

РОЗДІЛ 2 ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 536.248.2:532.529.5

А.В. Дорошенко, А.Р. Антонова, К.В. Людницький

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

СОЛНЕЧНЫЕ МНОГОСТУПЕНЧАТЫЕ АБСОРБЦИОННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОМАСООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ПЛЕНОЧНОГО ТИПА

В статье представлены разработанные схемные решения для альтернативных холодильных систем СХС, основанные на использовании теплоиспользующего абсорбционного цикла и солнечной энергии для регенерации (восстановления) раствора абсорбента. Использован каскадный принцип построения всех ТМА как осушительного, так и охладительного контуров с варьированием как температурного уровня, так и возрастания концентрации абсорбента по ступеням каскада. Тепло-массообменная аппаратура пленочного типа, входящая в состав осушительного и охладительного контуров, унифицирована и выполнена на основе моноблоковых композиций из полимерных материалов. Выполнен предварительный анализ возможностей солнечных холодильных систем

Ключевые слова: Солнечные системы; осушение воздуха; охлаждение сред; тепло-массообменная аппаратура; пленочные течения; абсорбция; десорбция; испарительное охлаждение.

О.В. Дорошенко, А.Р. Антонова, К.В. Людницький

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

СОЛЯЧНІ БАГАТОСТУПІНЧАСТІ АБСОРБЦІЙНІ ХОЛОДИЛЬНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ АПАРАТІВ ПЛІВКОВОГО ТИПУ

У статті представлено розроблені схемні рішення для альтернативних холодильних систем СХС, засновані на використанні тепловикористовуючого абсорбційного циклу та сонячної енергії для регенерації (відновлення) розчину абсорбенту. Використаний каскадний принцип побудови всіх ТМА як осушувального, так і охолоджувального контурів з варіюванням як температурного рівня, так і зростання концентрації абсорбенту по щаблях каскаду. Тепло-массообмінна апаратура плівкового типу, що входить до складу осушувального та охолоджувального контурів, уніфікована і виконана на основі моноблокових композицій з полімерних матеріалів. Виконано попередній аналіз можливостей сонячних холодильних систем

Ключові слова: Сонячні системи; осушення повітря; охолодження середовищ; тепло-массообмінна апаратура; плівкові течії; абсорбція; десорбція; випарне охолодження.

DOI: 10.15673/0453-8307.2/2015.39349



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

I. ВВЕДЕНИЕ

Сопряженные проблемы энергетики и экологии интенсифицируют поиск альтернативных решений в области холодильных систем. Интерес к возможностям испарительных охладителей как прямого, так и непрямого типа в последние годы неуклонно возрастает, что обусловлено их малым энергопотреблением и экологической чистотой [1-8]. Солнечные осушительно-испарительные холодильные системы СХС основаны на открытом теплоиспользующем абсорбционном цикле, где предварительное осушение воздуха обеспечивает высокую эффективность последующего испарительного охлаждения сред [1-2]. Разработанные решения для охладителей охватывают нужды энергетики, химической и пищевой технологий и позволяют решать задачи охлаждения, не прибегая к традици-

онной парокомпрессионной технике. Это позволяет существенно улучшить их эко-энергетические показатели.

II. БАЗОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Разработанная концепция создания солнечных холодильных систем СХС иллюстрируется в развернутом виде на рисунке 1 в трехступенчатом варианте оформления, при этом:

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

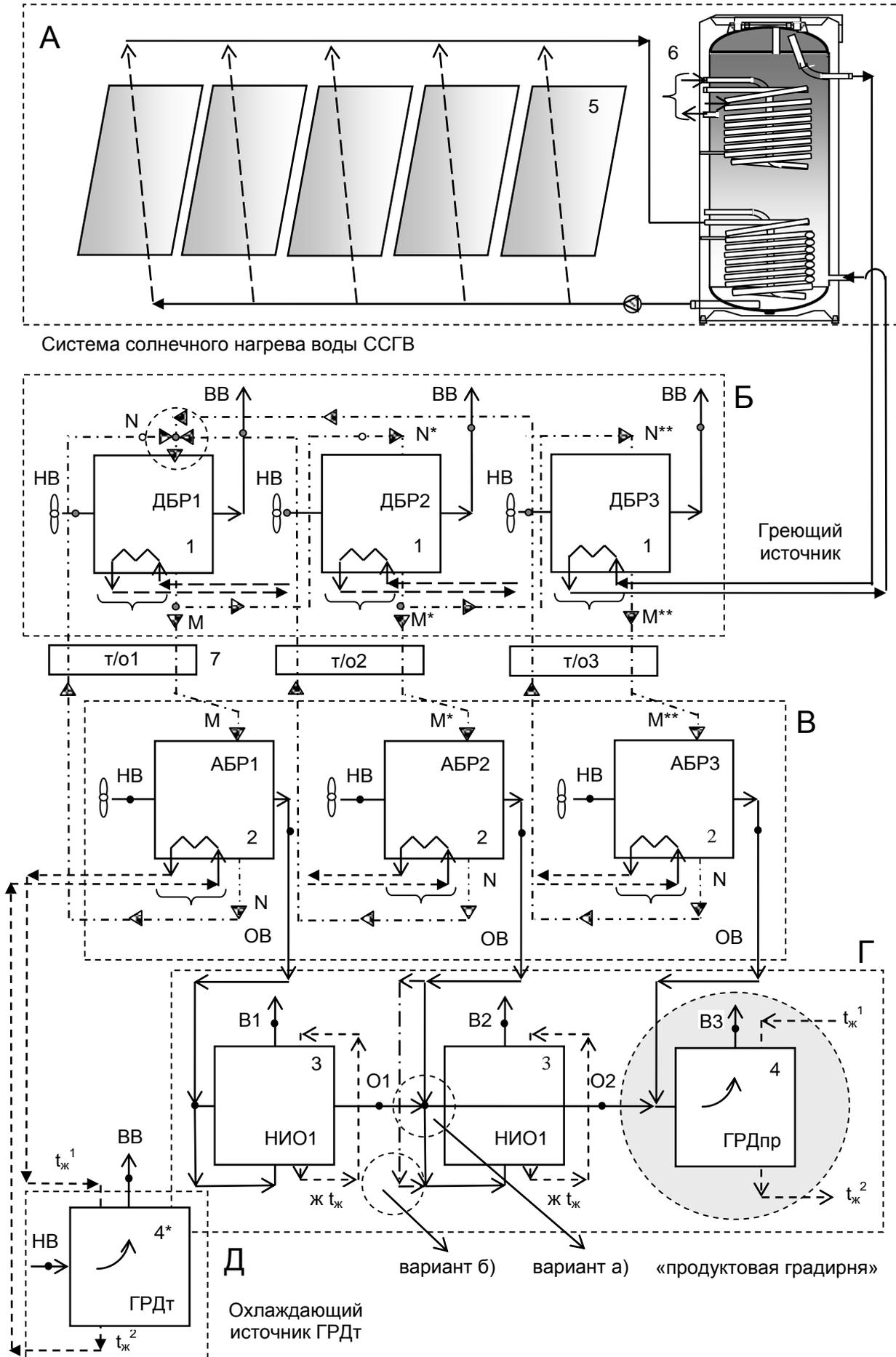


Рисунок 1 – Многокаскадная схема СХС. Обозначения приведены в тексте статьи

Осушительно-испарительный контур солнечной системы
Solar liquid-desiccant systems (SLDS)
Формула СХС: (ДБР1 ↔ АБР1) → НИО → (ДБР2 ↔ АБР2) → ГРД

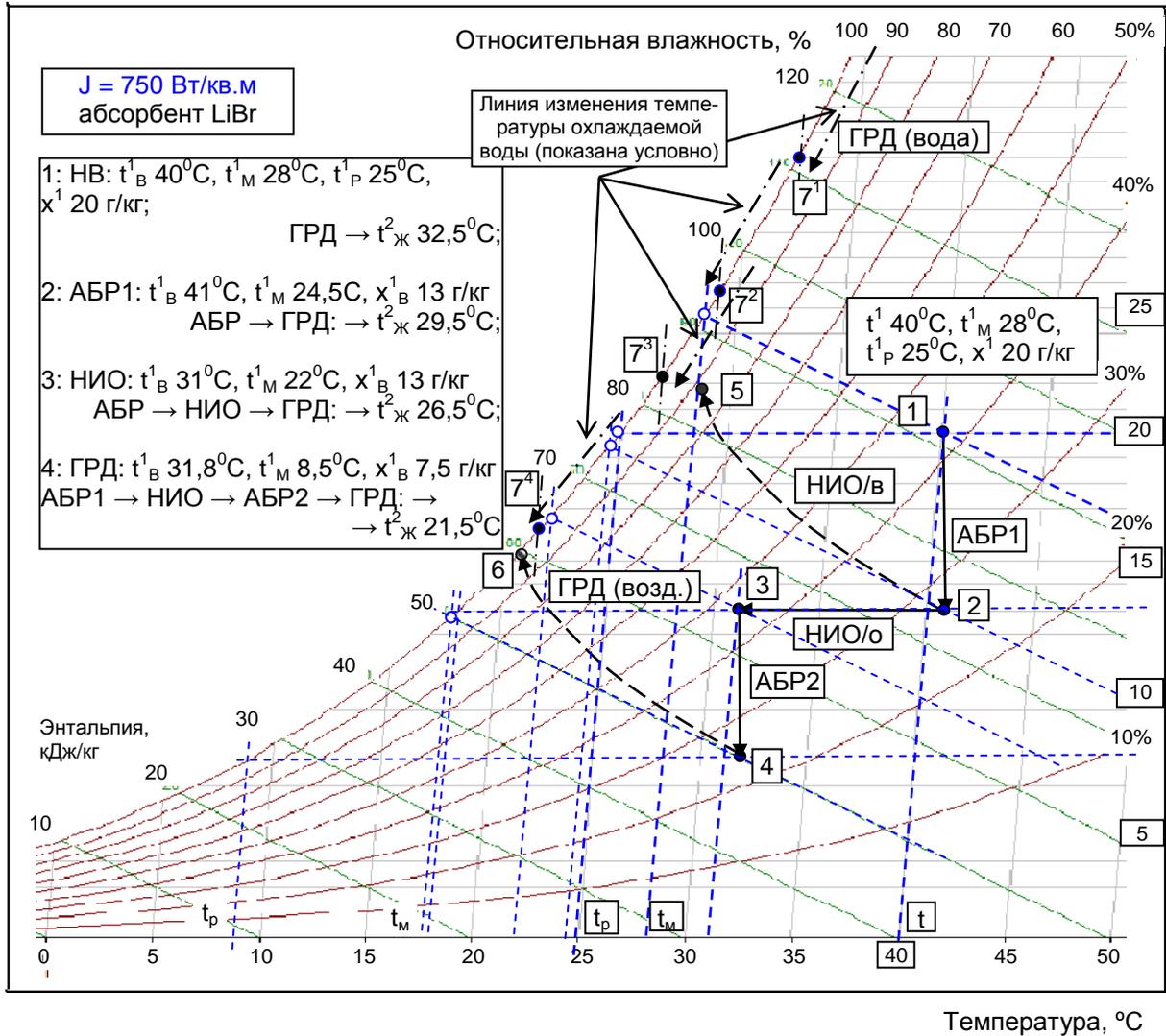
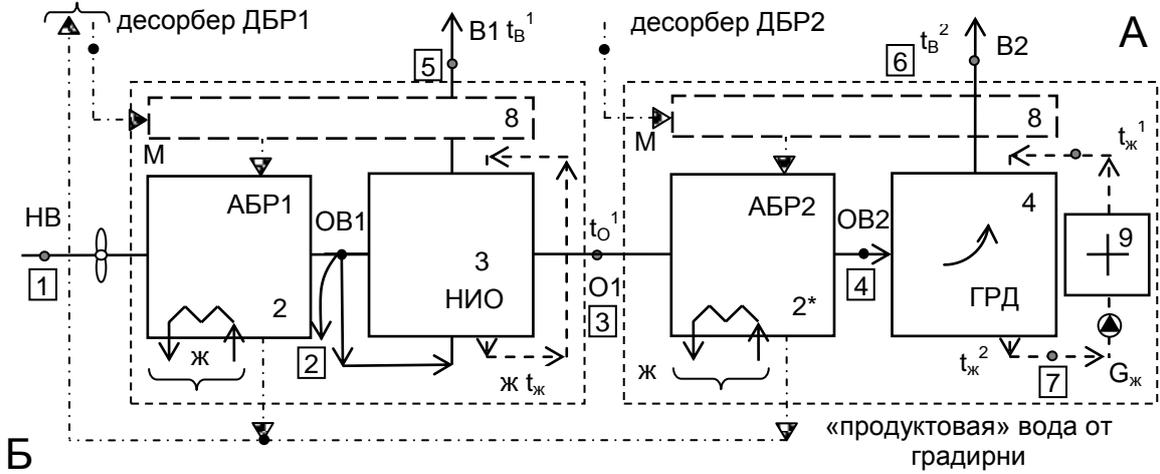


Рисунок 2 – Принципиальные возможности разработанных СХС.

Обозначения: 1-2, 3-4 – процесс осушения воздуха в абсорбере; 2-3, 2-5 – основной и вспомогательный воздушные потоки в НИО; $7^1, 7^2, 7^3, 7^4$ – охлажденная в ГРД вода $t^2_{\text{ж}}$ (рассмотрены формулы СХС: ГРД, АБР-ГРД, АБР-НИО-ГРД, АБР1-НИО-АБР2-ГРД)

2. Все ТМА (абсорберы-осушители (2), десорберы-регенераторы (1), испарительные охладители сред НИО (2) и ГРД (4), 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, в каналах первого типа реализуется основной процесс (осушение воздушного потока в абсорбере или восстановление концентрации абсорбента в десорбере), а в соседних каналах подводится охлаждающий поток от технологической градирни (4*) (в абсорбере), или нагревающий поток теплоносителя от гелиосистемы (5, рис. 1А) (в десорбере);

3. Абсорбер-осушитель (2) представляет автономную ступень осушения воздушного потока, при этом его насадка состоит из системы чередующихся каналов, в которых одновременно реализуются процессы осушения воздуха раствором абсорбента и охлаждения каналов абсорбера холодной водой, поступающей из градирни технологического назначения ГРДт (4*); абсорбер может быть выполнен многоступенчатым, на основе идентичных моноблоков, каждый из которых представляет автономную ступень осушения воздушного потока (рис. 1В);

4. Десорбер-регенератор (1) выполнен также многоступенчатым на основе идентичных моноблоков, каждый из которых представляет автономную ступень восстановления концентрации абсорбента, при этом каждый моноблок состоит из системы чередующихся каналов, в которых реализуются одновременно процессы восстановления абсорбента и нагрев каналов десорбции горячей водой от солнечной системы (5); раствор абсорбента последовательно проходит каждую ступень регенерации, в которую поступает «свежий» наружный воздух (рисунок 1Б);

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 АБР2 и т.д; это приводит к росту концентрации абсорбента от ступени к ступени;

6. В охладительной части схем последовательно используется модуль воздухоохладителя непрямого типа НИО (3), включенный в схему после соответствующей ступени абсорбции; в охладительной части схем, в варианте СХС используется модуль градирни ГРД (4);

7. Число ступеней охлаждения (моноблоков) в сборке охладителя (число каскадов в схеме солнечной системы) определяется требуемым эффектом охлаждения и расчетным долевым расходом получаемого продукта.

Обозначения на рисунках 1 и 2: 1 – десорбер-регенератор; 2 – абсорбер-осушитель; 3 – испари-

тельный воздухоохладитель НИО; 4 – градирня; 5 – солнечная система, обеспечивающая процесс регенерации абсорбента (солнечный коллектор СКЖ); 6 – дополнительный греющий источник; 7, 8 – теплообменники; НВ – наружный воздух; ОВ – осушенный воздух; О и В – основной и вспомогательный воздушные потоки в НИО; В и ВВ – выбрасываемый в среду воздух; N, M – крепкий и слабый растворы абсорбента.

В испарительном охладителе непрямого типа НИО (3), 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. Вспомогательный 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 соответствующей ступени абсорбера АБР1 и АБР2). Эта температура зависит от соотношения воздушных потоков в НИО, и является пределом охлаждения для обоих воздушных потоков «О» и «В».

В качестве испарительного водоохладителя в схеме используется «продуктовая» градирня ГРД (4), что обеспечивает получение «захоложенной» воды и может служить основой для создания как альтернативных холодильных систем СХС, так и систем кондиционирования воздуха ССКВ, с подачей холодной воды в помещение на вентилируемые водо-воздушные теплообменники. Схема на рисунке 1 предусматривает различные варианты подачи осушенного воздуха в НИО и ГРД. Выбросные потоки из этих охладителей могут использоваться для предварительного охлаждения воздуха между соответствующими ступенями АБР и ИО.

III. ОСОБЕННОСТИ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕЧЕНИЙ ПО ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Пленочные течения жидкости широко используются в различных технологических процессах (абсорбция, ректификация, выпаривание, охлаждение, и др.). В последнее годы, в связи с возрастающей необходимостью интенсификации теплообмена в различных технологиях широкое применение находят поверхности с заранее заданной структурой. Некоторые результаты теоретиче-

ских и экспериментальных исследований на структурированных поверхностях для различных приложений приведены в работах [9]. Авторами изучалась волновая структура поверхности пленок, динамика возникновения сухих пятен на поверхности теплообмена, критические скорости движения газового потока над поверхностью пленки (проблема устойчивости пленочных течений) и соответствующие критические тепловые потоки в стекающих жидкостных пленках на структурированных поверхностях (вертикальные поверхности с регулярной шероховатостью стенок, расположенной перпендикулярно течению жидкостной пленки). В качестве рабочих участков использовались вертикальные поверхности с гладкой и структурированной поверхностями. Было выполнено изучение гидродинамической неустойчивости на поверхности гравитационно стекающей пленки жидкости по вертикальной поверхности многоканальных ТМА пленочного типа [9].

Влияние газового потока на ламинарное течение пленки впервые было рассмотрено в работе [10]. Дальнейшие исследования показали, что ламинарное течение с невозмущенной поверхностью является неустойчивым и при $Re_{ж} \geq 3,71$ на поверхности водяной пленки возникают бегущие волны [11]. Экспериментальные исследования волнообразования показали, что, с одной стороны, растущие волны являются линейными, а с другой, – при достижении достаточно большой амплитуды волны, выходят на нелинейный режим с постоянной амплитудой. Согласно линейным теориям неустойчивости, наблюдаемые в опыте волны должны соответствовать волнам максимального роста, что подтверждено экспериментально. Сравнение опытных данных по инкременту, фазовой скорости и длине растущих волн с теоретическими зависимостями для волн максимального роста показало, что в области $Re_{ж} > 10$ экспериментальные данные согласуются с расчетными [11]. Дисперсные кривые имеют минимум, соответствующий волнам максимального роста. При небольших значениях $Re_{ж}$ временной инкремент для волн максимального роста имеет резко выраженный максимум.

Опираясь на полученные результаты в работе, при анализе процессов в ТМА пленочного типа осушительного и охладительного контуров солнечных систем было принято, в качестве предельных значений скорости газового потока, $w_r = 5.0-6.0$ м/с, при средней толщине жидкостной пленки $\delta = 0,25-0,37$.

IV. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ

На рисунке 2 в поле Н-Т диаграммы влажного воздуха показано протекание процессов в основных элементах солнечной холодильной системы СХС применительно к схеме с двухступенчатым осушителем воздуха и испарительными охладите-

лями непрямого НИО и прямого типа ГРД, оформленной по формуле: (ДБР1 ↔ АБР1) – НИО – (ДБР2 ↔ АБР2) – ГРД. Анализ выполнен на основе ранее полученных в Одесской государственной академии холода (ОГАХ) экспериментальных данных по эффективности процессов в ТМА осушительного и охладительного контуров [1-3]. Начальное влагосодержание наружного воздуха выбрано значительно выше критической величины $x^* \approx 12,5$ г/кг [1], что требует обязательного осушения воздуха перед испарительным охлаждением среды (газа либо жидкости) для обеспечения требуемой температуры охлаждения в СХС. Анализ возможностей ИО выполнен на основе результатов, ранее полученных в ОГАХ для ИО прямого (ГРД) и непрямого (НИО) типов [2]. Экспериментальные данные приведены по работе [1, 3] на насадке из алюминиевой гофрированной фольги с параметрами слоя: $d_3 = 12$ мм; $H_{PH} = 400$ мм. [3], и на насадке из многоканальных многослойных поликарбонатных плит с параметрами слоя: $d_3 = 15$ мм, $H_{PH} = 400$ мм. [1]. 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 [1, 5]. Для НИО, на основе ранее полученных в ОГАХ экспериментальных данных [1-3], принята 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 $E_{TO} = 0.8$. Температура воды, рециркулирующей через «мокрую» часть НИО, принята $t^*_{ж} = t^I_M + 1,5-2,5^0C$. На самом деле эффективность потока 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, 3], так что результаты выполненного анализа носят предварительный характер и несколько занижены.

На рисунке 2 показано протекание процессов в основных элементах солнечной системы применительно к схеме СХС, оформленной по формулам: ГРД; АБР-ГРД; АБР-НИО-ГРД; АБР1-НИО-АБР2-ГРД, то есть в последовательном усложнении схемы СХС. Здесь: 1-2, 3-4 – процессы осушения воздуха в абсорбере по ступеням каскада; 2-3, 2-5 – основной и вспомогательный воздушные потоки в НИО; 2-5 и 4-6 – процессы изменения состояния воздушного потока в градирне ГРД; $7^1, 7^2, 7^3, 7^4$ – охлажденная в градирне ГРД вода в соответствии с рассматриваемой схемой СХС ($t_{ж}^1 - t_{ж}^2$ – соответствующий процесс испарительного охлаждения воды). Видно, что процесс абсорбции водяных паров из воздуха реализуется при последовательном снижении температуры в каждой ступе-

ни, что повышает эффективность процесса абсорбции и обеспечивает значительное возрастание потенциала испарительного охлаждения в каждой из ступеней ИО. Хорошо видно снижение уровня охлаждения воды в градирне ГРД от $t_{ж}^2 = 32,50^{\circ}\text{C}$ для ГРД, работающей на наружном воздухе (НВ) до $t_{ж}^2 = 21,5^{\circ}\text{C}$ для двухкаскадной схемы. Видно, что СХС обеспечивает охлаждение воды ниже температуры мокрого термометра НВ и имеет пределом охлаждения температуру точки росы НВ.

Приведенный пример соответствует очень «тяжелым» климатическим условиям. В среднем, для средневропейских условий, когда влагосодержание НВ не превышает 15 г/кг, двухкаскадный охладитель СХС может обеспечить получение охлажденной жидкости на уровне нуля градусов. Это охватывает нужды энергетики, химической и пищевой технологии и позволяет решать задачи охлаждения, не прибегая к традиционной пароконденсационной технике. Эффективность охлаждения в каждой последующей ступени многоступенчатого охладителя снижается. Поскольку энергозатраты на движение теплоносителей через очередную ступень охладителя практически не изменяются, количество ступеней должно выбираться с точки зрения инженерной оптимизации. Использование многоступенчатых испарительных охладителей в целях охлаждения сред и термовлажностной обработки воздуха позволяет снизить энергозатраты, в сравнении с традиционной пароконденсационной техникой охлаждения, в среднем на 25-35% и существенно повысить экологическую чистоту новых решений [1-3, 8].

ВЫВОДЫ

1. Многофункциональные (каскадные) 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 (водоохладитель-градирня ГРД), или непрямого (НИО) типов; поддержание непрерывности цикла обеспечивает солнечная система;

2. Использование многоступенчатого абсорбера для осушения воздушного потока, как и использование многоступенчатого десорбера для восстановления концентрации абсорбента, обеспечивают рост эффективности процесса абсорбции и существенное снижение пределов последующего испарительного охлаждения сред (газов или жидкостей).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дорошенко А. В., Глауберман М. А.** Альтернативная энергетика. Солнечные системы теплоснабжения: монография / - Одесса: ОНУ, 2012. - 446 с.
2. **Горин А.Н., Дорошенко А.В.** Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика), – Донецк: Норд-Пресс, 2008. 374 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/IFR, 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/IFR, 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. doi: 10.1016/s0140-7007(98)00004-8
7. **Zhao, X., Liu, S., Riffat, S.B.,** 2008. Comparative study of heat and mass exchanging materials for indirect evaporative cooling systems. Building and Environment 43, 1902–1911. doi: 10.1016/j.buildenv.2007.11.009
8. **Koltun, P.** Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternative Air-Conditioning Systems. P. Koltun, S. Ramakrishnan, A. Doroshenko, M. Kontsov. 21st International Congress of Refrigeration IIR/IFR, Washington, D.C, ICR0140, 2003. P. 45-57.
9. **Антонова А.Р., Кириллов В.Х.** Теоретическое и экспериментальное изучение пленочных течений в теплообменных аппаратах (испарительных охладителях, газо-жидкостных солнечных коллекторах-регенераторах) энергетических систем. - Одесса: Холодильна техніка і технологія, № 2 (142), - 2013.- с. 20-27.
10. **Капица П.Л.** Волновое течение тонких слоев жидкости. – ЖЭТФ. 1948, т.18, вып. 1, с. 3 -28.
11. **Антонова А.** Теоретичне та експериментальне дослідження процесів у газорідних сонячних колекторах-регенераторах альтернативних холодильних систем. Дисертація кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06. – Одеса. – 2014. – 205 с.

A.V. Doroshenko, A.R. Antonova, K.V. Lyudnitsky

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaya str., Odessa, 65039, Ukraine

SOLAR MULTI-STAGE ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEMS BASED ON FILM TYPE HEAT-MASS EXCHANGE APPARATUSES

The paper presents the developed circuit solutions for alternative refrigeration systems based on the of heat-absorption cycle and solar energy utilization for regeneration (recovery) of the absorbent solution. Cascade principle of heat-mass exchange apparatuses construction was applied, of drying and cooling loops with varying of temperature level and increasing of absorbent concentration on the cascade steps. Film type heat and mass transfer equipment, which is the part of the drying and cooling loops is unified and executed on the basis of monoblock polymeric materials compositions. The preliminary analysis of solar refrigeration systems potentialities was carried out.

Keywords: *Solar systems; Dehumidification; Medium cooling; Heat-mass transfer equipment; Film flows; Absorption; Desorption; Evaporative refrigeration.*

REFERENCES

1. **Doroshenko A. V., Glauberman M. A. 2012.** Alternativnaya energetika. Solnechnye sistemy teplohladosnabzheniya: monografiya – Odessa: ONU, 446 p.
2. **Gorin A.N., Doroshenko A.V. 2008.** Solnechnaya energetika. (Teoriya, razrabotka, praktika), – Donetsk: Nord-Press, 374 p.
3. **Doroshenko A. 1992.** Kompaktnaya teplo-massoobmennaya apparatura dlya holodilnoy tehniki (teoriya, raschet, inzhenernaya praktika). Doktorskaya dissertatsiya, Odesskiy institut nizkotemperaturnoy tehniki i energetiki. Odessa. – vol.1. – 350 p., vol.2. – 260 p.
4. **Foster R.E., Dijkstra E. 1996.** 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, 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. 21h International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0646.
6. **Stoitchkov N. J., Dimirov G.J. 1998.** Effectiveness of Crossflow Plate Heat Exchanger for Indirect Evaporative Cooling. *Int. J. Refrig.*, 21(6), 463-471. doi: 10.1016/s0140-7007(98)00004-8
7. **Zhao, X., Liu, S., Riffat, S.B., 2008.** Comparative study of heat and mass exchanging materials for indirect evaporative cooling systems. *Building and Environment*, 43, 1902–1911. doi: 10.1016/j.buildenv.2007.11.009
8. **Koltun, R. 2003.** Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternative Air-Conditioning Systems. P. Koltun, S. Ramakrishnan, A. Doroshenko, M. Kontsov. 21h International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0140, P. 45-57.
9. **Antonova A.R., Kirillov V.Kh. 2013.** Theoretical and experimental studies of film flows in heat-mass exchange apparatuses (evaporative coolers, gas-liquid solar collectors, regenerators) of energy systems. *Kholodylna Tekhnika ta Tekhnologiya [Refrigeration Engineering and Technology]*, No.2(142), 20-27.
10. **Kapitsa P.L. 1948.** Volnovoe techenie tonkih sloev zhidkosti. – *ZhETF.*, vol.18, iss.1, 3-28.
11. **Antonova A. 2014.** Teoretichne ta eksperymentalne doslidzhennya protsesiv u gazoridinnih sonyachnih kolektorah-regeneratorah alternativnih holodilnih sistem. Disertatsiya kandidata tehnicnih nauk za spetsialnistyu 05.14.06. – Odesa, ONAFT, 205 p.

Отримана в редакції 30.01.2015, прийнята до друку 03.03.2015