

УДК 536.248.2:532.529.5

А.В. Дорошенко, К.В. Людницький

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г. Одесса, 65039, Украина

СОЛНЕЧНЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АБСОРБЕРА С ВНУТРЕННИМ ИСПАРИТЕЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

В статье представлены разработанные схемные решения для альтернативных холодильных систем и систем кондиционирования воздуха, основанные на использовании теплоиспользующего абсорбционного цикла и солнечной энергии для регенерации (восстановления) раствора абсорбента. Использован каскадный принцип построения осушительного и охладительного контуров с возрастанием концентрации абсорбента по ступеням каскада. Разработан абсорбер с внутренним испарительным охлаждением, позволяющий устранить отдельный испарительный охладитель, обычно включаемый после соответствующего абсорбера. Тепло-масообменная аппаратура пленочного типа, входящая в состав осушительного и охладительного контуров унифицирована и выполнена на основе моноблоковых многоканальных композиций из полимерных материалов. Выполнен предварительный сравнительный анализ возможностей солнечных холодильных систем, решенных по формулам АБР-ИО и АБР/ИО-Р.

Ключевые слова: солнечные системы; осушение воздуха; охлаждение сред; тепло-масообменная аппаратура; абсорбция; десорбция; испарительное охлаждение.

О.В. Дорошенко, К.В. Людницький

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна

СОЛЯЧНІ ХОЛОДИЛЬНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ АБСОРБЕРА З ВНУТРІШНІМ ВИПАРНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ

У статті представлені розроблені схемні рішення для альтернативних холодильних систем і систем кондиціювання повітря, засновані на використанні тепловикористовуючого абсорбційного циклу та сонячної енергії для регенерації (відновлення) розчину абсорбенту. Використано каскадний принцип побудови осушувального і охолоджувального контурів зі зростанням концентрації абсорбенту по щаблях каскаду. Розроблено абсорбер із внутрішнім випарним охолодженням, що дозволяє усунути окремий випарний охолоджувач, який зазвичай включається після відповідного абсорбера. Тепло-масообмінна апаратура плівкового типу, що входить до складу осушувального і охолоджувального контурів уніфікована і виконана на основі моноблокових багатоканальних композицій з полімерних матеріалів. Виконано попередній порівняльний аналіз можливостей сонячних холодильних систем, вирішених за формулами АБР-ІО і АБР/ІО-Р.

Ключові слова: сонячні системи; осушення повітря; охолодження середовищ; тепло-масообмінна апаратура; абсорбція; десорбція; випарне охолодження.

DOI: 10.15673/0453-8307.3/2015.42639



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ВВЕДЕНИЕ

Солнечные многофункциональные системы, основанные на теплоиспользующем абсорбционном цикле могут обеспечивать решение задач осушения воздуха, тепло-хладоснабжения и кондиционирования воздуха. В этих системах предварительное осушение воздуха обеспечивает высокую эффективность последующего испарительного охлаждения сред (солнечные холодильные системы СХС) и термовлажностной обработки воздуха (солнечные системы кондиционирования воздуха ССКВ) [1, 4-6]. Разработанные решения для охладителей охватывают нужды энергетики, химиче-

ской и пищевой технологий и позволяют решать задачи охлаждения, не прибегая к традиционной пароконденсационной технике. Это позволяет существенно улучшить их эко-энергетические показатели [7].

І. БАЗОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АБСОРБЕРА С ВНУТРЕННИМ ИСПАРИТЕЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Поскольку в абсорбере, при поглощении влаги из воздушного потока раствором абсорбента,

выделяется тепло, это приводит к росту температуры и снижению эффективности процесса осушения воздуха. Работа абсорбера-осушителя может быть организована с внешним, либо со встроенным теплообменником, охлаждаемым дополнительной градирней (испарительным водоохладителем технологического назначения ГРДт). Это усложняет схему и увеличивает энергозатраты. Интерес представляет вариант абсорбера с внутренним испарительным охлаждением [1, 8].

На рис. 1 приведены два варианта таких абсорберов-осушителей с внутренним испарительным охлаждением (АБР/ИО), отличающихся местом разделения полного воздушного потока на основной, осушаемый в каналах, по стенкам которых стекает пленка абсорбента, и вспомогательный, идущий в соседних, чередующихся каналах, где по стенкам стекает водяная пленка, испаряющаяся во «вспомогательный» воздушный поток, охлаждающаяся и отводящая тепло через разделительную стенку от «осушительных» каналов (рис. 1В). Насадка такого абсорбера представляет многоканальную структуру с чередующимися «осушительными» и «охлаждающими» каналами.

В варианте АБР/ИО (рис. 1А) полный воздушный поток, поступающий в абсорбер, делится на входе в аппарат. Естественным пределом испарительного охлаждения здесь является температура мокрого термометра наружного воздуха t_m^1 . В регенеративном варианте АБР/ИО-Р (рис. 1Б) в «охлаждающие» каналы поступает воздушный поток, уже прошедший осушение, со сниженным пределом испарительного охлаждения. В принципе для этого варианта пределом испарительного охлаждения является температура точки росы наружного воздуха t_p^1 , что существенно расширяет возможности такого комбинированного осушителя и охладителя воздуха.

Основные варианты абсорберов АБР/ИО-Р могут быть ориентированы на решение задачи охлаждения воздуха (рис. 2, АБР/ИО-Рг) и получения холодной воды (рис. 3, АБР/ИО-Рж).

Авторами ранее [1, 8-9] рассматривалось построение солнечной системы ССКВ на основе блока АБР-НИО, где предварительное осушение наружного воздуха в абсорбере обеспечивало последующее глубокое охлаждение основного воздушного потока «О» в каналах НИО. Решение ССКВ по формуле АБР/ИО-Рг (рис. 2Б) по сути это схема АБР-НИО по рис. 2А, в которой, для охлаждения абсорбера, используется часть охлажденного при неизменном влагосодержании «основного» воздушного потока «О» от испарительного воздухоохладителя непрямого типа НИО. В чередующихся каналах насадки абсорбера одновременно реализуются два процесса: осушения воздуха раствором абсорбента и охлаждение этих каналов частью холодного «продуктового» основного воздушного потока из НИО. Процесс осушения воздушного потока здесь протекает со снижением температуры осушаемого воздуха, так что

необходимость в отдельном испарительном воздухоохладителе отпадает. Важное значение имеет правильный выбор соотношения основного и вспомогательного воздушных потоков, $I = G_o / G_v$.

Отметим, что решение может быть построено и на переходе от системы в составе АБР-ПИО (испарительный воздухоохладитель прямого типа [8-9]). В этом случае охлажденный воздух будет увлажненным и возможность использования такого решения для ССКВ определяется соотношением параметров наружного воздуха и зоны комфортности. В первую очередь это будет зависеть от влагосодержания наружного воздуха.

Аналогичным образом, решение СХС по формуле АБР/ИО-Рж (рис. 3Б) по сути является дальнейшим развитием схемы АБР-ГРД по рис. 3А, в которой для охлаждения абсорбера используется часть «продуктовой» воды от градирни ГРД [8-9]. В этом решении процесс осушения воздушного потока протекает со снижением температуры осушаемого воздуха и одновременным получением охлажденной «продуктовой» воды.

На рисунке 4 для всех рассматриваемых вариантов абсорбера с внутренним испарительным охлаждением АБР/ИО показано течение контактирующих потоков газа и жидкости в соседних, чередующихся, каналах насадки. Насадка теплообменного аппарата ТМА пленочного типа имеет регулярную структуру каналов (РН), поверхность ее может иметь шероховатость регулярного типа (РШ), для обеспечения высокой смачиваемости жидкостью (водой или раствором абсорбента) и быть изготовлена из полимерных материалов. Вопрос выбора материала насадки ТМА, с учетом требований к нему, геометрия насадки (параметры РН и РШ поверхности), режимных параметров (включая вопросы устойчивости течений при непосредственном контакте газа и жидкости при противоточном и поперечноточном взаимодействии контактирующих потоков газа и жидкости) рассмотрены в работах авторов [1-2, 4-6]. Важно отметить, что использование полимерных материалов в системе чередующихся каналов, одни из которых являются охлаждаемыми, вполне возможно, поскольку термическое сопротивление разделяющей каналы стенки вполне сопоставимо с термическим сопротивлением покрывающей эту стенку жидкостной пленки (см. например, выводы работы австралийских исследователей [3]).

Эти перспективные решения на основе АБР/ИО-Рг (ССКВ) и АБР/ИО-Рж (СХС) позволяют устранить из схемы отдельный испарительный охладитель (НИО или ГРД, соответственно), снизив, тем самым, габариты, вес и стоимость системы в целом, но требуют отдельного исследования, поскольку одновременно с понижением температурного уровня охлаждения может иметь место возрастание опасности реконденсации в охладительной части (в соответствующих каналах) абсорбера АБР/ИО.

Solar liquid-desiccant cooling systems
Абсорбер с внутренним испарительным охлаждением

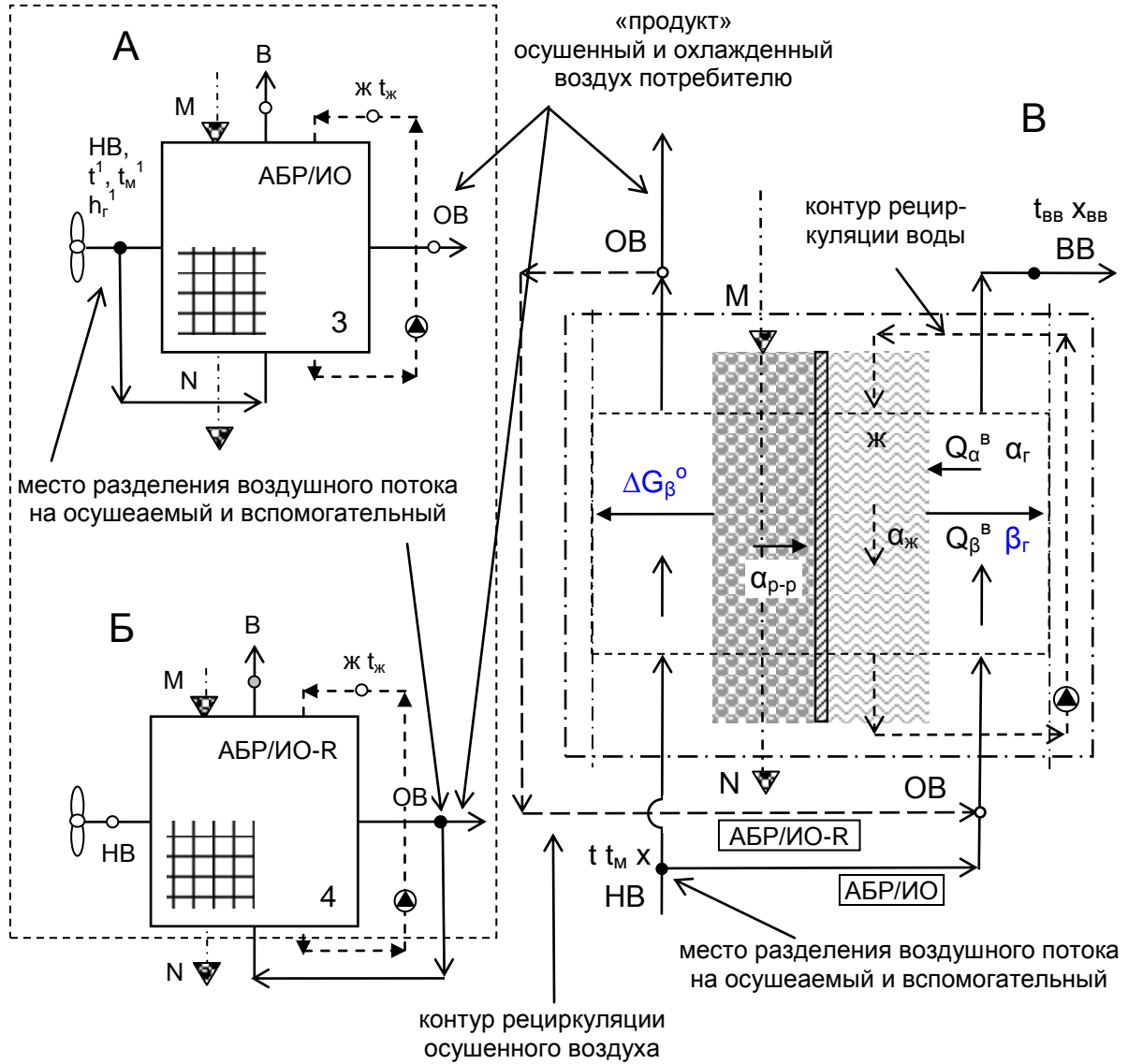


Рисунок 1 – Абсорбер с внутренним испарительным охлаждением, основные варианты решений. А – АБР/ИО; Б – АБР/ИО-R, с использованием части осушенного воздуха для испарительного охлаждения абсорбера.

Обозначения (на рисунках №№ 1-5): 1 – абсорбер-осушитель наружного воздуха АБР; 2 – испарительный воздухоохладитель НИО; 3 и 4 – абсорбер с внутренним испарительным охлаждением АБР/ИО и АБР/ИО-R; 5, 6 – десорбер-регенератор; 7 – градирня технологического назначения ГРДт; 8 – солнечная система, обеспечивающая процесс регенерации абсорбента (СКж); 9, 10, 11 – теплообменники; 12 – «продуктовая» градирня в СХС (рисунок 2А).

НВ (П) – наружный воздух; ОВ – осушенный воздух; О – «основной» воздушный поток; В – «вспомогательный» воздушный поток для НИО; ВВ – выбрасываемый в среду воздух для ГРД и АБР/ИО; N, M – крепкий и слабый растворы абсорбента

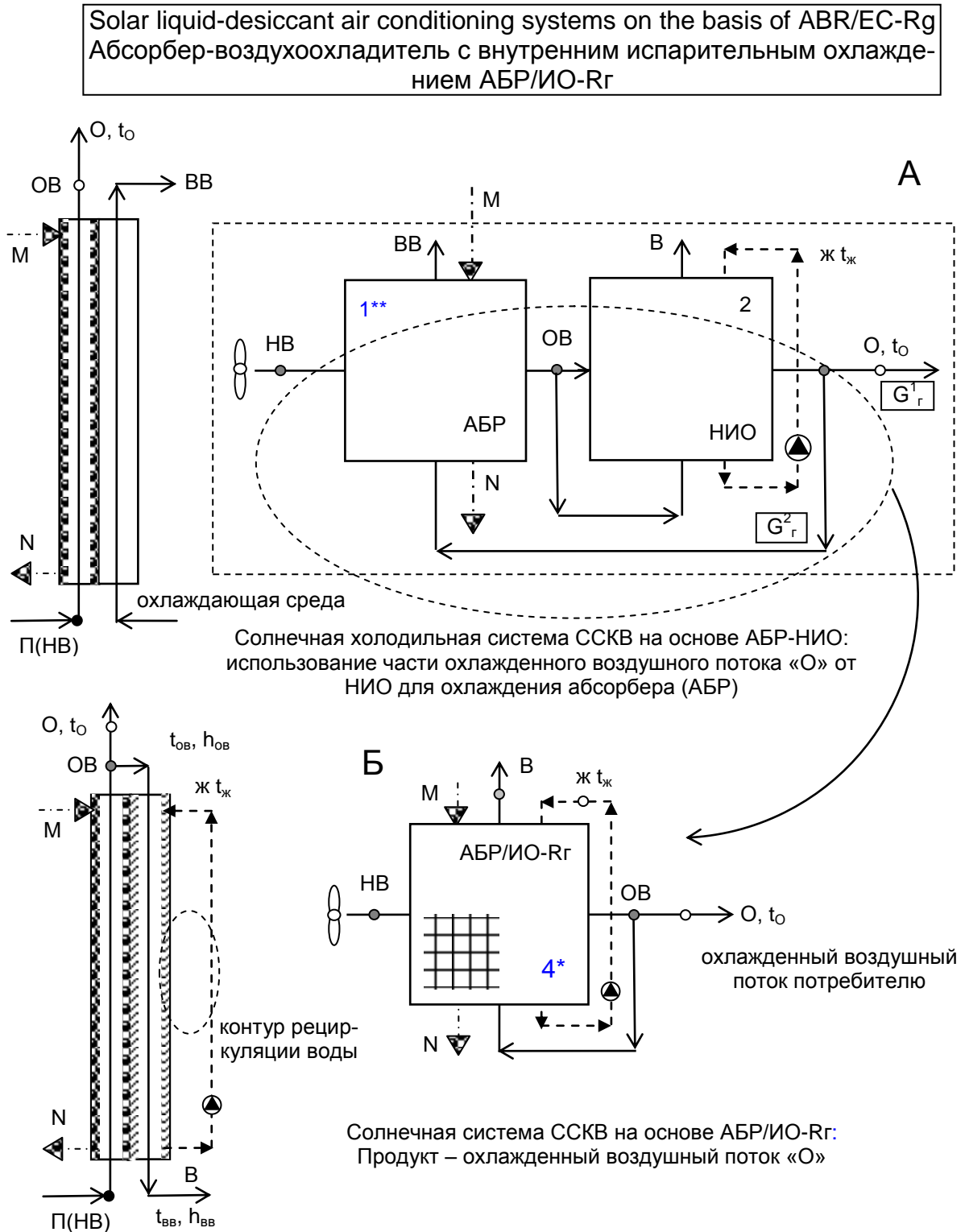


Рисунок 2 – Переход (идеи развития) от схемного решения АБР-НИО (использование части охлажденного воздуха в НИО – потока «О» - для охлаждения абсорбера АБР, позиция А) к абсорберу-воздухоохладителю с внутренним испарительным охлаждением АБР/ИО-Rг (Б).

Обозначения по рисунку 1, доп.: 1** – абсорбер-осушитель наружного воздуха АБР с чередующимися «осушительными» и «охлаждающими» каналами

Solar liquid-desiccant cooling systems on the basis of ABR/EC-Rw
 Абсорбер-водоохладитель с внутренним испарительным охлаждением
 АБР/ИО-Rж

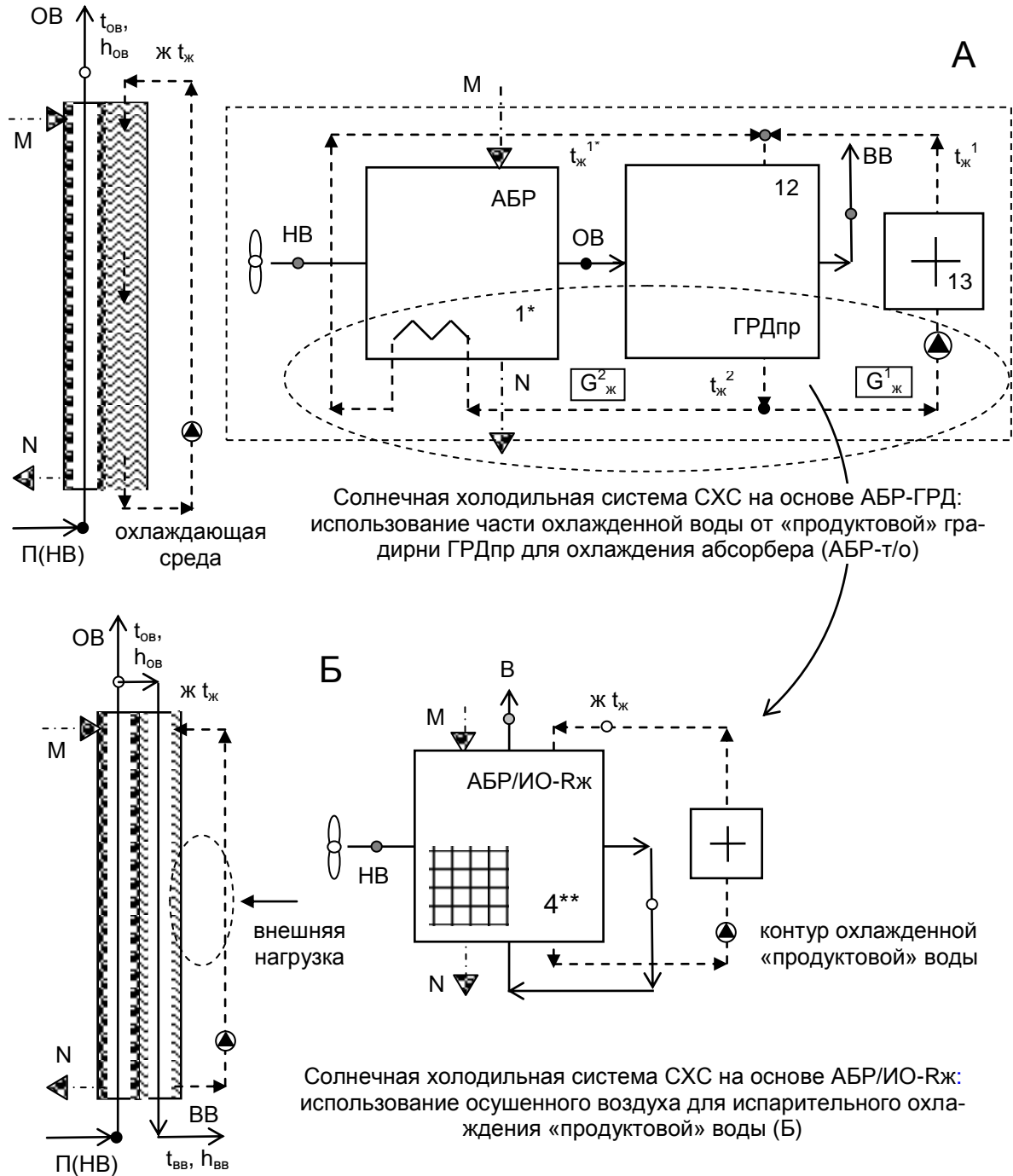


Рисунок 3 – Переход (идеи развития) от схемного решения АБР-ГРД (использование части охлажденной воды от ГРД для охлаждения абсорбера АБР, позиция А) к абсорберу-водоохладителю с внутренним испарительным охлаждением АБР/ИО-Rж (Б)

Обозначения по рисунку 1, доп.: 1* – абсорбер-осушитель наружного воздуха АБР со встроенным теплообменником-охладителем; 13 – охлаждаемый объект

Solar liquid-desiccant cooling systems
Абсорбер с внутренним испарительным охлаждением

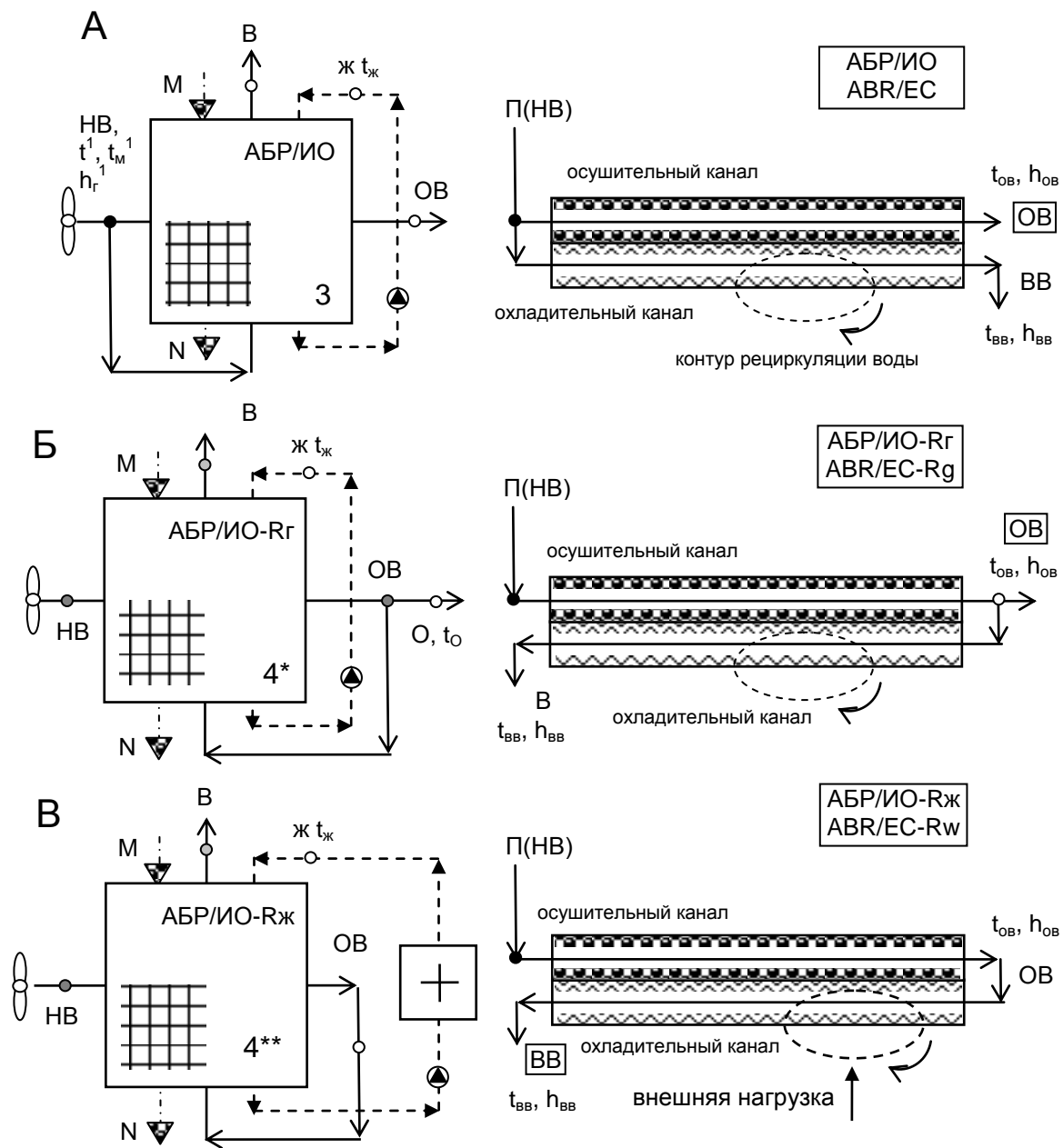


Рисунок 4 – Абсорбер с внутренним испарительным охлаждением (варианты).
 А – абсорбер-осушитель воздуха с внутренним испарительным охлаждением;
 Б – абсорбер-воздухоохладитель с внутренним испарительным охлаждением АБР/ИО-Rг;
 В – абсорбер-водоохладитель с внутренним испарительным охлаждением АБР/ИО-Rж

Обозначения по рисункам 1-3

Разработанная концепция создания солнечных холодильных систем СХС на основе АБР/ИО-Рж иллюстрируется в развернутом виде на рис. 5, при этом:

1. СХС выполнена в двухступенчатом варианте, и состоит из автономных осушительно-охладительных блоков, первый блок решен по формуле АБР-НИО, а во втором вместо аналогичного блока используется разработанный вариант охладителя АБР/ИО-Рж (4**), причем каждая ступень регенерации (ДБР) замкнута на соответствующую ступень абсорбера-осушителя воздуха (АБР) [8-9];

2. Все ТМА солнечной системы (абсорберы-осушители АБР (1) и АБР/ИО (4**), десорбер-регенераторы ДБР (5 и 6), испарительный воздухоохладитель НИО (2), унифицированы и выполнены как поперечноточные или противоточные аппараты пленочного типа с многоканальной насадкой регулярной структуры из полимерных материалов; насадка ТМА включает систему чередующихся «основных» и «вспомогательных» каналов (рис.4), в каналах первого типа реализуется основной процесс (осушение воздушного потока в абсорбере АБР/ИО или восстановление концентрации абсорбента в десорбере ДБР), а в соседних каналах подводится охлаждающий поток от технологической градирни ГРДт (7) (в абсорбере 1), или нагревающий поток теплоносителя от геосистемы (8) (в ступенях десорбера 5 и 6);

3. Абсорбер-осушитель (1) может быть выполнен многоступенчатым, на основе идентичных моноблоков, каждый из которых представляет автономную ступень осушения воздушного потока [8-9];

4. Десорбер-регенератор (5 и 6) выполнен также многоступенчатым на основе идентичных моноблоков, каждый из которых представляет автономную ступень восстановления концентрации абсорбента, при этом требуемый температурный уровень регенерации абсорбента обеспечивается горячей водой от солнечной системы (8); раствор абсорбента последовательно проходит каждую ступень регенерации, в которую поступает «свежий» наружный воздух (рис. 5, позиция Б);

5. Схема осушительной части может быть построена так, чтобы каждая ступень регенерации (ДБР) была замкнута на соответствующую ступень абсорбера-осушителя воздуха (АБР), при этом на вторую ступень десорбера ДБР2 поступает только часть абсорбента после первой ступени ДБР1, и направляется на вторую ступень охлаждения, в абсорбер АБР/ИО-Р, что приводит к росту концентрации абсорбента от ступени к ступени;

6. Внутренняя рекуперация тепла обеспечивается системой теплообменников: на линиях горячий-крепкий (М) и холодный-слабый (N) растворы бромистого лития LiBr установлены т/о 11 и 11*; на холодных выбросных воздушных потоках из НИО и АБР/ИО-Р т/о 9 и 10;

7. В испарительном охладителе НИО (2) [1-2, 4-6, 8-9], воздушный поток делится на две ча-

сти: вспомогательный поток («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»); воздушный поток «В» выносит все тепло из аппарата в «связанном» виде, его температура также понижается и влагосодержание возрастает; температура рециркулирующей воды в цикле сохраняет неизменное значение и оказывается на несколько градусов выше температуры мокрого термометра поступающего в НИО воздуха, осушенного в абсорбере АБР), она зависит от соотношения воздушных потоков в НИО, и является пределом охлаждения для обоих воздушных потоков «О» и «В»;

8. В охладительной части схемы последовательно используется в первой ступени охлаждения воздухоохладитель непрямого типа НИО (2), включенный в схему после соответствующей ступени абсорбции; во второй ступени СХС – осушительно-охладительный блок АБР/ИО-Рж (4**).

II. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СХС НА ОСНОВЕ АБСОРБЕРА С ВНУТРЕННИМ ИСПАРИТЕЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

На рис. 6 в поле Н-Т диаграммы влажного воздуха показано протекание процессов в основных элементах сравниваемых солнечных систем кондиционирования воздуха ССКВ, оформленных по формулам АБР – НИО (А) и АБР/ИО-Рг (Б). Начальное влагосодержание наружного воздуха выбрано значительно выше критической величины $x^* \approx 12,5 \text{ г/кг}$ [1], что требует обязательного предварительного осушения воздуха перед испарительным охлаждением для обеспечения требуемых комфортных параметров воздуха в ССКВ (в поле диаграммы выделена область комфортных параметров воздуха [1]). Анализ выполнен на основе ранее полученных в ОГАХ экспериментальных данных по эффективности процессов в ТМА осушительного и охладительного контуров [1-2] на насадке из многоканальных многослойных поликарбонатных плит с параметрами слоя: $d_3 = 15 \text{ мм}$. Использование полимерных многоканальных насадочных структур в случае ИО непрямого типа НИО не приводит к сколь либо существенному снижению эффективности процесса, поскольку термическое сопротивление разделяющей каналы «сухой» и «мокрой» частей аппарата стенки соизмеримо с термическим сопротивлением жидкостной пленки, стекающей по внутренним поверхностям «мокрых» каналов. Для НИО была принята в расчетах величина эффективности процесса охлаждения по основному и вспомогательному потокам, равная $E_O = E_B = (t^I - t^2)/(t^I - t_M) = 0.65$, при эффективности теплообменников $E_{Т/О} = 0.8$. Температура воды, рециркулирующей через «мокрую» часть НИО, принята $t^*_{Ж} = t^I_M + 1,5-2,5^0\text{С}$.

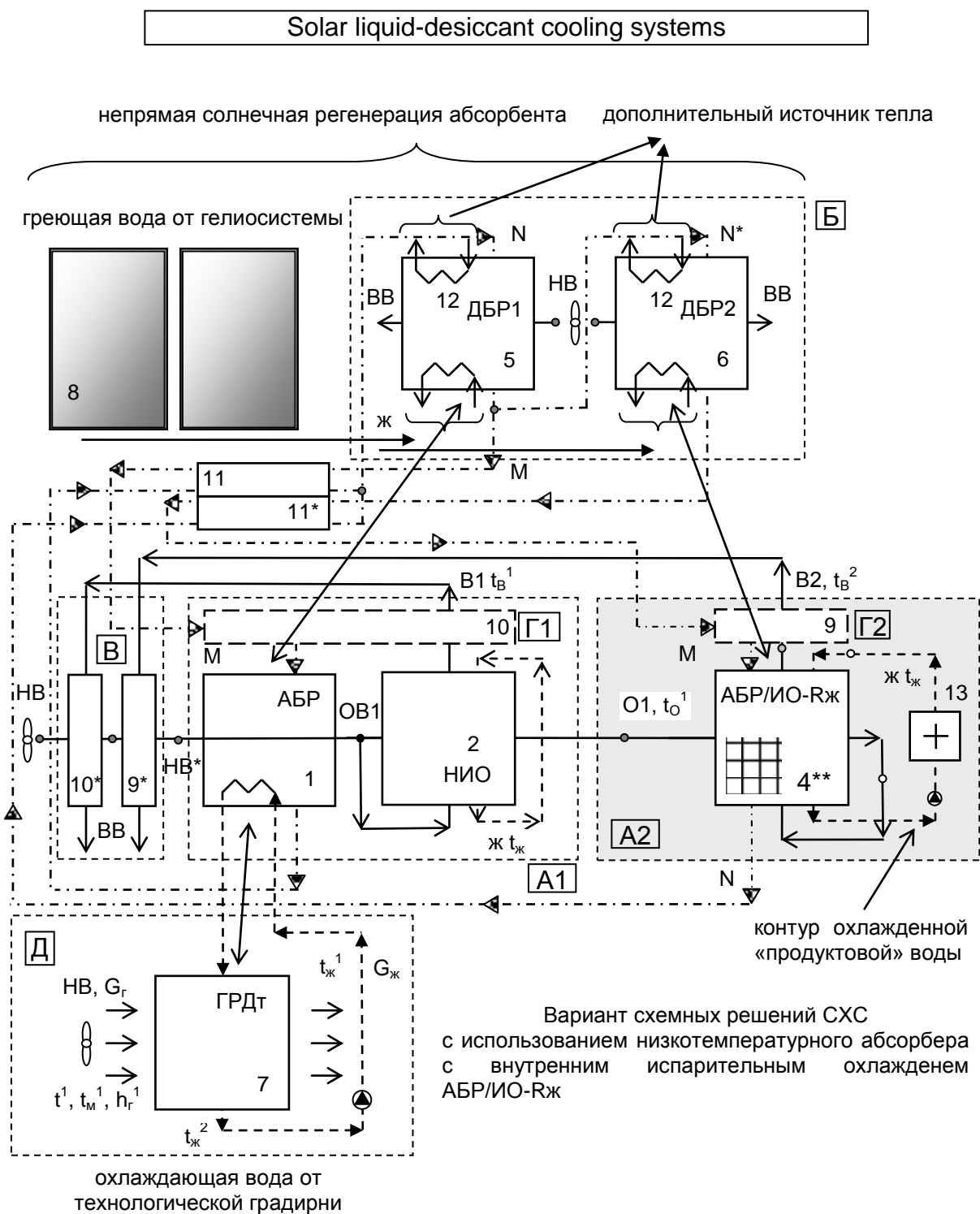


Рисунок 5 – Принципиальная схема солнечной холодильной системы СХС с использованием абсорбера с внутренним испарительным охлаждением. Формула АБР – НИО (первая ступень) и АБР/ИО-Рж (вторая ступень солнечной системы).

Обозначения по рисункам 1-3

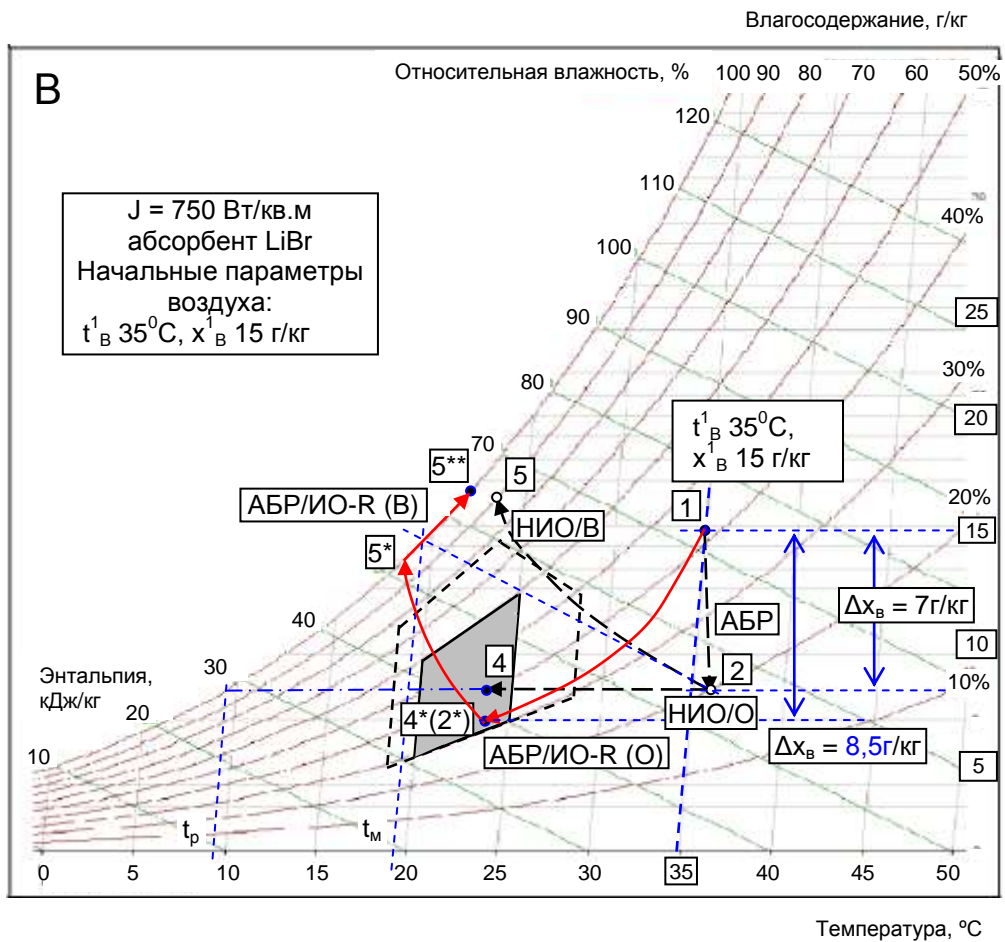
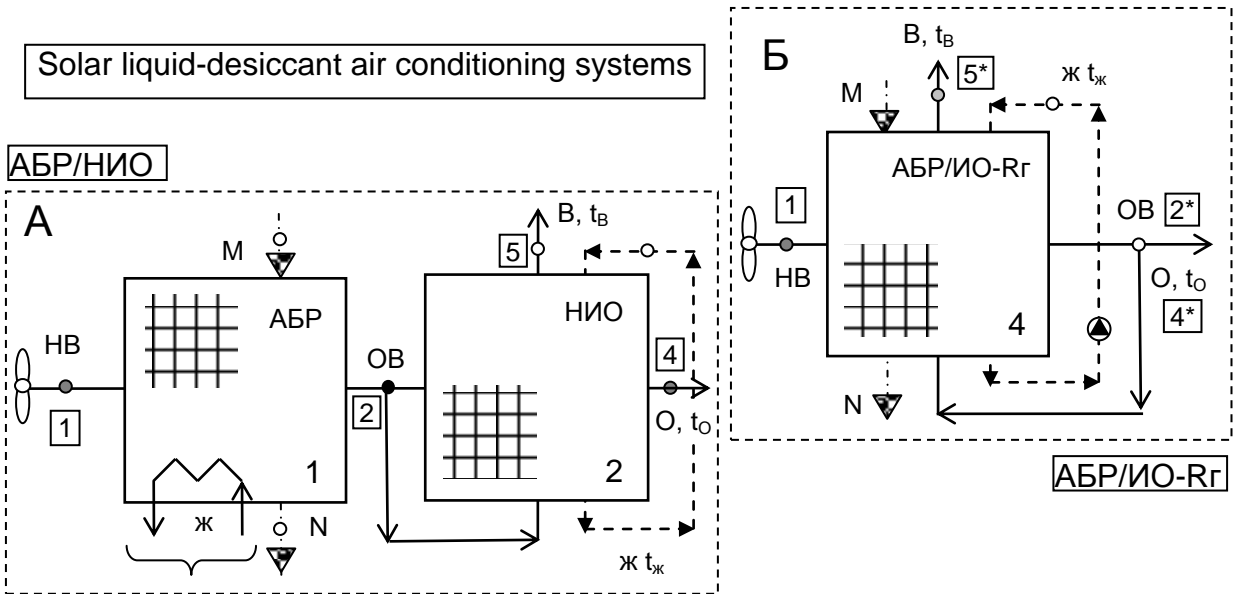


Рисунок 6 – Использование части осушенного в абсорбере воздуха для внутреннего испарительно-го охлаждения абсорбера (регенеративная схема абсорбера Б). Предварительный сравнительный анализ двух решений: АБР-НИО (А) и АБР/ИО-Р (Б).

Обозначения по рисункам 1-3

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, $l = G_O / G_B$ [1, 2], так что результаты выполненного анализа носят предварительный характер и несколько занижены.

Сравнительный анализ выполнен для начальных параметров наружного воздуха: $t^1_B = 35^{\circ}\text{C}$, $x^1_B = 15$ г/кг. Показаны процессы для АБР-НИО: 1-2 – осушение воздуха в абсорбере; 2-4, 2-5 – основной и вспомогательный воздушные потоки в НИО; для АБР/ИО-R: 1-4*(2*) – осушение и охлаждение полного воздушного потока в осушительных каналах абсорбера, 2*-5*-5** – изменение состояния вспомогательного воздушного потока в охлаждающих каналах абсорбера. Видно, что процесс осушения наружного воздуха реализуется при его одновременном охлаждении, причем линия изменения состояния воздушного потока носит криволинейный характер. Линия изменения состояния вспомогательного воздушного потока также криволинейна и до выхода из насадки ТМА выходит на кривую $\phi = 100\%$, с определенного момента следуя непосредственно по ней (участок 5*-5**). Построение этих кривых выполнено по методике, разработанной на основе «метода энтальпийного потенциала» в работе [2]. Следует отметить опасность снижения эффективности процесса в этой области, что требует особого анализа. Решение вопроса может лежать на регулировании соотношения воздушных потоков в чередующихся каналах АБР/ИО-R.

Видно, что ССКВ, построенная по формуле абсорбера с внутренним испарительным охлаждением АБР/ИО-Rг вполне обеспечивает комфортные параметры воздуха, при этом из схемы может быть устранен аппарат НИО. Поскольку энергозатраты на движение теплоносителей через очередную ступень охладителя изменяются незначительно, использование схемы АБР/ИО-Rг, вместо блока АБР-НИО в охлаждающей части солнечной многофункциональной системы позволяет снизить энергозатраты и повысить экологическую чистоту новых решений. В равной мере это касается и СХС, представленной на рис. 5.

ВЫВОДЫ

1. Многофункциональные (каскадные) солнечные системы основаны на теплоиспользующем абсорбционном цикле открытого типа и состоят из осушительной (абсорбер-осушитель – десорбер-регенератор) и охлаждающей части, в составе испарительных охладителей газов и жидкостей; поддержание непрерывности цикла обеспечивает солнечная система на основе жидкостных плоских солнечных коллекторов;

2. Использование многоступенчатого абсорбера для осушения воздушного потока, как и использование многоступенчатого десорбера для восста-

новления концентрации абсорбента, обеспечивают рост эффективности процесса абсорбции и существенное снижение пределов последующего испарительного охлаждения сред (газов или жидкостей);

3. Использование абсорбера с внутренним испарительным охлаждением АБР/ИО-Rг, вместо блока АБР-НИО в охлаждающей части солнечной системы ССКВ (как и использование абсорбера АБР/ИО-Rж, вместо блока АБР-ГРД в охлаждающей части солнечной системы СХС) позволяет устранить один из ТМА в схеме (НИО или ГРД, соответственно), снизить энергозатраты и повысить экологическую чистоту новых решений

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дорошенко А.В.** Альтернативная энергетика. Солнечные системы тепло-хладоснабжения: монография /А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман. - Одесса: ОНУ, 2012. - 446 с
2. **Дорошенко А.** Компактная тепломассообменная 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.
3. **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.
4. **Chen, G.M., Zheng, J., Doroshenko, A., Shestopalov, K., 2014.** Design and modeling of a collector-regenerator for solar liquid desiccant cooling system, International Sorption Heat Pump Conference, Washington.
5. **Chen, G.M., Doroshenko, A.V., Shestopalov, K.O., Khliyeva, O.Y., 2014.** Evaporative coolers of water and air for cooling systems. Analysis and perspectives, 11th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Hangzhou.
6. **Doroshenko, A., Shestopalov, K., Khliyeva, O., 2014.** Development of new schematic solutions and heat and mass transfer equipment for alternative solar liquid desiccant cooling systems, International Sorption Heat Pump Conference, Washington.
7. **Koltun, P.** Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternantive Air-Conditioning Systems. P. Koltun, S. Ramakrishnan, A. Doroshenko, M. Kontsov. 21st International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0140, 2003. P. 45-57.
8. **Дорошенко А.В.** Солнечные абсорбционные системы тепло-хладоснабжения на основе многоступенчатых тепломассообменных аппаратов. //А.В. Дорошенко, К.В. Людницкий/ Холодильная техника и технология. – 2014. – 6 (152). – С. 32-42.
9. **Дорошенко А.В.** Солнечные многоступенчатые абсорбционные холодильные системы на основе тепломассообменных аппаратов пленочного типа. // А.В. Дорошенко, А.П. Антонова, К.В. Людницкий/ Холодильная техника и технология – 2015. – 51(2). – С. 25-31

A.V. Doroshenko, K.V. Lyudnitskij

Odessa national academy of food technologies, 112 Kanatnaya str., Odessa, 65039, Ukraine

SOLAR REFRIGERATION SYSTEMS BASED ON THE ABSORBER WITH INTERNAL EVAPORATIVE COOLING

The paper presents the developed schematics for alternative refrigeration systems and air conditioning systems based on the use of heat-absorption cycle and solar energy for regeneration (recovery) of the absorbent solution. Cascade principle of construction of the drying and cooling circuits with absorbent concentration increasing on the steps of the cascade is used. The absorber with internal evaporative cooling that eliminates a separate evaporative cooler, typically comprised after the corresponding absorber is worked out. Heat mass transfer film-type equipment which is part of the drying and cooling circuits is unified and executed on the basis of mono-block multi-channel compositions of polymeric materials. A preliminary comparative analysis of the possibilities of solar refrigeration systems, solved by the formulas ADB and ADB-IO / IO-R is carried out.

Keywords: Solar systems; Dehumidification; Cooling fluids; Heat masoobmennaya apparatus; Absorption; Stripping; Evaporative cooling

REFERENCES

1. **Doroshenko, A.V., Glauberman, M.A. 2012.** Alternativnaya energika. Solnechnye sistemy teplokhladonasbzheniya. Odessa National University n.a. Mechnikov, 447 p. (in Russian)
2. **Doroshenko, A. 1992.** Kompaktnaya teplo-massoobmennaya apparatura dlya kholodilnoi tekhniki (teoriya, raschet, inzhenernaya praktika). Doktorskaya diss., OINTE. Odessa. – vol. 1. – 350 p., vol. 2. – 260 p. (in Russian)
3. **John L., McNab, Paul McGregor. 2003.** Dual Indirect Cycle Air-Conditioner Uses Heat Concentrated Dessicant and Energy Recovery in a polymer Plate Heat Exchanger. 21^h International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0646.
4. **Chen, G.M., Zheng, J., Doroshenko, A., Shestopalov, K. 2014.** Design and modeling of a collector-regenerator for solar liquid desiccant cooling system, International Sorption Heat Pump Conference, Washington.
5. **Chen, G.M., Doroshenko, A.V., Shestopalov, K.O., Khliyeva, O.Y. 2014.** Evaporative coolers of water and air for cooling systems. Analysis and perspectives. *The 11th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants*, August 31 – September 2, 2014, Hangzhou.
6. **Doroshenko, A., Shestopalov, K., Khliyeva, O. 2014.** Development of new schematic solutions and heat and mass transfer equipment for alternative solar liquid desiccant cooling systems. *International Sorption Heat Pump Conference 2014*, March 31 – April 2, 2014, Washington.
7. **Koltun, P. 2003.** Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternative Air-Conditioning Systems. P. Koltun, S. Ramakrishnan, A. Doroshenko, M. Kontsov. 21^h International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0140, P. 45-57.
8. **Doroshenko, A.V., Lyudnitsky, K.V. 2014.** Solar absorbing systems of heating and cooling of environments on basis of multi-stage heat-mass-transfer apparatus. *Refrigeration engineering and technology*, 6 (152), 32-42. (in Russian)
doi: 10.15673/0453-8307.6/2014.30877
9. **Doroshenko, A.V., Antonova, A.R., Lyudnitsky, K.V. 2015.** Solar multi-stage absorption refrigeration systems based on film type heat-mass exchange apparatuses. *Refrigeration engineering and technology*, 51(2), 25-31 (in Russian)
doi: 10.15673/0453-8307.1/2015.36783

Отримана в редакції 04.03.2015, прийнята до друку 23.04.2015