

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА В ГЛУБОКИХ ШАХТАХ

И.А. Шайхлисламова, С.А. Алексеенко, Национальный горный университет, Украина

В статье обобщен опыт кондиционирования рудничного воздуха в глубоких шахтах передовых стран мира. Приведено оборудование для искусственного охлаждения воздуха и их технические характеристики. Показана эффективность систем кондиционирования с естественным охлаждением воздуха.

Добыча угля подземным способом в основных угледобывающих странах мира характеризуется высокой концентрацией газа, пыли и постоянным увеличением глубины на крупных высокомеханизированных предприятиях. Наиболее целесообразным способом охлаждения рудничного воздуха считается кондиционирование.

Первоначально холодильные установки оборудовались на поверхности, которые охлаждали поступающий в шахту воздух. По мере того, как увеличивалось расстояние до места ведения горных работ, охлаждающий эффект снижался и холодильные установки были перемещены под землю ближе к рабочим местам. Ограниченная возможность избежать нагревания воздуха под землей и простота холодильных установок на поверхности привели к перемещению их обратно на поверхность. Однако вдобавок ко всему для охлаждения рудничного воздуха они теперь еще поставляют под землю ледяную воду. Последняя может использоваться в охладительных устройствах на территориях, смежных с местами работ, или как техническая вода при обслуживании бурения и для подавления пыли. Целью настоящей работы является ознакомление с перспективными способами и средствами регулирования теплового режима в шахтах Германии и Польши.

Охлаждение воздуха в шахтах Германии. Из общих запасов каменного угля в странах ЕЭС на долю ФРГ приходится 71%, из них в Рурском бассейне – свыше 60 %. Он является основным поставщиком коксующихся углей и кокса для черной металлургии стран ЕЭС.

На шахтах Рурского бассейна при увеличении глубины разработки на 100 м температура пород возрастает на 5-6 °С, температура воздуха при этом повышается на 2 °С. С увеличением средней нагрузки на забой почти в 2 раза резко выросла установленная мощность оборудования в лаве, которая составляет 800-1000 кВт.

При проведении выработок на больших глубинах, появилась необходимость в увеличении количества подаваемого воздуха, нисходящего проветривания и охлаждения воздуха. Несмотря на большие сечения горных выработок (28-32 м²), поток охлажденного воздуха, при максимально допустимой скорости его движения, не может обеспечить требуемую доставку холода, поэтому, охлаждение воздуха в глубоких шахтах осуществляется с помощью специальных подземных установок кондиционирования воздуха. Для этой цели созданы системы общешахтного и локального кондиционирования рудничного воздуха в глубоких шахтах:

1. Холодильные машины непосредственного охлаждения, размещаемые в проходческих забоях.

2. Холодильные машины с промежуточным хладоносителем, размещаемые на значительном расстоянии от места потребления холода.

3. Комбинированные установки – холодильные машины на поверхности и холодильные машины под землей.

Отвод тепла конденсации хладагента подземными холодильными машинами осуществляется:

- путем сбрасывания воды в систему водоотлива после её нагрева;
- посредством водоохладителей, устанавливаемых на исходящей струе воздуха;
- в конденсаторах с воздушным охлаждением, а также в ресиверах хладагента с водяным охлаждением;
- хладоносителем в конденсаторе высокого давления;
- холодной водой при прямоточной схеме оборотной водой, циркулирующей по замкну-

тому контуру и охлаждаемой исходящей вентиляционной струей.

Немецкая фирма по теплообменным технологиям, GMBH (WAT) является компанией, которая специализируется на системах охлаждения шахт на протяжении более 30 лет. Выпускаемое техническое оборудование для искусственного охлаждения воздуха приведено на рис.1-7, а их технические характеристики в табл.1-3.

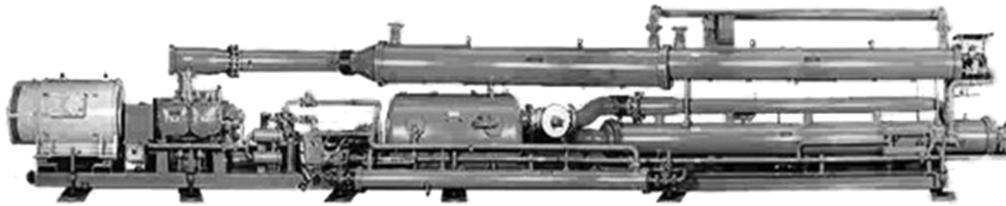


Рис. 1. Водоохлаждающая машина типа **КМ**



Рис. 2. Компактная водоохлаждающая машина типа **IDV**

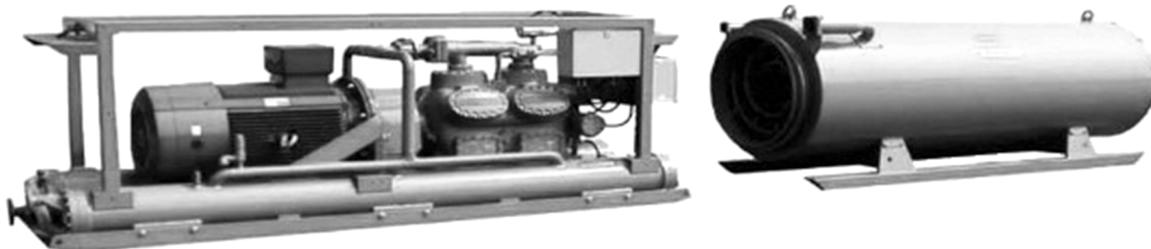


Рис. 3. Машина непосредственного охлаждения воздуха (кондиционер) типа **DV**



Рис. 4. Водоохладитель типа **PK 450**

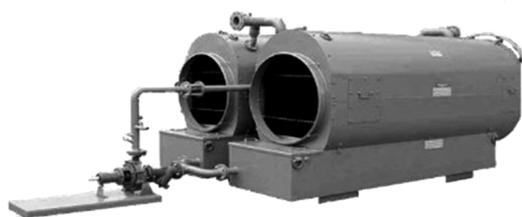


Рис. 5. Водоохладитель типа **PK 600**



Рис. 6. Воздухоохладитель типа **RWK**



Рис. 7. Лавный воздухоохладитель типа **SPK**

Компания GMBH является поставщиком холодильного оборудования для шахт Польши, Чехии, Швейцарии и Китая.

Таблица 1. Основные технические характеристики холодильных машин

Область применения холодильной машины	Охлаждение воды, используемой в системах кондиционирования воздуха на выемочных участках глубоких шахт					Охлаждение воздуха в тупиковых выработках глубоких шахт				
	Водоохлаждающие машины			Компактные водоохлаждающие машины		Машины непосредственного охлаждения воздуха (кондиционеры)				
Тип холодильной машины	<i>KM</i>	<i>KM</i>	<i>KM</i>	<i>IDV</i>	<i>IDV</i>	<i>DV</i>	<i>DV</i>	<i>DV</i>	<i>DV</i>	<i>DV</i>
	1000	2000	3000	350	600	150	200	290	350	450
Холодильная мощность, кВт	1030	2040	3285	350	600	155	225	300	350	450
Тип компрессора	Y1	XB1	XB1			5H60	5H66	5H86	5H120	5H126
Мощность привода, кВт	260	480	835	87	178	40	50	67	80	101

Таблица 2. Основные технические характеристики воздухоохлаждавателей

Область применения воздухоохлаждавателей	Охлаждение воздуха в очистных и подготовительных забоях глубоких шахт						
Назначение	Воздухоохлаждаватели				Лавные воздухоохлаждаватели		
Тип воздухоохлаждавателя	<i>RWK</i> 350	<i>RWK</i> 450	<i>RWK</i> 1000	<i>RWK</i> 1200	<i>SPK</i> 22	<i>SPK</i> 35	<i>SPK</i> 50
Охлаждающая способность, кВт	350	600	250	400	11,8	37,5	37,5
Объем воздушного потока, м ³ /с	10,0	13	11,5	14,5			
Мощность вентилятора, кВт	30	37	35	37		1,1	4,0

Таблица 3. Основные технические характеристики водоохлаждавателей

Область применения водоохлаждавателей	Охлаждения охлаждающей воды которая используется для охлаждения конденсатора оборудования воздушного или водяного охлаждения	
Тип водоохлаждавателя	<i>PK 450</i>	<i>PK 600</i>
Охлаждающая способность, кВт	470	600
Объем воздушного потока, м ³ /с	10,0	14,0
Мощность вентилятора, кВт	35	37

В таблице 4 и 5 приведены шахты, в которых было введено в эксплуатацию холодильное оборудование этой компании.

Таблица 4. Холодильное оборудование мощностью 1МВт – 3МВт холода

Страна	Угольное предприятие	Холодильное оборудование
Германия	Шахта Naardt	KM 2000
	Шахта Консолидация	KM 2000
	Шахта Westerholt	KM 2000, KM 2000
	Шахта Рейнланд	KM 2000
	Шахта Niederberg	KM 2000, KM 1200, KM 3000
	Шахта Эвальд	KM 2000
	Шахта Фридрих Генрих	KM 3000, KM 3000
	Шахта Генерал Блюменталь	KM 2000
	Шахта Saar	KM 2000
Польша	Шахта Zofiówka	KM 2000
	Шахта Bogynia	KM 1000, KM 1000
	Шахта Jas-Mos	KM 2000, KM 1000
Китай	Шахта Zhaolou	KM 3000, KM 3000

Таблица 5. Оборудование воздушного охлаждения с мощностью 150 – 400 кВт

Страна	Оборудование воздушного охлаждения
Польша	2 x DV290/RK450; 5 x DV290; 20 x DV290 K; 3 x DV350
	2 x RK450 Va; 1 x DV350; 8 x DV290; 1 x DV350
	2 x IDV 290; 21 x SPK35; 3 x DV350; 1 x DV290/RK450

	1 x W-DV350/IDV350; 1 x DV290/RK350
	3 x DV290; 1 x IDV290; 1 x DV300
	6 x DV350; 1 x DV290
Чешская республика	1 x DV150; 2 x DV150
	8 x DV150
	7 x DV150; 1 x DV150/RK450
	16 x DV150
	3 x DV450; 3 x DV150
Швейцария	7 x DV300, 6 x DV400; 4 x DV337
	7 x DV300, 6 x DV400; 4 x DV337
	5 x DV300; 4 x DV400; 2 x DV337
	15 x DV400; 2 x DV337; 1 x DV300
	3 x DV400
Китай	3 x RK450; 1 x DV290; 1x DV400
	6 x DV400

В теплый период года для снижения температуры воздуха в воздухозаборнике применяются охлаждающие системы, размещаемые в самом стволе, чтобы предотвратить повышение температуры в околоствольном дворе свыше 28°C (время работы системы 7 часов). Для таких систем используется лёд или холодная вода. На рис.8 схематически показано это сооружение.

Одна из самых больших холодильных установок в Европе находится в Гаммер в районе Пелькум в стволе угольной шахты Ост мощностью сверхновой системы охлаждения 20 МВт. Такая система, направляя в подготовительные и очистные забои охлаждённый воздух, создает благоприятную температуру окружающей среды для шахтеров.

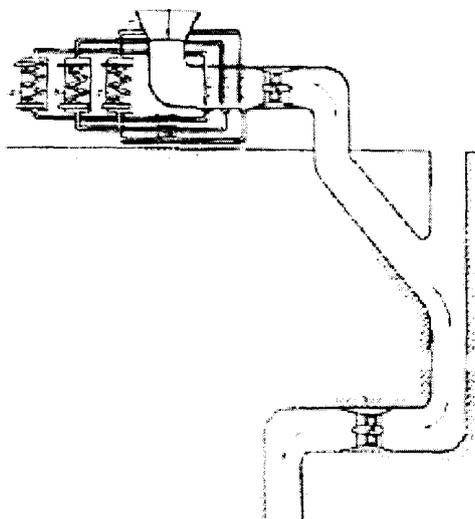


Рис. 8. Охлаждающая система в шахтном стволе

Техника центральной охладительной установки находится в цеху, облицованном листовой сталью рис.9. В нём концентрируются все агрегаты и устройства, которые должны обеспечить достаточное количество охлаждения. Конденсаторы, испарители, насосы, фильтры, двигатели и трубы которые распределяются в соответствии своим функциям.

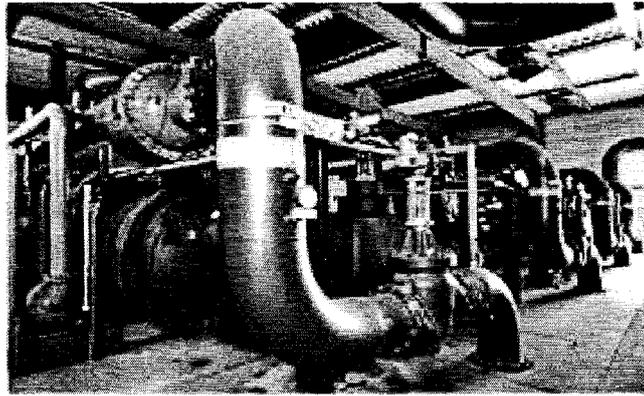


Рис. 9. Охлаждающее сооружение в шахтном стволе шахты Ост

Все эти холодильные машины служат для сохранения циркуляции, охлаждения воды и охлаждающих средств, чтобы температура рудничного воздуха оставалась на протяжении дня комфортной. Аналогичная система охлаждения охлаждает шахту Проспер-Ханиэля в Bottrop.

Ведение горных работ в восточной угольной шахте достигло глубины 1500 м, где температура приблизительно составляет 65 °С. Не применяя мер охлаждения, работа в таких условиях была бы невыносимой. Таким образом, RAG прилагает большие усилия, чтобы избежать климатических трудностей, вызванных добычей угля на больших глубинах. Необходимую для нормализации тепловых условий холодильную мощность на уровне 20 МВт позволяет получить центральная холодильная установка с комбинированным подземным и наземным размещением холодильного оборудования.

В систему входит 3 цикла охлаждения: на поверхности установлен контур, в котором один теплообменник предварительного охлаждения отеплённого хладоносителя и две холодильные машины мощностью по 10 МВт. Полученное тепло рассеивается через три градирни. Затем обеспечивается доставка холода в шахту водой объемом 1400 м³ охлажденной до 2 °С по трубопроводу диаметром 45 см. Во втором цикле охлажденной воды 1400 метровый столб воды попадает в околоствольный двор в трехкамерную охлаждающую установку Rohraufgeber где она отдает свой холод отеплённой воде поступающей в холодильные установки размещенные в околоствольном дворе. Третий этап подземной циркуляции воды направляется обратно к поверхности, которую надлежит охлаждать и начать цикл снова. В околоствольном дворе находится трехкамерный трубный питатель, который сокращает с 140 бар большого гидростатического давления до 10 бар и наоборот расширяет отеплённую воду обратно до требуемого давления, чтобы отправить её по цепи вверх. После этого подаётся нагретая вода к ставу труб в шахте. Охладители рудничного воздуха (воздушно-водяные теплообменники) размещаемые на расстоянии, как последний этап в подземной циркуляции, охлаждают окружающий воздух. При этом вода нагревается до температуры 14 °С.

Таким образом, применение воды в качестве поставщика холода в шахту посредством трубопроводов, включенных в комбинированную систему размещения мощного холодильного оборудования, позволяет нормализовать тепловые условия в глубокой шахте.

Охлаждение воздуха в шахтах Польши. Запасы угля являются одним из основных сырьевых ресурсов энергетики в Польше. Традиционный польский район по добыче угля - Силезский. Глубина эксплуатации достигает 900-1200 м, что обуславливает наличие повышенной температуры горных пород и рудничной атмосферы в выработках. В таких условиях местные системы кондиционирования воздуха оказались неэффективны, в то время как увеличился спрос на повышенную мощность охлаждения.

Добыча угля на современном уровне требует установки высокоэнергетического оборудования, что создает проблему вентиляционным службам.

Мощных стационарных холодильных установок на шахтах Польши не много. Фирма ООО «Евротех» предлагает комплексные решения систем подземного кондиционирования. В таб-

лицах 6-8 приведены технические характеристики холодильного оборудования, а их внешний вид показан на рис.10-14. Охлаждение воздуха в предлагаемых системах кондиционирования происходит двумя способами: прямым – в испарителе мобильной холодильной машины, и косвенным – в мобильном воздухоохладителе, в котором воздух охлаждается с помощью ледяной воды, которая раздается посредством предварительно изолированных трубопроводов.

Таблица 6. Основные технические характеристики холодильных машин

Область применения холодильной машины	Местное кондиционирование			В системах подземного группового кондиционирования	
	<i>GMC 350/TA</i>	<i>GMC 630</i>	<i>GMC 860</i>	<i>GMC 1000</i>	<i>GMC 2000</i>
Тип действия	прямой/ косвенный	косвенный	косвенный	косвенный	косвенный
Хладагент	R407C	R134a	R134a	R134a	R134a
Холодильная мощность, кВт	359	632	900	1110	2000
Тип компрессора	поршневой	винтовой	винтовой	винтовой	винтовой
Мощность привода, кВт	110	200	315	355	630

Таблица 7. Основные технические характеристики воздухоохладителей

Область применения воздухоохладителей	Охлаждения воздуха в системе замкнутого цикла ледяной воды		
	<i>GCP 250</i>	<i>GCP 300</i>	<i>GCP 350</i>
Тип воздухоохладителя			
Охлаждающая способность, кВт	285	305	361
Объем охлаждающей воды, м ³ /ч	13	13	13
Скорость воздуха, м ³ /с	7,8	9,1	10,8
Мощность вентилятора, кВт	30	37	35

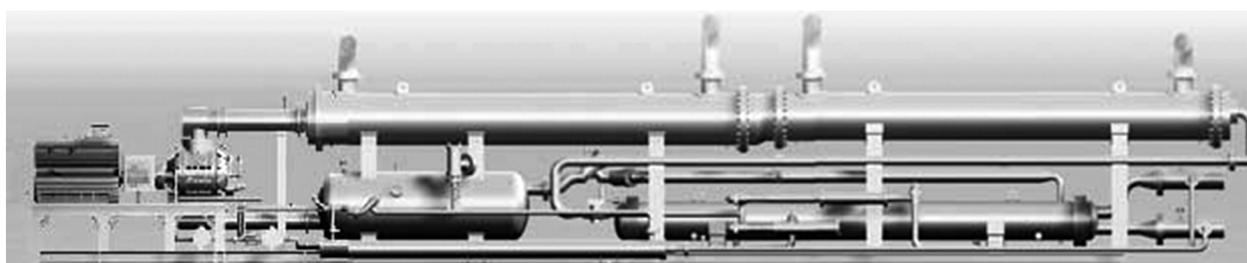


Рис. 10. Рудничная холодильная машина *GMC 1000*

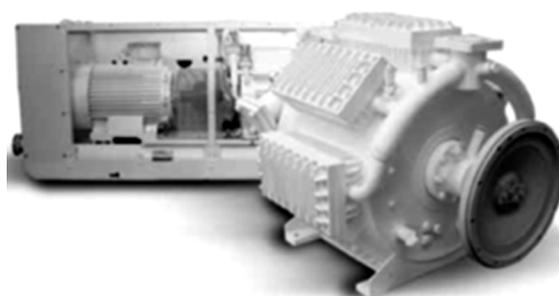


Рис. 11. Рудничная холодильная машина *GMC 350*



Рис. 12. Водоохладители типа TE



Рис. 13. Воздухоохладитель типа GCP

Агрегаты и выпарные аппараты рудничных холодильных машин имеют стационарную конструкцию и устанавливаются в определенных выработках на эксплуатационных горизонтах. Воздухоохладители размещаются в добывающих пространствах и перемещаются вместе с фронтом горных работ.

Таблица 8. Основные технические характеристики водоохладителей

<i>Область применения водоохладителей</i>	<i>Охлаждения воды в замкнутом цикле</i>	
	<i>TE 460</i>	<i>TE 500</i>
<i>Тип водоохладителя</i>	<i>TE 460</i>	<i>TE 500</i>
<i>Охлаждающая способность, кВт</i>	460	530
<i>Объем охлаждающей воды, м³/ч</i>	41,0	33,0
<i>Скорость воздуха, м³/с</i>	9,2	11,4

С целью нормализации тепловых условий на рабочих местах в Польских угольных шахтах за последние несколько лет всё шире применяются установки для охлаждения воздуха, использующие автономные, групповые и централизованные системы кондиционирования.

Если возникает необходимость размещения холодильных установок в шахте, или поблизости находятся другие шахты, требующие охлаждения воздуха, то автономные установки прямого охлаждения, заменяются стационарными холодильными системами, которые подают охлажденную воду в несколько воздухоохладителей. Выделяемое тепло остаётся в шахтном воздухе или выводится на поверхность. Если, потребность в охлаждении превышает 4 МВт, то способ вывода тепла изменяется, с распределения по шахте, на вывод конденсационного тепла на поверхность. В таком случае, воздухоохладительные системы кондиционирования воздуха заменяются на централизованные.

В настоящее время в польских шахтах используется три типа централизованных систем кондиционирования воздуха с естественным охлаждением.

Естественным охлаждением называется использование благоприятных погодных условий

для процесса охлаждения т.к. стоимость процесса охлаждения, используя этот вид установки по сравнению с системой, которая использует холодильную установку, значительна.

В качестве источника естественного холода используется атмосферный воздух при условии, что температура наружного воздуха ниже, чем температура воды возвращающейся из шахты (отработанная вода в воздухоохладителях). Если температура наружного воздуха понижается, холодопроизводительность в теплообменнике повышается. Процесс холодопроизводительности будет продолжаться до тех пор, пока цикл охлаждения не будет завершён на 100%.

Известные способы естественного охлаждения в системах производства охлаждённой воды с водоохлаждающими конденсаторами можно разделить на системы прямого и непрямого естественного охлаждения [6].

В системе прямого естественного охлаждения теплообменник используется в водообороте вместе с градирней для полного или частичного охлаждения воды до необходимой температуры. Такая система должна быть оборудована тройниковым клапаном или электромагнитным клапаном, которые контролируют объем охлаждённой воды в водоохладителе (рис.15). Система естественного охлаждения включается, если температура наружного воздуха соответствует требованиям и компрессоры выключаются автоматически, тройниковым клапаном. В основном системы естественного охлаждения начинают работать, когда температура окружающей среды ниже, чем допустимая температура на 1К, т.е. открывается тройниковый клапан или магнитные клапаны естественного охлаждения. Т.е. сначала охлаждённая вода проходит через систему естественного охлаждения, где она предварительно охлаждается, а затем, если возникает необходимость, движется в испаритель.

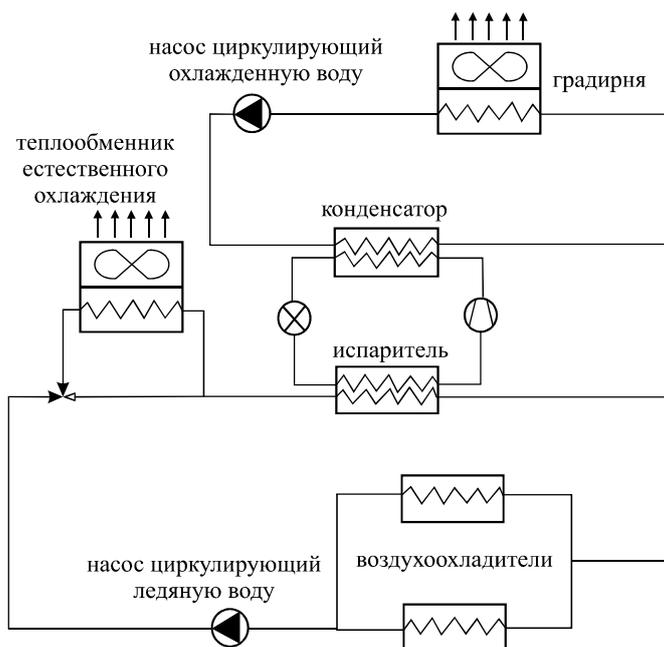


Рис. 15. Схема системы естественного охлаждения воздухоохладителем в системе циркуляции охлажденной воды.

Однако такое решение более дорогостоящий и возникает необходимость усиления защиты от замерзания воды. В системах кондиционирования шахт невозможно использовать солевые или этиленгликолевые растворы для уменьшения средней точки замерзания. Системы такого типа должны быть разработаны с учётом минимальной температуры воздуха, при которой нет риска замерзания воды в системе циркуляции. Этот недостаток устранили с помощью отдельной циркуляционной системы с солевым раствором между теплообменником и градирней (рис.16). Эти изменения привели к стандартизации систем естественного охлаждения. Благодаря этому устранены недостатки, связанные с предыдущими растворами и нет

никаких проблем с защитой оборудования и градирни от замерзания. Однако в результате снизилась эффективность естественного охлаждения и появились дополнительные расходы. Чаще всего в Польше используются 30-40% растворы.

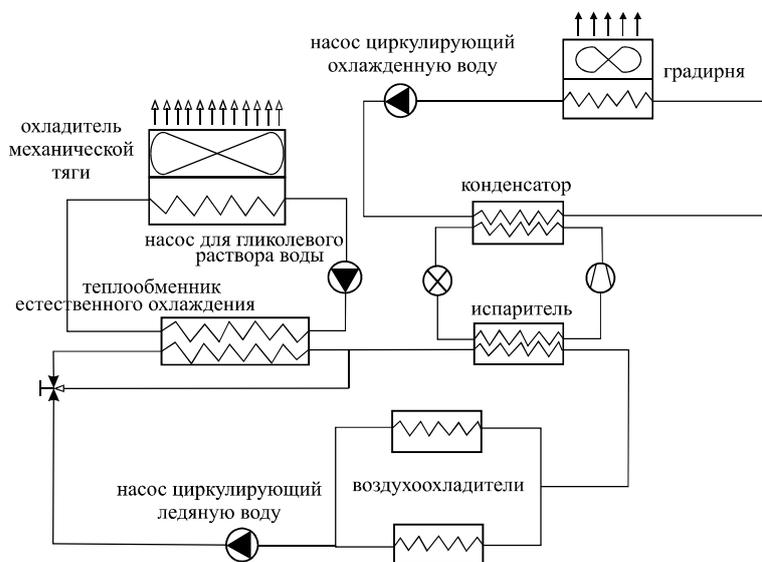


Рис. 16. Схема системы естественного охлаждения с отдельной циркуляцией гликолевого раствора.

Несмотря на низкую эффективность, упрощённую систему естественного охлаждения с непрямым естественным охлаждением и отдельной циркуляцией гликолевого раствора, используют в Польских шахтах.

Система эффективна благодаря двух- или трёх- ступенчатому процессу охлаждения воды. Охлаждённая вода проходит через два-три соединённых испарителя. Первый или первый и второй этапы могут быть отключены благодаря использованию естественного охлаждения, которое зависит от температуры воды на выходе и температуры воздуха.

На одной из угольных шахт «Пниовек» была использована ТЭЦ с производственным и отопительным отпуском теплоты. Комбинированная - система охлаждения мощностью 6,4 МВт использует газовый двигатель (в качестве топлива метан), который приводит в действие так называемые абсорбционные холодильные установки. Газовый двигатель приводит в движение электрогенератор, который в свою очередь частично питает компрессионную холодильную установку. Концепция полностью комбинированной системы основана на приоритете охлаждённой воды для центральной системы охлаждения шахты. Следовательно, эта система напрямую связана с распределением тепла и энергосистемой шахты. В случае если электрическая энергия или потерянное тепло не вырабатываются двигателем внутреннего сгорания, работа абсорбционных холодильных установок может осуществляться с помощью теплосети, а компрессионных холодильных установок с помощью электросети. Однако если система настроена правильно, то она генерирует излишки электрической и тепловой энергии, которая поставляется на линию электропередачи. Система состоит из двух идентичных блоков, которые работают одновременно (третий блок находится в стадии строительства).

Польские шахты используют центральные системы кондиционирования воздуха с холодильной машиной на поверхности. Системы естественного кондиционирования внедрены во все Польские системы кондиционирования воздуха за счет чего снизились затраты на эксплуатацию примерно на 8-20% в зависимости от местоположения. Рентабельность и уменьшение затрат на электроэнергию во время максимального использования системы естественного охлаждения (с выключенными холодильными агрегатами) на центральной станции кондиционирования воздуха может достигать 75%.

Эффективность затрат при использовании естественного охлаждения зависит от темпера-

туры наружного воздуха. Так же необходимо иметь в виду тот факт, что со временем глубина разработки увеличивается, возникает необходимость в более охлажденной воде, вследствие чего продолжительность использования становится короче и эффективность затрат уменьшается [7]. В системах кондиционирования воздуха шахт, температура воды не должна превышать 3°C.

Список литературы

1. <http://referatik.org/literatura/stati/zarubezhnyj-opyt-kondicionirovanija-vozduha-v-glubokih-shahtah-i-rudnikah>
2. www.WAT-Klima.com
3. Heinrich Otto Buja. **Beuth Wissen**. Ingenieurhandbuch Bergbautechnik : Lagerstätten und Gewinnungstechnik / Berlin; Wien; Zürich: Beuth, 2013. 1082 s.
4. www.eurotechpolska.pl
5. Szlazak N. Freecooling in central air-conditioning systems of underground mines/ N. Szlazak, D. Obracaj, M. Borowski.- Gornictwo i geologia. – 2009, Tom 4, Zeszyt 3, s. 123 – 133.
6. Elovitz, Kenneth M.: Can your plan benefit from free cooling? Plant Engineering, April, 1994.
7. Bialko B., Krollicki Z.: Wybrane aspekty zastosowania systemu free-cooling w instalacjach realizujących obiegi lewobieżne. Chłodnictwo & Klimatyzacja, Warszawa 2006, nr 4, s. 66-69.

УДК 622.413.4

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА НА ГЛУБИНАХ 1400-1500 М

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

Обоснован комплексный подход к решению проблемы регулирования теплового режима при отработке запасов угля на глубинах 1400 - 1500 м. Проанализированы применяемые и перспективные направления регулирования микроклимата в горных выработках глубоких шахт.

Глубина горных работ в угольных шахтах Донбасса превысила 1300 м. Ведутся проектные проработки по вскрытию и подготовке новых горизонтов на глубинах 1400 – 1500 м и более. Естественная температура вмещающих пород на освоенных глубинах достигла 45 – 52 °С. Характерные для глубоких шахт сложные разветвленные сети, большая протяженность воздухоподающих выработок, неудовлетворительное на ряде шахт их состояние, обусловленное высоким горным давлением, и возникающие при этом значительные внутренние утечки воздуха затрудняют подачу в рабочие зоны выемочных и подготовительных участков необходимых расходов воздуха на их проветривание, усложняют решение проблемы регулирования теплового режима. Очистная выемка и подготовительные работы на глубоких горизонтах ведутся с использованием энергоемких выемочных и горнопроходческих комбайнов и комплексов, суммарная мощность электропотребителей в которых превышает 1000 кВт. В таких сложных геотермических и горнотехнологических условиях разработки угольных пластов температура воздуха в очистных и подготовительных выработках без принятия специальных мер по ее снижению превышает регламентируемую нормативно – правовыми документами [1, 2] на 8 – 12 °С и достигает 34 – 38 °С.