

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИКЛА С НЕПРЯМОЙ РЕГЕНЕРАЦИЕЙ АБСОРБЕНТА

В.П. Данько¹, А.В. Дорошенко²

¹Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, г. Краснодар, Россия

²Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина
vladislav.danko@mail.ru

Резюме: Разработаны основные принципы проектирования и схемные решения альтернативных систем жизнеобеспечения, принцип действия которых основан на реализации открытого абсорбционного цикла с солнечной регенерацией абсорбента. Такие системы позволяют обеспечивать: экологичность применения, уменьшение энергетических потерь, возможность комплексного жизнеобеспечения, включающего отопление, горячее водоснабжение, охлаждение и кондиционирование воздуха для жилых и производственных помещений. Количество вариантов таких схемных решений достаточно многообразно и определяется конкретными условиями решаемых задач охлаждения сред и кондиционирования воздуха. Все тепломассообменные аппараты, входящие в состав систем – двухконтурные, обеспечивающие бесконтактное охлаждение теплоносителя. Применено принципиально новое решение использовать тепломассообменные аппараты с подвижной насадкой, обеспечивающие возможность эксплуатации в экстремальных условиях (загрязненные среды, резкие колебания нагрузок), повышение предельных нагрузок, высокую поперечную равномерность (упрощение задачи масштабирования), нетребовательность к качеству распределения потоков.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, абсорбционный цикл, теплоноситель, отопление, кондиционирование, тепломассообмен, теплообменник, энергоэффективность.

ALTERNATIVE LIFE SUPPORT SYSTEM ON THE BASIS OF THE INDIRECT CYCLE WITH REGENERATION OF ABSORBENT

V.P. Danko¹, A.V. Doroshenko²

¹Plekhanov Russian University of Economics, Krasnodar, Russia

²Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
vladislav.danko@mail.ru

Abstract: The basic principles of the design and schematics of alternative life support systems, whose operation is based on the implementation of the open absorption cycle with solar regeneration of the absorbent. Such systems allow to ensure the sustainability of the use, reduction of energy losses, possibility of complex life support, which includes heating, hot water supply, cooling and air conditioning for residential and industrial premises. The number of variants of such circuitry quite diverse and determined by the specific conditions of the tasks of cooling media and air-conditioning. All heat and mass transfer devices included in the system, double-circuit, providing non-contact cooling of the coolant. Applied new means to use heat and mass transfer devices with a movable nozzle, providing the ability to operate in extreme conditions (polluted environment, sharp fluctuations in loads), increasing extreme loads, high lateral uniformity (scale of problem simplification), undemanding to the quality of flow distribution.

Keywords: *alternative energy, absorption cycle, the heat carrier heating, air-conditioning, heat and mass transfer, heat exchanger, energy efficiency.*

Введение

Методы испарительного охлаждения сред хорошо известны. На их основе реализуются процессы охлаждения воды в градирнях, воздуха в воздухоохладителях, процессы в испарительных конденсаторах [1–5]. Работа таких охладителей основана на естественной неравновесности окружающей среды, проявляющейся в гигроскопической разности температур между «сухим» и «мокрым» термометрами наружного воздуха, причем температура воздуха по «мокрому» термометру является естественным пределом испарительного охлаждения сред. Этот процесс характеризуется малым потреблением энергии на его реализацию и сравнительной экологической чистотой применения. Практическое применение методов испарительного охлаждения сдерживается низкой эффективностью процесса при сравнительно высоких влагосодержаниях наружного воздуха.

Осушительно-испарительные системы разрабатываются в нескольких основных вариантах: адсорбционном и абсорбционном, последний тип – в вариантах с прямой и непрямой регенерацией абсорбента. На основании проведенного аналитического обзора сорбционных систем [1, 4] нами был выбран, в качестве основного решения, абсорбционный тип осушительно-испарительной системы с непрямой регенерацией абсорбента.

Цель данной работы разработка – основных принципов проектирования и компоновки альтернативных систем жизнеобеспечения (АСЖ), действие которых основано на реализации открытого абсорбционного цикла с солнечной регенерацией абсорбента. Такие системы позволяют обеспечивать экологичность применения, уменьшение энергетических потерь, возможность комплексного жизнеобеспечения, включающего отопление, горячее водоснабжение, охлаждение и кондиционирование воздуха для жилых и производственных помещений.

Анализ возможности использования открытого абсорбционного цикла для реализации процессов охлаждения и кондиционирования воздуха

Суть открытого абсорбционного цикла заключается в том, что наружный воздух предварительно осушается в условиях непрерывного цикла, так что при этом резко возрастают потенциалы испарительного охлаждения с использованием осушенного воздуха, который затем поступает в испарительный охладитель, где может быть обеспечено глубокое охлаждение среды в альтернативных системах АСЖ, либо в системах кондиционирования воздуха комфортного и технологического назначения (обеспечивается получение воздуха с требуемыми параметрами комфортности по температуре и относительной влажности). При этом процесс испарительного охлаждения может быть эффективен безотносительно параметров наружного воздуха (его относительной влажности и влагосодержания), то есть, использован повсеместно для решения указанных задач охлаждения сред и кондиционирования воздуха, не прибегая к искусственному холоду. По сравнению с традиционными решениями, с применением парокомпрессионных охладителей сред, такие схемы обеспечивают значительное снижение энергопотребления и высокую экологическую чистоту [6].

Поддержание непрерывности осушительно-испарительного цикла обеспечивается в абсорбционных системах солнечной регенерацией абсорбента в десорбере-регенераторе.

Перспективность практического использования альтернативных систем жизнеобеспечения обосновывается их достоинствами:

– экологическая безопасность (проблема глобального потепления, озонобезопасность и пр.). В работах [1, 4] на основании методологии «Полный жизненный цикл» были

показаны высокие экологические преимущества осушительно-испарительных охладителей в сравнении с традиционными парокомпрессионными охладителями;

- более высокая энергоэффективность (примерно в два раза выше по сравнению с компрессионными охладителями, по данным зарубежных исследований [3, 7]);

- возможность решения задач комплексного жизнеобеспечения, включающего: отопление, горячее водоснабжение, охлаждение и кондиционирование воздуха для жилых и производственных помещений.

Однако этим системам присущи и недостатки:

- большие габариты, вызванные необходимостью создания большой тепломассообменной поверхности;

- большое число тепломассообменных аппаратов различного назначения, входящих в состав систем, что повышает стоимость оборудования;

- необходимость использования дополнительного нагревателя, компенсирующего недостаток теплоты, получаемой от солнечного коллектора для регенерации абсорбента, что позволяет достичь требуемые значения температур охлаждающих сред в АСЖ; в конечном итоге решение этой задачи требует снижения температурного уровня регенерации абсорбента;

- опасность загрязнения рабочих поверхностей тепломассообменной аппаратуры, входящей в состав осушительной части АСЖ (десорберов-регенераторов и абсорберов-осушителей), ввиду возможности отложения и кристаллизации водных растворов сорбентов, особенно при работе на высоких концентрациях абсорбента.

К сожалению, в подавляющем числе опубликованных работ вопросы взаимного согласования положительных и отрицательных сторон практического использования АСЖ не рассматриваются.

Основными направлениями для разрабатываемых систем, как показал опыт предыдущих исследований, являются:

- разработка и сравнительная оценка различных схемных решений осушительно-испарительных систем с непрямой регенерацией абсорбента [1, 4, 5, 7, 8];

- создание нового поколения тепломассообменной аппаратуры (ТМА) для альтернативных систем, характеризующегося малым весом и стоимостью с преимущественным использованием полимерных материалов. Наиболее отвечающим требованиям устойчивой работы ТМА является тип аппаратов с трехфазным псевдооживленным слоем подвижной насадки, способный к самоочищению рабочих поверхностей, что принципиально важно в случае абсорбционных систем, где используются водные растворы абсорбентов [9–13];

- проведение теоретических и экспериментальных исследований процессов испарительного охлаждения, осушения воздуха (процесса абсорбции) и солнечной регенерации абсорбента в ТМА с подвижной псевдооживленной насадкой;

- сравнительный анализ экологических показателей традиционных и новых систем солнечного тепло- и холодообеспечения на основе методики «Полный жизненный цикл» (ПЖЦ), включая разработку методологии ПЖЦ применительно к специфике решаемых задач и ее практическое применение в направлении выбора основных решений [1].

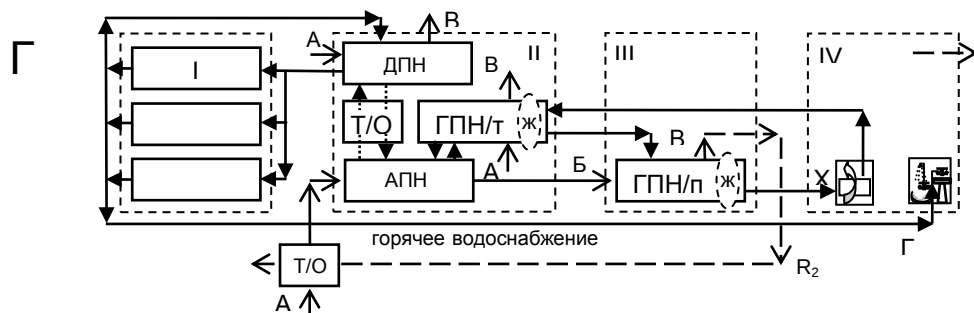
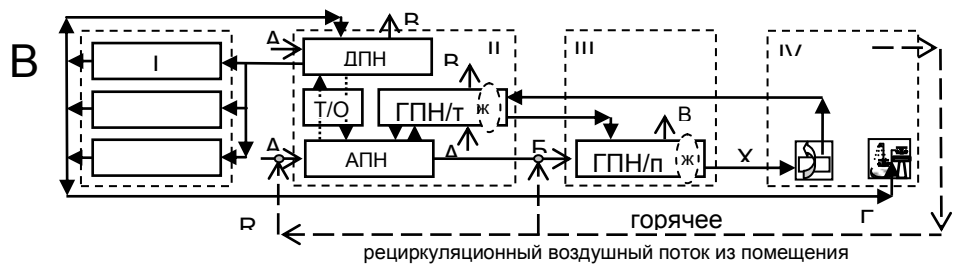
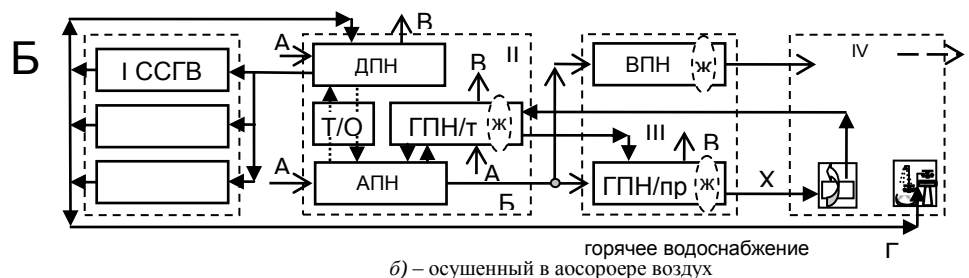
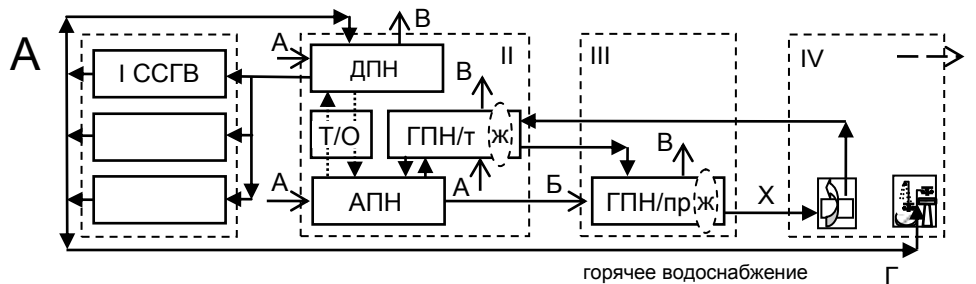
Основные принципы проектирования аппаратов и схемные решения альтернативных систем жизнеобеспечения

На рис. 1 показаны основные принципы построения альтернативных систем жизнеобеспечения. Солнечная холодильная система (в назначении АСЖ или ССКВ) включает два основных контура: осушительный (II) и охладительный (III).

Контур осушения состоит из абсорбера, предназначенного для осушения воздуха, поступающего в помещение (АПН); десорбера, предназначенного для регенерации (повышения концентрации) раствора абсорбента (ДПН). Для стабильной работы АСЖ необходимо непрерывно охлаждать абсорбер (используется «технологическая» градирня), так как в процессе

осушения воздуха выделяется теплота, и подводить теплоту к десорберу для нагрева раствора абсорбента (используются солнечные коллекторы). Одним из новшеств предлагаемых схем является использование регенеративных теплообменников для передачи теплоты между теплоносителями: выходящим из абсорбера и направляющимся в десорбер [1, 5, 13].

Охлаждающий контур АСЖ (III) включает испарительный охладитель воды, продуктовую градирню (ГПН/пр.) (рис. 1, а) либо воздухоохладитель (ВПН), обеспечивающий подачу в помещение воздуха, прошедшего необходимую термовлажностную обработку. Также широко используются комбинированные схемы (рис. 1, б), позволяющие подавать в помещение воздух с комфортными параметрами, так и охлажденную воду.



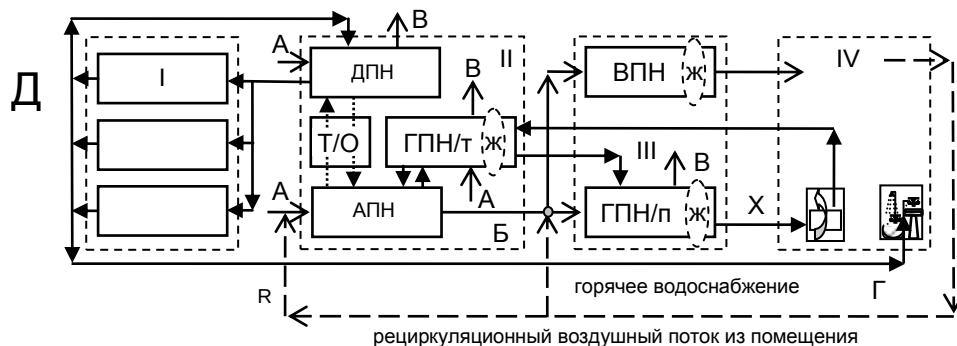


Рис. 1. Принципиальная схема альтернативных систем жизнеобеспечения:
 а) – наружный воздух; б) – осушенный в абсорбере воздух; в) – удаляемый воздушный поток; г) и д) – нагретая в солнечной системе и охлажденная в градирне вода; жс) – рециркуляционный водяной контур; I – блок солнечного нагрева теплоносителя; II – блок осушения воздуха; III – охлаждающий блок; IV – помещение

Количество вариантов таких схемных решений достаточно многообразно и определяется конкретными условиями решаемых задач охлаждения сред и кондиционирования воздуха.

Все тепломассообменные аппараты, входящие в состав систем, двухконтурные, обеспечивающие в градирне бесконтактное охлаждение воды, поступающей в дальнейшем в теплообменники (в помещении IV вода после градирни поступает в вентиляторные охладители воздуха, *fan-coil*).

Для реализации процессов тепломассообмена и обеспечения однородных гидродинамических условий наиболее рационально использовать противоточную схему контакта газа и жидкости. В слое насадки жидкость стекает по отдельным ее элементам главным образом в виде тонких пленок, и поверхностью контакта фаз является, в основном, смоченная поверхность элементов насадки (ЭН). При перетоке жидкости с одного элемента насадки на другой жидкая пленка разрушается, и на нижележащем элементе вновь формируется. При этом часть жидкости проходит в виде струй и капель через расположенные ниже элементы насадки, а некоторое количество задерживается в ней вследствие смачивания поверхности ЭН и скопления в узких каналах, образуемых соприкасающимися насадочными телами (задержка жидкости), что приводит к увеличению гидравлического сопротивления и снижению эффективности процесса массообмена.

В зависимости от скорости движения газа тепломассообменные аппараты могут функционировать в следующих гидродинамических режимах: пленочном; в режимах активного гидродинамического взаимодействия потоков: подвисяния, эмульгирования и захлебывания. Пленочный режим наблюдается при малой нагрузках по газу и жидкости: малых скоростях газа и небольших плотностях орошения насадки $q_{ж}$ (объем жидкости, проходящей через единицу площади поперечного сечения аппарата в единицу времени). В таком режиме скорость газа практически не влияет на количество задерживаемой в насадке жидкости. С возрастанием скорости газа, в условиях противотока, сила трения между потоками увеличивается, жидкость движется медленнее и быстрее накапливается в насадке. В этом режиме, называемом режимом подвисяния, спокойное течение жидкостной пленки нарушается, и газ начинает барботировать через слой задержанной жидкости в виде пузырьков. В результате межфазная поверхность контакта возрастает при одновременном резком увеличении гидравлического сопротивления. Накопление жидкости в насадке продолжается до тех пор, пока сила трения между газом и жидкостью не уравнивает силу тяжести жидкости, находящейся в насадке. При этом наступает режим эмульгирования, характеризующийся инверсией фаз (газ становится дисперсной фазой, а жидкость – сплошной) и образованием газо-жидкостной эмульсии. Этот режим обеспечивает высокую эффективность процессов, но одновременно требует повышенных энергозатрат на движение

теплоносителей и рождает сильную нестабильность. Если дальше увеличивать скорость движения газа, то сила трения между фазами окажется больше силы тяжести и возникнет режим захлебывания, при котором движение жидкости будет направлено вверх и она будет уноситься из аппарата потоком газа [1].

Преимущества аппаратов с подвижной насадкой (ПН) перед другими типами контактных аппаратов, определившие их широкое распространение:

- устойчивая работа в загрязненных средах с самоочисткой насадочных поверхностей и стенок корпуса; высокая интенсивность процессов переноса в слое;
- малая чувствительность характеристик к резким колебаниям нагрузок по газу и жидкости;
- нетребовательность к первоначальному качеству распределения жидкости, что важно для промышленных аппаратов с ПН;
- высокая поперечная равномерность, упрощающая возможность масштабирования;
- широкий диапазон рабочих нагрузок (сообщается о значениях $q_{ж}$ до $200 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ ч})$ и w_r до 8 м/с , на пустое сечение аппарата);
- простота конструктивного оформления; компактность; малые вес и стоимость насадки; использование недефицитных материалов.

Аппараты с ПН – новое решение колонных аппаратов, обеспечивающее возможность эксплуатации в экстремальных условиях (загрязненные среды, резкие колебания нагрузок), повышение предельных нагрузок, высокую поперечную равномерность (упрощение задачи масштабирования), нетребовательность к качеству распределения потоков.

На рис. 2 показан вариант разработанных схем АСЖ в приложении к задачам охлаждения сред и кондиционирования воздуха. Схема включает две основные части: предварительного осушения воздуха и испарительного охлаждения.

В осушительной части регенерация раствора абсорбента осуществляется с помощью солнечных коллекторов 16 (17 – бак-теплоаккумулятор; 18 – дополнительный греющий источник, необходимость в котором определяется естественными колебаниями солнечной активности и изменяющимися рабочими параметрами солнечной системы).

Основными элементами приведенных схем являются: десорбер (ДПН), абсорбер (АПН), испарительный охладитель (ВПН) и система регенеративных теплообменников (рис. 2, позиция 8), необходимость в которых продиктована малыми располагаемыми температурными напорами. Воздушный поток 10 (свежий наружный воздух) при осушении в абсорбере АПН снижает влагосодержание X_r и величину температуры точки росы t_p , что обеспечивает значительный потенциал последующего испарительного охлаждения воды в градирне ГПН/пр или воздуха в воздухоохладителе ВПН.

В качестве всех тепломасообменных аппаратов ТМА, включенных в состав АСЖ (воздухоохладителя ВПН, абсорбера АПН, десорбера ДПН, градирен технологического и «продуктового» назначения ГПН), используются разработанные аппараты унифицированного типа с использованием подвижной шариковой насадки (трехфазный псевдооживленный слой «газ-жидкость-твердое тело»). Этот тип аппарата обеспечивает возможность самоочистки рабочих поверхностей и стенок корпуса ТМА, что при работе с наружным воздухом и растворами абсорбентов представляется принципиально важным условием поддержания работоспособности альтернативных систем. Это выгодно отличает и систему с подачей охлажденной воды в кондиционируемое помещение, которая нигде не контактирует с наружным воздухом.

Материалом для изготовления элементов насадки могут быть металлы, керамика, полимеры, дерево, кокс. Элементы насадок выполняют в виде тел вращения, пытаясь увеличить площадь поверхности, что повышает эффективность тепло- и массообмена. Основными формами являются сферы, шары, кольца, «седла», цилиндры, призмы. В ряде случаев применяют сетчатые (капиллярные) материалы.

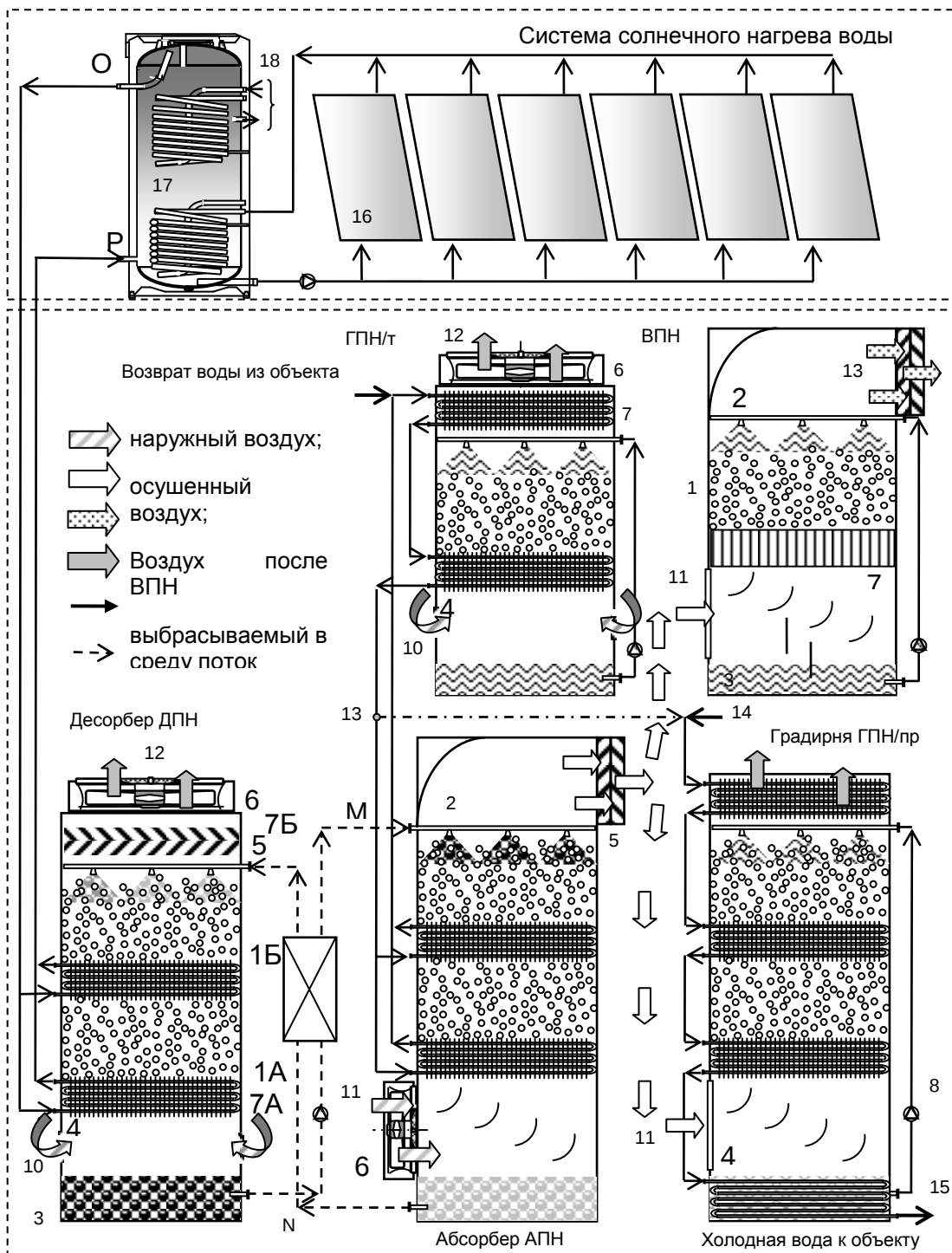


Рис. 2. Принципиальная схема многофункциональной солнечной системы МСС:

1 – подвижная насадка; 2 – водораспределитель; 3 – емкость для воды; 4 – воздухопрямные окна; 5 – сепаратор; 6 – вентилятор; 7, 8 – теплообменники; 9 – насос; 10 – свежий воздух; 11 – осушенный воздух; 12 – удаляемый воздух; 13 – воздух из ВПН; 14 – горячая вода; 15 – охлажденная вода; 16 – солнечный коллектор; 17 – бак-теплоаккумулятор; 18 – дополнительный источник нагрева

Воздух, поступающий в градирню ГПН/пр, прошел процесс обработки в абсорбере и имеет низкую температуру точки росы, то есть высокий потенциал для последующей

реализации процесса испарительного охлаждения среды. Он может использоваться в охладителях, установленных непосредственно в помещениях или холодильных камерах. В случае задачи кондиционирования воздуха в ССКВ отпадает необходимость в воздуховодах, имеющих значительные размеры и требующих расходов на соответствующие строительные работы, особенно в случае уже построенных зданий. Вместо громоздких воздуховодов здесь используется прокладка теплоизолированных труб небольшого диаметра для охлажденной воды. Градирия ГПН/т технологического назначения обслуживает абсорбер-осушитель АПН и может быть использована в качестве первой ступени охлаждения «продуктовой» воды, перед охлаждением в ГПН/пр. Наличие технологической градирии ГПН/т в схеме вызвано тем, что в процессе абсорбции водяных паров из воздуха выделяется тепло и абсорбер нуждается в охлаждении. Приближение процесса абсорбции к изотермическому значительно повышает эффективность процесса абсорбции.

Гелиосистема в составе требуемого числа (площади приема солнечной энергии) солнечных коллекторов 16 и бака-теплоаккумулятора 17 с дублирующим источником нагрева 18 обеспечивает тепловую энергию для реализации процесса десорбции (восстановления абсорбента) в десорбере ДПН.

Применительно к разработанным альтернативным системам жизнеобеспечения на примере задачи кондиционирования воздуха на рис. 3, на h/x – диаграмме влажного воздуха проиллюстрированы термодинамические процессы, реализуемые в АСЖ при различных (предельных) значениях параметров наружного воздуха. В случае, когда исходное влагосодержание воздуха не превышает 16...17 г/кг (расчетные параметры Б и В), солнечная система обеспечивает осушение воздушного потока, вполне достаточное для последующего получения комфортных параметров воздуха в воздухоохладителе ВПН (процессы 2а–3а, 2б–3б, 2в–3в). Когда $x^1_{г}$ выше 17 г/кг, осушенный воздушный поток может быть разделен на две части, одна из которых обеспечивает получение холодной воды в ГПН (процесс 7а–8а) для предварительного охлаждения осушенного воздуха в воздухо-водяном теплообменнике (процесс 2а–24) и последующего охлаждения в ВПН (процесс 4а–5а) с получением требуемых комфортных параметров в помещении. Отметим, что для южных широт России начальное влагосодержание воздуха находится в пределах до 17 г/кг.

Выводы

1. В статье проведен анализ возможности использования открытого абсорбционного цикла для реализации процессов охлаждения и кондиционирования воздуха и обоснована перспективность практического использования альтернативных систем жизнеобеспечения.

2. Разработаны принципиально новые схемные решения альтернативных систем жизнеобеспечения, позволяющие, в зависимости от необходимости, осуществлять подачу холодной и горячей воды, производить отопление и технологическое или комфортное кондиционирование бытовых и офисных помещений.

3. На основе проведенных научных изысканий [5, 8, 13] разработаны инженерные принципы проектирования аппаратов альтернативных систем жизнеобеспечения и их базовые варианты.

4. Применительно к разработанным альтернативным системам жизнеобеспечения на примере задачи кондиционирования воздуха проиллюстрированы термодинамические процессы, реализуемые в АСЖ при различных (предельных) значениях параметров наружного воздуха.

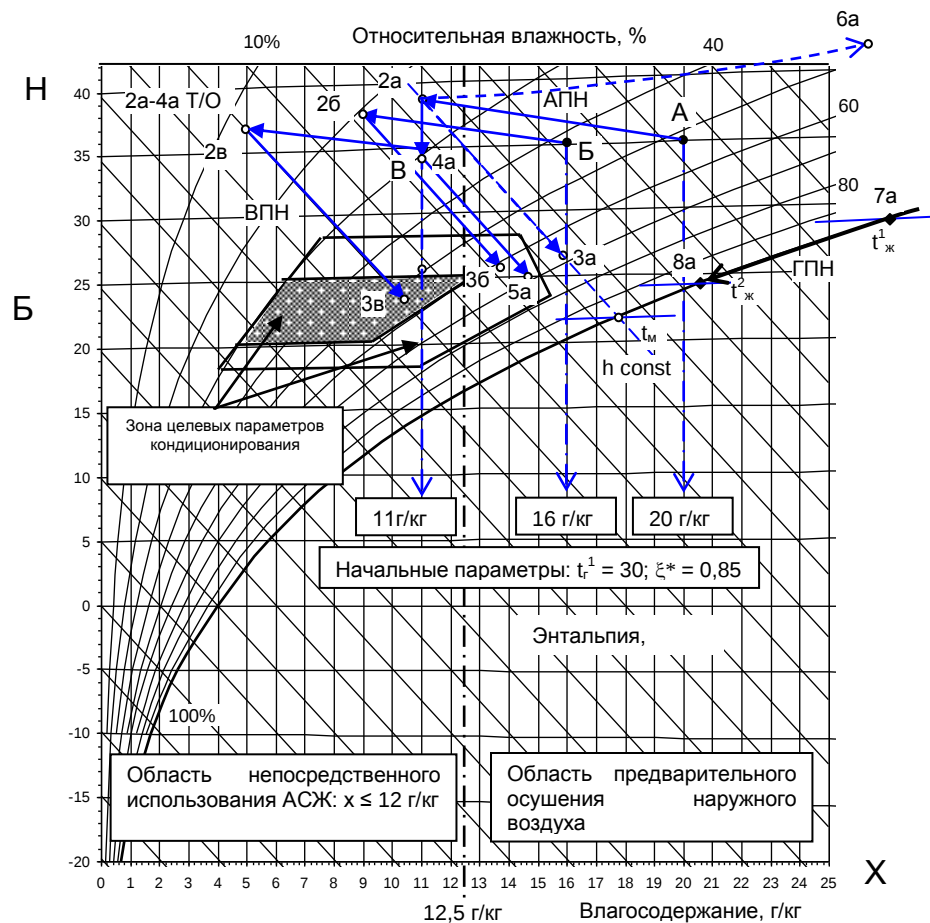


Рис. 3. Принципиальные возможности применения разработанных альтернативных систем жизнеобеспечения:

А–2а – процесс осушения воздуха; 2а–3а, 4а–5а – процессы в ВПН; 2а–4а – процесс в воздушно-водяном теплообменнике (вода от градирни); 2а–6а – изменение состояния воздуха в градирне; 7а–8а – охлаждение воды в градирне

Литература

1. Горин А.Н., Дорошенко А.В., Данько В.П. Тепломассообменные аппараты с подвижной насадкой для традиционных и альтернативных энергетических систем. Испарительное охлаждение, осушение и кондиционирование воздуха: теория, эксперимент, практика. Донецк: Світ книги, 2013. 327 с.
2. Карнаух В.В. Интенсификация тепломассообменных процессов в вентиляторных градирнях пленочного типа: монография. Донецк: ДонНУЭТ, 2010. 159 с.
3. Numerical model of evaporative cooling processes in a new type of cooling tower /A.S. Kaiser, M. Lucas, A. Viedma and B. Zamora //International Journal of Heat and Mass Transfer. 2005. No. 2. P. 986–999.
4. Данько В.П., Кудрин А.Б., Радионенко В.Н. Использование альтернативных источников энергии и вторичных энергоресурсов в холодильной отрасли. Ладапринт, 2015. 157 с.
5. Дорошенко А.В., Васютинский С.Ю., Данько В.П., Глауберман М.А. Исследование процессов в тепломассообменных аппаратах с подвижной насадкой для солнечных многофункциональных систем // Физика аэродисперсных систем. 2012. № 49. С. 14–26.
6. Гинзбург А.С., Решетарь О.А., Белова И.Н. Влияние климатических факторов на

энергопотребление в отопительный сезон // Теплоэнергетика. 2016. № 9. С. 20–27.

7. The effect of low-concentration inorganic materials on the behaviour of supercritical water / Imre A. R., Hazi G., Horváth Á., Maráczy C., Mazur V., Artemenko S. // Nuclear Engineering and Design. 2011. Vol. 241. No. 1. P. 296–300.

8. Influence of the external noise intensity on the kinetics of ligands binding to receptors. Influence of the external noise intensity on the kinetics of ligands binding to receptors / Arakelyan V.B., Danko V. P., Grigoryan R. P. // Journal of Contemporary Physics. 2017. Vol. 52. No. 1.

9. Крошилин А.Е., Крошилин В.Е. Корректное численное моделирование двухфазного теплоносителя // Теплоэнергетика. 2016. № 2. С. 22.

10. Поддубный И.И., Разуванов Н.Г. Исследование гидродинамики и теплообмена при опускном течении жидкого металла в канале прямоугольного сечения в компланарном магнитном поле // Теплоэнергетика. 2016. № 2. С. 13.

11. Shestova T.D., Markvart A.S., Lozovsky T.L., Zhelezny V.P. Cubical equations of state for predicting the phase equilibria of poorly studied substances // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2013. Vol. 87. No. 6. P. 883.

12. Валуева Е.П., Пурдин М.С. Гидродинамика и теплообмен пульсирующего ламинарного потока в каналах // Теплоэнергетика. 2015. № 9. С. 24.

13. Данько В.П., Карнаух В.В. Исследование влияния концентрации раствора абсорбента на охлаждающую способность тепломассообменных аппаратов с подвижной насадкой // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 73–77.

14. Дорошенко А.В., Данько В.П., Турбовец Ю.Т. Металло-полимерные солнечные коллекторы с многоканальным абсорбером для многофункциональных энергетических систем // Проблемы региональной энергетики. 2012. № 2. С. 42–50.

Авторы публикации

Данько Владислав Павлович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Торговля и общественное питание» Краснодарского филиала Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. E-mail: vladislav.danko@mail.ru.

Дорошенко Александр Викторович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика и трубопроводный транспорт энергоносителей» Одесской национальной академии пищевых технологий, г. Одесса, Украина.

References

1. Gorin A.N. (2013), Teplo-masso obmenniye apparati s podviznoy nasadkoy dla tradicionnich i alternativnich energeticheskikh system [Heat-mass exchangers with movable nozzle for traditional and alternative energy systems. Evaporative cooling. Dehumidification and conditioning for air (theory, experiment. practice)] // A.N. Gorin, A.V. Doroshenko, V.P. Danko, Donetsk, Ukraine.

2. Karnaukh V.V. (2010), Intensifikacia teplo-massoobmennich proceccov v ventilatornich gradirnach plonocnogo tipa [Intensification of heat-mass transfer processes in water cooling tower film-type], monograph, Donetsk, Ukraine.

3. Numerical model of evaporative cooling processes in a new type of cooling tower / A.S. Kaiser, M. Lucas, A. Viedma and B. Zamora //International Journal of Heat and Mass Transfer.-2005. No. 2. P. 986–999.

4. Ispol'zovanie al'ternativnyh istochnikov energii i vtorichnyh energo-resursov v holodil'noy otrasli [Use of alternative energy sources and secondary energy resources in refrigerating branch] / Danko V. P., Kudrin A. B., Radionenko V. N. // . Ladaprint, 2015. 157 p.

5. Issledovanie processov v teplomassoobmennyykh apparatah s podvizhnoy nasadkoy dlya solnechnyyh mnogofunkcional'nyh sistem [Research of processes in the teplomassoobmennyykh devices with a mobile

nozzle for solar multipurpose systems] / Doroshenko A. V., Vasyutinskii S. Yu., Danko V. P., Glauberman M. A. // Fizika aerodispersnykh sistem [Physics of aerodisperse systems]. 2012. No. 49. P. 14–26.

6. Vliyanie klimaticheskikh faktorov na energopotreblenie v otopitel'nyy sezon [Impact of climatic factors on energy consumption during the heating season] / Ginzburg A.S., Belova I.N., Reshetar O.A. // Teploenergetika [Thermal Engineering]. 2016. Vol. 63. No. 9. P. 621–627.

7. The effect of low-concentration inorganic materials on the behaviour of supercritical water / Imre A. R., Házi G., Horváth Á., Marácz C., Mazur V., Artemenko S. // Nuclear Engineering and Design. 2011. Vol. 241. No. 1. P. 296–300.

8. Influence of the external noise intensity on the kinetics of ligands binding to receptors. Influence of the external noise intensity on the kinetics of ligands binding to receptors / Arakelyan V.B., Danko V. P., Grigoryan R. P. // Journal of Contemporary Physics. 2017. Vol. 52. № 1.

9. Korrektное chislennoe modelirovanie dvufaznogo teplonositelya [Correct numerical simulation of a two-phase coolant] / Kroshilin A.E., Kroshilin V.E. // Teploenergetika [Thermal Engineering]. 2016. Vol. 63. No 2. p.p. 98–106.

10. Issledovanie gidrodinamiki i teploobmena pri opusknom techenii zhidkogo metalla v kanale pryamougol'nogo secheniya v komplanarnom magnitnom pole [Research of hydrodynamics and heat exchange at a lowering current of liquid metal in the channel of rectangular section in a coplanar magnetic field] / Poddubnyi I. I., Razuванov N. G. // Teploenergetika [Thermal Engineering]. 2016. No 2. P. 13.

11. Cubical equations of state for predicting the phase equilibria of poorly studied substances / Shestova T. D., Markvart A.S., Lozovsky T.L., Zhelezny V.P. // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2013. Vol. 87. No. 6. P. 883.

12. Gidrodinamika i teploobmen pul'siruyushhego laminarnogo potoka v kanalah [Hydrodynamics and heat exchange of the pulsing laminar stream in channels] / Valueva E. P., Purdin M. S. // Teploenergetika [Thermal Engineering]. 2015. No 9. P. 24.

13. Danko V.P., Karnaukh V.V. (2016), Issledovanie vliyaniya koncentracii rastvora absorbenta na ohlazhdayushchuyu sposobnost' teplomassoobmennyykh apparatov s podvizhnoy nasadkoj [Experimental researches of heat transfer in a layer moving fitting stripping contour solar systems]. Vestnik Mezhdunarodnoi Akademii Kholoda [Vestnik of International Academy of Refrigeration]. 2016. No. 3. P. 73–77.

14. Metallo-polimernyye solnechnyye kollektory s mnogokanal'nyim absorberom dlya mnogofunktsional'nykh energeticheskikh sistem [Metallo-polymeric solar collectors with multichannel absorber for multi-energy systems] / Doroshenko A.V., Dan'ko V.P., Turbovets YU.T. // Problemy regional'noy energetiki [Problems of regional energy]. 2012. No. 2. P. 42–50.

Authors of the publication

Danko Vladislav Pavlovich – Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor at the Department of the Trade and Catering of Plekhanov Russian University of Economics., Krasnodar, Russia.

Alexander V. Doroshenko – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor at the Department of the Power Engineering and Pipeline Transport of Energy Carriers of Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine.

Поступила в редакцию

20 июня 2017 г.