

Ефективність випарного охолодження середовищ обмежена кліматичними умовами, проте, інтерес до можливостей випарних охолоджувачів як прямого, так і непрямого типу останніми роками неухильно зростає, що обумовлено їх малим енергоспоживанням і екологічною чистотою.

Ключові слова: випарне охолодження, тепловогообмін

Эффективность испарительного охлаждения сред ограничена климатическими условиями, тем не менее, интерес к возможностям испарительных охладителей как прямого, так и непрямого типа в последние годы неуклонно возрастает, что обусловлено их малым энергопотреблением и экологической чистотой

Ключевые слова: испарительное охлаждение, теплообмен

Efficiency of the evaporated cooling of environments is limited by the climatic terms, nevertheless, the interest to possibilities of evaporated coolers of both direct and indirect type in recent the years steadily increases, that they are conditioned by the small energy consumption and ecological cleanness

Key words: evaporated cooling, heat-mass exchanging

МНОГОСТУПЕНЧАТЫЕ ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ ОХЛАДИТЕЛИ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ И КОНДИЦИО- НИРУЮЩИХ СИСТЕМ

А. В. Дорошенко

Доктор технических наук, профессор.
Кафедра технической термодинамики
Одесская государственная академия холода
ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082
Контактный тел.: (048) 723-23-93
E-mail: al_dor@ukr.net

М. В. Розум

Кандидат физико-математических наук, доцент
Доцент кафедры информационных технологий
Одесский национальный морской университет
ул. Мечникова, 34, г. Одесса, Украина, 65029
Контактный тел.: 067-487-51-97
E-mail: marina_rozum@ukr.net

1. Испарительные охладители непрямого типа в составе многоступенчатых и комбинированных систем

В испарительном охладителе непрямого типа, получившем наибольшее распространение в последние годы [1-2, 4-7], воздушный поток, поступающий на охлаждение (П), делится на две части. Вспомогательный поток воздуха (В) поступает в «мокрую» часть охладителя, где контактирует с водяной пленкой, стекающей по поверхностям канала (вода рециркулирует через аппарат) и обеспечивает испарительное охлаждение воды, которая, в свою очередь, охлаждает бесконтактно, через разделяющую стенку, основной воздушный поток (О). Этот поток воздуха охлаждается при неизменном влагосодержании, что обеспечивает преимущества при создании на основе НИО систем кондиционирования воздуха СКВ. Вспомогательный воздушный поток выносит все тепло из аппарата в «связанном» виде, его температура также понижается и влагосодержание возрастает. Температура воды в цикле сохраняет неизменное значение и оказывается на несколько градусов выше температуры мокрого термометра поступающего в НИО наружного воздуха. Эта температура зависит от соотношения воздушных потоков в НИО, основного и вспомогательного,

и является пределом охлаждения для обоих воздушных потоков.

Испарительные охладители НИО могут быть обычного и регенеративного типов [2-3], отличаясь местом разделения полного воздушного потока, поступающего в НИО, на основной, продуктовый, и вспомогательный воздушный потоки (НИО по позиции Б и НИО/Р по позиции Г на рис. 1). Во втором случае обеспечивается более глубокое охлаждение воздуха, поскольку здесь процесс испарительного охлаждения воды в «мокрой» части аппарата ориентирован на температуру мокрого термометра воздуха, уже прошедшего сухое охлаждение в «сухой» части охладителя и пределом охлаждения является температура точки росы наружного воздуха. Такая схема предпочтительна для глубокого охлаждения сред, но характеризуется и более высоким уровнем энергозатрат. обстоятельному изучению возможностей охладителя НИО/Р посвящено обстоятельное исследование Maisotsenko V. и Lelland Gillan [7].

Идеология создания многоступенчатого охладителя испарительного типа:

1. Используется модульная (кассетная) схема создания многоступенчатого охладителя на основе идентичных элементов (моноблоков), каждый из которых представляет собой ступень охлаждения, модуль НИО,

построенный по той либо иной схеме (рис. 1);

2. Многоступенчатый охладитель включает последовательно установленные ступени НИО (моноблоки), каждый из которых состоит из системы чередующихся «сухих» и «мокрых» каналов;

3. Размеры каналов в моноблоке, в «сухой» и «мокрой» частях, идентичны (форма каналов и величина эквивалентного диаметра каналов) и могут уменьшаться в направлении движения основного воздушного потока; форма каналов каждой ступени (моноблока) любая; рекомендуемые размеры каналов (величина эквивалентного диаметра каналов) составляют диапазон $d_э = 10 - 20$ мм;

4. Между ступенями охлаждения (моноблоками) имеется распределительная камера, где происходит разделение на основной и вспомогательный воздушные потоки; длина распределительных камер в направлении движения основного воздушного потока может уменьшаться;

5. Соотношение основного и вспомогательного воздушных потоков для каждой ступени охлаждения (моноблока) составляет $l = G_B / G_O = 1/4 - 1/2$ и может варьироваться по длине многоступенчатого охладителя; в соответствии с этим лежит и соотношение площадей сечений «мокрых» и «сухих» каналов в моноблоке $a = f_B / f_O$, при условии равенства скоростей движения основного и вспомогательного воздушных потоков в каналах «сухой» и «мокрой» частей для каждого моноблока;

6. Каждая ступень охлаждения (моноблок) имеет автономную емкость для жидкости (для варианта Б по рис. 1 эта емкость может быть общей для всех моноблоков, входящих в охладитель, позиция В);

7. Число ступеней охлаждения (моноблоков) в сборке охладителя определяется требуемым эффектом охлаждения и расчетным долевым расходом получаемого продукта;

8. Регулирование соотношения расходов основного (продуктового) и вспомогательного потоков осуществляется на выходе из многоступенчатого охладителя по основному (продуктовому) потоку воздуха (по расходу и термовлажностным параметрам);

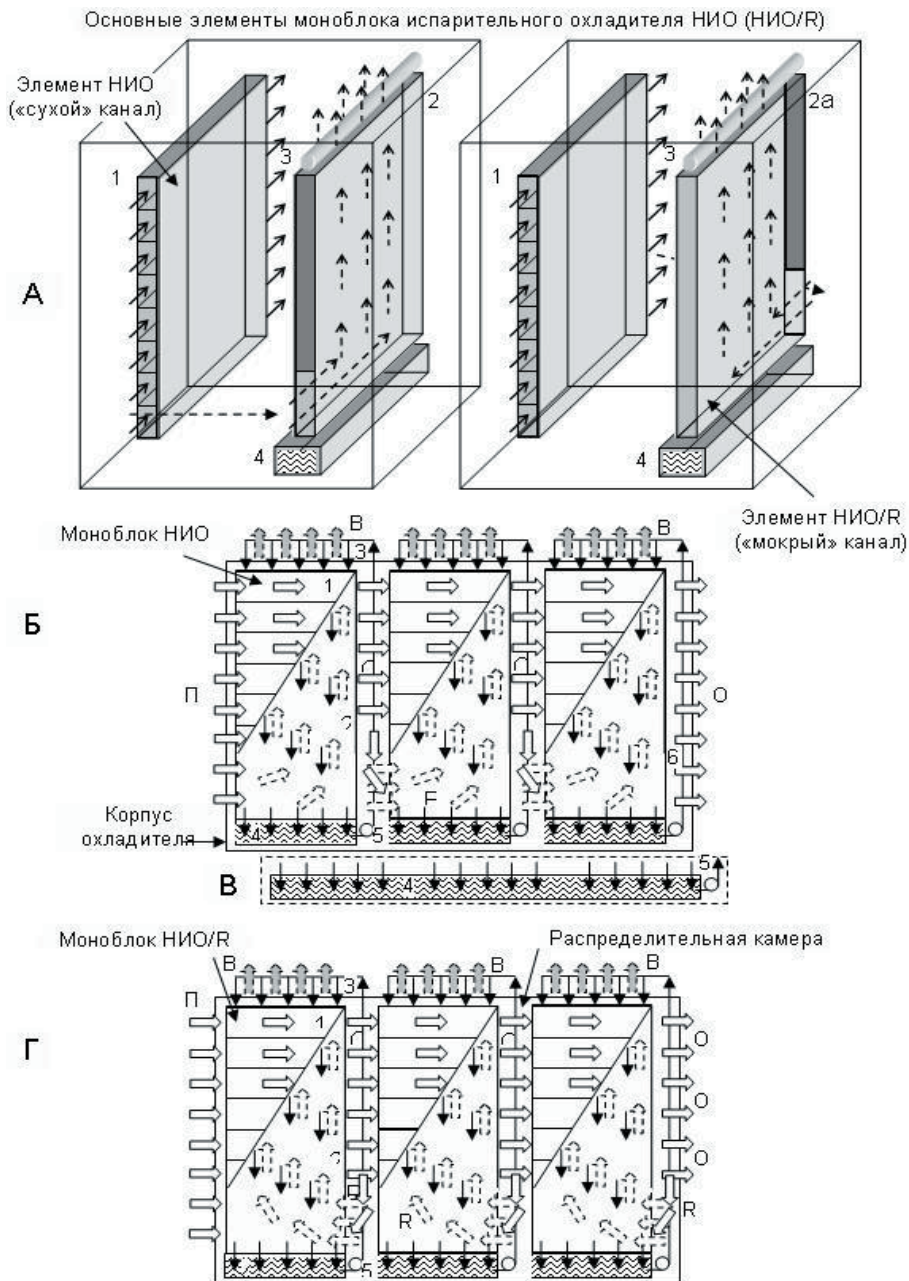


Рис. 1. Основные элементы (А) и принципиальная компоновка многоступенчатого испарительного охладителя обычного (Б) и регенеративного (Г) типов. Обозначения: 1 – «сухой» канал; 2 – «мокрый» канал; 3 – водораспределитель; 4 – водосборник; 5 – насос; 6 – линия рециркуляции жидкости; П, О, В – полный, основной и вспомогательный воздушные потоки

Поскольку вспомогательный поток покидает аппарат достаточно холодным, он может использоваться для предварительного охлаждения полного воздушного потока, поступающего в испарительный охладитель; на выходе вспомогательного воздушного потока из многоступенчатого охладителя может быть установлен теплообменник пластинчатого типа (позиция 7 на рис. 2) для предварительного охлаждения поступающего в охладитель наружного воздуха

На сочетании НИО (НИО/Р) и испарительных охладителей прямого типа (воздухоохладителя ПИО и испарительного охладителя воды, градирни, ГРД) по такой модульной схеме могут строиться различные

комбинированные варианты охладителей. Это существенно расширяет возможности испарительного охлаждения сред, особенно с учетом предварительного охлаждения воздуха [2].

II. Предварительный анализ возможностей многоступенчатых испарительных охладителей

Анализ возможностей испарительных охладителей (рис. 3) выполнен на основе ранее полученных в ОГАХ экспериментальных данных [1-3]. При этом эффективность НИО по основному и вспомогательному потокам была принята равной $E_o = E_B = (t^1 - t^2) / (t^1 - t_M) = 0,65$, при эффективности теплообменников $E_{T/O} = 0,8$. Температура воды, рециркулирующей через «мокрую» часть НИО принята $t_{ж}^* = t_M^1 + 1,5 - 2,5^{\circ}C$. На самом деле 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, $l = G_o / G_B$. Все тепло-массообменные аппараты НИО, входящие в состав рассматриваемых охладителей, пленочного типа с насадкой регулярной структуры, образованной многослойными структурами из полимерных материалов [1-2, 8].

Поскольку возможности испарительных охладителей рассматривались применительно к задачам СКВ, начальное влажосодержание воздуха выбрано в диапазоне $x_r < 12,5$ г/кг и на диаграмме Н/Х показана область комфортных параметров воздуха, обусловленная сочетанием температуры и относительной влажности воздуха в кондиционируемом помещении (КЗ) [1].

На рис. 3 на Н/Х диаграмме влажного воздуха показаны возможности многоступенчатого испарительного охлаждения для схемной компоновки по рис. 1Б. Здесь показаны процессы: 1-2, 1-3; 2-4, 2-5; 4-6, 4-7 – охлаждения основного воздушного потока и изменения состояния вспомогательного воздушного потока в каждой из трех ступеней охлаждения НИО, соответственно.

Для параметров наружного воздуха $t^1 = 40,6^{\circ}C$, $x^1 = 8,95$ г/кг, двухступенчатый охладитель обеспечи-

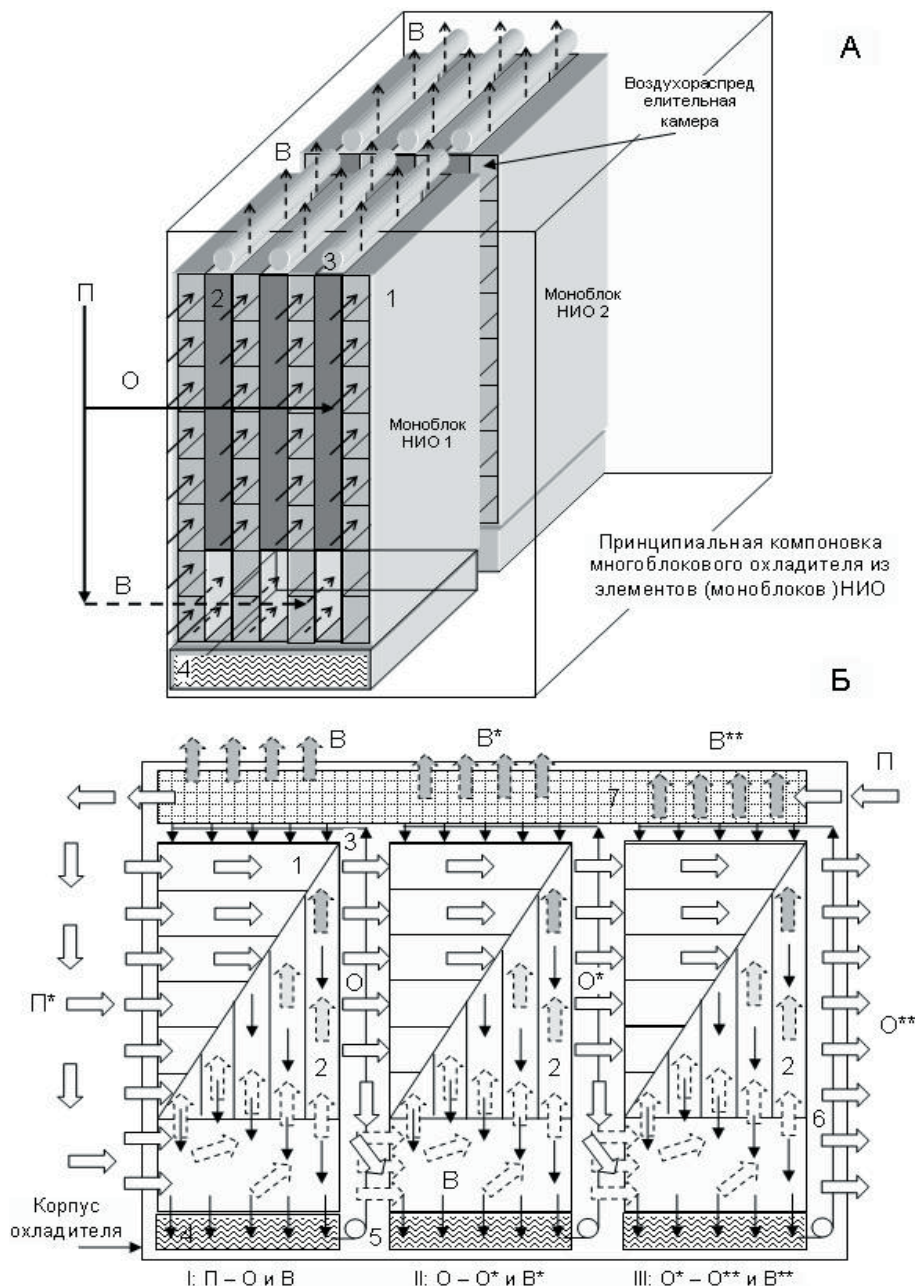


Рис. 2. Принципиальная компоновка многоступенчатого испарительного охладителя. Обозначения по рис. 1, дополнительного: 6 – рециркуляционный водяной контур; 7 – теплообменник

вает температуру охлажденного воздуха $23^{\circ}C$, то есть достижение параметров комфортности. Трехступенчатый охладитель обеспечивает снижение температуры продуктового воздушного потока ниже значения $t_M^1 = 21,5^{\circ}C$, то есть для него пределом охлаждения является точка росы наружного воздуха ($t_p = 11,5^{\circ}C$), что существенно расширяет возможности практического использования таких охладителей.

Видно, что эффективность охлаждения в каждой последующей ступени многоступенчатого охладителя снижается. Поскольку энергозатраты на движение теплоносителей через очередную ступень охладителя практически не изменяются, количество ступеней многоступенчатого охладителя должно выбираться с точки зрения инженерной оптимизации.

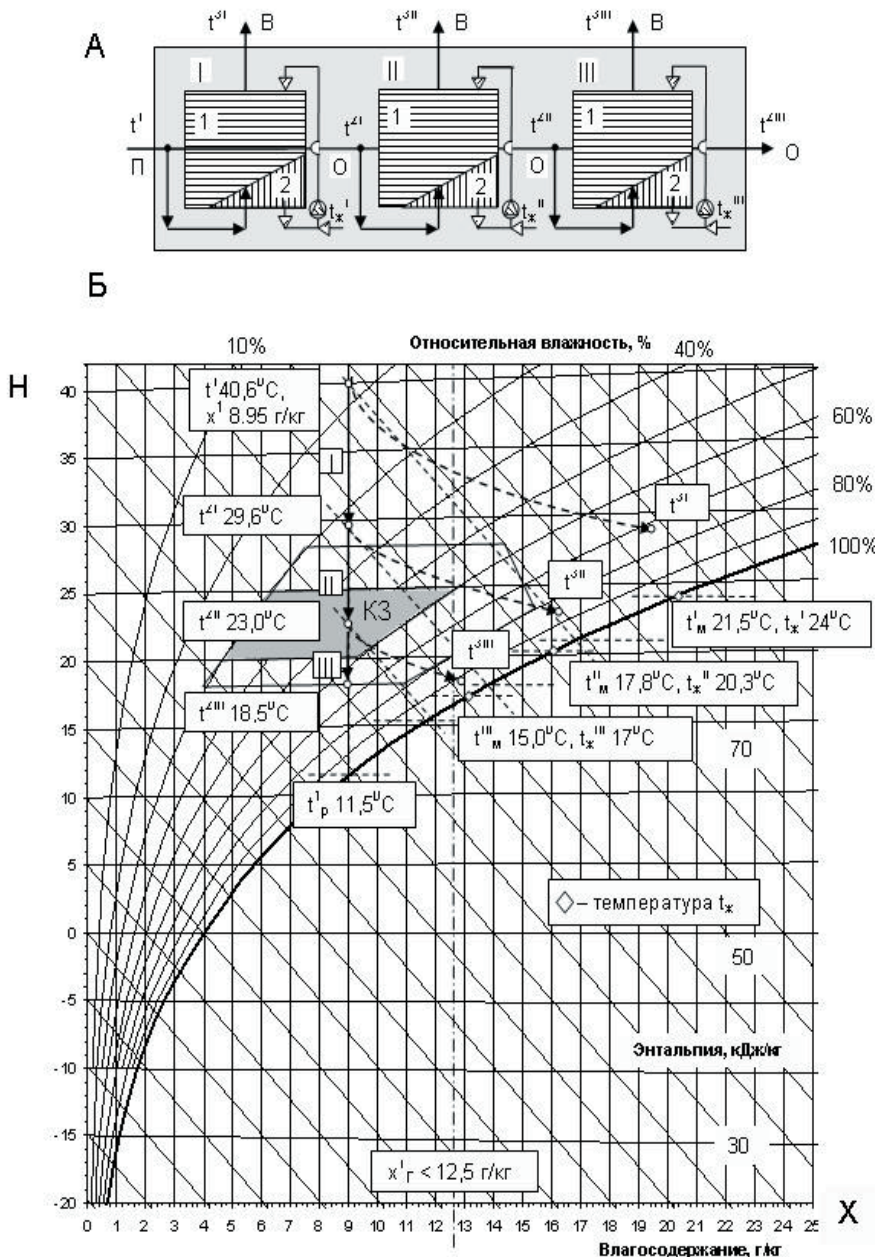


Рис. 3. Процессы в многоступенчатом испарительном охладителе по схеме на рис. 1Б. Обозначения по рис. 1, дополнительно: I, II, III – ступени испарительных охладителей НИО (моноблоки)

Использование многоступенчатых испарительных охладителей в целях охлаждения сред и термовлажностной обработки воздуха позволяет снизить энергозатраты, в сравнении с традиционной парокомпрессионной техникой охлаждения, в среднем на 25-35% и существенно повысить экологическую чистоту новых решений [1-2, 8].

Выводы

1. Переход от схемы НИО к НИО/Р позволяет снизить температуру охлаждения, для схемы для НИО/Р пределом охлаждения является температура точки росы наружного воздуха, что существенно расширяет возможности практического использования испарительных охладителей.

2. Для многоступенчатого охладителя на основе моноблока НИО пределом охлаждения является точка росы наружного воздуха, что существенно расширяет возможности практического использования таких испарительных охладителей; использование в составе охладителя теплообменника на холодном вспомогательном воздушном потоке дополнительно и существенно улучшает его характеристики.

Литература

1. А.Н Горин, А.В., Дорошенко. Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика), – Донецк: Норд-Пресс, 2008. 374 с.
2. 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.
3. Дорошенко А. Компактная тепло-массообменная 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/IIR, 1996. - P. 101-109.
5. JOHN L., McNAB, PAUL McGRIGOR., 2003, Dual Indirect Cycle Air-Conditioner Uses Heat Concentrated Desiccant 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. Effectiveness of Crossflow Plate Heat Exchanger for Indirect Evaporative Cooling. Int. J. Refrig., vol. 21, no. 6. – 1998. - P. 463-471.
7. Maisotsenko V., Lelland Gillan, M. 2003, The Maisotsenko Cycle for Air Desiccant Cooling 21h International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C.
8. Koltun, P. 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, 2003. P. 45-57.