

РОЗДІЛ 2

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 536.248.2:532.529.5

А.В. Дорошенко, В.А. Гончаренко

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская 1/3, г. Одесса, 65082, Украина

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОИСПОЛЬЗУЮЩЕГО АБСОРБЦИОННОГО ЦИКЛА И ТЕПЛОМАСООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Разработаны схемные решения комбинированных солнечных систем тепло- холодно-снабжения и кондиционирования воздуха, основанные на открытом абсорбционном цикле с непрямой регенерацией абсорбента и использованием новых типов тепло-массообменных аппаратов с подвижной насадкой «газ-жидкость-твердое тело». Впервые разработаны испарительные воздухо- и водоохладители непрямого типа с насадкой регулярной структуры и подвижным трехфазным слоем, размещенным между теплообменными элементами насадки, что обеспечивает повышение гомогенности подвижного слоя и рост эффективности процессов тепло-массообмена. На основе цикла теоретических и экспериментальных исследований выработаны практические рекомендации по определению оптимальных режимных параметров работы солнечных систем и геометрических параметров основных элементов тепло-массообменной аппаратуры.

Ключевые слова: тепло-массообменный аппарат – псевдооживленный слой – абсорбер – десорбер – градирня – солнечная система – холодильная система – кондиционирование воздуха

О.В. Дорошенко, В.А. Гончаренко

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна

РОЗРОБКА БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ТЕПЛО-ВИКОРИСТОВУЮЧОГО АБСОРБЦІЙНОГО ЦИКЛУ ТА ТЕПЛОМАСООБМІННИХ АПАРАТІВ З РУХОМОЮ НАСАДКОЮ

Розроблено схемні рішення комбінованих сонячних систем тепло- холодопостачання та кондиціювання повітря, засновані на відкритому абсорбційному циклі з непрямую регенерацією абсорбенту та використанням нових типів тепло-массообмінних апаратів з рухомою насадкою «газ-рідина-тверде тіло». Вперше розроблено випарні повітро- та водоохолоджувачі непрямого типу з насадкою регулярної структури та рухомим трифазним шаром, розташованим між теплообмінними елементами насадки, що забезпечує підвищення гомогенності рухомого шару та зростання ефективності процесів тепло-массообміну. На основі циклу теоретичних та експериментальних досліджень вироблені практичні рекомендації щодо визначення оптимальних режимних параметрів роботи сонячних систем і геометричних параметрів основних елементів тепло-массообмінної апаратури.

Ключові слова: тепло-массообмінний апарат – псевдозріджений шар – абсорбер – десорбер – градирня – сонячна система – холодильна система – кондиціювання повітря

DOI: 10.15673/0453-8307.1/2015.36783



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

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из серьезных проблем, характеризующей надежность абсорбционных систем является опасность отложений на рабочих поверхностях тепло-массообменной аппаратуры, при работе на водных растворах, жидких сорбентов [1, 3-5].

Накопленный ранее в ОГАХ опыт использования трехфазных псевдооживленных насадочных слоев для организации тепло-массообменных аппаратов может быть использован для решения этой задачи (аппараты осушительного и охладительного контуров солнечных холодильных систем). В работе были использованы теоретические и эксперимен-

тальные материалы, полученные ранее в ОГАХ при создании воздухоохладителей и вентиляторных градириен с подвижной насадкой, а также значительный и многолетний опыт инженерной реализации таких аппаратов в энергетических системах и схемах оборотного водоснабжения [1-2].

II. СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ И ТЕПЛОМАСООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Ранее в ОГАХ было выполнена разработка и исследование тепломасообменных аппаратов (ТМА) с подвижной насадкой (ПН) для осушительного и охладительного контуров солнечных многофункциональных систем [3-5]. Все ТМА разрабатывались как аппараты прямого типа с непосредственным контактом взаимодействующих потоков газа и жидкости. В настоящем исследовании продолжено развитие этих работ в направлении создания ТМА с ПН непрямого типа, что существенно расширяет возможности солнечных холодильных систем (СХС или ССКВ), однако требует разработки новых решений, как для ТМА обоих контуров, так и для солнечных систем в целом.

На рис. 1-3 приведены основные принципы построения осушительно-испарительных охладителей с использованием солнечной энергии для восстановления абсорбента. Солнечная холодильная система (СХС или ССКВ) включает два основных контура: осушительный и охладительный.

Осушительный контур состоит (рис. 1) из абсорбера-осушителя наружного воздуха (АБР, позиция 2) с подвижной псевдооживленной насадкой, десорбера-регенератора (ДБР, позиция 1), причем абсорбер нуждается в охлаждении, поскольку в процессе поглощения водяных паров из наружного воздуха выделяется тепло, а десорбер нуждается в подводе тепла для регенерации (восстановления) абсорбента на определенном температурном уровне. Задачу охлаждения решает градирия технологического назначения ГПНт, а задачу генерирования тепловой энергии солнечная система ССГВ, состоящая из набора солнечных коллекторов СКж необходимой мощности [1-2]. Оба аппарата выполнены со встроенными теплообменниками (АБРт/к и ДБРт/к), что позволяет самым эффективным образом осуществить именно принцип ТМА на основе подвижной насадки. На линиях циркуляции раствора абсорбента включен теплообменник 5 для внутренней регенерации тепла крепкого раствора сорбента после десорбера (М) и слабого раствора абсорбента после абсорбера (N). В осушительный контур системы может входить абсорбер с внутренним испарительным охлаждением. Внутренняя структура такого абсорбера АБР представляет собой две чередующиеся полости, в одной из которых осуществляется осушение воздушного потока при непосредственном контакте

его с крепким раствором абсорбента, а в соседней испарительное охлаждение циркулирующей через эту полость аппарата воды («ж») в контакте с частью воздушного потока («В»), поступающего в абсорбер. Особый интерес представляет решение с рециркулирующей части осушенного воздушного потока (рециркуляционный воздушный контур от позиции «ОС») во вспомогательный воздушный поток, обеспечивающий охлаждение абсорбера АБР. Это не только позволит вплотную приблизить процесс абсорбции к изотермическому, но получать непосредственно в абсорбере охлажденную «продуктовую» воду.

На рис. 1 приведены принципиальные схемы солнечной абсорбционной системы ССКВ с воздухоохладителем НИОг непрямого типа в охладительном контуре (формула построения ДБР↔АБР-НИОг). На рис. 1В показано решение, в котором холодный вспомогательный воздушный поток используется для предварительного охлаждения осушенного в АБР воздуха перед НИОг. Особый интерес здесь представляет решение по рис. 1Б с использованием воздухоохладителя НИО-Рг, в котором разделение полного воздушного потока происходит после его охлаждения при неизменном влагосодержании (Solar / IEC-Rg).

На рис. 2-3 приведены принципиальные схемы солнечной абсорбционной системы СХС с водоохладителем НИОж непрямого типа в охладительном контуре (формула построения ДБР↔АБР-НИОж). На рис. 2Б показано решение, в котором холодный и влажный воздушный поток, покидающий «мокрую» часть испарительного охладителя (ВВ) используется для предварительного охлаждения осушенного в АБР воздуха перед НИОж. Поскольку НИОж работает на низком температурном уровне, благодаря высокой степени достигаемого охлаждения воды предварительно осушенным воздушным потоком, воздух покидает аппарат при температуре, существенно более низкой, чем температура наружного воздуха. Особый интерес здесь представляет решение по рис. 3, где охлаждение абсорбера (крепкого раствора абсорбента в теплообменнике 8, или непосредственно внутренней полости абсорбера) обеспечивает часть охлажденной в НИОж «продуктовой» воды. Это решение позволяет избавиться от градирии технологического назначения ГПНт, традиционно обслуживающей абсорбер.

В настоящее время в практике получили распространение комбинированные решения ССКВ, когда в помещение подается как обработанный воздух из НИОг, так и охлажденная вода из НИОж, что обеспечивает требуемую оперативность управления комфортными параметрами воздушной среды в помещении.

III. РАЗРАБОТКА ТЕПЛОМАСООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

На рисунках 4-7, на примере воздухоохладителя НИОг представлены разработанные испари-

тельные охладители непрямого типа в двух основных вариантах: с размещением подвижного слоя насадки над теплообменником-распределителем воздушных потоков (НИОт/к), по рис. 4-5; и с непосредственным размещением многоканального теплообменника НИОт/к в объеме подвижной насадки ПН, то есть с расчленением объема псевдооживленной насадки ПН, по рис. 6-7.

Обозначения к рис. 4: 1 – корпусная часть НИО; 2 – рабочая камера НИО с ПН; 3 – теплообменник основного и вспомогательного потоков воздуха, служащий одновременно опорно-распределительной решеткой ОРР для ПН; 4 – распределитель жидкости (здесь рециркулирующей через мокрую часть аппарата воды); 5 – сепаратор капельной влаги; 6 – зона воздухораспределения на входе в аппарат; 7 – емкость для жидкости; 8 – поворотный диффузор; 9 – поворотная решетка; 10 – жидкостной насос; 11, 12 и 13 – полный, входящий в НИО (например наружный воздух НВ или смесь воздушных потоков); основной и вспомогательный воздушные потоки; 14 и 15 – каналы т/ка НИО т/к для основного и вспомогательного воздушных потоков

Конструктивное оформление теплообменника-воздухораспределителя НИОт/к к схемным решениям НИОг по рис. 4 приведено на рис. 5. В НИО используются как «цельный» элемент из вспененного полипропилена (а, позиция 16, см. работы [4-5]), так и полый элемент, частично заполняемый жидкостью, для опытов с изменяющейся эффективной плотностью элементов (б).

Конструктивное оформление НИОг в варианте с непосредственным размещением многоканального теплообменника НИОт/к в объеме подвижной насадки ПН приведено на рис. 6. На рис. 7 приведена принципиальная схема и основные элементы теплообменника НИОг, размещенного в слое подвижной насадки ПН в этом случае. Слой псевдооживленной насадки ПН, расположенный на опорно-распределительной решетке ОРР, может псевдооживляться в объеме канала, ограниченного стенками теплообменных элементов (каналов для движения «основного» воздушного потока в НИОг и «продуктового» водяного потока в НИОж). Здесь речь идет о режимах псевдооживления насадочного слоя «газ-жидкость-твердое тело» в ограниченном объеме, что требует специального изучения в смысле особенностей основных режимов псевдооживления в ограниченном объеме. Подвижный слой ПН, обеспечивая интенсификацию процессов тепломасообмена и самоочищаемость рабочих поверхностей, будет оказывать и интенсифицирующее воздействие на процессы передачи или отвода тепла от основных «продуктовых» каналов НИОг. По такому же принципу организуется внутреннее пространство ТМА в водоохладителе непрямого типа НИОж.

Схемные решения для НИОг и НИОж по рис. 6-7 предпочтительнее, но требуют проведения дополнительного обстоятельного изучения поведения подвижного насадочного слоя в ограниченном объеме.

IV. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТАННЫХ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ

Выполнен (рис. 8) предварительный анализ принципиальных возможностей разработанных солнечных систем ССКВ на основе открытого абсорбционного цикла с непрямой регенерацией раствора абсорбента. В схеме, построенной по рис. 1В с теплообменником, размещенным между абсорбером-осушителем и охладителем НИОг, используются дополнительные возможности предварительного охлаждения осушенного воздушного потока за счет потенциала вспомогательного потока воздуха, покидающего НИОг. Анализ выполнен для особо тяжелых условий решения задачи, когда влагосодержание и температура наружного воздуха особенно высоки. На Н-Т диаграмме влажного воздуха показана зона комфортных параметров воздуха «КЗ», здесь пунктирной линией показаны допустимые параметры комфортности [1].

Видно, что процесс осушения воздушного потока в АБР протекает с некоторым повышением температуры воздуха (линия 1-2), но изотермичность этого процесса может быть достигнута путем увеличением энергозатрат на градирню технологического назначения, обслуживающую абсорбер. Поскольку вспомогательный воздушный поток покидает НИОг холодным, но увлажненным (см. рис. 8, позиция 5, $\phi \approx 90\%$) можно его использовать для охлаждения воздуха, покидающего абсорбер АБР, что существенно увеличивает возможности холодильной системы (СХС или ССКВ). Это несколько усложняет систему и увеличивает энергозатраты на движение теплоносителей. Такое решение благоприятно с точки зрения опасности реконденсации влаги и существенного падения эффективности, причем эта опасность значительно возрастает с понижением общего уровня охлаждения [1].

Альтернативная солнечная система кондиционирования воздуха ССКВ способна обеспечить получение комфортных параметров воздуха для любых климатических условий земного шара, как по начальному влагосодержанию, так и по температурному уровню наружного воздуха. В сравнении с традиционными парокомпрессионными системами кондиционирования воздуха альтернативная система ССКВ обеспечивает значительное снижение энергозатрат (до 35-40%), что подтверждается данными авторов и немногочисленными данными эксплуатации аналогичных установок в мире [1-2].

Солнечная система с воздухоохладителем НИОг
Solar liquid-desiccant cooling and air conditioning systems (Solar / IECg)

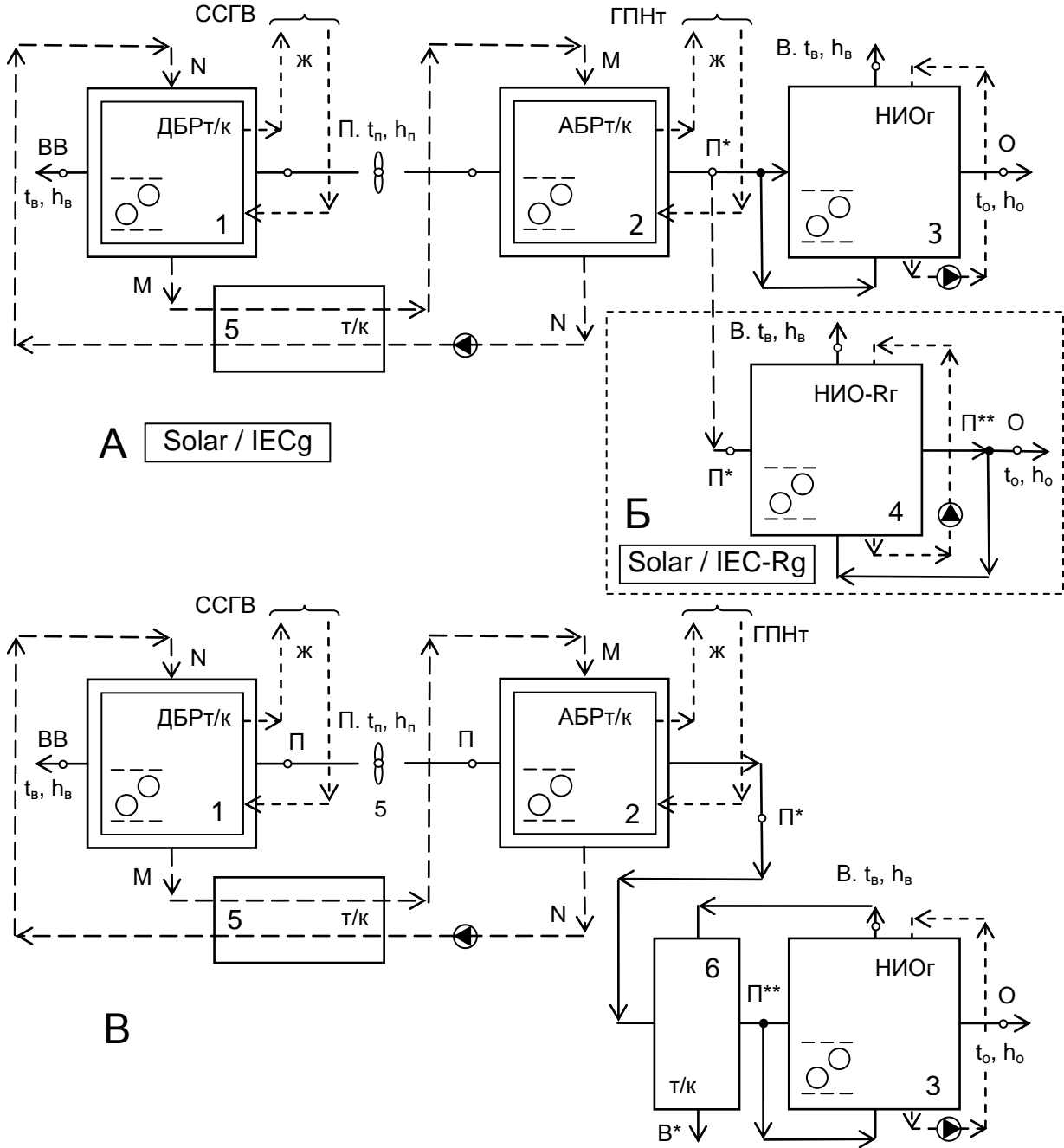


Рисунок 1 – Принципиальная схема солнечной абсорбционной системы с воздухоохладителем НИО в охладительном контуре (формула ДБР-АБР-НИО).

А – с НИОг; Б – с НИО-Rг; В – с теплообменником на холодном вспомогательном воздушном потоке из НИОг.

Обозначения: 1 – десорбер ДБР; 2 – абсорбер АБР; 3 – воздухоохладитель НИОг; 4 – воздухоохладитель НИО-Rг; 5 – теплообменник крепкого горячего и слабого холодного растворов абсорбента; 6 – воздухо-воздушный теплообменник; П, О и В – полный, основной и вспомогательный воздушные потоки; М, N – крепкий и слабый растворы абсорбента

Солнечная система с водоохладителем НИОЖ
Solar liquid-desiccant cooling systems (Solar / IECw)

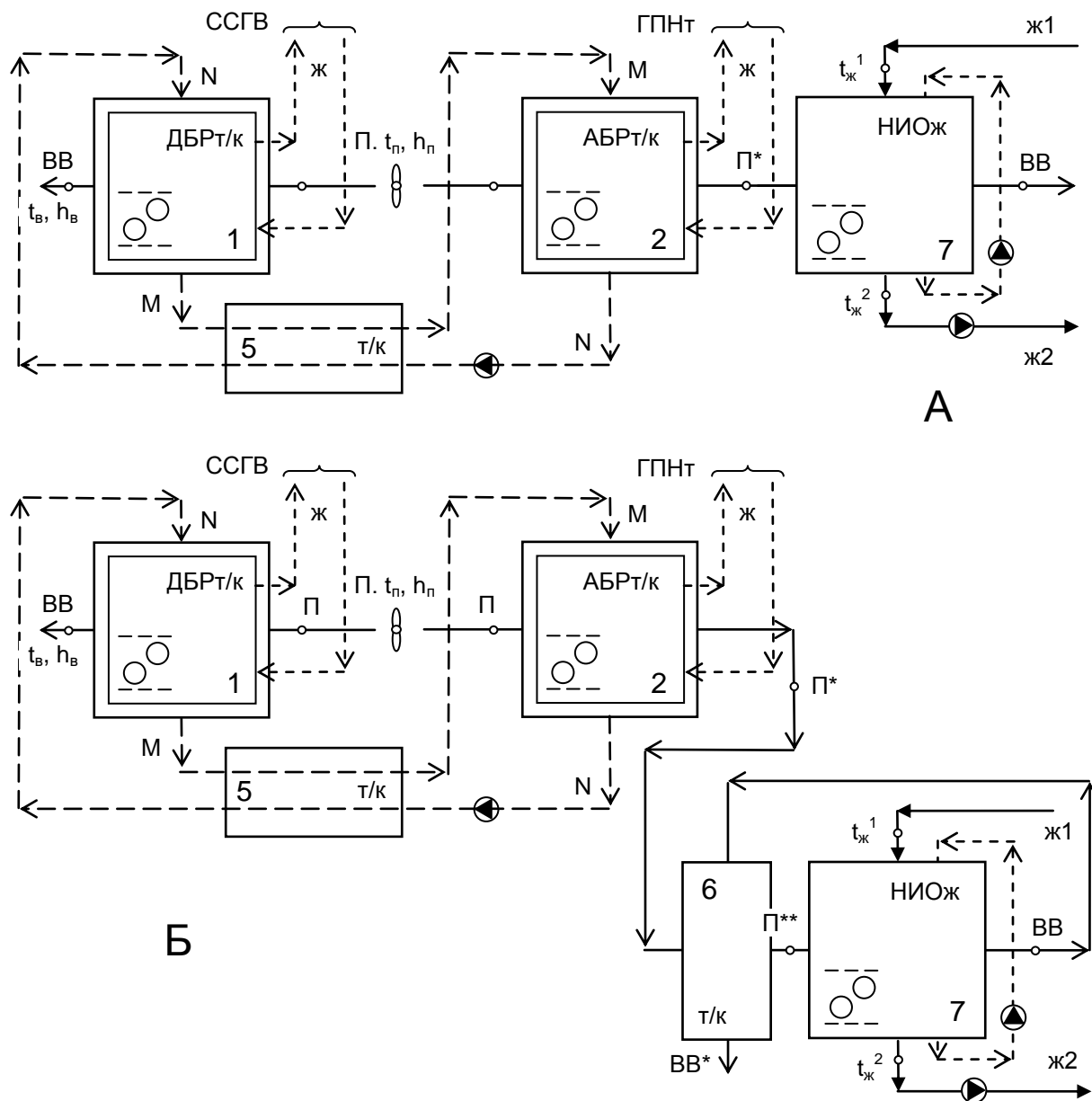


Рисунок 2 – Принципиальная схема солнечной абсорбционной системы с водоохладителем непрямого типа НИОЖ в охладительном контуре (формула ДБР-АБР-НИОЖ).
А – с НИОЖ; Б – с теплообменником на холодном воздушном потоке, покидающем низкотемпературную градирню НИОЖ.

Обозначения по рисунку 1, дополнительно: 7 – водоохладителем непрямого типа НИОЖ

Солнечная система с водоохладителем НИОЖ
Solar liquid-desiccant cooling systems (Solar / IECw)

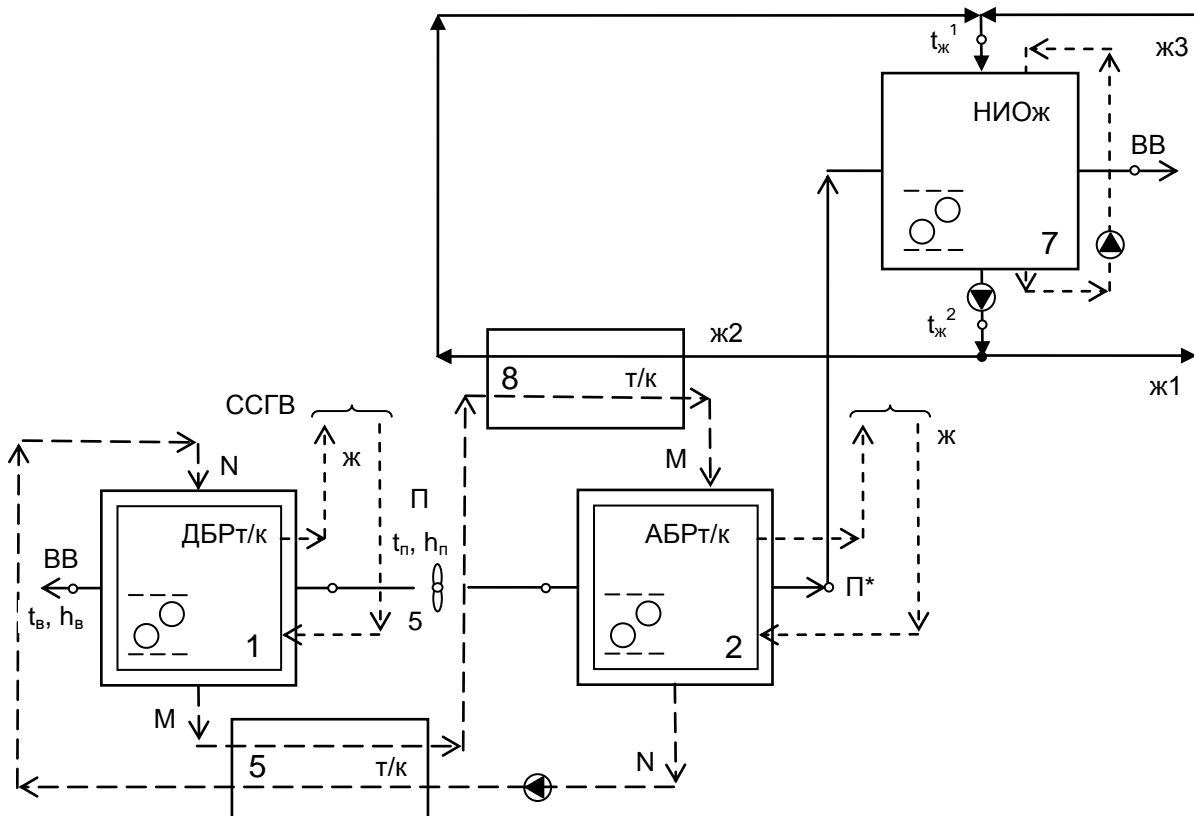
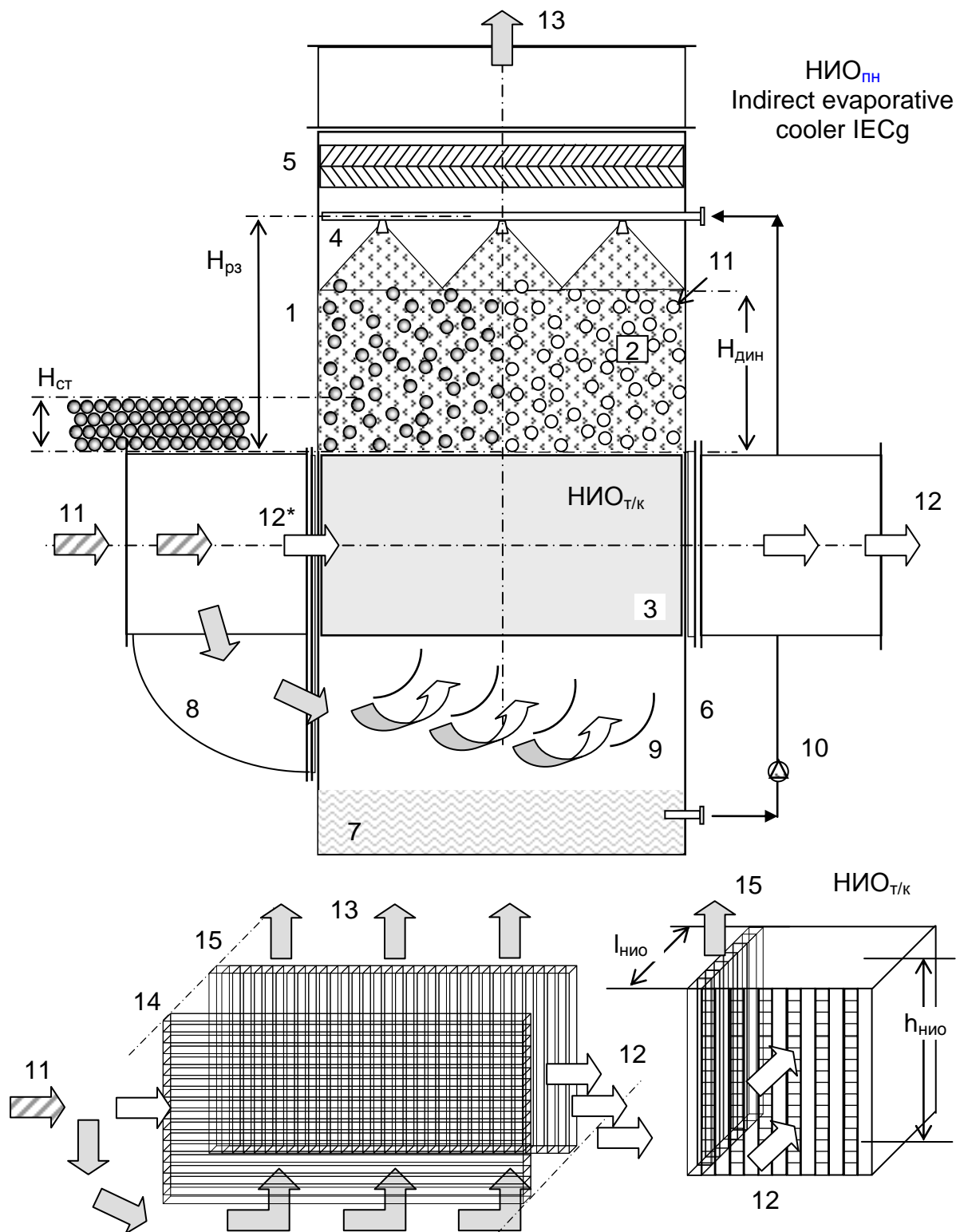


Рисунок 3 – Принципиальная схема солнечной абсорбционной системы с водоохладителем непрямого типа НИОЖ в охладительном контуре (формула ДБР-АБР-НИОЖ); охлаждение абсорбера (крепкого раствора абсорбента) обеспечивает часть охлажденной в НИОЖ воды.

Обозначения по рисункам 1 и 2, дополнительно: 8 – жидкостной теплообменник «холодная вода – крепкий раствор абсорбента»



Принцип расположения каналов насадки в т/ке воздухоохладителя НИОг; схема движения основного и вспомогательного воздушных потоков в теплообменнике НИОт/к

Рисунок 4 – Принципиальная схема и основные элементы воздухоохладителя НИОг с подвижной насадкой ПН (вариант 1 с многоканальным теплообменником НИОт/к).

Обозначения приведены в тексте.

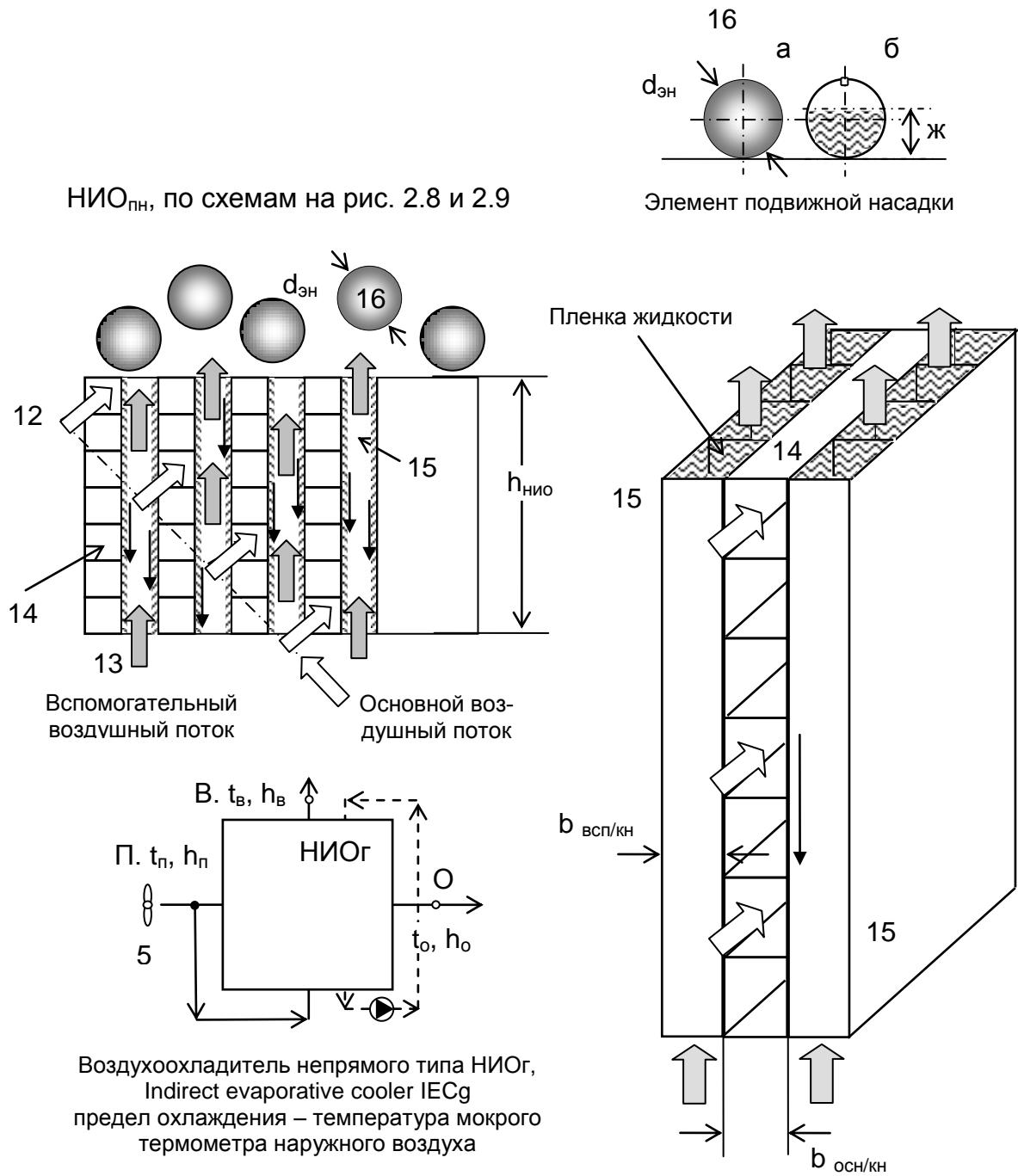
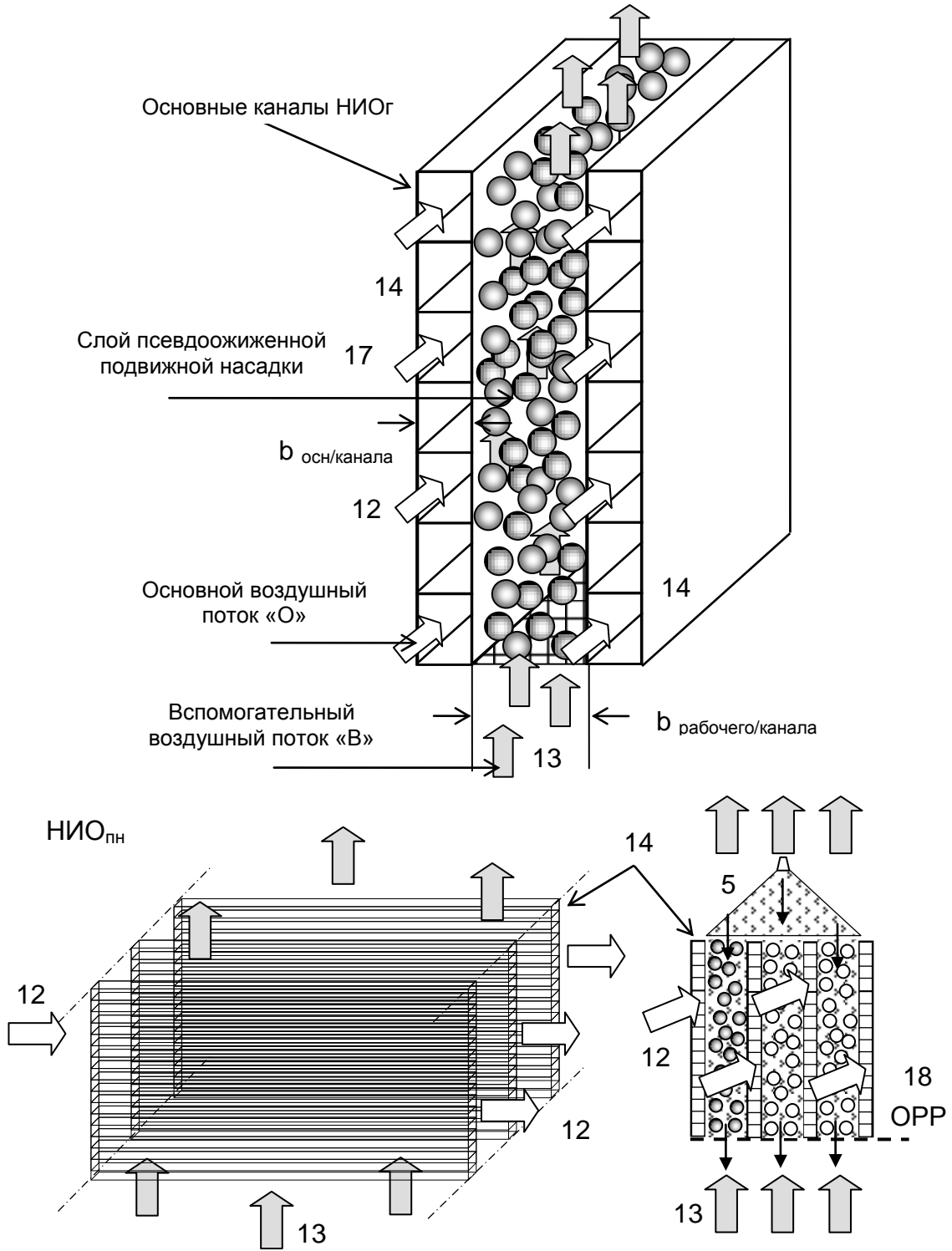


Рисунок 5 – Конструктивное оформление теплообменника-воздухораспределителя НИОт/к к схемным решениям НИОпн по рисунку 4.

Обозначения по рисунку 4, доп: 16 – элемент насадки: а – «цельный» элемент из вспененного полипропилена, б – полый элемент, частично заполняемый жидкостью, для опытов с изменяющейся эффективной плотностью элементов



Принцип расположения «основных» каналов насадки в воздухоохладителе непрямого типа НИОг, (Indirect evaporative cooler IECg); схема движения основного и вспомогательного воздушных потоков

Рисунок 7 – Принципиальная схема и основные элементы теплообменника НИОг, размещенного в слое подвижной насадки ПН (варианты НИОг по рисунку 6).

Обозначения по рисунку 6, доп: 17 – слой псевдооживленной насадки ПН; 18 – ОРР.

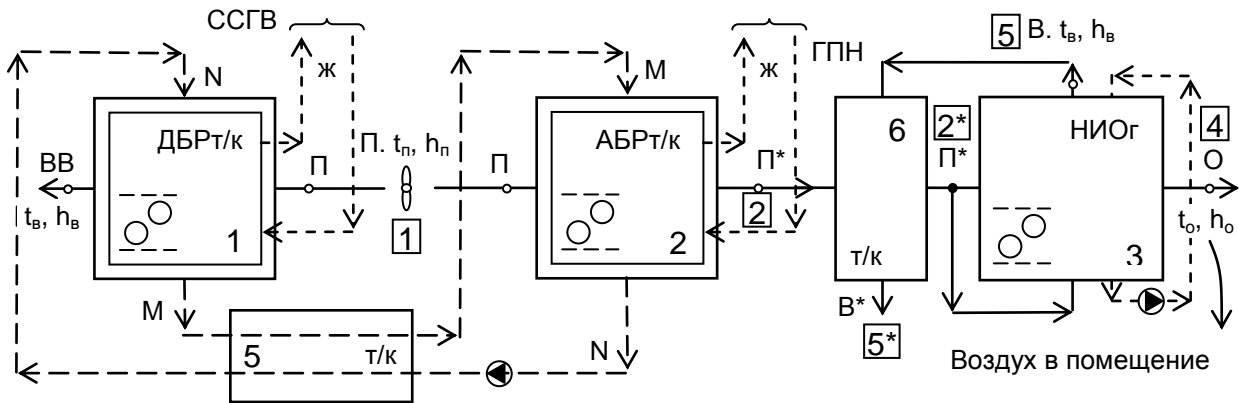
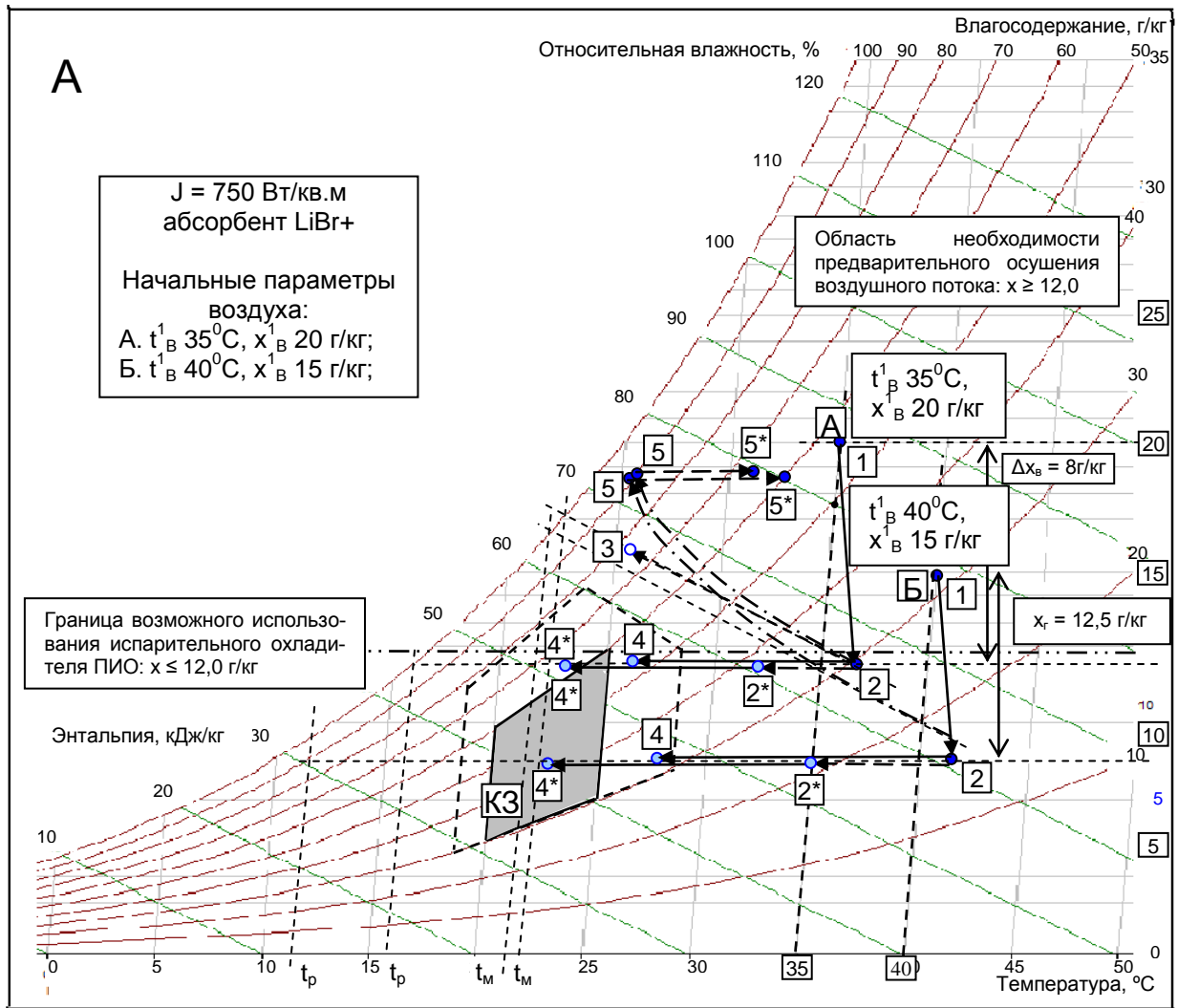


Рисунок 8 – Принципиальные возможности разработанных солнечных систем ССКВ на основе открытого абсорбционного цикла с непрямой регенерацией раствора абсорбента (формула АБР-НИО + теплообменник).

Обозначения по рисунку 2, дополнительно: 1-2 – процесс осушения воздуха в абсорбере; 2-4 – охлаждение основного воздушного потока в НИО; 2-3 – процесс испарительного охлаждения воздуха в охладителе прямого типа ПИО (показан для сравнения); 2-5 – вспомогательный воздушный поток в НИО; 5-5*, 2-2* – процессы в теплообменнике Т/О

V. ВЫВОДЫ

1. Разработаны схемные решения солнечных систем на основе открытого абсорбционного цикла с непрямой регенерацией абсорбента и использованием тепломассообменных аппаратов в виде подвижных насадочных слоев в осушительном и охладительном контурах системы; впервые разработаны ТМА с ПН непрямого типа, что существенно расширяет возможности солнечных холодильных систем (СХС или ССКВ).

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорошенко А.В., Глауберман М.А. Альтернативная энергетика, Солнечные системы теплоснабжения, Одесса, ОНУ им. Мечникова,

2012, 447 стр.

2. 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.

3. А.В. Дорошенко, Б.Е. Молчанский, Солнечные системы кондиционирования воздуха осушительно-испарительного типа и тепломассообменной аппаратурой с подвижным трехфазным слоем. Холодильная техника и технология. 2008, №5 (115), стр. 15-23.

4. А.В. Дорошенко, В.П. Данько. Теплоиспользующие абсорбционные осушительно-испарительные системы охлаждения с использованием альтернативных источников энергии. Холодильная техника и технология. – №4 (138) 2012. Одеса: ОДАХ. – С. 47-53

5. Дорошенко О.В. Глауберман М.А. Данько В.П. Солнечные осушительно-испарительные холодильные системы на основе тепломассообменных аппаратов с подвижной насадкой. Часть I. Эффективность процесса испарительного охлаждения в аппаратах с подвижной насадкой. Холодильная техника и технология. Одеса, 2012, №6 (140), стр. 22-30.

A.V. Doroshenko, V.A. Goncharenko

Odessa National Academy of Food Technologies, 1/3 Dvoryanskaya str., Odessa, 65082, Ukraine

ENGINEERING DEVELOPMENT OF MULTIFUNCTIONAL SOLAR SYSTEMS BASED ON THE HEAT-ABSORPTION CYCLE AND HEAT AND MASS TRANSFER DEVICES WITH A MOBILE NOZZLE

Scheme solutions of heat-cold supply and air conditioning combined solar systems, based on the open absorption cycle with an absorbent indirect regeneration and new types of heat-mass exchange apparatus with "gas- liquid- solid body" movable nozzle utilization were developed. For the first time evaporative air and water coolers of indirect type with regular structure nozzle and mobile-three-phase layer placed between the nozzle heat transfer elements, which increases the homogeneity of the moving layer processes and growth of the of heat-mass-transfer processes efficiency were developed. On the basis of theoretical and experimental research practical recommendations for determining solar systems optimal mode parameters and geometric parameters of the main elements of heat-mass-transfer equipment have been worked out.

Keywords: Heat and Mass transfer device – Fluidized bed – Absorber – Desorber Cooling tower – Solar system – Cooling system – Air conditioning

REFERENCES

1. Doroshenko, A.V., Glauberman, M.A. 2012. Odessa, *ONU n.a. Mechnikova*. – 447 p. (in Russian)

2. Doroshenko, Alexander V., Kholpanov, Leonid P., Kvurt, Yury P. 2009. Alternative Refrigerating, Heat-Pumping and Air-Conditioning Systems on the Basis of the Open Absorption Cycle and Solar Energy. USA. Nova Science Publishers, Inc. – 210 p.

3. Doroshenko, A.V., Molchansky, B.E. 2008. Kholodylna tekhnika ta tekhnologiya [Refrigeration

engineering and technology], No. 5 (115), 15–23 (in Russian)

4. Doroshenko, A.V., Dan'ko, V.P. 2012. Kholodylna tekhnika ta tekhnologiya [Refrigeration engineering and technology], No. 4 (138), 47–53 (in Russian)

5. Doroshenko, A.V., Glauberman, M.A., Dan'ko, V.P. 2012. Kholodylna tekhnika ta tekhnologiya [Refrigeration engineering and technology], No. 6 (140), 22–30 (in Russian)

Отримана в редакції 10.11.2014, прийнята до друку 17.11.2014