

ИЩЕНКО И.Н., ассистент

Одесская национальная академия пищевых технологий

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Представлен обзор основных схем компрессионных машин, турбоагрегатов и теплоиспользующих солнечных систем, а также принцип их работы с целью получения воды из атмосферного воздуха.

Ключевые слова: компрессионные машины, турбоагрегаты, теплоиспользующие солнечные системы.

The review main scheme of compressive machines, turboset, refrigerator machines working with the help heat of sun are presented, and also principle their work for the purpose of receive water from atmospheric air.

Keywords: compressive machines, turboset, refrigerator machines working with the help heat of sun.

Проблема извлечения воды из воздушного бассейна – актуальная научная задача, которая к настоящему времени не имеет устоявшегося и доминирующего решения. В подавляющем большинстве случаев разработки остаются на уровне патентов. Конструктивные решения, подтверждающие заявленные патент, единичны.

По данным ученых географического факультета МГУ [1] каждый год с поверхности суши и океана испаряется 577 000 км³ воды, столько же потом выпадает в виде осадков. Этот цикл повторяется 45 раз в год. Речной годовой сток составляет лишь 7 % общего количества осадков. Таким образом, основной источник пресной воды – атмосферная вода – оказывается пока неиспользуемой. По данным этой же работы [1] средняя абсолютная влажность близ земной поверхности составляет 11 г/м³, а в тропических регионах она доходит до 25 г/м³ и выше. Большое количество стран тропического пояса страдает от отсутствия пресной воды, хотя ее содержание в атмосфере весьма значительно. Например, в Джибути в течение всего года практически не бывает дождей, но абсолютная влажность составляет 18–24 г/м³. Количество воды, проносящейся над каждым квадратом в 10 км² Аравийской пустыни или Сахары, равно по объему озеру площадью 1 км² и глубиной 50 м.

С древних времен пресную воду, в очень ограниченных количествах, получали путем сбора сконденсированных капель из воздуха в результате естественного суточного радиационного охлаждения земной поверхности, а также

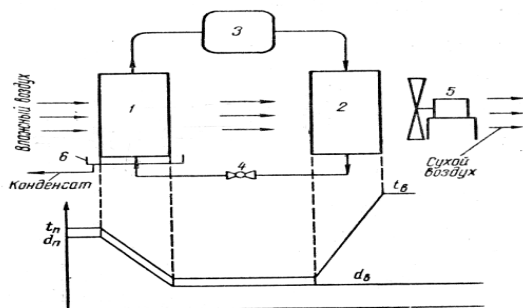


Рис.1. Принципиальная схема работы механического осушителя: 1 – воздухоохладитель непосредственного охлаждения; 2 – конденсатор воздушного охлаждения; 3 – компрессор; 4 – регулирующий вентиль; 5 – вентилятор; 6 – поддон

охлаждения в ночное время в пустынных областях пористых камней с образованием на них росы.

Главный и определяющий вопрос этой проблемы – себестоимость литра воды, мобильность установки (например, для обеспечения воинских подвижных соединений) и соответствующая производительность. Естественно, важным во-

просом остается стоимость самой установки (например, на производительность 50 литров в час, 500 литров в час или 5000 литров в час).

1. Компрессионные машины. На рис. 1. представлена схема работы механического осушителя. Осушаемый воздух поступает вначале в ребристый воздухоохладитель непосредственного охлаждения, в трубках которого кипит холодильный агент (R12 или R22).

Поскольку поверхность воздухоохладителя имеет температуру ниже точки росы осушаемого воздуха, влага конденсируется в виде капель, стекающих в поддон или иная, оседающего на наружной поверхности трубок и ребер. При этом температура и влагосодержание воздуха понижаются.

Охлажденный и осушенный воздух поступает в ребристый конденсатор воздушного охлаждения, в трубках которого конденсируется холодильный агент, сжатый компрессором до давления конденсации. Скрытая теплота конденсации передается воздуху, который нагревается до температуры, превышающей начальную температуру воздуха в помещении. Нагретый сухой воздух подается вентилятором в осушаемое помещение. Жидкий холодильный агент дросселируется с давления конденсации до давления кипения в регулирующем вентиле той или иной конструкции или в капиллярной трубке и поступает опять в испаритель, где охлаждает и осушает воздух за счет своей скрытой теплоты испарения.

Влага, выпавшая из воздуха на трубках и ребрах воздухоохладителя, стекает по ним в поддон, откуда и отводится в канализацию. В случае с затруднением с непрерывным дренированием вода накапливается в поддоне, имеющем достаточную емкость, и периодически выливается в канализацию вручную. Конденсация влаги из воздуха в виде капель имеет место при температуре поверхности воздухоохладителя выше 0 °С. Однако в ряде случаев, при температурах в помещении ниже 10-15 °С точка росы приближается к 0 °С и

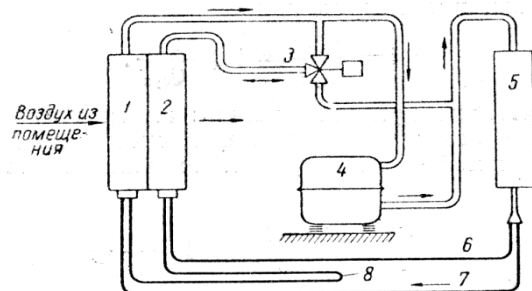


Рис. 2. Схема кондиционера с подсушиванием воздуха

температура поверхности должна быть отрицательна. При этом влага из воздуха оседает на поверхности в виде инея, который, постепенно нарастая ухудшает теплопередачу и, заполняя пространство между ребрами, препятствует прохождению воздуха.

Работа осушителя приобретает циклический характер

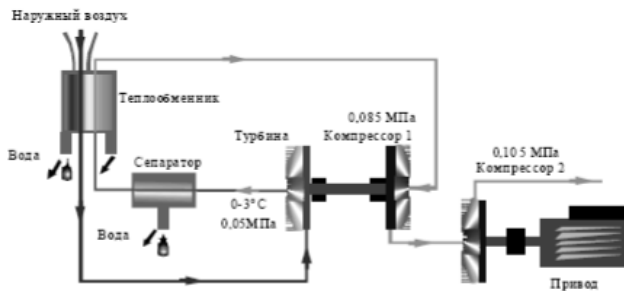


Рис. 3. Агрегат для получения воды из окружающей среды

с чередованием периодов осушения воздуха и периодов удаления инея с поверхности воздухооохладителя. При положительных температурах воздуха это оттаивание производится путем простой остановки компрессора при работающем вентиляторе. При отрицательных температурах воздуха в помещении наиболее целесообразно оттаивание производить теплыми парами холодильного агента по схеме теплового насоса. В этом случае для ускорения процесса оттаивания вентилятор должен выключаться.

Принцип осушения путем последовательного прохождения воздуха через испарительную и конденсаторную поверхность применяется также иногда и в обычных автономных кондиционерах, предназначенных для охлаждения и осушения воздуха в помещении. Обычно в этих кондиционерах автоматически регулируется лишь температура воздуха в помещении, относительная же влажность устанавливается на определенном уровне, определяемом соотношением между тепло- и влагопритоком в расчетном летнем режиме. Весной и осенью это соотношение уменьшается и появляется необходимость в меньшем охлаждении и большем осушении воздуха. Такой процесс осуществляется путем подогрева воздуха после охлаждения и осушения его в воздухооохладителе. Наиболее целесообразно для этого подогрева использовать тепло конденсации холодильного агента.

С этой целью испаритель кондиционера (рис. 2.) делится на две части с последовательным прохождением через них кондиционируемого воздуха.

Испаритель 1 присоединен к всасывающему штуцеру компрессора, а испаритель-конденсатор 2 с помощью трехходового вентиля 3 или золотника можно присоединять к всасывающей или нагнетательной линии компрессора 4. В первом случае оба испарителя работают параллельно. Жидкий фреон попадает к ним из конденсатора 5 через капиллярные трубки 6 и 7. Капиллярная трубка 8 не работает, так как соединяет в данном случае два испарителя с одинаковым давлением. Пары фреона из двух испарителей отсасываются компрессором.

Во втором случае испаритель 2 превращается в конденсатор и работает параллельно с основным конденсатором 5. Жидкий фреон подается в испаритель из обоих конденсаторов через капиллярные трубки 7 и 8. Трубка 6 не работает, так как соединяет два конденсатора с одинаковым давлением.

Трехходовой переключающий вентиль 3 приводится в действие от гиростата, находящегося в помещении.

Описанная схема нашла применение в ряде зарубежных кондиционеров.

2. Турбоагрегаты. Генератор для получения воды из воздушного бассейна (рис. 3). Агрегат позволяет получить один литр воды в час при затратах 0,5 – 1,0 кВт/ч. Он может обеспечивать производительность от 1 кг до 20 тонн воды в

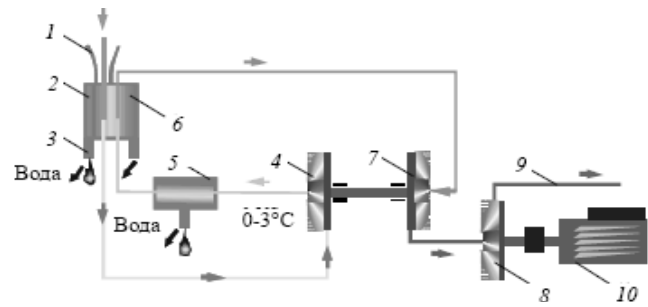


Рис. 4. Агрегат для получения воды из воздушного бассейна

час в зависимости от исполнения, типоразмера, мощности привода и влагосодержания воздуха.

Система позволяет использовать любой привод, в том числе и ДТГД, работающий на просос [2].

На рис. 4 представлен вариант исполнения и работа агрегата для получения воды из воздушного бассейна [3]. Агрегат включает в себя: 1 – входное устройство, 2 – теплообменник («горячая» сторона), 3 – систему отвода воды, 4 – детандерную турбину (здесь радиальная), 5 – сепаратор, 6 – теплообменник («холодная» сторона), 7 – первый дожимающий компрессор (здесь центробежный), 8 – второй дожимающий компрессор (здесь центробежный), 10 – привод (например, дизель).

Наружный воздух через входное устройство 1 поступает на теплообменник 2, захлаживается и сбрасывает влагу (первая ступень, отвод через 3), затем поступает на детандерную турбину 4, где расширяется до давления около 0,05 – 0,085 МПа с понижением температуры до 0 – 3°C и поступает на сепаратор 5, где осуществляется вторая ступень отвода влаги. Далее воздух подается на холодную сторону того же теплообменника 6 осушенным, поступает на компрессор 7, приводимый детандерной турбиной 4, и на второй компрессор 8, приводимый внешним источником, например, дизелем 10.

Возможны варианты исполнения, дающие помимо воды большое количество холодного воздуха для кондиционирования столовых, госпиталей, воинских палаток. Возможно использование системы с приводом от солнечных батарей. Один литр воды в час получается при затратах энергии 0,35÷1,0, кВт·час. агрегат может обеспечивать производительность от одного литра в час до 25 тонн/час – в зависимости от исполнения, типоразмера, мощности привода и влагосодержания воздуха.

Возможен вариант с работой на просос воздуха через двухконтурный газотурбинный двигатель. Возможна установка системы на бронетранспорте, танке и т.п., где она может периодически (через специальный клапан) подключаться на просос к маршевому двигателю.

При работе со штатным автомобильным двигателем (на просос через специальный клапан: включено-выключено – до 7 литров воды в час на каждые 100 кВт мощности).

Шток клапана находится в нижнем положении и воздух просасывается через систему, противном случае – шток поднят и воздух поступает в двигатель штатно. В целом рассматриваемая установка (в частности, на рис. 4.), предназначена, в первую очередь, для обеспечения питьевой водой армейских подразделений различных стран, базирующихся в жарких и засушливых регионах. Система имеет высокий экспортный потенциал и может быть мобильной по типу, показанному на рис. 5 (производительность установки таких габаритов может составлять до 250 – 500 литров воды в час).



Рис. 5. Вариант размещения системы для получения воды из воздушного бассейна с производительностью 250-500 литров воды в час

Особый интерес представляют малые агрегаты с расходом 1–2 кг/с. Естественно, в подобных агрегатах будут пониженные КПД турбоагрегатов. Ближайшим прототипом по названным КПД могут служить данные по турбомашинам агрегатов турбонаддува для ДВС.

Как видно из представленных материалов, режим рациональной эксплуатации подобных агрегатов (не более 1 кг·час/кг воды) определяется абсолютным влагосодержанием порядка 16-18 г/кг с.в. Подобные аппараты могут быть интересны, в первую очередь, для использования в войсковых подразделениях на марше и при проведении различных антитеррористических операций, когда весьма возможно отравление природных источников. По данным Пентагона вода составляет 40 % грузопотока, идущего на снабжение войск США в Ираке. Вторым направлением использования подобных аппаратов в случае комплектации их солнечными преобразователями является сельское хозяйство. Иригационные системы в жарких, засушливых регионах, работающие на солнечной энергии и атмосферной воде, могли бы ввести в сельскохозяйственный оборот огромные площади, которые в настоящее время не используются из-за неблагоприятных климатических условий.

Вода – это стратегическое сырье и вопрос выживания.

Способность рассмотренных выше агрегатов конденсировать пары воды из влажного воздуха с остаточной влажностью на уровне 4 – 8 г/кг.с.в. показывает, что при предварительном сжатии (например, $2 < \tau_k < 4$) с последующим охлаждением влажного воздуха возможно получить остаточную влажность не более 2–3 г/кг.с.в. Такой подход может быть использован как по прямому назначению – для получения воды, так и для целей консервации объектов энергетики, нефтехимии и др. Принципиальная схема агрегата показана на рис. 6.

Сам агрегат работает следующим образом: наружный

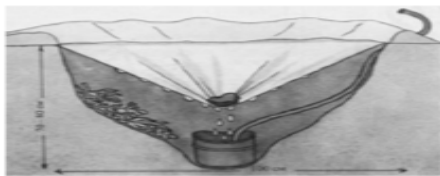


Рис. 7. Современная интерпретация древнего метода получения влаги в пустыне

воздух поступает на компрессор 8, охлаждается на теплообменнике 11 воздухом, подаваемым вентилятором 12, и далее последовательно поступает на вход 1, теплообменник 2 («горячая» сторона), турбину 4 и, расширяясь на ней до получения температуры порядка 0–3 °С, поступает на сепаратор 5. На сепараторе выпадает влага. Прогретый на теплообменнике воздух («холодная» сторона 6) поступает на турбину 7 и по коммуникации 9 поступает в атмосферу. Система приводится от силового агрегата 10 (например, дизеля) через

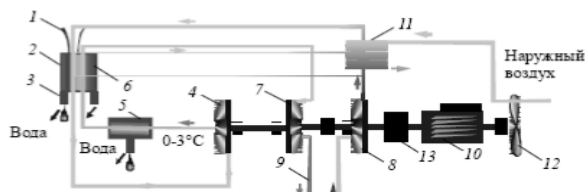


Рис. 6. Агрегат для глубокого обезвоживания воздуха для целей консервации

редуктор 13.

Современная адаптация способа получения воды из воздушного бассейна, связанного с охлаждением в ночное время в пустынных областях пористых камней с образованием на них росы [4] показана на рис. 7.

Основой конструкции является углубление 0,7 – 0,8 м диаметром ~ 1,0 м, покрытое прозрачной пленкой (вырытое ближе к рассвету, после увлажнения песка предзарассветной росой). Края пленки для создания большей герметичности присыпаются песком или землей. Проникающие сквозь пленку солнечные лучи способствуют испарению содержащей в песке влаги вплоть до полного насыщения и выпадения росы на внутренней поверхности пленки. Последней придается конусообразную форму, положив в центр ее небольшой грузик, чтобы капли конденсата стекали в водосборник. Извлечь из него воду можно, не нарушая конструкции с помощью специальной трубки. За сутки один конденсатор может дать до полутора литров воды. В работе [1] сообщается, что в г. Феодосия в России до 80-х годов XIX века не было водоснабжения из какого-либо крупномасштабного источника, но имелось много «фонтанов». Вода к фонтанам подводилась гравитационным путем (самотеком) по гончарным трубам, которые связывали их со специальным образом организованными щебневыми насыпями. В них в ночное время происходило интенсивное выхолаживание щебня, образующего насыпи-конденсаторы, в которых выпадала утренняя роса – до 7 литров воды в сутки на 1 м³ объема.

Группа ученых по руководством проф. В.В. Алексеева [1] на первой стадии проекта планирует изготовить пилотный модуль, имитирующий один из конденсаторов феодосийского типа. Вся же система будет состоять из отдельных секций-модулей. Возможно использование их вместе с солнечными энергетическими преобразователями (для выработки и подачи в систему холода). Предполагается, что

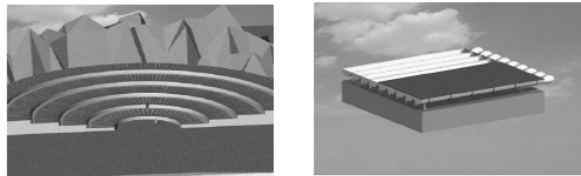


Рис. 8. Примеры предлагаемых поверхностей контакта влажного воздуха с поверхностью аппарата для получения воды из воздушного бассейна [5]

каждый модуль будет давать 10–25 м³ пресной воды в день. В результате эксплуатации этого модуля будут получены оценки эффективности системы в разное время года и в разное время дня. Также будет произведена оценка наиболее подходящего материала для создания таких систем. По данным разработчиков, стоимость проекта для обеспечения нужд 100-тысячного города оценивается в около 15 млн. дол. Эта цифра в два раза меньше, чем затраты на существующие методы опреснения.

Общий вид подобных агрегатов (РОСА-1, РОСА-2) показан на рис. 8.

3. Теплоиспользующие солнечные системы. На рис. 9 приведена схема установки для получения пресной воды из атмосферного воздуха [6].

Установка содержит водосборник 1, на котором находится аккумулятор холода 2, в нижней части его расположены воздушные трубы 3. Тепловые трубы 4 также находятся одним ребренными концом в аккумуляторе холода 2, при этом другие ребреннные концы находятся в воздухе.

Над аккумулятором холода 2 расположена выпяжная труба 5, внутри которой расположен нагреватель воздуха 6, соединенный трубами с солнечным коллектором 7.

Аккумулятор холода 2 выполнен из твердого материала, образующего объем с большой конденсационной поверхностью и хорошей проницаемостью для воздушных потоков. Для уменьшения стоимости установки в качестве такого материала можно использовать щебень, крупную гальку и другие материалы, создающие воздухопроницаемую структуру с развитой поверхностью. Если использовать для создания аккумулятора холода 2 такие материалы, как щебень, то воздушные каналы 3 могут быть выполнены в виде полых труб с боковыми отверстиями в их стенках.

Тепловая труба 4 представляет собой устройство, способное передавать большие тепловые потоки при малых перепадах температур. Она состоит из герметической трубы, заполненной жидким теплоносителем, который, испаряясь у одного конца трубы, поглощает теплоту, а конденсируясь у другого конца, отдает ее. Таким образом, перенос тепла осуществляется в одном направлении. Теплоносителем может быть вода. Выпяжная труба 5 может быть выполнена в виде легкой конструкции, например каркаса, обтянутого пленкой. Нагреватель воздуха 6 выполнен в виде емкости из материала с хорошей теплопроводимостью и заполнен водой. Солнечный коллектор 7 – это устройство для нагревания воды с помощью солнечного излучения.

Установка работает следующим образом. Ночью температура поверхности земли и воздуха начинает уменьшаться за счет радиационного излучения. Когда температура воздуха становится ниже температуры в месте заложения тепловой трубы, он начинает охлаждать аккумулятор холода изнутри. Для того, чтобы процесс переноса тепла шел интенсивнее, части тепловой трубы, находящиеся в тепловом аккумуляторе и в воздухе, снабжены ребрами. Поскольку в нагревателе воздуха 6 находится теплая вода, нагретая за день с помощью солнечного коллектора 7, в выпяжной трубе 5 создается поток теплого воздуха. В результате создается

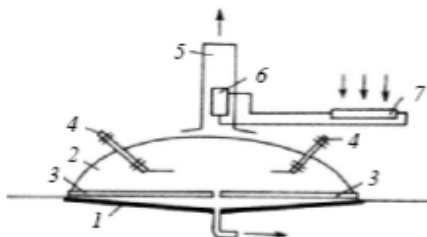


Рис. 9. Установка для получения воды из воздушного бассейна [6]

разность давлений, и атмосферный воздух по воздушным каналам 3 поступает в нижнюю часть аккумулятора холода, поднимается вверх и выходит в выпяжную трубу 5. Если влажность воздуха составляет 100%, то находящийся в нем водяной пар конденсируется на внутренней поверхности ак-

кумулятора холода. Если влажность воздуха меньше 100%, то предварительно воздух охлаждается до температуры, когда пар становится насыщенным.

Процесс конденсации водяного пара продолжается также и днем, только вначале теплый атмосферный воздух охлаждается аккумулятором холода до температуры, когда находящийся в нем пар станет насыщенным. Днем образованию воздушных потоков через аккумулятор холода способствует также его нагрев солнечными лучами, что создает внутри него градиент температур. Таким образом, для работы установки не требуется энергии, функционирует она автоматически и является экологически чистой.

Еще один вариант конструкции, предназначенной для получения воды из воздушного бассейна, описан в патенте В.В. Алексеева и А.В. Дворянинова [7] (рис. 10).

Влажный воздух из окружающего пространства засасывается вентилятором 4 в центральный канал 8 воздуховода 1, выполненного в виде трубки Фильда (тепловая труба) и содержащего ребренные нижние части 9 термосифонов (зоны испарения) и, опускаясь вниз, отдает тепло хладагенту, испаряющемуся в термосифонах. Пары хладагента конденсируются в зоне конденсации, в верхней части термосифона благодаря радиационному охлаждению, причем для обеспечения стекания конденсата зона конденсации наклонена на 30–40° по отношению к горизонту. Излучающая поверхность экранирована селективным покрытием – прозрачной полимерной пленкой, пропускающей преимущественно инфракрасное излучение. В результате воздух охлаждается до точки росы. Водяной пар, содержащийся в воздухе, частично конденсируется на поверхности зоны испарения термосифонов, затем конденсат стекает в водосборник. Холодный воздух проходит во внешний, подъемный канал кольцевого сечения 10 и, поднимаясь вверх, дополнительно охлаждает влажный воздух, движущийся вниз по центральному опускающему каналу воздуховода.

Установка обеспечивает непрерывное получение воды из влажного воздуха, обусловленное текущими значениями температуры и влажности воздуха. Устройство установки допускает ее изготовление в быстро собираемом и разбираемом виде.

Известны иные подходы. Влажный воздух подают на адсорбент, который поглощает водяной пар из проходящего через него потока воздуха. На стадии десорбции нагревают слой сорбента с помощью расположенных непосредственно в слое сорбента источников тепла. После этого десорбированный водяной пар удаляют из слоя сорбента, конденсируют в конденсаторе и собирают в емкости для хранения.

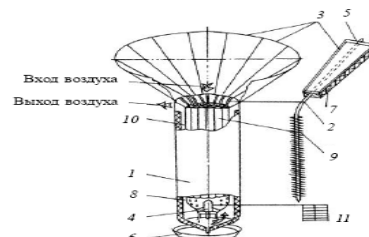


Рис. 10. Установка для получения воды из воздушного бассейна [7]

На рис. 11. изображен один из примеров устройства для получения пресной воды из воздуха, использующего принцип нагрева слоя сорбента водяным паром [8].

Устройство состоит из адсорбера 3, содержащего сорбент, компрессора водяного пара 7, приводимого в действие

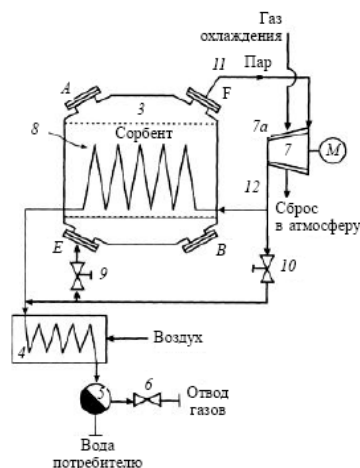


Рис. 11. Установка для получения воды из воздушного бассейна [8]

электромотором М, теплообменника-конденсатора водяного пара 8, расположенного внутри адсорбера 3, регулировочного клапана 9 для поддержания давления в адсорбере 3 на требуемом уровне, регулировочного вентиля 10 для управления потоком пара через конденсатор 8, теплообменника 4, приемника конденсата 5 и выпускного клапана 6 для выхода неконденсирующихся газов. Выход паровоздушной смеси F адсорбера соединяют патрубком низкого давления 11 со входом компрессора 7, который, в свою очередь, соединяют посредством разветвляющегося патрубка высокого давления 12 с конденсатором 8 и регулировочным вентилем 10. Патрубком высокого давления соединяют выход конденсатора 8 со входом теплообменника 4. Разветвляющимся патрубком высокого давления соединяют регулировочный вентиль 10 через регулировочный клапан 9 со входом E для паровоздушной смеси адсорбера 3 и со входом теплообменника 4. Выход теплообменника 4 соединяют с приемником 5, в котором предусмотрен выпускной клапан 6, предназначенный для отвода неконденсирующихся газов. В конструкции адсорбера предусмотрен также вход А и выход В для осушаемого воздуха на стадии адсорбции.

Вход рубашки воздушного охлаждения 7а компрессора 7 соединяют через патрубок с низким аэродинамическим сопротивлением с выходом адсорбционного контура установки.

На стадии десорбции адсорбер 3 переключают в десорбционный контур компрессора 7, после чего с помощью указанного компрессора начинают удалять водяной пар из слоя сорбента. Нагретый пар подают непосредственно в конденсатор 8 для нагрева слоя сорбента в адсорбере 3. При

повышении давления выше допустимого открывают выпускной клапан 6, через который производят отвод неконденсирующихся газов. Давление в адсорбере 3 поддерживают на постоянном уровне, оптимальном для работы компрессора посредством регулировочного клапана 9.

Чтобы избежать перегрева адсорбера 3 и содержащегося в нем сорбента, скорость тепловыделения в конденсаторе 8 регулируют вентилем 10, который позволяет подавать водяной пар в обход конденсатора 8 непосредственно на теплообменник 4, в котором происходит дополнительная конденсация водяного пара, поступающего при повышенном давлении с конденсатора 8 и регулировочного вентиля 10. Сконденсированную пресную воду через соответствующий выход приемника 5 подают потребителю, в то время как неконденсирующиеся газы отводят через выпускной клапан 6.

Оптимальную температуру компрессора 7 в процессе эксплуатации поддерживают с помощью рубашки воздушного охлаждения 7а, в которую подают, например, сухой воздух после стадии адсорбции.

Выводы. В результате, анализ показал, что наиболее перспективны АХА. Рабочее тело АХА состоит из природных компонентов – водоаммиачного раствора с добавкой инертного газа (водорода, гелия либо их смеси) и является абсолютно экологически безопасным – имеет нулевые значения озоноразрушающего потенциала и потенциала «парникового» эффекта [9].

Адсорбционные холодильные приборы имеют и ряд таких уникальных качеств, как:

а) бесшумность, высокая надежность и длительный ресурс, отсутствие вибрации, магнитных и электрических полей при эксплуатации;

б) возможность использования в одном аппарате нескольких источников энергии – как электрических, так и альтернативных (теплота сгорания органического топлива, солнечное излучение, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания, «горячий» поток воздуха вихревой трубы, теплонагруженные элементы радиоэлектронной аппаратуры);

в) возможность работы с некачественными источниками энергии, в том числе и электрической, в диапазоне напряжения сети 160...240 В.

К достоинствам АХП следует отнести меньшую по сравнению с компрессионными аналогами стоимость, что во многих случаях и определяет их популярность у пользователей.

Поступила 11.2011

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев, В.В. Получение пресной воды из влажного воздуха [Текст] / В.В. Алексеев, К.В. Чекарев // Аридные экосистемы. Т. 2., 1996. № 2–3.
- Ерофеев, В.Л. Повышение мощности и экономичности газосиловой установки речного судна путем использования термогазодинамического эффекта: Автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / Ленинград. ин-т водного транспорта. Л., 1970.
- Пат. № 2251642 Российская Федерация, МПК F 24 F 3/14. Способ получения воды из воздушного бассейна [Текст] / Б.Х. Перельштейн; заявитель и патентообладатель Казан. гос. техн. ун-т. – № 2002113866; заявл. 27.05.02; опубл. 10.05.2005. Бюл. № 13.
- Andrew Delano. Design Analysis of the Einstein Refrigeration Cycle. Georgia Institute of Technology, June 1998.
- ООО Инженерный центр Промгазпарат. Теплообменник-утилизатор высокотемпературный. [Электронный ресурс] / <http://8162.ukrindustrial.com/cat.php?oid=20253>. Проверено 20.07.2008
- Пат. №2131000 Российская Федерация, МПК F 24 F 3/14. Установка для получения пресной воды из атмосферного воздуха [Электронный ресурс] / Алексеев В.В., Рустапов Н.А., Чекарев К.В.; заявитель и патентообладатель Моск. гос. ун-т. Приоритет 25.02.1998. http://www.ntpo.com/patents_water/water_2/water_41.shtml.
- Пат. 2182623 Российская Федерация, МПК F 24 F 3/14. Установка с радиационным охлаждением для получения пресной воды из влажного воздуха [Электронный ресурс] / Алексеев В.В., Дворянинов А.В.; заявитель и патентообладатель Приоритет 24.01.2000. http://www.ntpo.com/patents_water/water_2/water_40.shtml.
- Пат. № 2185482 Российская Федерация, МПК E03B3/28. Установка для получения биологически чистой пресной воды при конденсации влаги из атмосферного воздуха [Электронный ресурс] / Алексеев В.В., Алексеева О.В.; заявитель и патентообладатель Моск. гос. ун-т. – № 2000119596/03; заявл. 25.07.2000; опубл. 20.07.2002; <http://ru-patent.info/21/85-89/2185482.html>.