



СОЛНЕЧНЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ТЕПЛОМАСООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Розум М.В.¹, Дорошенко А.В.²

¹ Одесский национальный морской университет,

² Одесская государственная академия холода

Реферат – В статье представлены разработанные схемные решения солнечных холодильных систем и систем кондиционирования воздуха, основанных на использовании теплоиспользующего абсорбционного цикла и солнечной энергии для регенерации раствора абсорбента. Тепломасообменная аппаратура, входящая в состав осушительного и охладительного блока унифицирована и выполнена на основе многоступенчатых моноблочных композиций. Выполнен предварительный анализ возможностей солнечных систем применительно к задачам охлаждения сред и кондиционирования воздуха

Ключевые слова: солнечные системы, кондиционирование воздуха, холодильные системы, тепломасообменная аппаратура

SOLAR REFRIGERATION SYSTEMS BASED ON THE MULTI-STAGE HEAT-MASS TRANSFER APPARATUS

Rozum M.V.¹, Doroshenko A.V.²

Odessa national marine University¹

Odessa National Refrigeration Academy²

Abstract – Circuit solutions for the solar refrigeration systems and air-conditioning systems, based on the usage of open absorptive cycle and sun energy for the regeneration of absorbent solution are shown. Heat-mass equipment used in drying an cooling block is standardized and is implemented based of multi-stage monolithic compositions. The preliminary analysis of solar systems possibilities for environments cooling and air-conditioning tasks is performed.

Keywords: solar systems, air conditioning systems, refrigeration systems, heat-mass apparatus.

SISTEMELE SOLARE DE REFRIGERARE BAZATE PE SCHIMBĂTOARE DE CĂLDURĂ ȘI DE MASĂ CU MULTE TREPTE

Rozum M.V.¹, Doroshenko A.V.²

Universitatea Națională maritimă din Odesa¹,

Academia de Stat de frig din Odesa²

Rezumat – În articol sunt prezentate soluțiile schematice ale sistemelor solare frigorifice și sistemelor de climatizare a aerului, bazate pe principiul de utilizare a ciclului de absorbție a căldurii și utilizării energiei solare pentru regenerarea soluției absorbentului. Echipamentul de schimb de căldură care intră în componența blocului de uscare și de răcire este unificat și fabricat pe bază elementelor monolite cu multe trepte. Este efectuată analiza prealabilă a posibilităților sistemelor solare referitor la problemele de răcire a mediilor și de climatizare a aerului.

Cuvinte-cheie: sistemele solare, sisteme de climatizare, sisteme de refrigerare, echipament de schimb de căldură.

I. ВВЕДЕНИЕ

Сопряженные проблемы энергетики и экологии интенсифицируют поиск альтернативных решений в области альтернативных холодильных и кондиционирующих систем. Эффективность испарительного охлаждения ограничена климатическими условиями, тем не менее, интерес к возможностям испарительных охладителей как прямого, так и непрямого типа в последние годы

неуклонно возрастает, что обусловлено их малым энергопотреблением и экологической чистотой. Испарительные охладители могут использоваться в составе солнечных осушительно-испарительных систем, основанных на открытом теплоиспользующем абсорбционном цикле, где предварительное осушение воздуха обеспечивает высокую эффективность последующего испарительного охлаждения сред в холодильных системах и термовлажностную

обработку воздуха в системах кондиционирования [1-2].

I. Разработанные схемные решения для многофункциональных энергетических (солнечных) систем

Основная концепция создания многофункциональных солнечных энергетических систем МЭС включает следующие позиции:

1. Многофункциональные солнечные системы основаны на теплоиспользующем абсорбционном цикле открытого типа и состоят из осушительной части в составе абсорбер-осушитель – десорбер-регенератор и охлаждающей части, в составе испарительных охладителей газов и жидкостей прямого (воздухоохладитель ПИО или водоохладитель-градирня ГРД), или непрямого (НИО, НИО/Р) типов;

2. Поддержание непрерывности цикла МЭС обеспечивает либо альтернативный возобновляемый источник энергии, либо традиционный источник, при этом источником тепла для работы десорбера-регенератора является либо солнечная система, либо электрический или газовый бойлер, а также любой источник тепловых выбросов; оптимальным для устойчивой работы МЭС является рациональное, с учетом величины солнечной активности, ветровой нагрузки и др. аспектов, сочетание альтернативного и традиционных источников энергии;

3. В солнечной системе используются плоские солнечные коллекторы как с металлическими, так и с полимерными теплоприемниками и другими элементами конструкции (прозрачное покрытие, корпусная часть) [1-2];

Принципиальная схема разработанной МЭС представлена на рис. 1 и 2, а на рис. 3 и 4 приведены основные варианты оформления блока охлаждения. Схемы включают осушительный блок в составе абсорбера-осушителя (позиции 1, 3) и десорбера-регенератора (позиция 7), солнечную систему, в составе солнечных коллекторов СК, позиция 8, и бака-теплоаккумулятора БТА (позиция 9) и градирню технологического назначения (10), обслуживающую абсорбер, а также охлаждающий блок, в составе воздухоохладителей непрямого испарительного типа НИО (1 и 3) и водоохладителя-градирни ГРД (рис. 2 и 4). Таким образом, основная формула сборки блока охлаждения представляет собой варианты: АБР1 – НИО1 – АБР2 – НИО2 (рис. 1) и АБР1 – НИО1 – АБР2 – ГРД (рис. 2). Первый вариант сориентирован на создание альтернативных систем кондиционирования воздуха АСКВ, второй на создание холодильных систем различного назначения АСХС.

Солнечная система обеспечивает реализацию процесса восстановления слабого раствора абсорбента, покидающего абсорбер-осушитель наружного воздуха, причем на линии горячего крепкого и холодного слабого растворов абсорбента установлен теплообменник (11). БТА может также включать дополнительный встроенный

теплообменник (12) для компенсации колебаний солнечной активности и ветровой нагрузки в месте установки МЭС. Разработанная МЭС может функционировать, получая тепло на регенерацию абсорбента от любого наличного источника низкопотенциального тепла.

Блок охлаждения может быть также построен по формуле: АБР1 – НИО/Р1 – АБР2 – НИО/Р2, либо АБР1 – НИО/Р – АБР2 – ГРД (рис. 2), где НИО/Р представляет собой испарительный охладитель НИО регенеративного типа, с разделением воздушного потока не на входе в ступень испарительного охлаждения, а на выходе из нее.

II. Тепломассообменная аппаратура для реализации процессов тепломассообмена в осушительном и охлаждающем контурах многофункциональных солнечных систем

Разработана основная концепция создания тепломассообменной аппаратуры для многофункциональных солнечных систем:

1. Используется модульная (кассетная) схема создания тепломассообменных аппаратов как в осушительной, так и охлаждающей частях схем, на основе идентичных элементов (моноблоков), каждый из которых представляет собой автономную ступень для реализации заданного процесса;

2. Все тепломассообменные аппараты как осушительного, так и охлаждающего контуров (абсорберы-осушители, десорберы-регенераторы, испарительные охладители сред), унифицированы, и выполнены как поперечноточные аппараты пленочного типа с многоканальной насадкой регулярной структуры; выполненной из металлов, либо полимерных материалов; рекомендуемые размеры каналов (величина эквивалентного диаметра каналов) составляют диапазон $d_{\text{э}} = 10-20\text{мм}$ (рекомендации по данным исследования [3]);

3. Абсорбер-осушитель выполнен многоступенчатым на основе идентичных моноблоков, каждый из которых представляет автономную ступень осушения воздушного потока, при этом каждый моноблок абсорбера состоит из системы чередующихся каналов, в которых реализуются одновременно процессы осушения воздуха раствором абсорбента и охлаждения каналов абсорбера холодной водой; между ступенями абсорбера имеются распределительные камеры и каждая ступень (моноблок) имеет автономные распределитель и емкость для раствора абсорбента;

4. Десорбер-регенератор выполнен многоступенчатым на основе идентичных моноблоков, каждый из которых представляет автономную ступень восстановления концентрации абсорбента, при этом каждый моноблок десорбера состоит из системы чередующихся каналов, в которых реализуются одновременно процессы восстановления абсорбента и нагрев каналов десорбции горячей водой от солнечной системы; между ступенями десорбера имеются распределительные камеры и каждая ступень

(моноблок) имеет автономные распределитель и емкость для раствора абсорбента;

5. В охлаждающей части схем используется модульная схема создания многоступенчатого испарительного охладителя на основе идентичных моноблоков, каждый из которых представляет собой автономную ступень охлаждения, модуль НИО, или градирни ГРД, при этом каждый многоступенчатый охладитель включает последовательно установленные ступени испарительного охлаждения (моноблоки), каждый из которых состоит из системы чередующихся «сухих» и «мокрых» каналов; между ступенями охлаждения (моноблоками) имеется распределительная камера, где происходит разделение на основной и вспомогательный воздушные потоки; каждая ступень охлаждения (моноблок) имеет автономную емкость для жидкости;

6. Размеры каналов в моноблоке НИО, в «сухой» и «мокрой» частях, идентичны (форма каналов и величина эквивалентного диаметра каналов) и могут уменьшаться в направлении движения основного воздушного потока; соотношение основного и вспомогательного воздушных потоков для каждой ступени охлаждения (моноблока) составляет $1 = G_v/G_o = 1/4 - 1/2$ и может варьироваться по длине многоступенчатого охладителя; в соответствии с этим лежит и соотношение площадей сечений «мокрых» и «сухих» каналов в моноблоке $a = f_v/f_o$, при условии равенства скоростей движения основного и вспомогательного воздушных потоков в каналах «сухой» и «мокрой» частей для каждого моноблока НИО; число ступеней охлаждения (моноблоков) в сборке охладителя определяется требуемым эффектом охлаждения и расчетным долевым расходом получаемого продукта;

В осушительном контуре многофункциональных солнечных систем используются многоступенчатые абсорберы-осушители и десорберы-регенераторы. В охлаждающем контуре многофункциональных солнечных систем используются многоступенчатые воздухо- и водоохладители в различных комбинациях, включаемые в схемы после соответствующих абсорберов-осушителей воздуха (рис. 1-4).

В испарительном охладителе непрямого типа (рис. 1, позиции 2 и 4, ступени охлаждения НИО1 и НИО2), получившем наибольшее распространение в последние годы [1-2, 4-7], воздушный поток, поступающий на охлаждение делится на две части. Вспомогательный поток воздуха (В) поступает в «мокрую» часть охладителя, где контактирует с водяной пленкой, стекающей по поверхностям канала и обеспечивает испарительное охлаждение воды, которая, в свою очередь, охлаждает бесконтактно, через разделяющую стенку, основной воздушный поток (О, соответственно после каждой ступени охлаждения O_1 и O_2). Этот «продуктовый» поток воздуха охлаждается при неизменном влагосодержании, что обеспечивает преимущества при создании на основе НИО систем кондиционирования воздуха СКВ. Вспомогательный

воздушный поток выносит все тепло из аппарата в «связанном» виде, его температура также понижается и влагосодержание возрастает (поток ОВ, соответственно после каждой ступени охлаждения это потоки V_1 и V_2 , после теплообменников это потоки V^*_1 и V^*_2). Температура воды в цикле сохраняет неизменное значение и оказывается на несколько градусов выше температуры мокрого термометра поступающего в НИО воздуха, осушенного в соответствующей ступени абсорбера АБР1 и АБР2). Эта температура зависит от соотношения воздушных потоков в НИО, основного и вспомогательного, и является пределом охлаждения для обоих воздушных потоков.

Испарительные охладители НИО могут быть обычного и регенеративного типов [2-3], отличаясь местом разделения воздушного потока, поступающего в НИО. Во втором случае (рис. 2, позиция 2) обеспечивается более глубокое охлаждение воздуха, поскольку здесь процесс испарительного охлаждения воды в «мокрой» части аппарата ориентирован на температуру мокрого термометра воздуха, уже прошедшего охлаждение в «сухой» части охладителя и пределом охлаждения, в принципе, является температура точки росы наружного воздуха. Такая схема предпочтительна для глубокого охлаждения сред, но характеризуется и более высоким уровнем энергозатрат. Обстоятельному изучению возможностей охладителя регенеративного типа НИО/R посвящено исследование Maisotsenko V. и Lelland Gillan [7].

В качестве испарительного водоохладителя в схеме может использоваться «продуктовая» градирня ГРД (рис. 2 и 4), что обеспечивает получение «захоленной» воды и может служить основой для создания как альтернативных холодильных систем АСХС, так и систем кондиционирования воздуха АСКВ с подачей холодной воды в помещение на вентилируемые водо-воздушные теплообменники. Воздух, покидающий градирню, работающую на низком температурном уровне, может также использоваться для охлаждения крепкого раствора, поступающего из десорбера-регенератора.

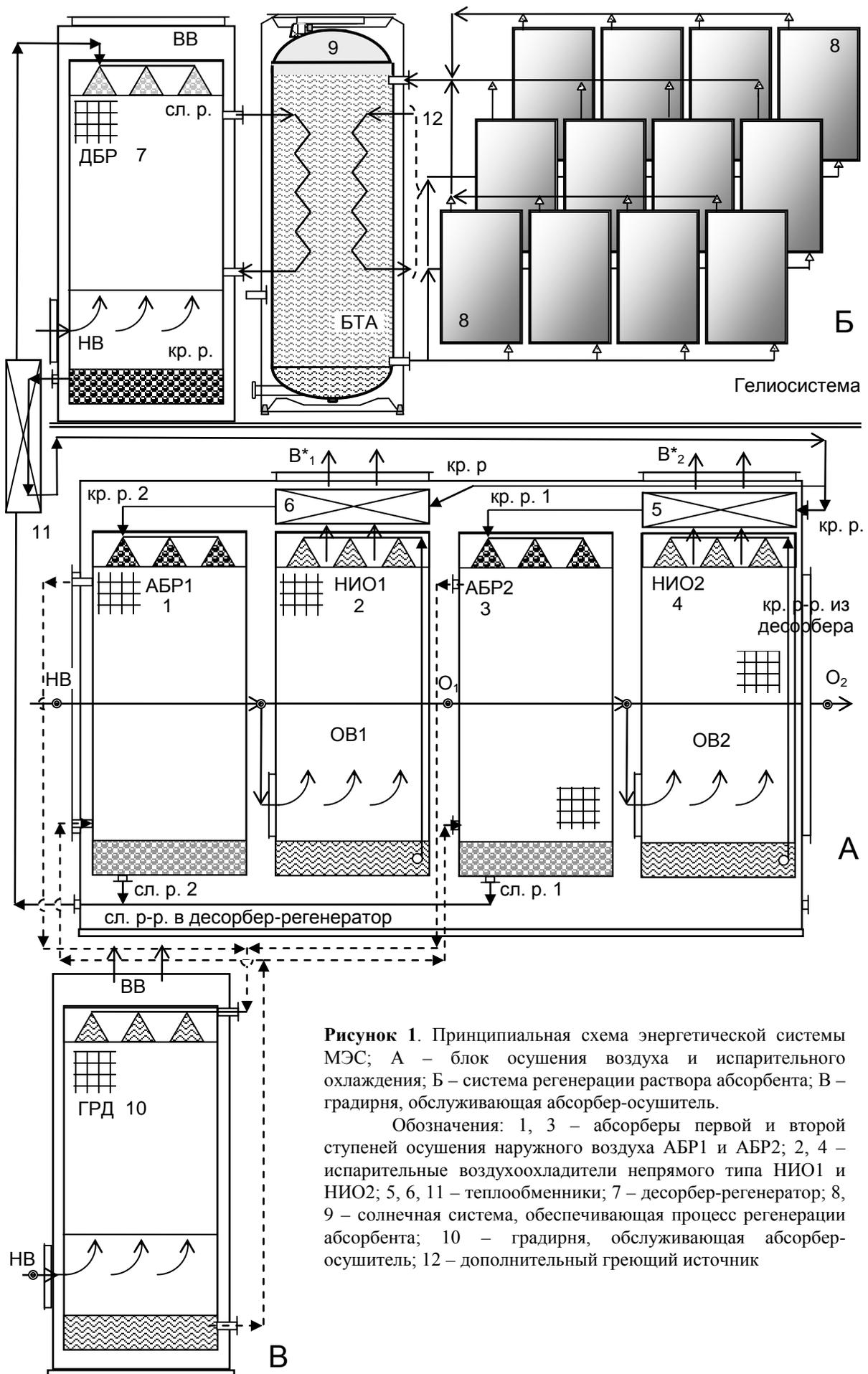


Рисунок 1. Принципиальная схема энергетической системы МЭС; А – блок осушения воздуха и испарительного охлаждения; Б – система регенерации раствора абсорбента; В – градирня, обслуживающая абсорбер-осушитель.

Обозначения: 1, 3 – абсорберы первой и второй ступеней осушения наружного воздуха АБР1 и АБР2; 2, 4 – испарительные воздухоохладители непрямого типа НИО1 и НИО2; 5, 6, 11 – теплообменники; 7 – десорбер-регенератор; 8, 9 – солнечная система, обеспечивающая процесс регенерации абсорбента; 10 – градирня, обслуживающая абсорбер-осушитель; 12 – дополнительный греющий источник

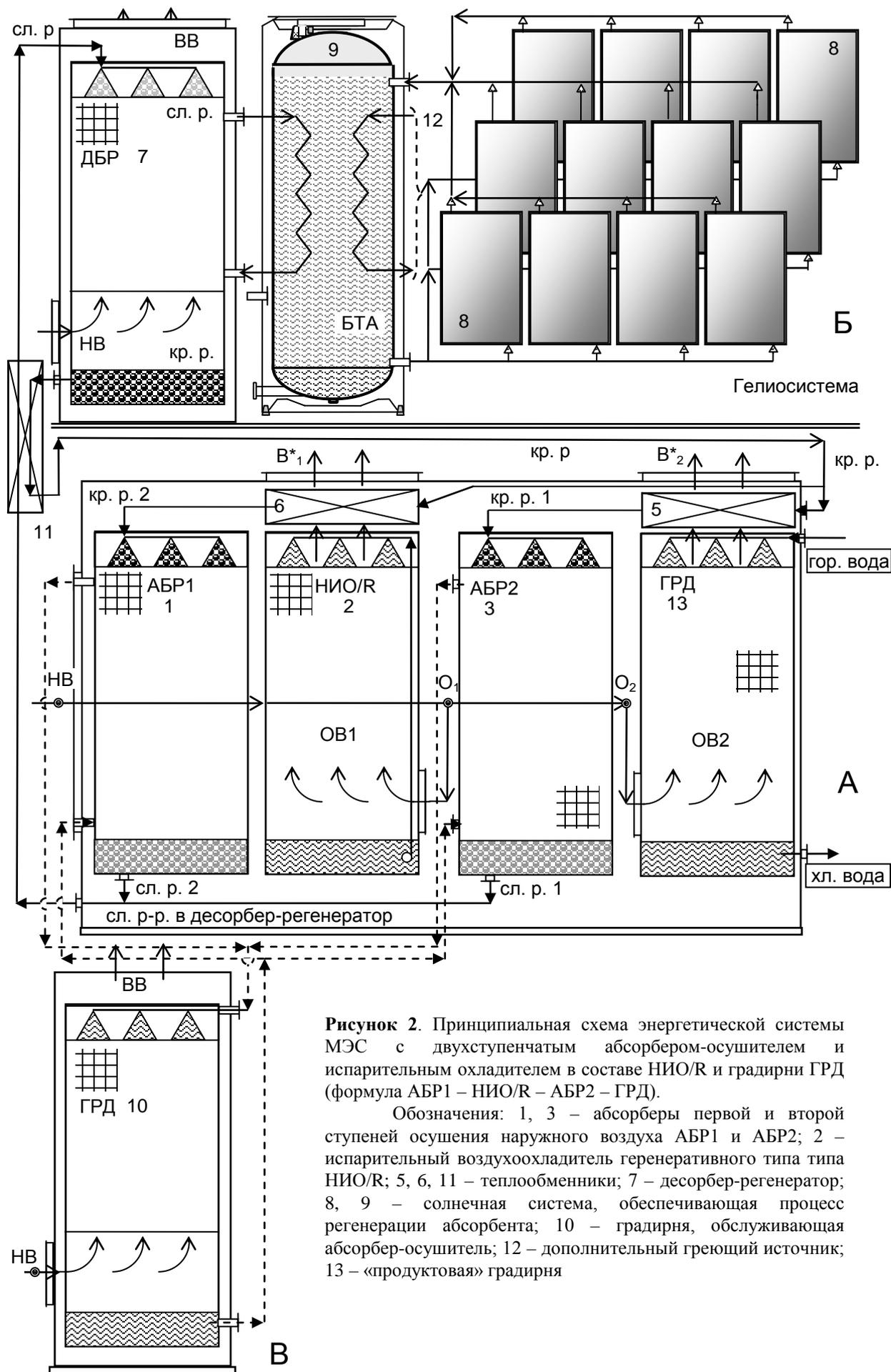


Рисунок 2. Принципиальная схема энергетической системы МЭС с двухступенчатым абсорбером-осушителем и испарительным охладителем в составе НИО/R и градирни ГРД (формула АБР1 – НИО/R – АБР2 – ГРД).

Обозначения: 1, 3 – абсорберы первой и второй ступеней осушения наружного воздуха АБР1 и АБР2; 2 – испарительный воздухоохладитель генеративного типа НИО/R; 5, 6, 11 – теплообменники; 7 – десорбер-регенератор; 8, 9 – солнечная система, обеспечивающая процесс регенерации абсорбента; 10 – градирня, обслуживающая абсорбер-осушитель; 12 – дополнительный греющий источник; 13 – «продуктовая» градирня

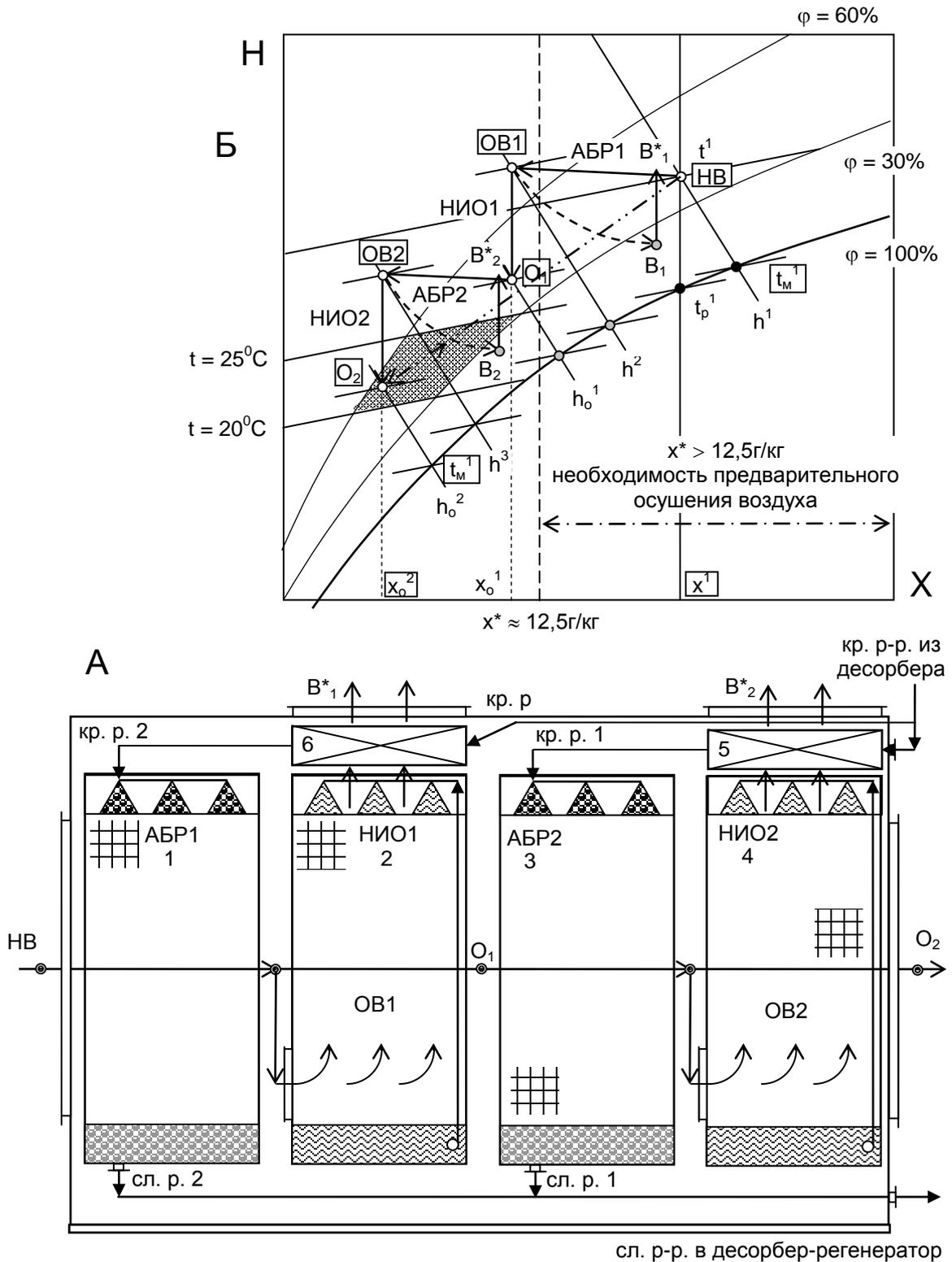


Рисунок 3. Принципиальная схема блока охлаждения энергетической системы МЭС (А) с двухступенчатым осушителем воздуха (АБР) и характер протекания процессов на Н-Х диаграмме влажного воздуха (Б).

Обозначения: 1 – абсорбер первой ступени осушения наружного воздуха АБР1; 2 – испарительный воздухоохладитель непрямого типа НИО1; 3 – абсорбер второй ступени осушения АБР2; 4 – испарительный воздухоохладитель НИО2; 5, 6 – теплообменники на потоках «вспомогательный воздушный поток - крепкий раствор абсорбента»; 7 – зона «комфортных параметров» воздуха

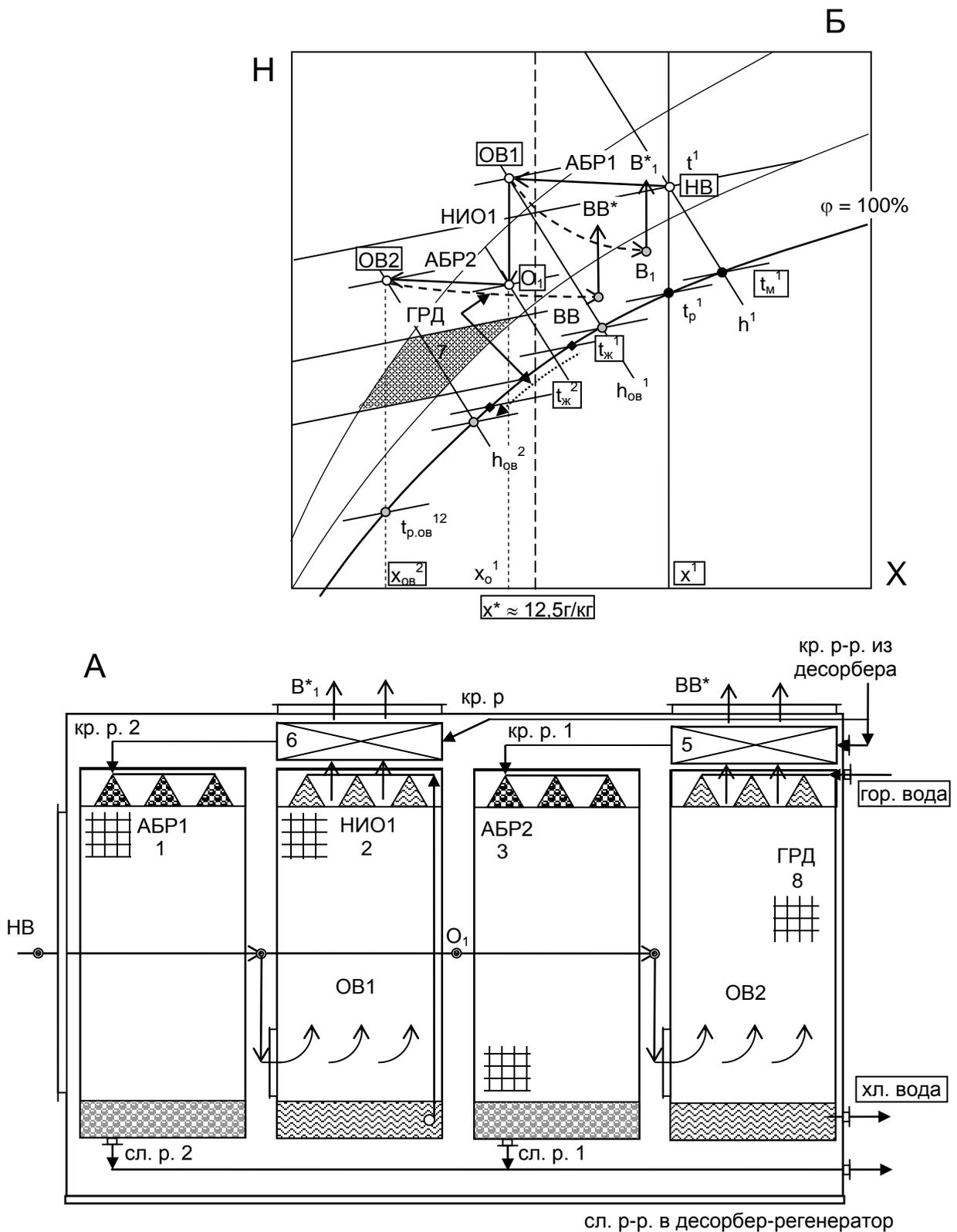


Рисунок 4. Принципиальная схема блока охлаждения энергетической системы МЭС (А) с двухступенчатым осушителем воздуха (АБР) и низкотемпературным вохоохладителем испарительного типа (градирней ГРД), и характер протекания процессов на Н-Х диаграмме влажного воздуха (Б).

Обозначения по рис. 3, дополнительно: 8 – градирня ГРД

III. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ

Предварительный анализ возможностей разработанных многофункциональных энергетических солнечных систем МЭС выполнен на основе ранее полученных в ОГАХ экспериментальных данных по эффективности процессов в теплообменных аппаратах осушительного и охладительного контуров [1-3]. Начальное влагосодержание наружного воздуха выбрано значительно выше критической величины $x^* \approx 12,5 \text{ г/кг}$, что требует обязательного осушения воздуха перед испарительным охлаждением среды (газа либо жидкости) для обеспечения комфортных параметров воздуха.

На рис. 3 в поле Н-Х диаграммы влажного воздуха показано протекание процессов в основных элементах МЭС применительно к схеме блока охлаждения с двухступенчатым осушителем воздуха и испарительными охладителями непрямого типа НИО, оформленной по формуле АБР1 – НИО1 – АБР2 – НИО2. Для НИО, на основе ранее полученных в ОГАХ экспериментальных данных [3], принята величина эффективности процесса охлаждения по основному и вспомогательному потокам, равная $E_O = E_B = (t^1 - t^2)/(t^1 - t_M) = 0,65$, при эффективности теплообменников (5 и 6) $E_{TO} = 0,8$. Температура воды, рециркулирующей через «мокрую» часть НИО принята $t^*_{Ж} = t^1_M + 1,5-2,5^0\text{С}$. На самом деле эффективность охлаждения вспомогательного воздушного потока несколько выше, чем основного, величина E_B несколько выше чем E_O , а реальное значение величины $t^*_{Ж}$ зависит от соотношения расхода воздушных потоков в «сухой» и «мокрой» частях НИО, $l = G_O / G_B$, так что результаты выполненного анализа носят предварительный характер и несколько занижены.

На диаграмме Н/Х показана область комфортных параметров воздуха, обусловленная сочетанием температуры и относительной влажности воздуха в кондиционируемом помещении (КЗ) [1]. Определяющим для СКВ являются требования к термовлажностным параметрам воздуха в кондиционируемом помещении. Основным показателем микроклимата являются: температура в характерных зонах помещений, влажность и гигиеническое состояние внутреннего воздуха. Температура и влажность, их максимальные расчетные значения, колебания и изменения в течение суток и в течение года являются важнейшими факторами, влияющими на пребывающих в помещении людей. Некоторое значение имеет также скорость движения воздуха в помещении. Основная задача СКВ – подача в обслуживаемое помещение необходимого количества свежего воздуха с температурой и влажностью, обеспечивающими комфортные термовлажностные параметры для жилых и общественных помещений. В соответствии со стандартами бывшего СССР [Строительные нормы и правила СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», Государственный строительный комитет СССР, Москва, 1997] зона оптимальных

термовлажностных параметров для теплого (летнего) периода года ограничена изотермами 20 и 25 °С и линиями $\varphi = 30\%$ и 60% (на рис. 3 и 4 зона комфортных параметров выделена серым цветом). Стандартом оговорена и расширенная комфортная зона с допустимыми параметрами: изотермами 18 и 28 °С, слева кривой $\varphi = 30\%$, справа ломанной линией с характерными точками ($t = 27^{\circ}\text{С}$, $\varphi = 60\%$; $t = 26^{\circ}\text{С}$, $\varphi = 65\%$; $t = 25^{\circ}\text{С}$, $\varphi = 70\%$; $t = 24^{\circ}\text{С}$, $\varphi = 75\%$). По данным американской ассоциации инженеров по отоплению и вентиляции ASHRAE 55-56 [ASHRAE 1989 Fundamentals Handbook (SI)] для летнего периода комфортная зона ограничена изотермами $t = 10$ и 24°С и линиями $\varphi = 30\%$ и 70% , то есть она еще шире, чем указанные выше. В основных расчетах мы ориентировались на зону допустимых комфортных параметров воздуха по СНиП 2.04.05-91.

На рис. 3 показаны процессы: НВ-ОВ1 и О₁-ОВ2 – осушения воздушного потока в абсорберах первой и второй ступени АБР1 и АБР2; ОВ1-О₁ и ОВ2-О₂ – охлаждения основного воздушного потока при неизменном влагосодержании в ступенях испарительного охлаждения НИО1 и НИО2; ОВ1-В₁ и ОВ2-В₂ – изменения состояния вспомогательного воздушного потока в каждой из ступеней охлаждения НИО; В₁-В*₁ и В₁-В*₁ – нагрев выбрасываемого из НИО вспомогательного воздушного потока в теплообменниках 5 и 6, предназначенных для охлаждения крепкого раствора абсорбента перед соответствующей ступенью абсорбера.

Видно, что процесс абсорбции водяных паров из воздуха реализуется при последовательном снижении температуры в каждой ступени, что повышает эффективность процесса абсорбции и обеспечивает значительное возрастание потенциала испарительного охлаждения в каждой из ступеней испарительного охлаждения «продуктового» воздушного потока. Выбрасываемый из НИО вспомогательный воздушный поток выносит все тепло в «связанном» виде и является холодным, что позволяет его использовать для последовательного охлаждения раствора абсорбента перед каждой ступенью абсорбции. В конечном итоге разработанная двухступенчатая схема обеспечивает возможность охлаждения «продуктового» воздушного потока значительно ниже температуры мокрого термометра и точки росы наружного (поступающего в блок охлаждения) воздушного потока.

Эффективность охлаждения в каждой последующей ступени многоступенчатого охладителя снижается. Поскольку энергозатраты на движение теплоносителей через очередную ступень охладителя практически не изменяются, количество ступеней многоступенчатого охладителя должно выбираться с точки зрения инженерной оптимизации.

На рис. 4 показано протекание процессов в основных элементах МЭС применительно к схеме блока охлаждения с двухступенчатым осушителем воздуха и комбинированным испарительным

охладителем в составе воздухо- и водоохладителя-градирни ГРД, оформленной по формуле АБР1 – НИО1 – АБР2 – ГРД. Здесь ОВ2-ВВ – процесс изменения состояния воздушного потока в градирне ГРД и $t_{ж}^1$ - $t_{ж}^2$ – соответствующий процесс испарительного охлаждения воды. Хорошо видно снижение естественного предела охлаждения для градирни от t_m^1 до $t_m^{об2}$, что существенно ниже температуры точки росы t_p^1 наружного воздуха. По такой схеме могут строиться солнечные холодильные системы СХС. Выбрасываемый из низкотемпературной градирни воздушный поток является достаточно холодным, что позволяет его использовать для охлаждения раствора абсорбента перед соответствующим абсорбером (процесс ВВ-ВВ*).

Использование многоступенчатых испарительных охладителей в целях охлаждения сред и термовлажностной обработки воздуха позволяет снизить энергозатраты, в сравнении с традиционной парокомпрессионной техникой охлаждения, в среднем на 25-35% и существенно повысить экологическую чистоту новых решений [1-2, 8].

ВЫВОДЫ:

1. Многофункциональные солнечные системы основаны на теплоиспользующем абсорбционном цикле открытого типа и состоят из осушительной части в составе абсорбер-осушитель – десорбер-регенератор и охладительной части, в составе испарительных охладителей газов и жидкостей прямого (воздухоохладитель ПИО или водоохладитель-градирня ГРД), или непрямого (НИО, НИО/Р) типов; поддержание непрерывности цикла МЭС обеспечивает либо альтернативный источник энергии, либо традиционный источник, при этом работу десорбера-регенератора обеспечивает солнечная система; оптимальным для устойчивой работы МЭС является рациональное сочетание альтернативного и традиционного источников энергии;

2. Использование многоступенчатого осушения воздушного потока обеспечивает рост эффективности процесса абсорбции и существенное снижение

пределов испарительного охлаждения сред (газов или жидкостей).

3. Блок охлаждения с двухступенчатым осушителем воздуха и испарительными охладителями непрямого типа НИО, оформленной по формуле АБР1 – НИО1 – АБР2 – НИО2 оптимален для создания альтернативных систем кондиционирования воздуха; по формуле АБР1 – НИО1 – АБР2 – ГРД позволяет создать солнечные холодильные системы.

ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ:

- [1] А.Н Горин, А.В., Дорошенко. *Солнечная энергетика*. (Теория, разработка, практика), – Донецк: Норд-Пресс, 2008. 374 с.
- [2] Горин А.Н., Дорошенко А.В. *Альтернативные холодильные системы и системы кондиционирования воздуха. 2-е переработанное и дополненное издание*. – Донецк.: Норд-Пресс, 2007. – 362 с.
- [3] Дорошенко А. *Компактная теплообменная аппаратура для холодильной техники (теория, расчет, инженерная практика)*. Докторская диссертация, Одесский институт низкотемпературной техники и энергетики. Одесса. - 1992. – т. 1. – 350 с., т. 2. – 260 с.
- [4] Foster R.E., Dijkstra E. *Evaporative Air-Conditioning Fundamentals: Environmental and Economic Benefits World Wide*. International Conference of Applications for Natural Refrigerants' 96, September 3-6, Aarhus, Denmark, IIF/IIR, 1996. - P. 101-109.
- [5] JOHN L., McNAB, PAUL McGREGOR., 2003, *Dual Indirect Cycle Air-Conditioner Uses Heat Concentrated Dessicant and Energy Recovery in a polymer Plate Heat Exchanger*. 21st International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0646.
- [6] Stoitchkov N. J., Dimirov G.J. *Effectiveness of Crossflow Plate Heat Exchanger for Indirect Evaporative Cooling*. Int. J. Refrig., vol. 21, no. 6. – 1998. - P. 463-471.
- [7] Maisotsenko V., Lelland Gillan, M. 2003, *The Maisotsenko Cycle for Air Desiccant Cooling* 21st International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C.
- [8] P. Koltun, S. Ramakrishnan, A. Doroshenko, M. Kontsov. *Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternative Air-Conditioning Systems..* 21st International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0140, 2003. P. 45-57.

Сведения об авторах:

Дорошенко Александр Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры технической термодинамики ОГАХ, сфера научных интересов – теплофизика, теплообмен, холодильная техника, альтернативная энергетика

Розум Марина Владимировна, кандидат к.ф.-м.н., доцент Одесского национального морского университета, сфера научных интересов – теплофизика, теплообмен, альтернативная энергетика