

**Дорошенко А.В.<sup>1</sup>, Васютинский С.Ю.<sup>1</sup>, Данько В.П.<sup>2</sup>, Глауберман М.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Одесская государственная академия холода, 65082, г. Одесса, ул. Дворянская 1/3

<sup>2</sup> Донецкий национальный университет экономики и торговли имени М. Туган-Барановского, 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 31

<sup>3</sup> ННВЦ при ОНУ им И. Мечникова, 65082, г. Одесса, ул. Дворянская, 2

## **Исследования процессов в теплообменных аппаратах с подвижной насадкой для солнечных многофункциональных систем**

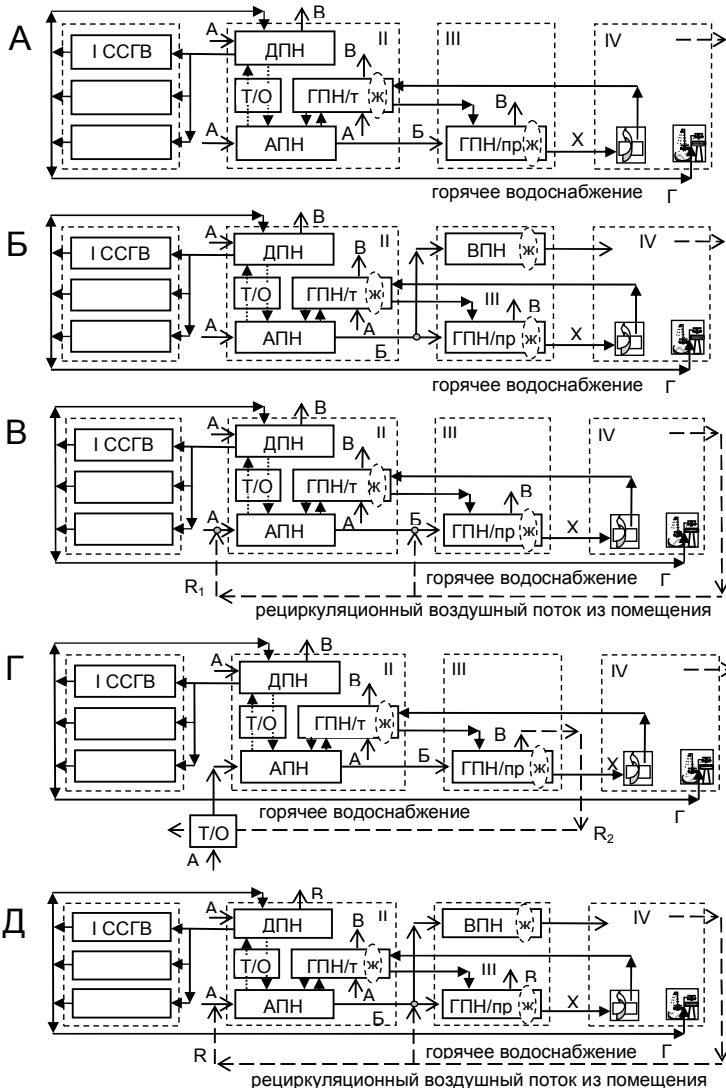
*Разработаны схемные решения комбинированных солнечных систем тепло-холодоснабжения и кондиционирования воздуха, основанные на открытом абсорбционном цикле с непрямой регенерацией абсорбента и использованием новых типов теплообменных аппаратов с подвижной насадкой «газ-жидкость-твердое тело». На основе цикла теоретических и экспериментальных исследований выработаны практические рекомендации по определению оптимальных режимных параметров работы солнечных систем и геометрических параметров основных элементов теплообменной аппаратуры*

**Введение.** Альтернативой парокомпрессионной технике является солнечная система, основанная на использовании открытого абсорбционного цикла и солнечной энергии для регенерации абсорбента. Различным вариантам таких систем адсорбционного и абсорбционного типа посвящены работы последних лет [1, 2, 4-9].

Одной из серьезных проблем, характеризующей надежность абсорбционных систем является опасность отложений на рабочих поверхностях теплообменной аппаратуры, при работе на водных растворах, жидких сорбентов [2]. Накопленный ранее в ОГАХ опыт использования трехфазных псевдооживленных насадочных слоев для организации теплообменных аппаратов может быть использован для решения этой задачи (аппараты осушительного и охладительного контуров солнечных холодильных систем). В работе были использованы теоретические и экспериментальные материалы, полученные ранее в ОГАХ при создании воздухоохладителей (ВПН) и вентиляторных градирен с подвижной насадкой (ГПН), а также опыт инженерной реализации таких аппаратов в энергетических системах и схемах оборотного водоснабжения [3].

### **I. Схемные решения солнечных холодильных систем и теплообменных аппаратов.**

На рис.1 приведены разработанные схемные решения солнечных холодильных систем (СХС), включающие блок осушения воздуха II в составе абсорбера (АПН) и десорбера (ДПН), в которых обеспечивается предварительное



**Рис. 1.** Принципиальные схемы комбинированных солнечных систем теплодоснабжения и кондиционирования воздуха.  
 Обозначения: А – наружный воздух; Б – осушенный в абсорбере воздух; В – удаляемый воздушный поток; Г, X – нагретая в абсорбционной системе ССГВ и охлажденная в градирне вода, соответственно; ж – рециркуляционный водяной контур; R – воздушный поток из помещения (рециркуляционный воздушный контур). I – блок солнечного нагрева теплоносителя; II – блок осушения воздуха; III – охлаждающий блок; IV – помещение.

осушение наружного воздуха и восстановление концентрации абсорбента. В качестве абсорбента используются композиты на основе бромисто-литиевых растворов [2]. Поскольку, при поглощении водяных паров из воздуха, выделяется теплота, требуется охлаждение абсорбера, для чего в схеме используется технологическая градирня с псевдоожиженной насадкой (ГПН/т). На потоках горячего «крепкого» и холодного «слабого» раствора абсорбента установлен теплообменный аппарат (Т/О). В охладительном блоке III схемы используется охладитель продуктовой воды – продуктовая градирня с псевдоожиженной насадкой (ГПН/пр) либо воздухоохладитель с псевдоожиженной насадкой (ВПН), обеспечивающие термовлажностную обработку подаваемого в помещение воздушного потока. Целесообразным вариантом схемного решения является схема (рис. 1Б) с использованием как ВПН, так и ГПН/пр.

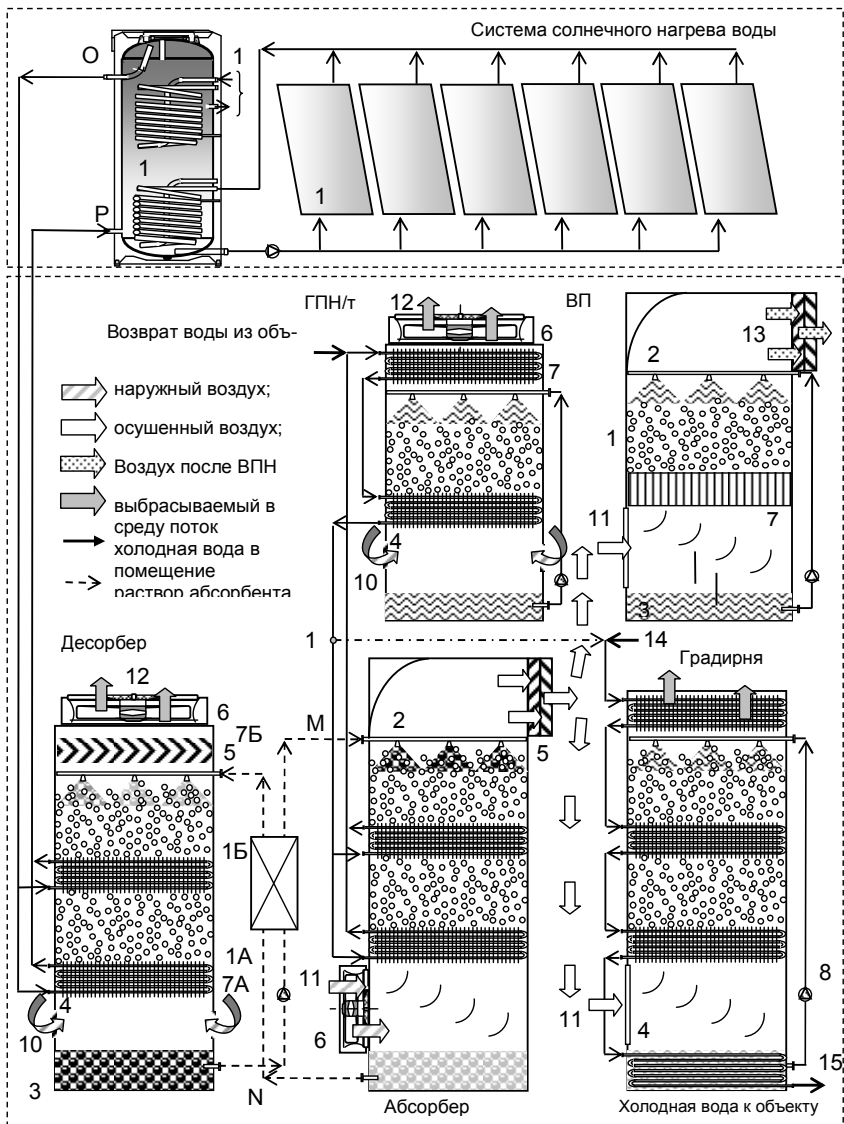
На рис. 1 В, Г, Д представлены различные варианты разработанных схемных решений с частичной рециркуляцией воздуха, поступающего из помещения (варианты В и Д), либо с использованием охлажденной воды (вариант Г) для предварительного охлаждения воздуха перед абсорбером. Варианты таких схем могут быть многообразны.

Оформление всех тепломасообменных аппаратов унифицировано и основывается на использовании трехфазных подвижных псевдоожиженных слоев «газ – жидкость – твердое тело». На рис. 2 представлено развернутое схемное решение по варианту рис. 1 Б. В аппаратах, в отличие от ранее выполненных в ОГАХ работ, применено двухъярусное расположение насадки (кроме воздухоохладителя ВПН), а опорно-распределительная решетка (ОРР) выполнена в виде теплообменного аппарата пластинчатого, либо трубчато-ребристого типа (рис. 2, поз. 7). Схема построена на многоступенчатом охлаждении «продуктовой» воды, включающей в качестве первой ступени градирню ГПН/т, а в качестве второй и третьей ступеней охлаждения теплообменники, входящие в состав «продуктовой» градирни ГПН/пр (опорно-распределительные решетки секций ГПН/пр).

### **III. Разработка аппаратов с подвижной насадкой и экспериментальное исследование проходящих в них процессов.**

Тепломасообменный аппарат осушительного и охладительного контуров (рис. 2) представляет собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой расположен насадочный слой 1. Аппарат включает в себя: секцию подачи и распределения воздуха в нижней части 10; распределитель жидкости, например форсуночного типа 2; сепаратор капельной влаги жалюзийного типа 5 и, собственно, насадочную часть, расположенную на опорно-распределительной решетке 7, которая выполнена в виде теплообменника.

Предпочтение, с учетом специфики реализуемых процессов теплообмена, было отдано двух- и трехъярусному оформлению насадки аппаратов. Ранее в ОГАХ, при разработке и исследовании процессов в градирнях с подвижной насадкой, использовались только одноярусные аппараты ГПН [3].



**Рис. 2.** Принципиальная схема комбинированной солнечной холодильной системы СХС. Обозначения: 1 – подвижная насадка ТМА; 2 – водораспределитель; 3 – емкость для воды (танк); 4 – воздухоприемные окна; 5 – сепаратор капельной влаги; 6 – вентилятор; 7 – теплообменник из оребренных труб; 8 – теплообменник из гладких труб; 9 – водяной насос; 10 – поступающий свежий воздух; 11 – осушенный воздушный поток; 12 – удаляемый воздух; 13 – воздух, прошедший термовлажностную обработку в ВПН; 14 – горячая вода; 15 – охлажденная вода; 16 – солнечный коллектор; 17 – бактеплоаккумулятор; 18 – дополнительный источник нагрева.

Экспериментальные исследования проводились на новом оборудовании, которое находится в ОГАХ, с использованием двух типов насадочных элементов: цельные шары из вспененного полипропилена ( $d_{эн} = 40.1$  мм,  $\rho_{эн} = 248$  кг/м<sup>3</sup>) и серии полых шаров ( $d_{эн} = 37.1$  мм,  $\rho_{эн} = 300 \dots 600$  кг/м<sup>3</sup>), последовательно (группами) частично заполняемых жидкостью для обеспечения требуемой эффективной плотности.

Новым на фоне ранее проводимых в ОГАХ исследований являлся переход на двух- и трехъярусное расположение элементов. Экспериментальный стенд состоял из колонны цилиндрической формы, состоящей из набора прозрачных царг диаметром  $D_k \approx 200$  мм и высотой  $H_k = 1000$  мм. С учетом высоты опорно-распределительной решетки, высота рабочей зоны колонны составляет 950 мм (при двухъярусном расположении насадки высота рабочей зоны каждого яруса составляет 450 мм).

Внутри колонны размещена опорно-распределительная решетка ОРР со слоем подвижной насадки ПН и водораспределитель с варьируемым расположением по высоте колонны. Величины живого сечения ОРР  $f_{орр} = 65 - 85\%$  и статической высоты насадки  $H_{см} = 50 - 150$  мм изменялась дискретно.

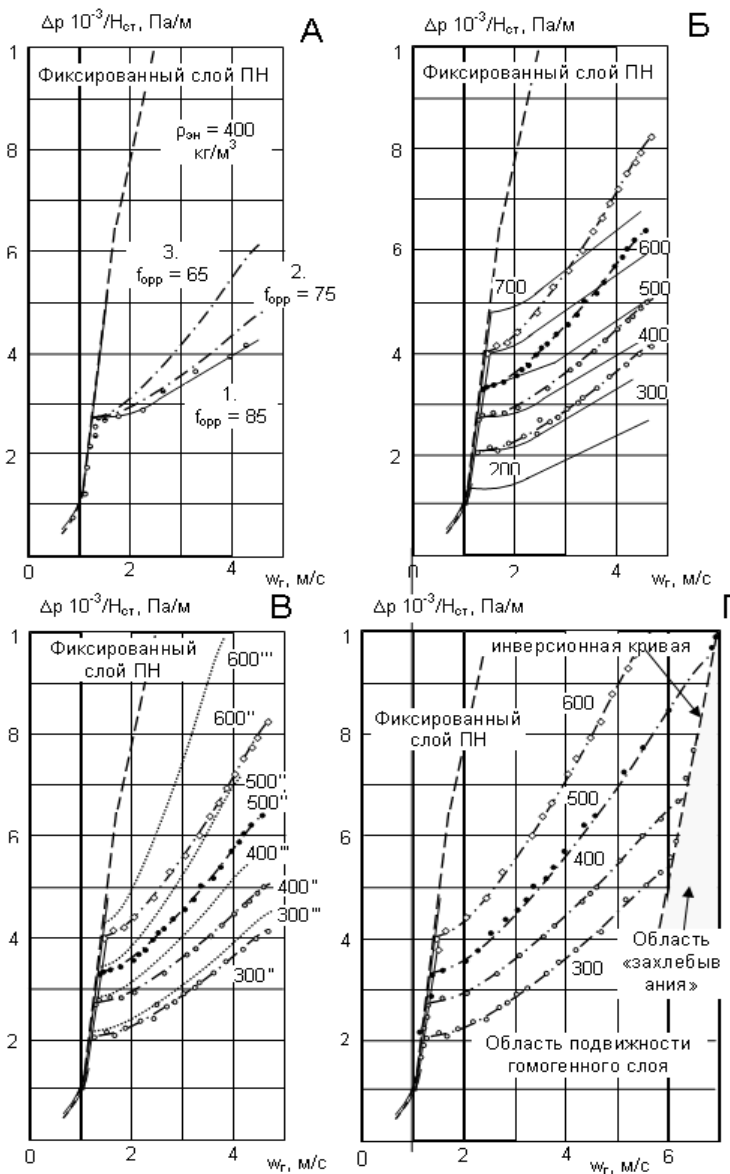
В распределительных камерах (нижней и верхней) расположены измерительные датчики. Распределение жидкости по высоте рабочей зоны определяли визуально. Сепаратор капельной влаги вертикального типа, был выполнен из двух секций и обеспечивал возврат уносимой воздушным потоком жидкости в систему и измерение ее количества.

Возможности стенда: расходы теплоносителей и теплофизические параметры изменялись в диапазонах:  $w_2 = 1.5 - 7$  м/с,  $q_{жс} = 5 - 35$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч),  $t_c$  до 50°C,  $\varphi_2 = 30 - 90\%$ , начальная температура жидкости  $t_{жс}^1$  до 40°C.

Величина  $H_{см}$  сохранялась постоянной в опытах с одно- и двухъярусным расположением насадки, при этом для двухъярусного расположения она составляла примерно  $\frac{1}{2}$  от одноярусного. Результаты экспериментальных исследований процессов аэро-гидродинамики в системе «газ – жидкое тело» представлены на рис. 3. Для сравнения на графиках приведены данные, ранее полученные в ОГАХ, для одноярусного варианта аппарата с ОРР обычного типа (при  $f_{ОРР} = 85\%$  и  $f_{ОРР} = 75\%$ ) [3].

Важным представляется выбор живого сечения ОРР. На основе полученных предварительных результатов в дальнейших опытах использовалось  $f_{ОРР} = 85\%$ , причем это значение сохранялось одинаковым для ОРР обоих ярусов насадки. В равной мере, для двухъярусного расположения сохранялась и высота опорно-распределительной решетки  $H_{орр}$  и высота рабочей зоны  $H_{рз}$ .

Рис. 3Б характеризует поведение псевдооживленного слоя для двухъярусной компоновки. На основе рекомендаций, полученных в работах [3, 4], диапазон плотности элементов насадки был ограничен в пределах  $\rho_{эн} = 300 \dots 600$  кг/м<sup>3</sup>, поведение подвижного слоя сохраняло аналогичный характер полученному ранее, при определенном возрастании  $\Delta P$  (аэродинамическое сопротивление). Рабочий диапазон скоростей газа, характеризующий режим развитого псевдооживления, составляет  $w_2 = 2.5 \dots 6$  м/с.



**Рис. 3.** Экспериментальные кривые псевдооживления. А – влияние живого сечения ОРР. Б – влияние перехода на двухъярусную компоновку насадки (штрих-пунктирные линии с экспериментальными точками на фоне кривых для одноярусной насадки). В – влияние перехода на трехъярусную компоновку насадки (штрих-пунктирные линии с экспериментальными точками на фоне кривых для трехъярусной насадки (точечные линии). Г – к определению предельно возможных нагрузок (для двухъярусной насадки). (----) – фиксированный слой.

На рис. 3В приведены сравнительные данные для двух- и трехъярусного расположения насадки, причем в изученных вариантах сохранялось постоянство значений  $f_{ОРР}$  и  $H_{орр}$  и суммарная величина  $H_{см}$ . Двух- и трехъярусное расположение насадки хотя и увеличивает общее сопротивление (рис. 4), но является предпочтительным, исходя из определяющих эффективности характеристик.

Важным является вопрос о предельных нагрузках по газу и жидкости с точки зрения устойчивости системы «газ-жидкость-твердое тело». При значении скорости газа  $w_г = 6.5$  м/с возникает явление «захлебывание» слоя элементов (рис. 3Г). В общем случае поведение подвижного слоя во всем диапазоне нагрузок характеризуется как особый вариант «захлебывания» насадки, который компенсируется соответствующим расширением слоя, чем собственно и поддерживается работоспособность теплообменного аппарата в широком диапазоне нагрузок по газу и жидкости. Но на высоких скоростях слой насадки оказывается прижатым к верхней ограничительной решетке (ОРР второго яруса для первого яруса и каплеотделителем для второго яруса) и система трансформируется в верхнее «захлебывание», что делает ее неработоспособной. Получены значения критических скоростей газа и отмечено, что определенная роль в развитии явлений «захлебывания» играет величина плотности орошения по жидкости.

Важнейшими гидродинамическими характеристиками аппаратов с ПН, необходимыми для инженерного расчета, являются критические скорости  $w_г$  ( $w'_0, w_1$ ), потеря напора в рабочей зоне ( $\Delta p$ ), задержка жидкости ( $H_{жс}$ ) и динамическая высота слоя ( $H_о$ ). Эта информация позволяет выбрать рабочий режим ТМА, рассчитать высоту колонны и потерю напора (мощность вентилятора для автономного теплообменного аппарата, например градирни).

Для неорошаемых слоев насадки получено выражение, в котором для учета особенностей стесненного обтекания шаров газовым потоком использована порозность стационарного слоя:

$$Re_0 = \frac{w_0 d_{ш}}{v_г} = \frac{Ar_г}{130 \frac{1-E_0}{E_0^3} + \sqrt{\frac{Ar_г}{E_0^3}}}, \quad (1)$$

Выражение (1) обеспечивает расчет  $w_0$  для слоя из шаров с  $d_{ш} = 35 - 42$  мм и  $\rho_{эн} = 90 - 1000$  кг/м<sup>3</sup>, при  $H_{см} > d_{ш}$ . Орошение насадки приводит к снижению  $w_г^*$  ( $w'_0$ ), причем с ростом  $\rho_{эн}$  значение  $w'_0$  уменьшается. С учетом влияния  $q_{жс}$  и  $\rho_{эн}$  запишем:

$$w'_0 = \frac{4320 \rho_{эн}^{-1.21} w_0}{4320 \rho_{эн}^{-1.21} + q_{жс}^{(-1.25 \cdot 10^{-4} \rho_{эн} + 0.275)}}. \quad (2)$$

Это выражение справедливо при  $200 \leq \rho_{эн} \leq 1000$  кг/м<sup>3</sup> и  $5 \leq q_{жс} \leq 25$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч). Для  $\rho_{эн} < 200$  кг/м<sup>3</sup> зависимость  $w'_0(\rho_{эн})$  оказывается большей. Экспериментальные зависимости изменения динамической высоты псевдооживленно-

го слоя и динамической порозности слоя от нагрузок по газу представлены на рис. 5.

Задержка жидкости при  $q_{жк} < 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$  в режиме развитого псевдооживления снижается до значений, характерных для неподвижного слоя. Это граница  $q_{жк}^*$  для аппаратов с ПН, связанная с осушением слоя; здесь эксплуатация аппаратов с ПН нецелесообразна, несмотря на высокие значения времени пребывания жидкости в слое.

Значение  $w_1'$  характеризует переход к развитому псевдооживлению, т.е. к однородно псевдооживленному слою. Характерные перегибы на кривых псевдооживления и виброхарактеристик отсутствуют, и величина  $w_1'$  (соотношение 3) фиксировалась визуально (тремя независимыми наблюдателями):

$$w_1 = 1.4 \cdot w_0'. \quad (3)$$

Ширина зоны начального псевдооживления с ростом  $\rho_{эн}$  резко увеличивает-ся и слои ЭН с  $\rho_{эн} > 500 \text{ кг/м}^3$  на практике работают только в этом режиме.

Динамическая высота слоя ПН характеризуется средним значением колеблющегося уровня ПН [7] и определялась визуально. В установившемся режиме эти колебания характеризуются постоянной амплитудой.

$$H_\delta = H_{cm} + H_{cm} (w_2 - w_0') \quad (4)$$

$$\left[ 16.2 \exp(-0.002 \rho_{эн} - 70 d_{эн}) + 0.007 q_{жк} \right]$$

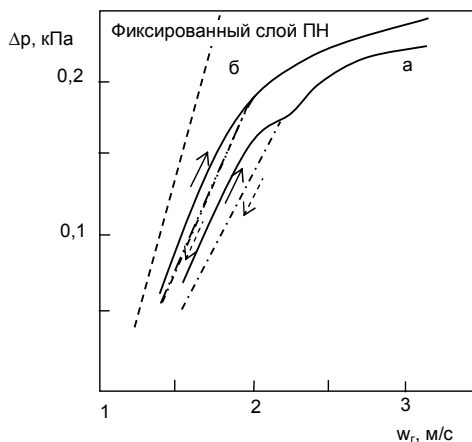
По соотношению (4) при  $w_2 = w_0'$  величина  $H_\delta = H_{cm}$ . Формула обеспечивает расчет  $H_\delta$  и для «сухого» слоя ПН, она справедлива в диапазоне:  $q_{жк} \leq 25 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$ ;  $H_{cm} = 0.05 - 0.2 \text{ м}$ ;  $\rho_{эн} = 90 - 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $d_{эн} = 0.035 - 0.042 \text{ м}$ .

Для определения величины потери напора газового потока  $\Delta p$  в слое псевдооживленной насадки традиционно пользуются соотношением  $(\Delta p / H_{cm})$ , но основной характеристикой слоя ПН является его динамическая высота  $H_\delta$ . Комплекс  $(\Delta p / H_{cm})$  приводит к искажению физической картины, поскольку, например, при  $\rho_{эн} = 1000 \text{ кг/м}^3$  эта величина превышает  $10^4 \text{ Па/м}$ . Это максимальное значение соответствует весу неподвижного слоя ЭН, в котором пустоты полностью заполнены жидкостью, что должно привести при потерях, больших  $10^4 \text{ Па/м}$  к обращенному прямоотку, что на практике не наблюдается даже при  $w_2 > 8 \text{ м/с}$ . Поэтому следует пользоваться удельной динамической потерей напора, т.е. величиной  $(\Delta p / H_\delta)$ . Она складывается из динамического удельного веса ЭН  $(gM_{эн}/F_\kappa H_\delta)$  и потерь напора  $\Delta p_\delta$ , характеризующих вклад в общую величину потерь напора задержанной жидкости и трения от перемешивания элементов в псевдооживленном слое:

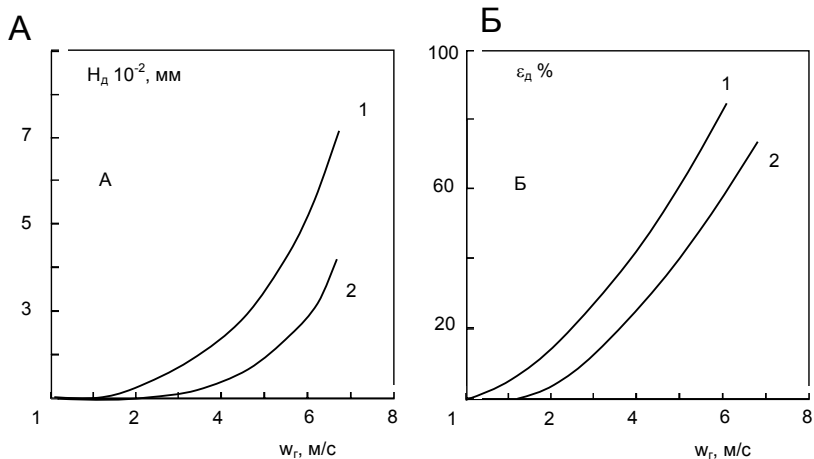
$$\Delta p = \Delta p_\delta H_\delta + \frac{gM_{эн}}{F_\kappa},$$

$$\Delta p_g = 0.8 H_{cm}^{-0.65} w_2 \exp(1.85 \cdot 10^{-3} \rho_{эн} + 1.56^{-2} q_{жк} + 2.86) \quad (5),$$





**Рис. 4.** Петли гистерезиса для одноярусного расположения насадки (а) и двухъярусного слоя насадки в аппарате (б); стрелками показан прямой (нагрузка) и обратный (разгрузка) ход процесса



**Рис. 5.** А – Изменение динамической высоты псевдооживленного слоя насадки от  $w_2$  при  $H_{ст} = 0.1 \text{ м}$ ,  $f_{орр} = 0.75$ ;  $\rho_{эн} = (\text{кг/м}^3)$ : 1 – 300; 2 – 600; Б – Динамическая порозность подвижного псевдооживленного трехфазного слоя насадки. Данные приведены для одноярусного расположения насадки (по работе [7].)

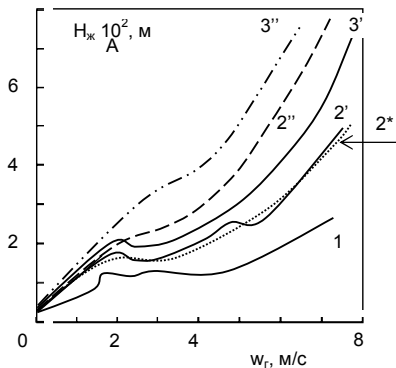
где  $M_{эн}$  – масса слоя ЭН. Уравнение адекватно экспериментальным данным со среднеотносительной ошибкой 0.11% и справедливо в диапазонах:  $0.05 \leq H_{см} \leq 0.2$  м;  $w_0 < w_2 \leq 4.5$  м/с;  $5 \leq q_{жс} \leq 25$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч);  $200 \leq \rho_{эн} \leq 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Рост  $H_{см}$  приводит к снижению  $\Delta p_0$ , что свидетельствует об ухудшении качества псевдоожижения. Для элементов с  $\rho_{эн} = 900$  кг/м<sup>3</sup> величина  $\Delta p_0$  не зависит от  $w_2$ ; при  $w_2 = w'_0$  имеет место наименьшее отличие  $\Delta p_0$ , полученное для разных  $\rho_{эн}$ . Более тяжелым ЭН соответствует большая величина  $\Delta p_0$ , что согласуется с физическими представлениями. При  $q_{жс} \leq 25$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) нарушается экспоненциальный характер выражения (5), причины этого рассмотрены выше при анализе опытов, касающихся задержки жидкости в слое ПН, –  $H_{жс}$ . Графики влияния нагрузок по газу и жидкости на удерживающую способность слоя ПН, в том числе, с ОРР в виде теплообменника представлены на рис. 6.

При аппроксимации опытных данных использован метод поиска по деформируемому многограннику. Все выражения получены для ОРР с большой долей живого сечения ( $f_{орр} = 85\%$ ).

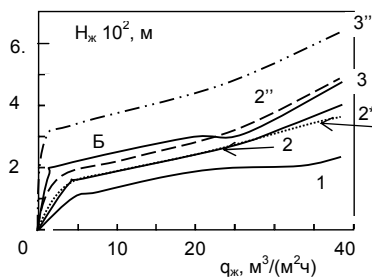
#### **IV. Рекомендации по практическому оформлению колонных массообменных аппаратов с подвижной насадкой**

На основании выполненных исследований можно сформулировать рекомендации к оформлению колонной тепломассообменной аппаратуры для разрабатываемого класса солнечных систем:

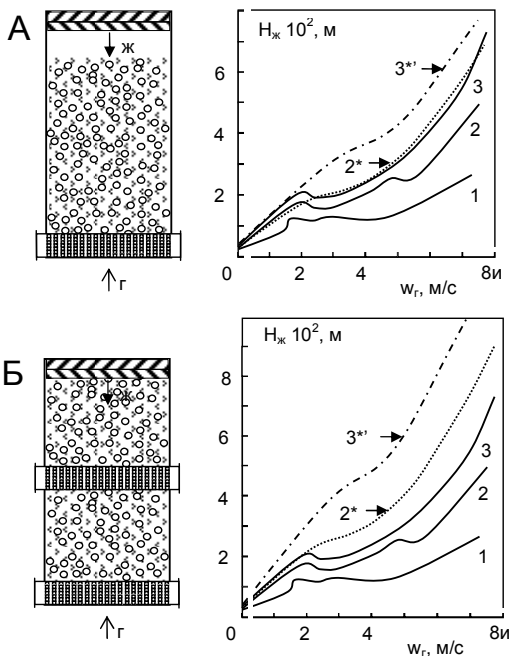
- Для аппаратов осушительного контура, абсорбера-осушителя и десорбера-регенератора, рекомендуется двухъярусное оформление колонны, причем сечение колонны может быть круглым и прямоугольным, что, как показал накопленный опыт промышленного использования аппаратов с подвижной насадкой вполне приемлемо [3];
- Рекомендуется одинаковая высота рабочей зоны  $H_{рз}$  каждого яруса при одинаковых значениях  $f_{орр}$  и  $H_{орр}$  для опорно-распределительной решетки (в равной мере это касается ОРР, выполненной в виде теплообменника);
- Оптимальным для реализации процессов является значение  $H_{см} \cong 0.1 - 0.2$  м (при  $H_{см} < 0.1$  м элементов насадки в слое оказывается недостаточно для создания равномерного псевдоожиженного слоя и имеет место каналообразование, связанное с «проскоком» газа через слой и раздельным течением материальных потоков; при  $H_{см} > 0.2$  м. имеет место непроизводительный рост приведенных затрат и окончательное решение определяется реальностями реализуемых процессов тепломассообмена);
- Режим развитого псевдоожижения, оптимальный с точки зрения реализации рабочих процессов в аппаратах как осушительного, так и охлаждающего контура систем, соответствует диапазону  $\rho_{эн} = 300 \dots 600$  кг/м<sup>3</sup> (размер и форма элемента насадки ЭН: – форма шарообразная; тип элемента цельный; материал ЭН вспененный полипропилен; диаметр ЭН – 30-50 мм);



**Рис. 6А.** Задержка жидкости в псевдооживленном слое насадки. Влияние нагрузок по газу на удерживающую способность слоя ПН. ( $H_{cm} = 0.1\text{ м}$ ,  $f_{opp} = 0.85$ ;  $\rho_{zn} = (\text{кг/м}^3)$ : 1 – 100; 2 – 300; (2\* – элементы из вспененного полипропилена с величиной  $\rho_{zn} = 250 \text{ кг/м}^3$  и диаметром  $d_{zn} = 0,04\text{ м}$ ); 3 – 600;  $q_{ж} = 15\text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ ч})$ ). Сплошные линии – данные по работе [7] для одноярусной насадки; пунктирные линии – экспериментальные данные настоящего исследования для двухъярусной насадки.



**Рис. 6Б.** Задержка жидкости в псевдооживленном слое насадки. Влияние нагрузок по жидкости на удерживающую способность слоя ПН. ( $H_{cm} = 0.1\text{ м}$ ,  $f_{opp} = 0.85$ ;  $\rho_{zn} = (\text{кг/м}^3)$ : 1 – 100; 2 – 300; (2\* – элементы из вспененного полипропилена с величиной  $\rho_{zn} = 250 \text{ кг/м}^3$  и диаметром  $d_{zn} = 0,04\text{ м}$ ); 3 – 600;  $w_{г} = 3,5\text{ м/с}$ ). Сплошные линии – данные по работе [7] для одноярусной насадки; пунктирные линии – экспериментальные данные настоящего исследования, полученные для двухъярусной насадки.



**Рис. 6В.** Задержка жидкости в псевдооживленном слое насадки с ОРР в виде теплообменника. Влияние нагрузки по газу на удерживающую способность слоя ПН (А – для одноярусной насадки; Б – для двухъярусной насадки).

$H_{cm} = 0.1\text{ м}$ ,  $f_{opp-m-o} = 0.45$ ;  $\rho_{zn} = (\text{кг/м}^3)$ : 1 – 100; 2 – 300; 3 – 600;  $q_{ж} = 15\text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ ч})$ . Сплошные линии – данные по работе [7] для одноярусной насадки с обычным типом ОРР; пунктирные линии – экспериментальные данные настоящего исследования для одно- и двухъярусной насадки АПН с ОРР в виде теплообменника пластинчатого типа.

- Рабочими нагрузками для теплообменников аппаратов с подвижным слоем являются: скорость движения газового потока (в расчете на «пустое» сечение колонны):  $2.5 < w_g \leq 6.0$  м/с; плотность орошения насадки  $q_{жс} \geq 15$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч) (область значений  $q_{жс} < 8 - 10$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч) соответствует «осушенному» состоянию слоя (недостаточная задержка жидкости в слое ПН) и для процесса испарительного охлаждения воды не может быть рекомендована);
- Соотношение потоков газа и жидкости  $l = G_g/G_{жс} = 1.0$  [3] (в этом случае отмечается высокая устойчивость процессов теплообмена в широком диапазоне нагрузок и малая чувствительность к их колебанию; ограничения по нагрузкам обусловлены только уровнем энергозатрат);
- В зависимости от конфигурации солнечной системы в теплообменных аппаратах могут использоваться либо ОРР обычного типа, либо ОРР, выполненные в виде теплообменного аппарата.

### **Выводы.**

1. Разработаны схемные решения солнечных систем на основе открытого абсорбционного цикла с непрямой регенерацией абсорбента и использованием теплообменников аппаратов в виде подвижных насадочных слоев в осушительном и охлаждающем контурах системы.

2. С целью обеспечения надежной эксплуатации солнечных систем при использовании жидких растворов абсорбентов рекомендуется использование подвижных насадочных слоев; на основе выполненных экспериментальных исследований разработаны рекомендации для определения оптимальных геометрических и режимных параметров колонных теплообменников аппаратов (абсорберов, десорберов и испарительных охладителей газа и жидкости).

### **Литература:**

1. Горин А.Н., А.В. Дорошенко Альтернативные холодильные системы и системы кондиционирования воздуха / 2-е изд., перераб. и доп. – Донецк.: Норд-Пресс, 2007. – 362 с.
2. Горин А.Н., Дорошенко А.В. Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика) / – Донецк: Норд-Пресс, 2008. 374 с.
3. Дорошенко А.В. Компактная теплообменная аппаратура для холодильной техники (теория, расчет, инженерная практика): дис. д-ра. техн. наук. – Одесса, 1992. – Т. 1. – 350 с., Т. 2. – 260 с.
4. Дорошенко А.В., Молчанский Б.Е. Солнечные системы кондиционирования воздуха осушительно-испарительного типа и теплообменной аппаратурой с подвижным трехфазным слоем. // Холодильная техника и технология. – 2008. – №5 (115). – С. 15-23.
5. А. да Роза Возобновляемые источники энергии (физико-технические основы). Долгопрудный-Москва: Изд. Дом «Интеллект» и изд. Дом «МЭИ», 2010. – 704 с.
6. Grossman G. Solar-powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning. Faculty of Mechanical Engineering, Technion – Israel Institute of Technology. 2001. P. 23-28.
7. John L. McNab, Paul McGregor Dual Indirect Cycle Air-Conditioner Uses Heat Concentrated Desiccant and Energy Recovery in a polymer Plate Heat Exchanger. // 21h International Congress of Refrigeration IIR/IF, Washington, D.C, ICR0646. – 2003.

8. *Lowenstein H.* Liquid desiccant air-conditioners: An attractive alternative to vapor-compression systems. Oak-Ridge nat. Lab/Proc. Non-fluorocarbon Refrig. Air-Cond. Technol. Workshop. Breckenridge, CO, US, 1993. P. 133-150.
9. *Alexander V. Doroshenko, Leonid P. Kholpanov, Yury P. Kvurt.* Alternative Refrigerating, Heat-Pumping and Air-Conditioning Systems on the Basis of the Open Absorption Cycle and Solar Energy. USA. Nova Science Publishers, Inc., 2009. – 210 p.

***Doroshenko A.V., Vasyutynsky S.Yu., Danko V.P., Glauberman M.A.***

**Study of processes in heat-mass exchange equipment with a movable nozzle for solar multifunction systems**

SUMMARY

*The scheme solutions of combined heating, cooling and air conditioning solar systems are developed, based on the open absorption cycle with an indirect regeneration of absorbent and use of new types of heat-mass exchange apparatus with a movable nozzle of a "gas- liquid-solid body". On the basis of theoretical and experimental research the practical recommendations are developed to determine the optimal regime parameters of the solar systems and geometric parameters of the main elements of heat-mass exchange equipment.*

***Дорошенко О.В., Васютінський С.Ю., Данько В.П., Глауберман М.А.***

**Дослідження процесів в тепломасообінних апаратах с рухомою насадкою для сонячних багатофункціональних систем**

АНОТАЦІЯ

*Розроблені схемні вирішення комбінованих сонячних систем теплохолодопостачання і кондиціонування повітря, засновані на відкритому циклі абсорбції з непрямою регенерацією абсорбенту і використанням нових типів тепломасообінних апаратів з рухомою насадкою «газ-рідина-тверде тіло». На основі циклу теоретичних і експериментальних досліджень вироблені практичні рекомендації за визначенням оптимальних режимних параметрів роботи сонячних систем і геометричних параметрів основних елементів тепломасообмінної апаратури.*