцкевич, Ю.Н. Печененко и др. // Уголь Украины. - 1996. - № 3, с. 17 - 20.
4. Яковенко А.К., Мартынов А.А. Эффективность передвижных кондиционеров в глубоких шахтах // Уголь Украины. - 1996. - № 10-11. - С.16-20.
5. Мартынов А.А., Малеев Н.В., Яковенко А.К., Оришак В.А. Способы и направления улучшения температурных условий в глубоких шахтах - Уголь Украины.- 2010, № 5.- С.20-26.
6. Чижов Б.Д., Новосельский Ю.А., Махмутов А.Х. Регулирование теплового режима в глубоких шахтах и рудниках воздушными кондиционерами. - В кн. Физические процессы горного производства. Л., изд. ЛГИ, вып. 1, 1975. - С. 108-110.
7. Технические предложения по применению энергосберегающих технологий в угольной промышленности и других отраслях народного хозяйства / ОАО «МоторСіч», г. Запорожье. - 2006. - 21с.
8. Мартынов А.А., Яковенко А.К., Петросянц В.А. Результаты шахтных испытаний экспериментальной установки турбодетандерного охлаждения воздуха в тупиковых выработках // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сб. научных трудов МакНИИ, - 1995. - С. 144-151.