

УДК 662.997:532.529.5

А.В. Дорошенко, д-р техн. наук,
Ю.А. Франко, инженер,
Одес. гос. акад. холода,
Джамаль Камаль Хусейн, д-р философии, Одес.
нац. политехн. ун-т

СОЛНЕЧНЫЕ АБСОРБЦИОННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ГАЗО-ЖИДКОСТНЫМИ КОЛЛЕКТОРАМИ-РЕГЕНЕРАТОРАМИ

О.В. Дорошенко, Ю.А. Франко, Джамаль Камаль Хусейн. Сонячні абсорбційні холодильні системи з газо-рідинними колекторами-регенераторами. Розглядаються сонячні холодильні сорбційні системи, засновані на відкритому циклі абсорбції і сонячній енергії для підтримки безперервності циклу (для регенерації абсорбенту). Всі тепломасообмінні апарати, що входять в систему, засновано на плівковій взаємодії потоків газу і рідини, в них використовуються для створення насадки багатоканальні багат шарові структури з полімерних матеріалів.

А.В. Дорошенко, Ю.А. Франко, Джамаль Камаль Хусейн. Солнечные абсорбционные холодильные системы с газо-жидкостными коллекторами-регенераторами. Рассматриваются солнечные холодильные сорбционные системы, основанные на открытом абсорбционном цикле и солнечной энергии для поддержания непрерывности цикла (для регенерации абсорбента). Все тепломасообменные аппараты, входящие в систему, основаны на пленочном взаимодействии потоков газа и жидкости, в них используются для создания насадки многоканальные многослойные структуры из полимерных материалов.

A.V. Doroshenko, Yu.F. Franko, Jamal K. Hussein. Solar absorption refrigerating systems with gas – liquid collectors-regenerators. Solar refrigerating systems based on open absorption cycle and solar energy for maintenance of a cycle continuity (for absorbent regeneration) are developed. For these systems the gas-liquid solar collectors regenerators with the gravitational current of a liquid film, both in the simplified “solar” variant, and with the use of the fan of a diametrical type for maintenance of movement of an air flow, are developed. All heat-mass-transfer devices included in system are based on film interaction of flows of gas and liquid, and multi-channel multi-layer structures made of polymeric materials are used in them to create head pieces.

Проблемы энергетики и экологии интенсифицируют поиск альтернативных решений в области холодильных и кондиционирующих систем. Одним из таких направлений являются солнечные сорбционные системы, вызывающие большой интерес исследователей [1]. Используются как адсорбционные, так и абсорбционные системы. Предварительный анализ позволил выделить в качестве перспективных, с точки зрения возможности обеспечения их работоспособности, абсорбционные системы.

I. Солнечные сорбционные системы.

Абсорбционные системы, основанные на осушительно-испарительном охлаждении и термовлажностной обработке воздуха, представляют собой одну из немногих альтернатив парокompрессионной техники и обеспечивают возможность решения задач осушения воздуха, охлаждения сред и термовлажностной обработки воздуха в системах кондиционирования (ССКВ) и охлаждения сред (СХС). Работоспособность таких систем может обеспечиваться солнечной энергией [1...4].

Системы ССКВ, основанные на открытом абсорбционном цикле, могут использовать как прямую (непосредственную), так и непрямую регенерацию абсорбента [2]. Первый тип ССКВ включает в составе осушительного блока абсорбер-осушитель и десорбер-регенератор, и, как правило, для охлаждения абсорбера используется градирня, а для подвода тепла к десорберу — солнечная система с плоскими солнечными коллекторами СК [3]. Во втором типе ССКВ десорбер отсутствует и вместо него используется солнечный коллектор-регенератор СК-Рег, в котором при подводе солнечной энергии происходит восстановление абсорбента [5]. Такая ССГВ

включает меньшее число тепломасообменных аппаратов и характеризуется меньшими энергозатратами на движение теплоносителей. Кроме того, известна гибридная осушительно-охлаждающая система с использованием солнечного коллектора-регенератора прямого типа (Open Solar Regenerator). Представлен также двухступенчатый осушитель воздуха с использованием СК-Рег. Для солнечного регенератора используются два возможных решения: со свободной конвекцией воздушного потока в СК-Рег, и вариант коллектора-регенератора с принудительной циркуляцией воздушного потока, т.е. вентилируемого СК-Рег [6]. Несомненно, что последнее решение имеет более стабильные характеристики регенерации, но и большие энергозатраты.

По сути, солнечный коллектор-регенератор СК-Рег представляет собой обычный солнечный коллектор-воздухонагреватель 5, в котором движение воздушного потока обеспечивается солнечным разогревом (разностью плотностей воздуха на входе и выходе из СК). Такой воздушный СК включает теплоприемник (абсорбер), прозрачное покрытие (ПП) с воздушным зазором между ПП и теплоприемником и теплоизоляцию дна.

Выполнен анализ шести моделей воздушных СК с различным взаимным расположением теплоприемника, ПП и воздушного канала. Теплоприемник располагался на “дне” воздушного канала (три модели) и над каналом, непосредственно под ПП и воздушным зазором (три модели), а также имел различную конфигурацию поверхности теплоприемника. Поверхность теплоприемника, выполненная из алюминиевого листа с черновым покрытием, плоская и поперечно-рифленая, чтобы способствовать лучшему перемешиванию воздуха и повысить величину теплосъема от теплоприемника.

Показано, что максимальным КПД обладает модель с нижним расположением теплоприемника, в виде “дна” воздушного канала. Для этой модели температура теплоприемника была ниже (58 °С), а температура воздушного потока на выходе из коллектора выше (41 °С), чем у остальных моделей. Несколько худшие результаты получены для поперечно-рифленой поверхности теплоприемника. Идея расположения теплоприемника над воздушным каналом для воздушного коллектора себя не оправдала [7].

II. Разработка солнечных абсорбционных систем с прямой регенерацией абсорбента. На основе предлагаемых решений для нового поколения солнечных газо-жидкостных коллекторов с гравитационным течением жидкостной пленки разработаны ССКВ в различных вариантах термовлажностной обработки воздуха, поступающего в помещение, и подачи в помещение охлажденной воды, обеспечивающей охлаждение воздуха в водо-воздушных теплообменниках 8 (рис. 1).

ССКВ включают: охлаждаемый абсорбер-осушитель 1, испарительный охладитель (испарительный охладитель воздуха прямого типа 2, или градирню 7) [8]. Восстановление абсорбента происходит в коллекторе СК-Рег 4, в систему регенерации абсорбента входит емкость-танк для крепкого раствора абсорбента 5 и теплообменник 3, в котором обмениваются теплом крепкий горячий и слабый холодный растворы абсорбента. Естественные колебания солнечной активности и дополнительные причины, снижающие приход тепла к СК-Рег (ветронагрузки, облачность, температура наружного воздуха), требуют дополнительного источника нагрева абсорбента перед регенератором. Эта задача может решаться использованием обычного водяного коллектора СК-II, разработанного ранее в полимерном исполнении для предварительного разогрева абсорбента (на схеме не показано) [1].

Абсорбер-осушитель 1 представляет собой насадку многоканальной структуры из многослойных полимерных плит, в каналах которой реализуется процесс осушения воздуха при его непосредственном контактировании с пленкой раствора абсорбента. Отвод тепла, выделяемого при абсорбции, обеспечивается градирней пленочного типа 6 [9]. Это обеспечивает приближение процесса абсорбции к изотермическому и рост эффективности процесса осушения воздуха.

Тепломасообменные аппараты охлаждающего контура, испарительный охладитель воздуха прямого типа 2 и “продуктовая” вентиляционная градирня 7 выполнены, как и абсорбер, с насадкой многоканальной структуры из многослойных полимерных плит (рис. 2). Все аппараты в схеме поперечноточного типа, что упрощает их совместную компоновку и снижает энергоза-

траты на движение воздушных потоков, сравнительно с противоточной схемой взаимодействия потоков газа и жидкости.

III. Конструирование солнечных газо-жидкостных коллекторов для абсорбционных систем.

Теплоприемник (абсорбер) солнечного коллектора-регенератора абсорбента СК-Рег имеет U-образную форму, выполнен из алюминиевого листа с черновым покрытием поверхности и обеспечивает одновременный прогрев как самого воздушного потока, так и абсорбента, стекающего в виде тонкой пленки по “дну” коллектора (рис. 3).

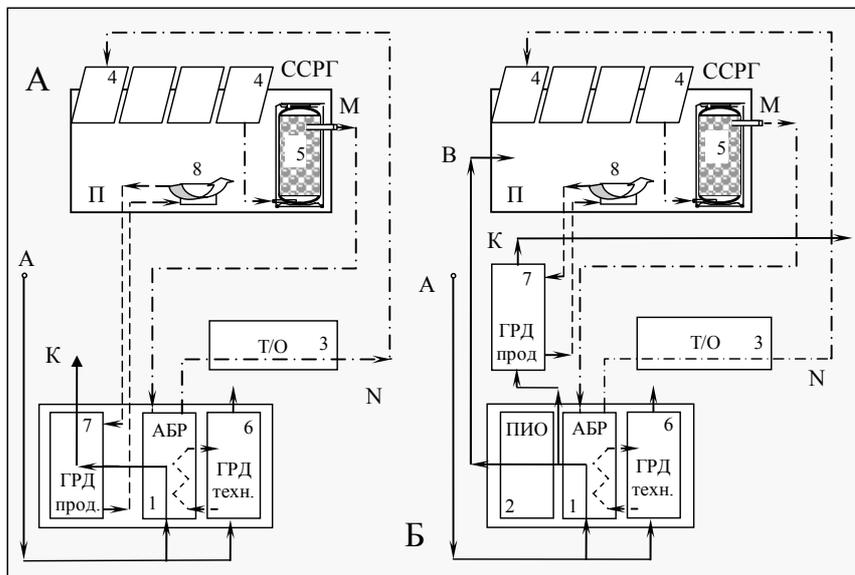


Рис. 1. Принципиальные схемы ССКВ с прямой солнечной регенерацией абсорбента: \longrightarrow воздушные потоки; $-\ - \longrightarrow$ водяные потоки; $- \cdot \cdot \longrightarrow$ абсорбент; $- - - \longrightarrow$ холодная вода в помещении

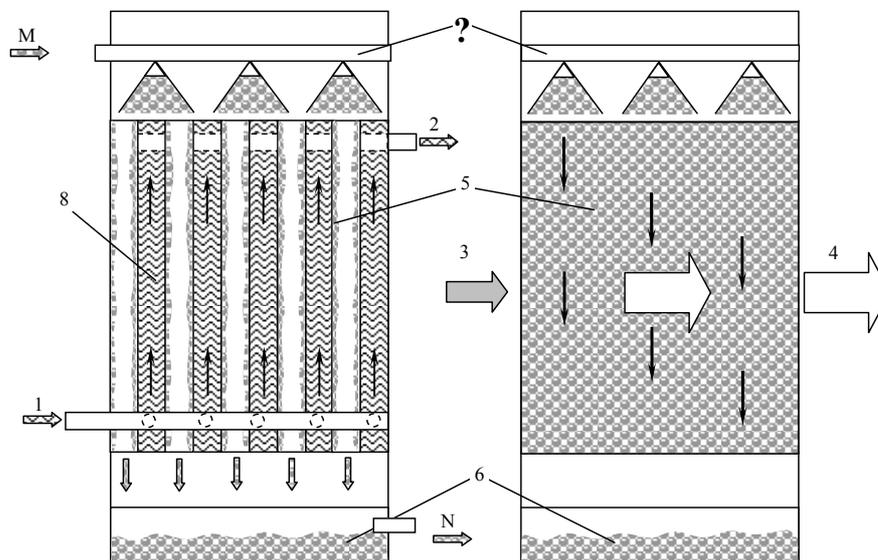


Рис. 2. Абсорбер с внутренним водяным охлаждением: 1, 2 — потоки холодной и горячей воды; 3, 4 — потоки влажного и сухого воздуха; 5 — пленка абсорбента; 6 — емкость для абсорбента; 7 — распределитель абсорбента; 8 — каналы с охлаждающей водой; М — крепкий раствор абсорбента; N — слабый раствор абсорбента

В качестве прозрачного покрытия (ПП) используется многоканальная поликарбонатная плита 1, хорошо зарекомендовавшая себя при создании полимерного водяного коллектора СК-П. Потери тепла, обусловленные конвективной и радиационной составляющими, минимизируются воздушным зазором, поскольку каналы ПП заполнены воздухом и одновременно представляют собой воздушный зазор обычного плоского солнечного коллектора. Эти каналы могут быть вакуумированы, что существенно улучшит характеристики СК-Рег.

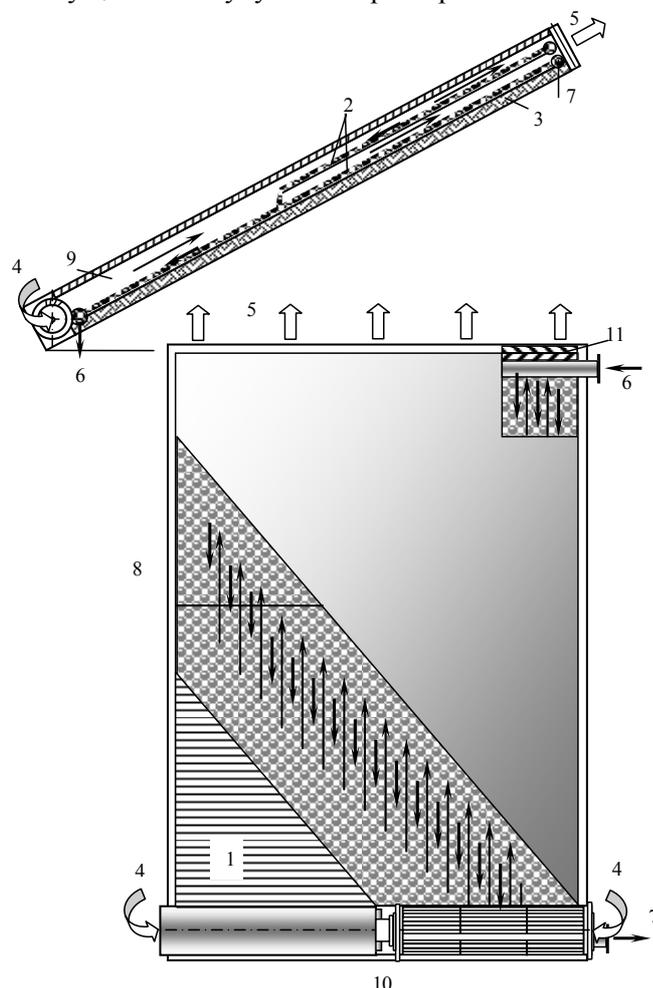


Рис. 3. Конструктивное оформление многоярусного газо-жидкостного солнечного коллектора-регенератора абсорбента с вентилятором: 1 — прозрачное покрытие; 2 — теплоприемник (абсорбент); 3 — теплоизоляция; 4, 5 — воздушный поток; 6, 7 — абсорбент; 8 — корпус; 9 — воздушный зазор; 10 — диаметральный вентилятор; 11 — сепаратор капельной жидкости

Поверхность “дна” теплоприемника может быть плоской, а также продольно- или поперечноффрированной. Несомненный интерес представляет использование регулярной шероховатости поверхности, по которой стекает пленка абсорбента, что обеспечит определенный режим волнообразования на поверхности пленки и интенсифицирует процессы тепломассообмена между абсорбентом и воздушным потоком. Волнообразная поверхность пленки жидкости, в свою очередь, представляет для газового потока своего рода регулярную шероховатость, что обеспечивает интенсификацию обменных процессов в обеих фазах одновременно.

СК-Рег может выполняться в одном из двух вариантов: с “естественной” тягой, обеспечиваемой солнечным прогревом воздуха, и с вентилятором, расположенным на подаче воздуха в коллектор (см. рисунок 3). Последнее решение обеспечивает стабильность характеристик про-

песса регенерации, но ведет к дополнительным энергозатратам. В таком коллекторе может использоваться многоярусное оформление теплоприемника, по поверхности которого стекает пленка абсорбента.

Солнечный коллектор-регенератор, как и обычный СК, ориентирован на юг и имеет определенный угол наклона к горизонтальной поверхности для максимального приема солнечной энергии с учетом характера системы (сезонная или круглогодичная). При южной ориентации солнечных коллекторов угол наклона $\beta = \varphi$ для круглогодичных гелиосистем и $\beta = \varphi - 15^\circ$ для сезонных гелиосистем (период эксплуатации апрель — октябрь). Выполнено уточнение угла наклона β [1].

Для газо-жидкостных коллекторов принципиально важно изучение особенности пленочных течений по наклонным поверхностям, как плоским, так и с использованием регулярной шероховатости поверхности (дно СК-Рег), по которой стекает водяная пленка. Ранее для вертикальной поверхности было выполнено теоретическое и экспериментальное изучение влияния РШ поверхности (режимы волнообразования, толщины жидкостной пленки, устойчивость течений). Вопрос об устойчивости пленочного течения возникает только для вентилируемого СК-Рег, где может иметь место значительное гидродинамическое взаимодействие потоков газа и жидкости. Это исследование нуждается в конкретизации с учетом реального наклона поверхности, по которой стекает пленка жидкости (угол наклона СК к горизонту — β), тем более, что этот угол напрямую зависит от широты местности, где устанавливается солнечная система.

Новым в разработанных схемах является:

— использование солнечных газо-жидкостных коллекторов-регенераторов, исключаящих в сорбционной схеме традиционный десорбер;

— использование полимерных материалов для изготовления, полностью или частично, всех тепломасообменных аппаратов (абсорбер, испарительный охладитель воздуха прямого типа и градирня).

Планируется теоретическое и экспериментальное изучение процессов гидроаэродинамики и тепломассопереноса в газо-жидкостных солнечных коллекторах, включая изучение особенностей гравитационного течения жидкостных пленок по наклонным поверхностям.

Ранее выполненный экологический анализ показал несомненные преимущества разрабатываемых альтернативных решений в сравнении с традиционными [10].

Выводы:

— Разрабатываемые газо-жидкостные солнечные коллекторы с гравитационным течением пленки абсорбента обеспечивают прямую (непосредственную) регенерацию абсорбента и позволяют уменьшить общее число тепломасообменных аппаратов в составе солнечной системы и снизить ее общие габариты и стоимость.

— Использование полимерных материалов в конструкции тепломасообменных аппаратов (абсорбера, испарительного охладителя, солнечного коллектора-регенератора) позволяет снизить вес и стоимость оборудования при сохранении высокой эффективности процессов тепломасообмена.

Литература

1. Горин, А. Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика) / А.Н Горин, А.В. Дорошенко, М.А. Глауберман. — Донецк: Норд-Пресс, 2008. — 374 с.
2. Lowenstein, H. Liquid desiccant air-conditioners: An attractive alternative to vapor-compression systems. Oak-Ridge nat. Lab / H. Lowenstein // Proc. Non-fluorocarbon Refrig. Air-Cond. Technol. Workshop. Breckenridge, CO, US. 1993. — P. 133 — 150.
3. Grossman, G. Solar-powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning / G. Grossman // — Faculty of Mechanical Engineering, Technion — Israel Institute of Technology. — 2001. — 283 p.
4. Gandhidasan, P. Performance analysis of an open liquid desiccant cooling system using solar energy for regeneration / P. Gandhidasan // Int. J. Refrig. — 1994. — Vol. 17, № 7. — P. 475 — 480.
5. Ertas, E. Performance of solar air heating / E. Ertas, E. Anderson, I. Kiris // Solar Energy. — 1992. — Vol. 49, № 3. — P. 205 — 212.

6. Peng, C.S.P. Liquid desiccant air-conditioners / C.S.P. Peng, J.R. Howell // *J. Solar Energy Eng.* — 1984. — Vol. 106. — P. 133 — 141.
7. Koyuncu, T. Performance of various design of solar air heating for crop drying applications / T. Koyuncu // *Renewable Energy.* — 2006. — Vol. 31. — P. 1073 — 1088.
8. Испарительные охладители непрямого и комбинированного типов для СКВ / [А.В. Дорошенко, Ю.И. Демьяненко, С.Н. Филиппов, А.Н. Горин.] // *Холодил. техника и технология.* — 2005. — № 2. — С. 46 — 52.
9. Дорошенко, А.В. Компактная тепломассообменная аппаратура для холодильной техники (теория, расчет, инженерная практика): автореферат дис.... д-ра техн наук / Одес. ин-т низкотемператур. техники и энергетики. — Одесса, 1992. — Т. 1. — 350 с.; Т. 2. — 260 с.
10. Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternantive Air-Conditioning Systems / [P. Koltun, S. Ramakrishnan, A. Doroshenko, M. Kontsov]. — 21^h Intern. Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0140, 2003. — P. 45 — 57.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Мазуренко А.С.

Поступила в редакцию 27 марта 2009 г.