

УДК 536.248.2:532.529.5

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРИСТОЙ КЕРАМИКИ ДЛЯ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ И ИСПАРИТЕЛЬНО-ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ СИСТЕМ

Чебан Д.Н., Дорошенко А.В.

Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики  
Одесской национальной академии пищевых технологий

**Аннотация.** Одним из решений проблем энергоэффективности в системах кондиционирования воздуха является использование природного испарительного охлаждения. В испарительных водоохладителях и воздухоохладителях используется керамика с многоканальной пористой структурой. Целью работы является показать преимущество использования пористой керамики в качестве рабочей насадки и преимущества предложенной схемы испарительно-парокомпрессионных систем по сравнению со стандартными парокомпрессионными системами. Наши эксперименты показали, что в пленочном режиме течения эффективность охлаждения воздуха находится в пределах  $E_A=0,6\div 0,7$  и мало зависит от расхода жидкости. Для стран с сухим и жарким климатом, где запасы воды ограничены, рекомендуется использовать циклический режим  $E_A \approx 0,65$ , либо каналный режим со значением  $E_A \approx 0,55$ . Это приводит к значительному сбережению энергии. Определено то, что комбинированная система кондиционирования воздуха оказывается полностью замкнутой по потребляемой воде при параметрах наружного воздуха  $t_A=32^\circ\text{C}$  и  $X_A>13\text{г/кг}$  (в системе прямое испарительное охлаждение/холодильная машина) и при  $t_A=32^\circ\text{C}$  и  $X_A>12\text{г/кг}$  (в системе не прямое испарительное охлаждение/холодильная машина), поскольку затраты воды в ступени испарительного охлаждения могут быть полностью компенсированы конденсатом из испарителя холодильной машины. Использование испарительного охлаждения в первой ступени комбинированной системы охлаждения позволяет уменьшить нагрузку на конденсатор холодильной машины, снижая температуру конденсации, что позволяет применять комбинированные системы таких типов в любых климатических условиях.

**Ключевые слова:** испарительное охлаждение, пористая керамика, комбинированная холодильная система.

## UTILIZAREA CERAMICEI POROASE ÎN SISTEMELE EVAPORATIVE ȘI EVAPORATIVE COMBinate CU SISTEMELE CU COMPRESIE DE VAPORI

Ceban D.N., Dorosenco A.V.

Institutul de Învățământ și de Cercetări de Refrigerare, Criotehnologii și Ecoenergetică al Academiei Naționale de Tehnologii Alimentare din Odesa

**Rezumat.** Utilizarea evaporării naturale în scurpuri de răcire este una dintre posibilele realizări a soluției tehnice pentru îmbunătățirea eficienței energetice în sistemele de aer condiționat. Utilizarea răcirii prin evaporare în prima treaptă a sistemului de raciere combinată permite reducerea sarcinii în condensatorul mașinii frigorifice ca urmare a micșorării temperaturii de condensare. Această soluție permite utilizarea sistemelor de acest tip în orice condiții climatice, inclusiv, în regiunile cu deficit de apă. În răcitoarele evaporative și a răcitoarelor de aer se utilizează ceramica poroasă cu canale deschise. Scopul lucrării este de a valida beneficiile utilizării ceramicii poroase în calitate de duză de lucru, și, de asemenea, a avantajului schemei propuse pentru sistemul combinat de raciere în comparative cu soluțiile tip utilizate în aceste scopuri. Experimentele noastre au arătat, că pentru curgerea peliculară eficacitatea răcirii aerului se află în banda  $EA = 0,6 \div 0,7$  și depinde neesențial de debit. Pentru țările cu o climă caldă și uscată în care există deficiențe privind accesibilitatea apei, se recomandă de a utiliza regimul cyclic de funcționare cu valoarea parametrului  $EA \approx 0,55$ . Acest regim economisește energia electrică. S-a determinat, că sistemul combinat de climatizare este complet închis privind consumul de apă pentru cazul aerul exterior este caracterizat de parametrii  $T_a = 32^\circ\text{C}$  și  $X_A > 13\text{g/kg}$  (în sistemul evaporativ direct/ chiller) și pentru parametrii aerului  $T_a = 32^\circ\text{C}$  și  $X_A > 12\text{g/kg}$  (în sistemul indirect evaporative de răcire / chiller). Pentru valorile indicate ale parametrilor, consumul apei în prima treaptă a răcirii evaporative se pot integral compensa de către condensatul evaporatorului mașinii frigorifice.

**Cuvinte-cheie:** răcire evaporativă, ceramică poroasă, sistemele de refrigerare combinate.

**THE USE OF POROUS CERAMICS FOR EVAPORATIVE AND EVAPORATIVE – VAPOR –  
COMPRESSION SYSTEMS**

**Cheban D.N., Doroshenko A.V.,**

**Educational and Research Institute of Refrigeration, Criotehnology and Eco-Energetics  
Odessa National Academy of Food Technologies**

**Abstract.** The use of natural evaporative cooling is one of technical solutions of problem of energy efficiency in air conditioning systems. The use of evaporative cooling in the first combined cooling stage allows reducing the load on the condenser of the cooling machine due to reducing of the condensing temperature. This combination allows the use of this type of system in any climatic conditions, including regions with small water resources. Multi-porous ceramic structure is used in evaporative air coolers and water coolers in this case. The objective of this paper is to show advantages of the using of porous ceramic as a working attachment, and to show advantages of the proposed scheme of compression-evaporation systems in comparison with standard vapor compression systems. Experimental research proved the fact, that in the film mode cooling efficiency of air flow is between  $E_A=0,6\div 0,7$  and is slightly dependent of water flow. For countries with hot and dry climate where reserves of water are limited, it is recommended to use cyclical regime with  $E_A\approx 0,65$  value, or to use channel regime with a value of  $E_A\approx 0,55$ . This leads to considerable energy savings. It has been determined, that combined air conditioning system is completely closed on the consumption of water at the parameters of the outside air equal to  $t_A = 32^\circ\text{C}$  and  $X_A > 13\text{g/kg}$  (in system with direct evaporative cooling machine), and  $t_A = 32^\circ\text{C}$  and  $X_A > 12\text{g/kg}$  (in system with indirect evaporative cooling machine). With these parameters, the cost of water in evaporative cooling stage can be fully compensated by condensate from the evaporator chiller.

**Key words:** evaporative cooling, porous ceramics, combined refrigeration system.

### **I. Введение**

Сопряженные проблемы энергетики и экологии определяют принципиально новый подход к перспективному развитию и использованию испарительного охлаждения в современных энергетических системах:

- переход на капиллярно-пористые материалы, что обеспечивает снижение необходимой подпитки испарительного охлаждения и повышает их эффективность в автономном использовании;
- заключается в интеграции испарительного охлаждения в холодильную систему традиционного типа.

Это позволяет перераспределить холодопроизводительность комбинированных систем частично на первую ступень испарительного охлаждения и улучшить условия эксплуатации собственно парокомпрессионной системы, понижая температуру и давление конденсации.

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. Испарительные охладители могут использоваться как в автономном варианте, так и в комбинированных системах, например в составе солнечных осушительно-испарительных охладителей, где предварительное осушение воздуха обеспечивает высокую эффективность последующего испарительного охлаждения.

### **II. Экология и энергетика. Проблемы в холодильной технике.**

Одним из ключевых направлений снижения энергозатрат и снижения вредного антропогенного воздействия в холодильной технике и системах кондиционирования воздуха является создание испарительно-парокомпрессионных холодильных систем.

В этом случае на верхнем температурном уровне охлаждения используются испарительные охладители [1-12], которые обеспечивают решение таких задач как:

- распределение холодильной нагрузки между ступенью испарительного охлаждения и парокомпрессионной;
- принципиальную возможность обеспечения работы испарительных охладителей без потери воды на охлаждение за счет возврата конденсата из парокомпрессионной системы;
- создание многофункциональных холодильных систем, обеспечивающих охлаждение сред и улучшение работы конденсатора холодильной машины (ХМ).

### III. Перспективы использования пористых многоканальных керамических структур для организации процессов теплообмена в испарительных охладителях

На основе выполненного аналитического обзора исследований последних лет в мире [3-12], а также опыта накопленного в ОГАХ по использованию испарительных охладителей [1,2], выбрано, в качестве основного направления повышения эффективности испарительного охлаждения, использование керамических блоков с многоканальной пористой структурой (рис. 1).

Переход на капиллярно-пористые материалы, подобно работам авторов Maisotsenko V., John L. McNab, E.V. Gomes [3-5] обеспечивает в аппаратах традиционного пленочного типа: снижение каплеуноса, уменьшение аэродинамического сопротивления для воздушного потока за счет отсутствия жидкостной пленки и максимально приближает смоченную поверхность насадки к ее конструктивной основе. Традиционно эта задача решается специальной обработкой поверхности (микрошероховатость, профилирование и др.), что далеко и всегда не полностью решает эту задачу.

В отличие от работы Stoitchkov N. J. [11] и публикаций [8,9] использование пористой керамики обеспечивает рост эффективности в процессах совместного теплопереноса в аппаратах испарительного охлаждения воздуха непрямого типа (НИО).

Разработанная насадка представляет собой пористую многоканальную структуру, стенки каналов которой выполнены из пористой керамики.

В первой части исследования провели экспериментальное изучение рабочих характеристик прямого испарительного охлаждения:

1. пленочный режим течения (рис.1Б);
2. циклический режим (рис.1Б); при этом испарительный охладитель работает либо с постоянной, либо с циклической подачей, что позволяет снизить энергозатраты и каплеунос;
3. канальный режим через стенку (рис. 1В); при этом чередуются каналы насадки, "жидкостные" (заполненные водой) с каналами, предназначенными для движения воздушного потока. В этом варианте жидкость, пропитывая керамическую стенку, испаряется с ее поверхности в воздушный поток; отсутствует жидкостная пленка, что снижает аэродинамическое сопротивление так и каплеунос.

В этом разделе преимущественно изучалось прямое испарительное охлаждение воздуха. На рис. 2 приведены результаты испытаний для пленочного режима течения. На рис. 2А показан график зависимости эффективности охлаждения воздуха  $E_A = (t^2 - t^1) / (t^2 - t_m)$  ( $t_m$  – температура воздуха по мокрому термометру) от расхода воздушного потока. Из графика видно, что при изменении расхода воздушного потока эффективность  $E_A$  меняется незначительно. Следовательно,  $E_A$  зависит от изменения расхода воздуха в незначительной степени. На рис. 2Б показан график зависимости эффективности охлаждения воздуха от температуры наружного приточного воздуха. График показывает, что с ростом температуры наружного воздуха, растет и эффективность  $E_A$ . На рис.2В показан график зависимости эффективности от расхода жидкости, из которого видно, что она практически не зависит от расхода жидкости. Следовательно, больший интерес представляет работа с циклической подачей жидкости.

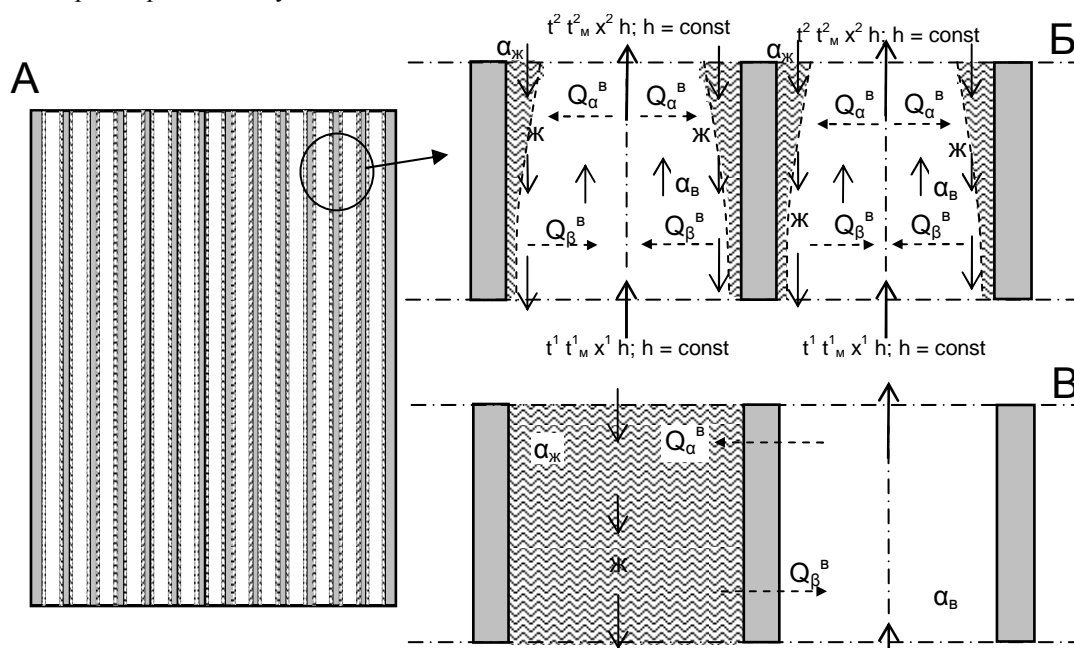
Сравнивая испытания прямого испарительного охлаждения с модулем на основе пористой многоканальной керамики и модуля на основе многослойных поликарбонатных плит [1-2], можно сделать вывод, что использование пористой керамики вполне оправдано, поскольку эффективность охлаждения воздуха превышает ранее полученные значения и составляет  $E_A \approx 0,55-0,67$ , даже при более высоком влагосодержании воздуха.

Таблица 1. Характеристики керамического блока

Ширина, мм	Высота, мм	Длина, мм	Пористость материала, %	Толщина на стенок, мм	Внутренний диаметр канала, мм	Живое сечение модуля	Теплопередающая поверхность, м <sup>2</sup>	Удельная поверхность насадки, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>
150	150	300	62	1,8	9,49	68%	2,105	314

Были проведены испытания прямого испарительного охлаждения ПИО в циклическом режиме, то есть вода подавалась с различным интервалом времени. В проведенном ряде испытаний изменялся как временной интервал подачи воды, так и время включения насоса. Был выявлен оптимальный циклический режим – подача воды через каждые 15 минут в течение 30 секунд. Как видно из рисунка 3А эффективность охлаждения воздуха составляет  $E_A \approx 0,65$ . По сравнению с пленочным режимом  $E_A$  не уменьшилась, а, следовательно, циклический режим можно рекомендовать в перспективе снижения энергозатрат и каплеуноса.

Также проведены испытания ПИО в канальном режиме. Вода заполняла каналы насадки через один ряд (рис. 1В). На рисунке 3Б представлено изменение  $E_A$  по времени. Как видно из рисунка, наблюдается снижение эффективности до значения  $E_A \approx 0,55$ . Можно рекомендовать этот режим в перспективе снижения энергозатрат и каплеуноса.



**Рис. 1.** Разрез керамического блока (А). Вариант с пленочным режимом течения жидкости (Б). Вариант с чередованием каналов насадки, "жидкостные" (заполненные водой) с каналами, предназначенными для движения воздушного потока – канальный режим (В).

#### IV. Анализ возможностей комбинированных испарительно – парокompрессионных систем

В данном разделе выполнен расчетный анализ полученных экспериментальных данных испарительно – парокompрессионных систем различных типов.

На рисунке 4 приведены схемы комбинированных испарительно – парокompрессионных систем охлаждения воздуха и воды различных конфигураций. Исходя из теоретических расчетов на рисунке 5 приведено сравнение изменения энергопотребления этих комбинированных систем в процентах.

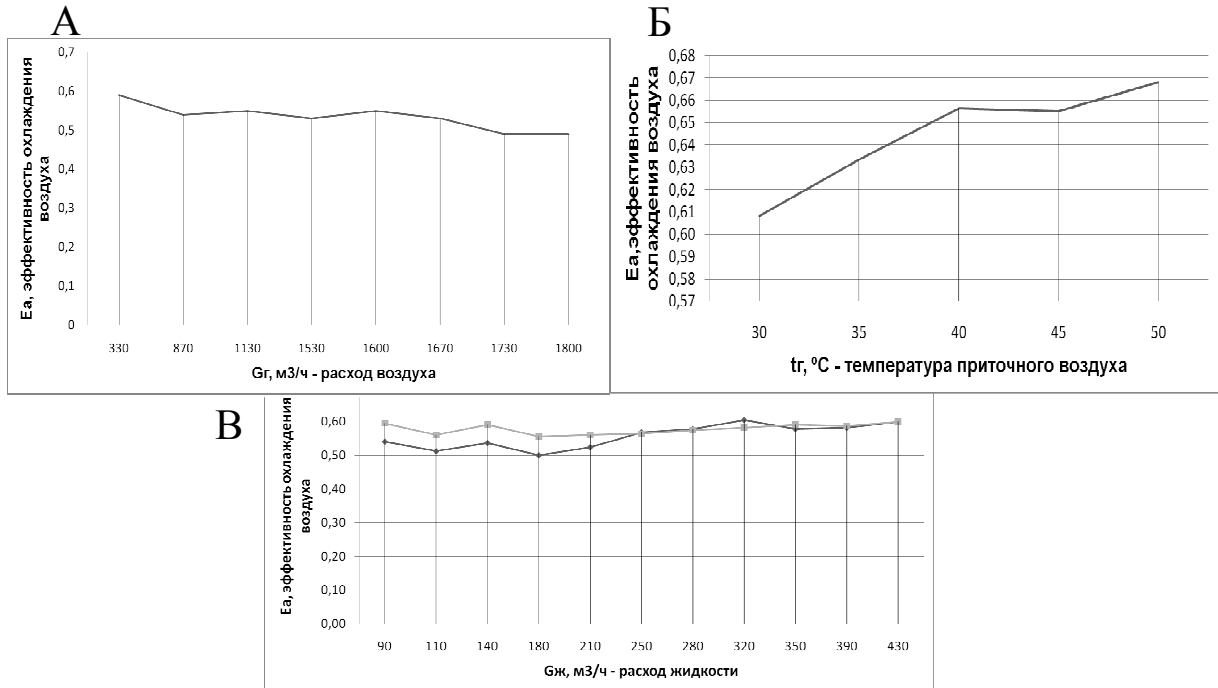
Комбинированная система на основе прямого испарительного охладителя в первой ступени ПИО/ХМ (рис.4А). Охлаждение воздушного потока осуществляется последовательно в первой ступени охлаждения, роль которой исполняет ПИО и затем в испарителе холодильной машины. При этом часть охлажденного в ПИО потока обеспечивает процесс конденсации ХМ, который теперь реализуется не при температуре наружного воздуха, а при температуре близкой к мокрому термометру наружного воздуха, что обеспечивает оптимальную работу ХМ. Для всех рассмотренных комбинированных решений были выполнены расчеты на основе полученных экспериментальных результатов по испарительному охлаждению [1-2] и с использованием программы Coolpack. Расчеты были выполнены на хладагенте R134a, полученные результаты для комбинированных систем практически не зависят от типа хладагента.

Комбинированная система кондиционирования воздуха (СКВ) на основе ПИО-ХМ обеспечивает: снижение энергозатрат на привод парокompрессионной холодильной машины в среднем на 20% и на всю систему на 12% ÷ 14%. Комбинированная СКВ оказывается полностью замкнутой по потребляемой воде при параметрах наружного воздуха  $t_A=32^\circ\text{C}$  и  $X_A>13\text{г/кг}$ , поскольку затраты воды в ступени испарительного охлаждения могут быть полностью компенсированы конденсатом из испарителя холодильной машины.

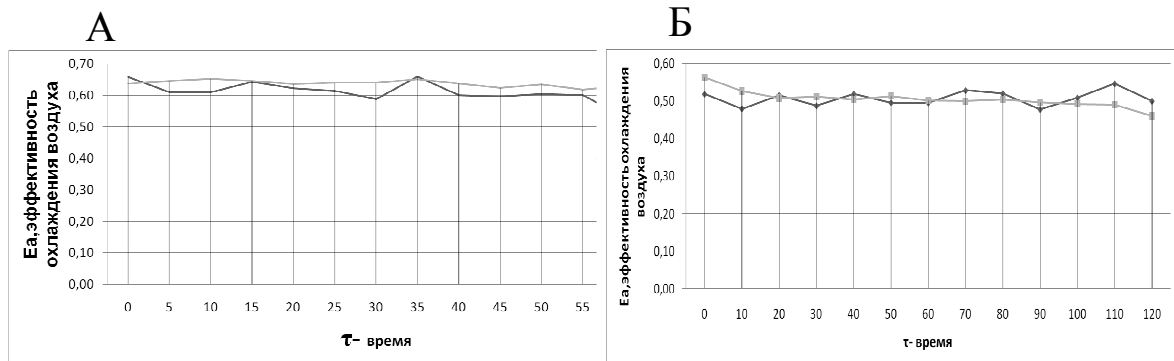
Комбинированная СКВ на основе непрямого испарительного охладителя в первой ступени НИО-ХМ представляет собой двухступенчатый охладитель, первой ступенью которого является «сухая» часть НИО, а второй - испаритель ХМ (рис.4Б) [1-5,11]. Поскольку в НИО всегда есть вспомогательный воздушный поток, выбрасываемый в среду при достаточно низкой температуре, но увлажненный и по этой причине не могущий использоваться в СКВ, именно поэтому он используется для охлаждения конденсатора ХМ. Воздушный поток предварительно (на верхнем температурном уровне) охлаждается в НИО при неизменном влагосодержании и затем уже поступает в испаритель ХМ. Такая система обеспечивает: снижение энергозатрат на привод парокompрессионной холодильной машины в среднем

на 50% и на всю систему на 40% ÷ 45%. Комбинированная СКВ оказывается полностью замкнутой по потребляемой воде при параметрах наружного воздуха  $t_A=32^\circ\text{C}$  и  $X_A>12\text{г/кг}$ , поскольку затраты воды в ступени испарительного охлаждения могут быть полностью компенсированы конденсатом из испарителя холодильной машины.

Для стран с сухим и жарким климатом рекомендуется использовать системы утилизации с режимом двухступенчатого испарительного охлаждения приточно-вытяжного воздуха без использования ХМ, что приводит к значительному снижению капитальных затрат на СВК и уменьшению эксплуатационных затрат на электроэнергию.



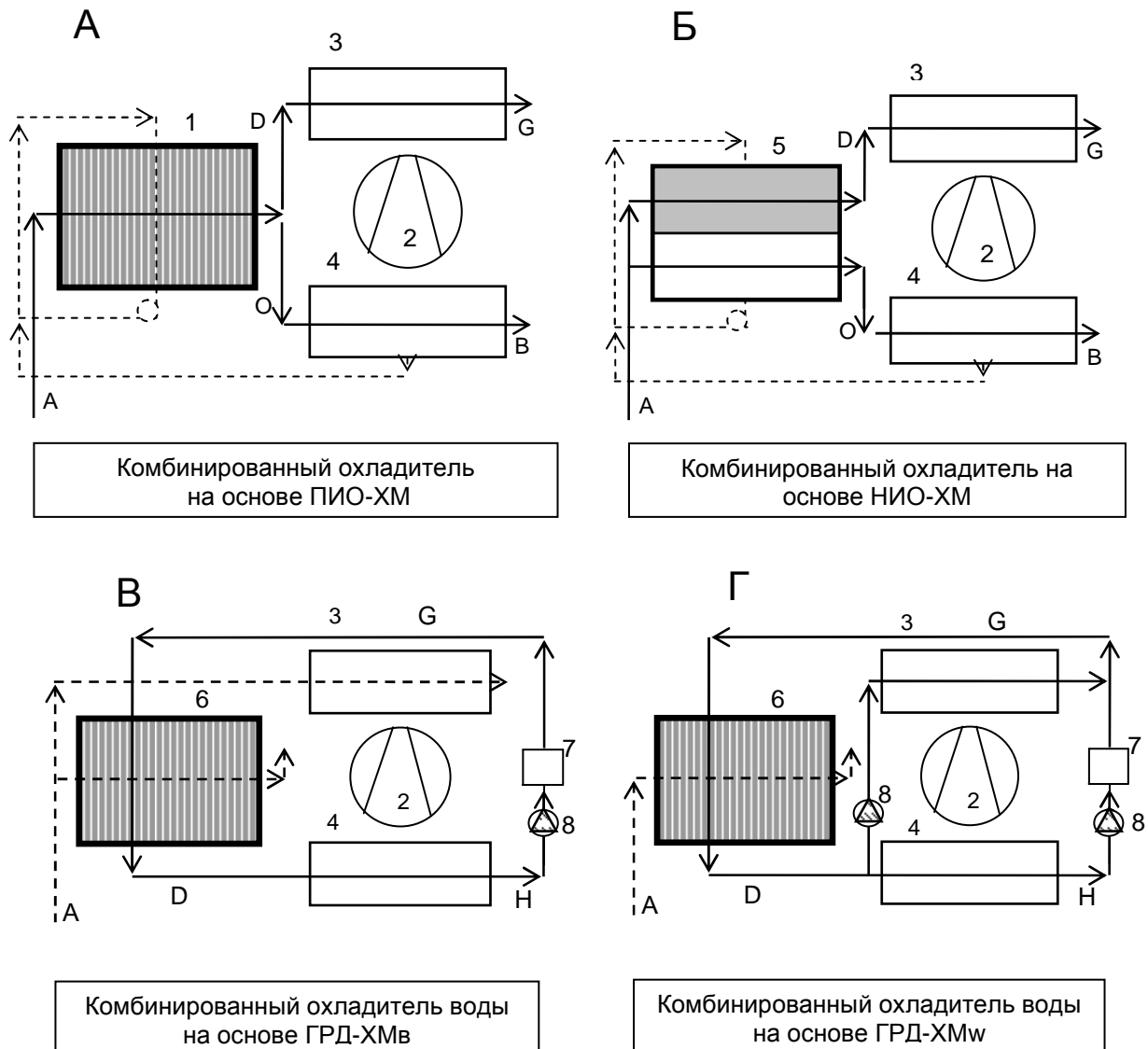
**Рис. 2.** Экспериментальное исследование процессов прямого испарительного охлаждения воздуха на насадке из пористой керамики для пленочного режима течения.



**Рис. 3.** Экспериментальное исследование испарительного охлаждения воздуха на насадке из пористой керамики.

А – циклический режим. Изменение эффективности охлаждения воздуха  $E_A$  от времени. Параметры воздуха в помещении:  $t_r=28,2^\circ\text{C}$ ;  $X_r=16,5$  г/кг. Показаны две кривые, так как температуры снимались по термопарам и стеклянным термометрам.

Б – каналный режим. Изменение эффективности охлаждения воздуха  $E_A$  от времени. Параметры воздуха в помещении:  $t_r=30,6^\circ\text{C}$ ;  $X_r=9,6$  г/кг.



**Рис. 4.** Схемные решения комбинированных испарительно – парокompрессионных систем  
 А. Схема прямого испарительно – парокompрессионного охладителя воздуха ПИО-ХМ. Б. Схема непрямого испарительно – парокompрессионного охладителя воздуха НИО-ХМ. В. Схема испарительно – парокompрессионного охладителя воды с воздушным конденсатором ГРД-ХМв. Г. Схема испарительно – парокompрессионного охладителя воды с водяным конденсатором ГРД-ХМw.

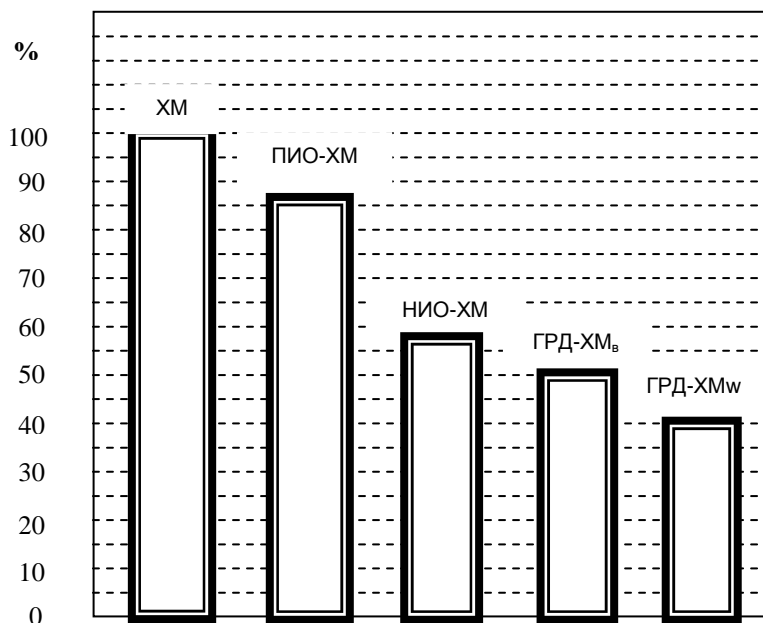
Обозначения: 1 – ПИО; 2 – ХМ; 3 – конденсатор; 4 – испаритель; 5 – НИО; 6 – градирня (ГРД); 7 – фэнкойл; 8 – насос.

Комбинированная СКВ на основе ГРД-ХМв с воздушным конденсатором (рис.4В). Насос 8 подает охлажденную воду от испарителя холодильной машины в фэнкойл 7, тем самым охлаждая кондиционируемое помещение. Далее нагретая вода поступает в градирню 6, где и происходит ее охлаждение в первой ступени комбинированной системы. Во второй ступени вода охлаждается и испарителе 4 ХМ. Насос 8 обеспечивает циркуляцию воды в жидкостном контуре данной системы. Штриховой линией показано распределение воздушного потока. Данная система обеспечивает снижение энергозатрат на привод парокompрессионной холодильной машины в среднем на 50%.

Комбинированная СКВ на основе ГРД-ХМw (рис.4Г). Отличие данной комбинированной системы от предыдущей системы заключается только в наличии водяного конденсатора. Часть охлажденной воды в градирне реализует процесс конденсации ХМ, что обеспечивает работу ХМ в любых климатических

условиях. Данная система обеспечивает снижение энергозатрат на привод парокомпрессионной холодильной машины в среднем на 60%, что более эффективнее, чем система ГРД-ХМв с воздушным конденсатором.

Для стран с сухим и жарким климатом рекомендуется использовать системы утилизации с режимом двухступенчатого испарительного охлаждения приточно-вытяжного воздуха без использования ХМ, что приводит к значительному снижению капитальных затрат на СВК и уменьшению эксплуатационных затрат на электроэнергию.



ХМ - энергопотребление холодильной машины в %;

ПИО-ХМ - энергопотребление комбинированной системы ПИО-ХМ в %;

НИО-ХМ - энергопотребление комбинированной системы НИО-ХМ в %;

ГРД-ХМв - энергопотребление комбинированной системы ГРД-ХМ с воздушным конденсатором в %;

ГРД-ХМw – энергопотребление комбинированной системы ГРД-ХМ с водяным конденсатором в %;

**Рисунок 5.** Сравнение изменения энергопотребления комбинированных систем в процентах по отношению к энергопотреблению холодильной машины.

## ВЫВОДЫ

1. Наиболее перспективно использование аппаратов пленочного типа с многоканальной пористой керамической структурой насадки.

2. Применение многоканальных керамических блоков в пленочном режиме течения показало, что эффективность охлаждения воздуха находится в пределах от  $E_A = 0,6 \div 0,7$  и мало зависит от расхода жидкости. Это приводит к значительному сбережению энергии.

3. Для стран с сухим и жарким климатом, где запасы воды ограничены, рекомендуется использовать циклический режим  $E_A \approx 0,65$ , либо каналный режим со значением  $E_A \approx 0,55$ . Это приводит к значительному сбережению энергии.

4. Использование пористой керамики в режиме ГРД вполне оправдано, поскольку степень охлаждения воды находится на уровне с ранее полученными значениями и составляет  $E_{ж} \approx 0,65 \div 0,7$  (даже при значительно высшем влагосодержании воздуха). А при определенном уровне расхода воды  $E_{ж}$  стремится к 1. Значения  $E_{г} \approx 0,3 \div 0,45$ , что превышают ранее полученные результаты.

5. Комбинированные испарительно – парокомпрессионные системы охлаждения воздуха и воды обеспечивают снижение энергозатрат на 14-60% в зависимости от их типа и назначения и позволяют существенно снизить негативное влияние холодильной машины на окружающую среду.

6. Комбинированная СКВ оказывается полностью замкнутой по потребляемой воде при параметрах наружного воздуха  $t_A=32^\circ\text{C}$  и  $X_A>13\text{г/кг}$  (в системе ПИО/ХМ) и при  $t_A=32^\circ\text{C}$  и  $X_A>12\text{г/кг}$  (в системе НИО/ХМ), поскольку затраты воды в ступени испарительного охлаждения могут быть полностью компенсированы конденсатом из испарителя холодильной машины.

7. Использование испарительного охлаждения в первой ступени комбинированной системы позволяет уменьшить нагрузку на конденсатор холодильной машины, снижая температуру конденсации, что в свою очередь позволяет применять комбинированные системы таких типов в любых климатических условиях.

## 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] Дорошенко А.В. Компактная тепломассообменная 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.
- [3] Maisotsenko V., Lelland Gillan, M. 2003, The Maisotsenko Cycle for Air Desiccant Cooling 21<sup>st</sup> International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C.
- [4] John L. McNab, PAUL McGregor/ 2003, Dual Indirect Cycle Air-Conditioner Uses Heat Concentrated Dessicant and Energy Recovery in a polymer Plate Heat Exchanger. 21<sup>st</sup> International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0646.
- [5] E.V. Gomes, F.J. Rey Martinez, F. Varela Diez, M.J. Molina Leyva, R. Herrero Martin. Description and Experimental results of a semi-indirect ceramic evaporative cooler. Int/ Journal of Refrigeration. 28-2005.-P. 654-662.
- [6] 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.
- [7] Jose Rui Camargo, Carlos Daniel Ebinuma, Jose Luz Silveira, Experimental performance of a direct evaporative cooler operating during summer in a Brazilian city. Int. J. Refrig., vol. 21, (28) – 2005. - P. 1124-1132.
- [8] Davis Energy Group”, California, Energy Commission, 2004.
- [9] Torcollini P., National Renewable Energy Laboratory, 2003.
- [10] Energy Conservation and Management Division (Energy, Minerals and Natural Resources Department), 2002.
- [11] 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.
- [12] Koltun, P. Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternative Air-Conditioning Systems. P. Koltun, S. Ramakrishnan, A. Doroshenko, M. Kontsov. 21<sup>st</sup> International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0140, 2003. P. 45-57

## Сведения об авторах:



**Дорошенко Александр Викторович** – профессор, доктор технических наук. Область научных интересов: тепломассообмен, гидроаэродинамика, двухфазные потоки, альтернативная энергетика, холодильная и криогенная техника. E-mail: dor\_av@i.ua



**Чебан Дмитрий Николаевич** – аспирант. Область научных интересов: кондиционирование воздуха, испарительное охлаждение, альтернативная энергетика. E-mail: chebandima@yandex.ru