

*Дорошенко А.В. *, Казак И.И. *, Глауберман М.А. **, Андреев В.И. **

**Одесская государственная академия холода, г. Одесса*

***ННВЦ при ОНУ имени И.И. Мечникова, г. Одесса*

Солнечные системы кондиционирования воздуха с прямой регенерацией абсорбента и полимерной теплообменной аппаратурой

В статье приводятся схемные решения солнечных систем кондиционирования воздуха (ССКВ) на основе открытого абсорбционного цикла, с использованием теплообменной аппаратуры из полимерных материалов. Разработанная аппаратура осушительного (абсорбер-осушитель) и охладительного (испарительный охладитель) контуров ССКВ универсальна, основана на пленочном контакте потоков газа и жидкости и обеспечивает совмещение основного и вспомогательного процессов в каждом из аппаратов. Выполнен предварительный анализ возможностей открытого абсорбционного цикла применительно к задачам кондиционирования воздуха.

I. Введение. Использование солнечной энергии для решения задач охлаждения и кондиционирования воздуха позволяет снизить энергопотребление систем и одновременно существенно улучшить их экологические показатели [1 – 4]. Основой солнечных систем кондиционирования воздуха ССКВ и солнечных холодильных систем СХС может служить открытый абсорбционный цикл с использованием жидких сорбентов, требующий сравнительно невысоких температур регенерации абсорбента, что, в принципе, позволяет обеспечить поддержание непрерывности цикла за счет солнечной энергии, либо при значительной доле солнечной энергии.

В работе используются схемные решения ССКВ с прямой (непосредственной) регенерацией абсорбента в специально разработанных полимерных солнечных коллекторах-регенераторах СК-Рег.

II. Схемные решения ССКВ. Сочетание абсорбции с десорбцией делает процесс осушения воздуха непрерывным. При этом абсорбент (поглотитель) не расходуется, не считая случайных и незначительных потерь при его многократной рециркуляции через абсорбер и десорбер (капельный унос). Осушенный воздух может использоваться в испарительном охладителе, обеспечивая термовлажностную обработку воздуха, поступающего в помещение, либо испарительное охлаждение воды.

Новые схемные решения применительно к задачам ССКВ приведены на рис. 1 и 2. Основным продуктом является воздух, прошедший требуемую термовлажностную обработку, или охлажденная вода, подаваемая в обслуживаемое помещение, в систему вентилируемых водо-воздушных теплообменников. На рис. 2В приведен вариант ССКВ с подачей в помещение как охлажденной воды, так и воздушного потока после испарительного охладителя.

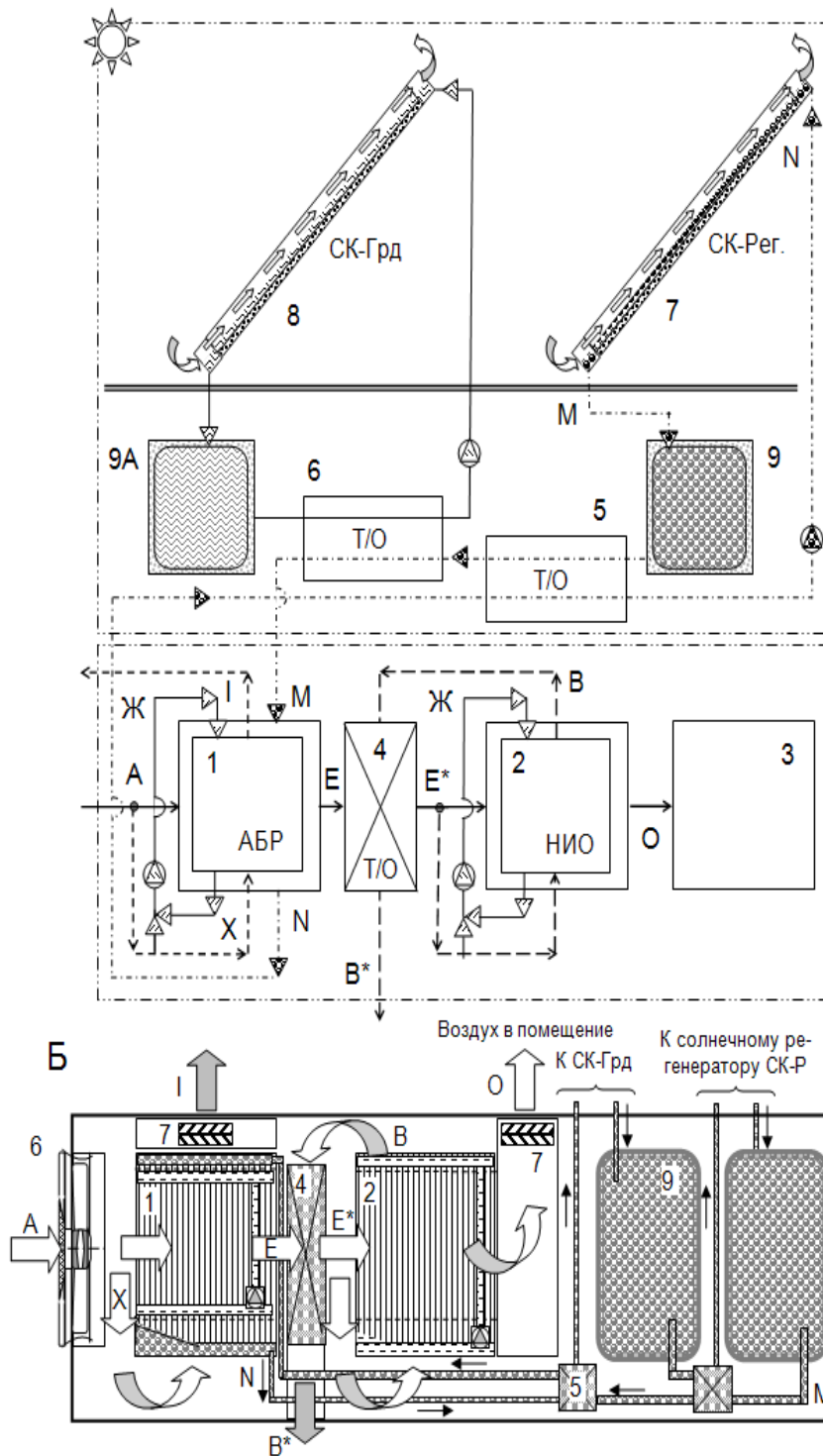


Рис 1. Принципиальная схема солнечной системы кондиционирования воздуха ССКВ (А) и общий вид блока охлаждения (Б).

Следует отметить, что значительный интерес представляют схемные решения с использованием воздушного потока, покидающего кондиционируемое помещение.

Основные идеи работы:

- Используется прямая регенерация абсорбента в солнечном коллекторе-регенераторе, где солнечная энергия одновременно обеспечивает как подвод

тепла для регенерации, так и движение воздушного потока над пленкой абсорбента;

- Число теплообменных аппаратов в схемах ССКВ минимизировано за счет реализации в каждом из аппаратов нескольких процессов одновременно, что уменьшает габариты блока охлаждения и суммарное сопротивление движению воздушных потоков;

- Вся теплообменная аппаратура (СК-Рег., абсорбер-осушитель, испарительные охладители) изготовлена на основе полимерных материалов.

III. Теплообменная аппаратура для ССКВ. ССКВ присущи характерные проблемы:

- значительные габариты теплообменной аппаратуры (ТМА), в связи с малыми движущими силами процессов;

- необходимость обеспечить малые сопротивления движению потоков через насадку ТМА, что, с учетом значительного количества аппаратов, входящих в систему, представляет известные трудности;

- правильный выбор рабочего тела (абсорбента) и греющего источника для регенерации абсорбента и поддержания непрерывности цикла, притом желательно понижение температуры регенерации абсорбента.

Снижение габаритов и сопротивления решалось использованием ТМА пленочного типа с многоканальными насадочными структурами, что обеспечивает и требуемую компактность [8-10].

Переход к ТМА совмещенного типа, когда в пределах одного аппарата одновременно реализуются несколько процессов, основной и вспомогательный, значительно сокращает число ТМА в разработанных схемах. Примером такого рационального совмещения процессов в едином ТМА могут служить все основные аппараты схемы: абсорбер АБР (1) в осушительной части схемы, испарительный охладитель непрямого типа НИО (2) в охладительной части ССКВ, а также двухконтурная градирня (рис. 2, схема В).

Нами разработан абсорбер с внутренним испарительным охлаждением (1), в охладительной части которого, вспомогательный воздушный поток, взаимодействуя с водяной пленкой, обеспечивает отвод теплоты абсорбции от осушительной части аппарата. Абсорбер с внутренним испарительным охлаждением, таким образом, это четырехпоточный аппарат, в нем два воздушных потока, основной и вспомогательный (Е, I), и два жидкостных – рециркулирующая через испарительную часть абсорбера вода (Ж) и раствор абсорбента в осушительной части аппарата (М, N). Внутреннее испарительное охлаждение абсорбера обеспечивает приближение процесса осушения к изотермическому и высокую эффективность процесса абсорбции, позволяя существенно уменьшить расход абсорбента и за счет этого снизить затраты на его регенерацию и повышая общий к.п.д. системы на 30-35% - по данным работы [3].

Сложность конструкции ТМА совмещенного типа порождает дополнительные технологические задачи: необходимость разводки всех потоков и герметизации рабочих полостей аппаратов. Но в целом, все аппараты, входящие в

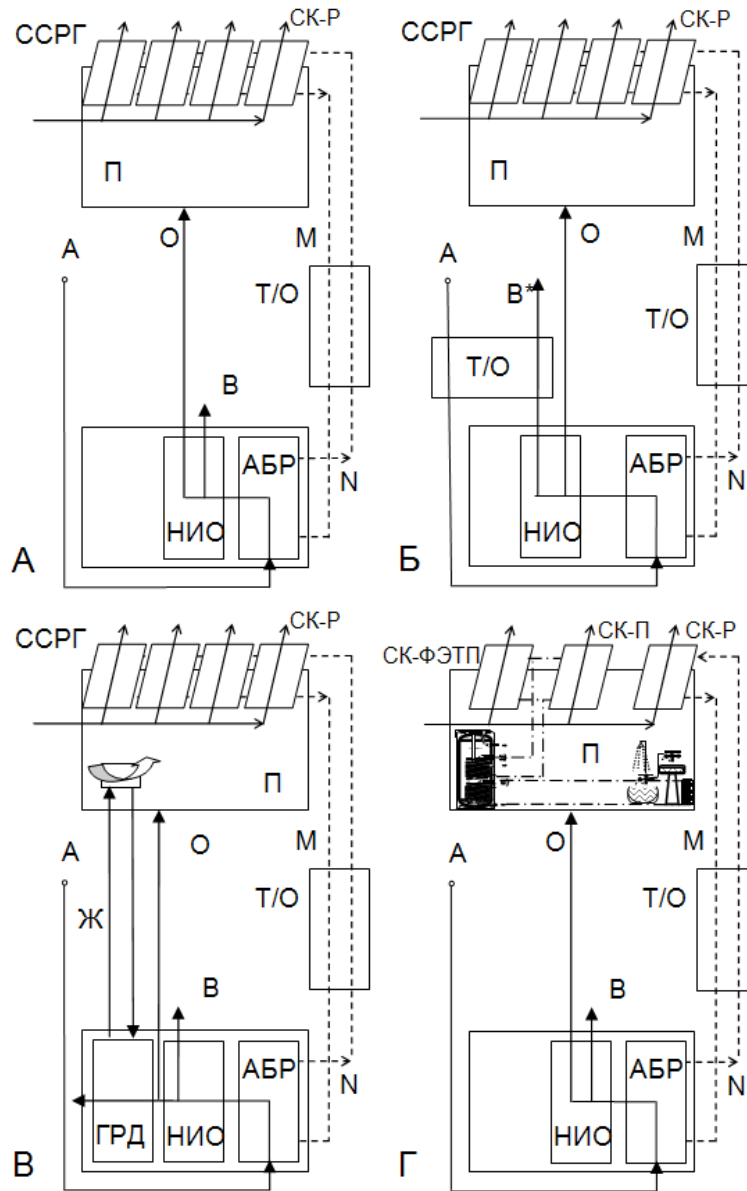


Рис. 2. Принципиальные схемы АСКВ с прямой солнечной регенерацией абсорбента.

Обозначения: АБР, НИО – абсорбер, испарительный охладитель; ГРД – градирня; Т/О – теплообменник; П – помещение; ССРГ – солнечная система регенерации абсорбента; СК-П, СК-Р, СК-ФЭТП – солнечный коллектор, солнечный коллектор-регенератор, солнечный коллектор ФЭТП, соответственно.

А – наружный воздух; О – воздух в помещении; М, N – раствор абсорбента.

состав ССКВ, устроены идентично, что обеспечивает единство технологических операций при их изготовлении.

Аналогичным образом устроен испарительный охладитель непрямого типа (2). В нем два воздушных потока и рециркулирующая через «мокрые» каналы испарительного охладителя непрямого типа НИО вода [8,14,16]. Охлажденная вода отводит тепло от основного воздушного потока, который, таким образом, охлаждается при неизменном влагосодержании, что обеспечивает снижение естественного предела охлаждения сред.

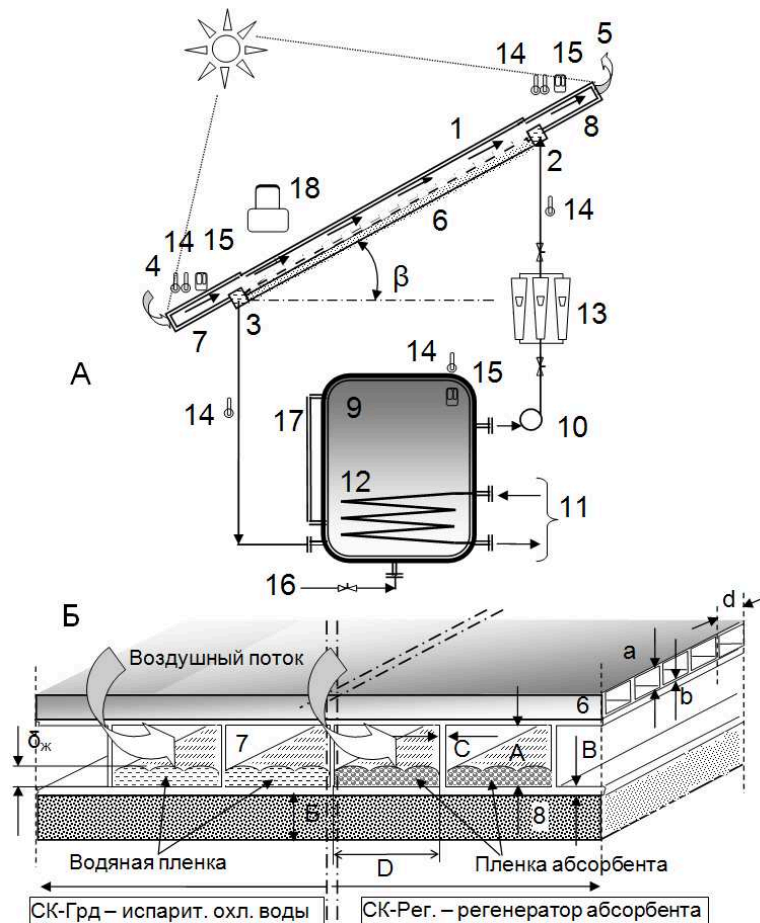


Рис. 3. Экспериментальный стенд (А) для изучения процессов тепломассообмена в «солнечной градирне» и процессов прямой солнечной регенерации абсорбента.

Обозначения: 1 – солнечный коллектор (СК-Грд – СК-Рег); 2, 3 – вход и выход воды или раствора абсорбента; 4, 5 – вход и выход воздушного потока; 6 – измерительный участок; 7, 8 – измерительные воздушные камеры; 9 – водяной бак; 10 – насос; 11, 12 – дополнительный нагреватель; 13 – ротаметр; 14 – термометр; 15 – термометр сопротивления; 16 – подпитка; 17 – измеритель уровня; 18 – пирометр.

Б – Солнечный коллектор – испарительный охладитель воды (градирня) [солнечный коллектор-регенератор (солнечный десорбер) СК-Рег].

Обозначения: 1 – СК; 6 – прозрачное покрытие; 7 – теплоприемник – каналы для движения раствора жидкости и воздуха; 8 – теплоизоляция; $\delta_{ж}$ – средняя толщина жидкостной пленки.

В качестве материала, для изготовления всех без исключения ТМА, входящих в состав ССКВ, используются многоканальные многослойные плиты из поликарбоната, который обладает требуемой устойчивостью в реагирующих средах и жесткостью конструкции в целом [8,9].

Из таких плит сконструирована и "солнечная градирня" (рисунок 3).

IV. Полученные результаты. На рис. 3 приведена принципиальная схема экспериментальный стенд (А) для изучения процессов тепломассообмена в «солнечной градирне» и процессов прямой солнечной регенерации абсорбента. Стенд включает: водопроводный трубопровод, оснащенный вентилем, который подключен к водяному баку (9) объемом 85 литров; теплоизолированные опу-

ской и подъемный трубопроводы, которые служат соединением баков с исследуемым солнечным коллектором СК-Р. К контрольно-самопишущему прибору КСП 2-023 подключены термометры сопротивления 15. Для измерения интенсивности солнечной радиации был использован пиранометр 18 с вторичным прибором – гальванометром М-80. Для измерения скорости ветра использовался анемометр МС-13. В виду экспериментальной сложности непосредственного изучения процесса регенерации абсорбента, связанной с необходимостью подготовки раствора LiBr^{++} требуемой концентрации и поддержания начальной концентрации этого раствора в процессе исследований, изучение процесса десорбции в солнечном коллекторе-регенераторе было проведено на воде. То есть процесс удаления влаги из разбавленного раствора абсорбента имитировался на основе процесса испарения воды, стекающей по наклонной плоскости внутренней поверхности СК-Р в противотоке с воздушным потоком, движение которого обусловлено только солнечным разогревом. В сравниваемых ситуациях полностью идентичны: характер движения воздушного потока над поверхностью жидкостной пленки, обусловленный солнечным разогревом, угол наклона СК-Р определялся идентично наклону обычного водяного СК; характер течения жидкостной пленки абсорбента достаточно близок к особенностям течения водяной пленки и интерес представляет только равномерность распределения жидкостной пленки по поверхности листа.

Применительно к АСКВ с прямой регенерацией абсорбента, полученные результаты иллюстрируются на рис. 4 в виде зависимости изменения влагосодержания воздуха в абсорбере и соответствующей температурой десорбции (t_d). Линии на графиках 4А и 4Б соответствуют рабочим телам LiBr^+ и LiBr^{++} [2,11]. Величина Δx здесь принята равной изменению влагосодержания воздуха в солнечном коллекторе-регенераторе СК-Р, что справедливо только в случае равенства воздушных потоков, осушаемого в абсорбере и регенерационного в СК-Р, и, в случае отличия расходов этих потоков, величина Δx легко пересчитывается. Приведенная концентрация раствора здесь есть отношение рабочей концентрации к предельно возможной, соответствующей линии кристаллизации раствора.

На рис. 5 даны графики зависимостей эффективности солнечного испарительного охлаждения (в СК-Грд) от расхода охлаждаемой жидкости и интенсивности солнечной радиации (А), влагосодержания наружного воздуха (Б) и температуры воздуха (В). Очевидно, что определяющую роль в эффективности процесса испарительного охлаждения играет, наряду с интенсивностью солнечной радиации, влагосодержание наружного воздуха. Степень испарительного охлаждения воды $E_{\text{ж}}$ может быть существенно повышена при использовании капиллярно-пористых покрытий поверхности СК-Грд.

V. Выводы

1. Разработаны новые схемные решения ССКВ на основе использования открытого абсорбционного цикла и солнечной энергии для обеспечения прямой термической регенерации абсорбента;

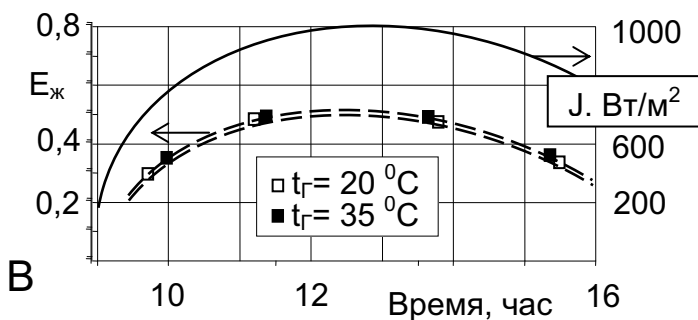
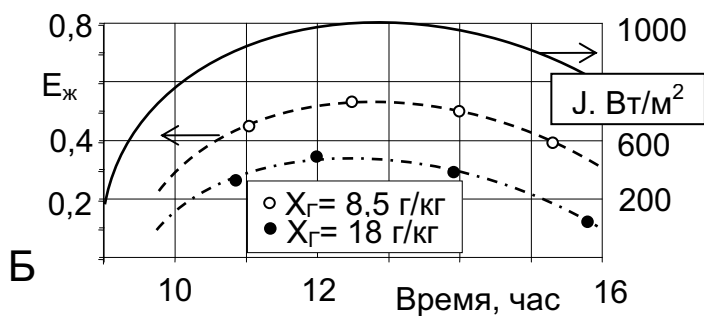
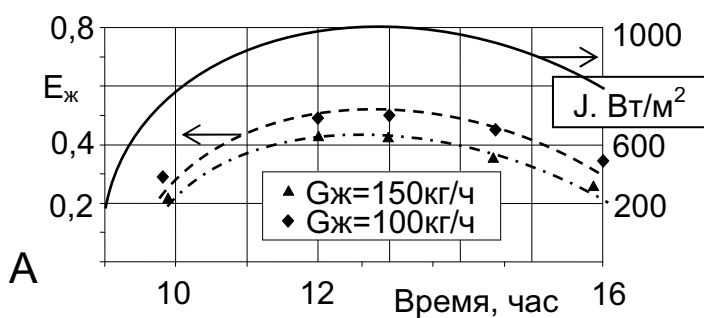
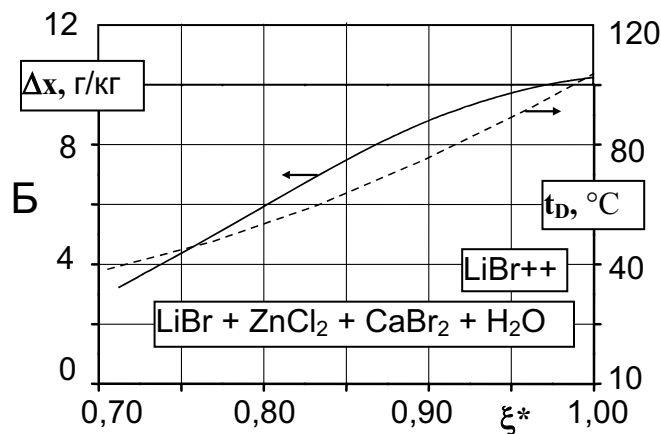
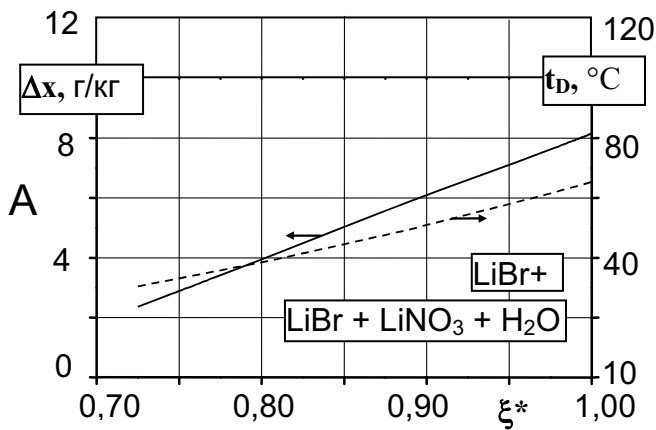


Рис. 4. Зависимость изменения влагосодержания воздуха в абсорбере-осушителе (Δx) и температуры десорбции (t_D) в солнечном коллекторе-регенераторе от приведенной концентрации раствора для ССКВ с прямой регенерацией абсорбента (экспериментальные данные автора). Начальное влагосодержание воздуха $x_2 = 16$ г/кг.

Рис. 5. Эффективность солнечного испарительного охладителя СК-Грд (солнечной градирни). А – влияние расхода охлаждаемой жидкости и интенсивности солнечной радиации; Б – влияние влагосодержания наружного воздуха (температура воздуха в опытах $t_r = 35$ °C); В – влияние температуры воздуха (влагосодержание воздуха в опытах $x_r = 8,5$ г/кг).

2. Разработана компактная тепломассообменная аппаратура для альтернативных систем включая абсорбер с внутренним испарительным охлаждением, солнечный коллектор-регенератор и испарительный охладитель;
3. Определяющую роль в эффективности процесса испарительного охлаждения воды в солнечном испарительном охладителе СК-Грд играет, наряду с интенсивностью солнечной радиации, влагосодержание наружного воздуха.
4. В широком диапазоне начальных параметров воздуха АСКВ обеспечивает получение комфортных параметров воздуха только испарительными методами, не прибегая к парокомпрессионному охлаждению, и может при этом опираться на солнечную энергию, как основной источник, обеспечивающий непрерывность осушительно-испарительного цикла.

Литература:

1. Горин А.Н., Дорошенко А.В. Альтернативные холодильные системы и системы кондиционирования воздуха. 2-е переработанное и дополненное издание. – Донецк.: Норд-Пресс, 2007. – 362 с.
2. Горин А.Н., Дорошенко А.В., Глауберман М.А. Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика) – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 374 с.
3. Lowenstein, H. A. 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, 06.23-25. – P. 133-150.
4. Grossman G. Solar-powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning. Faculty of Mechanical Engineering, Technion – Israel Institute of Technology. – 2001.
5. Дорошенко А., Гликсон А. Гелиосистемы и тепловые насосы в системах автономного тепло- и хладоснабжения // АВОК (Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика). – 2004. – №7. – С. 2–6.
6. Дорошенко А.В., Казак И.И., Глауберман М.А., Андреев В.И. Солнечные системы теплохладоснабжения с непрямой регенерацией абсорбента и тепломассообменной аппаратурой с псевдооживленным слоем // Физика аэродисперсных систем. – 2007. – №44. – С. 67-77.
7. Дорошенко А.В., Глауберман А.Е., Jamal Kamal Husain, Шестопалов К.А. Теоретическое и экспериментальное исследование рабочих характеристик солнечных плоских коллекторов // Холодильная техника и технология. – 2008. – № 110. – С. 17 - 21.
8. Дорошенко А.В., Демьяненко Ю.И., Филипцов С.Н., Горин А.Н. Испарительные охладители непрямого и комбинированного типов для СКВ // Холодильная техника и технология. – 2005. – № 2. – С.46–52.
9. Дорошенко А., Горин А. Альтернативные системы кондиционирования воздуха (солнечные холодильные и кондиционирующие системы на основе открытого абсорбционного цикла) // АВОК (Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика). – 2005. – №1. – С. 60-64.

10. *Дорошенко А., Горин А.* Солнечные холодильные и кондиционирующие системы // Отопление, водоснабжение, вентиляция + кондиционеры. – 2005. – №1. – С. 67–72.
11. *Дорошенко А.В., Аль-Гарби Набиль Муса, Горин А.Н.* Солнечные СКВ с прямой регенерацией абсорбента // Холодильная техника и технология. – 2005. – №5 (97). – С. 51-55.
12. *Koltun P., Ramakrishnan S., Doroshenko A., Konsov M.* Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternantive Air-Conditioning Systems // 21^h International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0140. – 2003.
13. Патент на винахід № 19637, «Устройство для непрямого испарительного охлаждения воздуха». – 2005. – *Дорошенко А., Денисов Ю.*
14. Патент на винахід № 73696, «Спосіб непрямого випарного охолодження повітря або води». – 2005. – *Дорошенко О., Дем'яненко Ю., Горін О., Філіпцов С.*
15. Патент на винахід № 73698, «Спосіб сонячного охолодження і кондиціонування повітря», 2005, *Дорошенко, О., Дем'яненко Ю., Горін О., Філіпцов С.*
16. Патент на винахід № 74525, «Испарительный охладитель непрямого типа», 2005, *Горін О., Філіпцов С., Федоров А., Дорошенко, О., Дем'яненко Ю.*
17. Патент на винахід № 74526, «Абсорбер с внутренним испарительным охлаждением», 2005, *Горін О., Філіпцов С., Дорошенко О.*
18. Патент на винахід № 74522, «Полимерный солнечный коллектор», 2005, *Горін О., Філіпцов С., Дорошенко О., Шестопалов К., Сухнатов А.*
19. Патент на винахід № 74521, «Полимерный солнечный коллектор», 2005, *Горін О., Філіпцов С., Дорошенко О., Глауберман М., Гликсон А.*

Дорошенко О.В., Глауберман М.А., Казак І.І., Андреев В.І.

Сонячні системи кондиціонування повітря з прямою регенерацією абсорбенту й полімерною тепломасообмінною апаратурою

АНОТАЦІЯ

У статті наводяться схемні рішення сонячних систем кондиціонування повітря (ССКП) на основі відкритого абсорбційного циклу, з використанням тепломасообмінної апаратури з полімерних матеріалів. Розроблена апаратура осушувального (абсорбер-осушувач) і охолоджувального (випарний охолоджувач) контурів ССКП універсальна, побудована на плівковому контакті потоків газу й рідини та забезпечує суміщення основного й допоміжного процесів у кожному з апаратів. Виконано попередній аналіз можливостей відкритого абсорбційного циклу стосовно до завдань кондиціонування повітря.

Doroshenko A.V., Glauberman M.A., Kazak I.I., Andreev V.I.

**Alternative air-conditioning systems founded on open
absorption cycle and solar energy**

SUMMARY

The schematics solar air conditioning system (SACS) was presented. Designed heat-mass-transfer apparatus dehumidifying (absorber) and evaporative (indirect evaporative cooler) contours SACS was based on a film contact of airflows and water and provided main and auxiliary processes combination in each apparatus unit (for example, process of absorption and internal steam cooling in absorber). The preliminary analysis of open absorption cycle capabilities concerning air conditioning problems was made.