

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТОҢАЗЫТУ АКАДЕМИЯСЫ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION**



**VII ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2017»**

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2017»**

**VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2017»**

**Конференция баяндамаларының жинағы
15-16 наурыз, 2017 ж.**

**Сборник докладов конференции
15-16 марта 2017 г.**

**Proceedings of the Conference
March 15-16, 2017**

Алматы, 2017

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392
К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией
доктора технических наук, академика **Кулажанова Т.К.**

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Бараненко А.В., Кантарбаев Р.А.,
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ.секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2017: Сб. докл. межд.науч.-техн. конф. (15-16 марта 2017 г.) – Алматы: АТУ, 2017. – 285 с.

ISBN 978-601-263-389-4

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в Казахстане, Германии, России, Японии и Украине по следующим направлениям: холодильная техника и компрессоростроение, теплохладоснабжение, системы кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения, экология в холодильной промышленности, холодильная и пищевая технология. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также на специалистов по системам кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения жилых, коммерческих зданий и спортивных комплексов.

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-389-4

© АТУ, 2017

ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ ОХЛАДИТЕЛИ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ

*Дорошенко А.В., доктор тех наук, Жук К.Б., инженер
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина
E-mail: kbzhuk@yahoo.com*

Значительный интерес в мировой науке и практике к возможностям испарительного охлаждения продиктован их высокими энергетическими показателями и экологической эффективностью. Если к этому добавить чрезвычайно широкую область практического использования (традиционная и альтернативная энергетика, холодильная техника, системы обеспечения комфорта), то становится очевидным возрастающий интерес к подобным системам.

Постановка задачи.

Широкое распространение тепломассообменных аппаратов для испарительного охлаждения в последние годы получили аппараты пленочного типа с использованием полимерных многоканальных структур.

Серьезной проблемой являются проблема смачиваемости поверхности и ее решение возможно двумя путями:

1. Формирование каналов сложного лабиринтного сечения и волнообразные поверхности ивого сечения.
2. Дополнительная обработка плоской поверхности теплообмена для увеличения площади контакта водяной пленки.

Авторами были использованы следующие решения: наклеивание на поверхность контакта водяной пленки текстильных тканей натурального и искусственного происхождения (флизелин), а также нанесение регулярной шероховатости механическим путем (шлифование абразивными материалами). Насадки изготавливались из поликарбонатного ячеистого профиля толщиной 10 мм, с двумя поверхностями теплообмена имевших толщину стенок 0,5 мм.

По результатам экспериментов с различным качеством шероховатости и методами её создания, было принято решение перехода на капиллярно-пористые материалы.

Для создания модулей с капиллярно-пористой поверхностью использовались керамические трубы диаметром 28 мм, толщиной стенки 3 мм и микропорами размером $1,9 \div 2,06$ мкм.

Для режима градири жидкость циркулировала в трубах, а воздушный поток в межтрубном пространстве. При этом практически отсутствует срыв капель воздушным потоком, а проницаемость материала обеспечивает 100% использование поверхности тепломассообмена.

Экспериментальное оборудование и задачи исследования.

Экспериментальный стенд для исследования косвенно-испарительного охладителя (НИО) и испарительного охладителя (ПИО) (Рис.1) представляет собой систему воздухопроводов, замкнутую по схеме «воздушно-паровая петля» с контрольно-измерительным оборудованием и оборудованием для создания заданных параметров эксперимента.

Модуль ПИО (НИО) включает в себя головную камеру и системы подготовки потоков. Головная часть стенда – рабочая и водораспределительная, она включает в себя водосборную камеру и три диффузора (входа потока наружного воздуха, выхода основного и вспомогательного воздушного потока). В накопительно-рециркуляционной емкости (3) происходит замер температуры при помощи лабораторных термометров ТЛ-4 с ценой деления $0,1$ °C. На выходе из емкости определяется расход воды при помощи ротаметра. Из емкости вода подаётся в водораспределители при помощи электроприводного насоса, расход воды регулируется плавным изменением напряжения, подаваемого на электродвигатель и вентилем (8). Расход жидкости измеряется при помощи ротаметра типа РС-5 или РС-7. Применяются водораспределители (9) трубчатого (распылительного) типа. Подача потока наружного воздуха осуществляется центробежным вентилятором (2) марки ЦС (12 ЦС 24; 24 ЦС 24). Непосредственно перед вентилятором воздух подогревается калорифером (1), что позволяет регулировать относительную влажность воздуха, входящего в аппарат. На входе потока воздуха в ПИО (НИО), а также на выходах основного и вспомогательного потоков стоят датчики отбора давления, ртутные термометры и термометры сопротивления для измерения параметров воздуха, замеры производятся в диффузорах. Для регулирования расхода основного и вспомогательного воздушных потоков используются регулировочные шиберы (7, 10, 11).

Схема движения потоков воздуха в модуле ПИО (НИО) представлена на Рисунке 2. Схемы подключения модулей ПИО (НИО) показаны на Рисунке 3.

Аэродинамическое сопротивление испытуемых модулей определялось по разности статических давлений, измеренных на входе и выходе ПИО (НИО). Датчики отбора давлений устанавливаются в диффузорах перпендикулярно направлению потоков. Разность статических давлений измерялась микроманометром ММ-250. Для измерения температур используются термометры ТЛ-4 с ценой деления 0,1°C. В период испытаний в лаборатории находились барометр-анероид с ценой деления 1 мм. рт. ст. и лабораторный термометр ТЛ-4 с ценой деления 0,1°C.

Эффективность процесса испарительного охлаждения. Определение величин коэффициентов обмена зачастую не может быть признано удовлетворительным из-за наличия трудностей, связанных с правильным усреднением движущих сил по высоте аппарата. Определение действительной поверхности обмена является задачей чрезвычайно сложной, особенно применительно к аппаратам пленочного типа с высокой плотностью насадочного слоя. Это привело к развитию эмпирических методов, основанных на использовании коэффициентов эффективности процесса. Они позволяют провести анализ и представить опытные данные в виде простом и удобной для проектирования испарительных охладителей. В качестве естественного предела охлаждения воды в градирне принято рассматривать температуру воздуха по мокрому термометру на входе в аппарат $t_{\text{ж}}^1$. На выходе из аппарата, в качестве предельного рассматривают состояние насыщенного воздуха, имеющего температуру поступающей на охлаждение воды $t_{\text{ж}}^1$ (воздух с энтальпией h_r^{2*}). Эффективность охлаждения воды в градирне и эффективность изменения состояния воздуха можно характеризовать величинами:

$$E_{\text{ж}} = \frac{Wc_{\text{ж}}(t_{\text{ж}}^1 - t_{\text{ж}}^2)}{Wc_{\text{ж}}(t_{\text{ж}}^1 - t_{\text{м}}^1)} = \frac{(t_{\text{ж}}^1 - t_{\text{ж}}^2)}{(t_{\text{ж}}^1 - t_{\text{м}}^1)}, E_{\text{г}} = \frac{G_{\text{г}}(h_{\text{г}}^2 - h_{\text{г}}^1)}{G_{\text{г}}(h_{\text{г}}^{2*} - h_{\text{г}}^1)} = \frac{(h_{\text{г}}^2 - h_{\text{г}}^1)}{(h_{\text{г}}^{2*} - h_{\text{г}}^1)} \quad (1)$$

Величина $E_{\text{ж}}$ равна отношению фактически отведенного от воды тепла к предельному количеству, определяемому равенством $(t_{\text{ж}}^2 = t_{\text{м}}^1)$. Величина $E_{\text{ж}}$ характеризует только одну сторону процесса в аппарате. Величина $E_{\text{г}}$ равна отношению тепла, вынесенного из аппарата потоком воздуха к предельному его количеству, определяемому равенством $h_{\text{г}}^2 = h_{\text{г}}^{2*}$. Очевидно, чем выше, при данном $E_{\text{ж}}$, степень использования воздуха, тем ниже расход энергии на привод вентилятора водоохладителя и ниже удельные энергозатраты. Следует предположить наличие зависимостей:

$$E_{\text{ж}} = f(l = G_{\text{г}}/G_{\text{ж}}, t_{\text{ж}}^1, t_{\text{м}}^1) \text{ и } E_{\text{г}} = f(l = G_{\text{г}}/G_{\text{ж}}, t_{\text{ж}}^1, t_{\text{м}}^1) \quad (2)$$

Реальные значения пределов охлаждения воды и нагревания воздуха определяются, помимо значений $t_{\text{м}}^1$ и $t_{\text{ж}}^1$, соотношением потоков $l = G_{\text{г}}/G_{\text{ж}}$. В зависимости от величины $l = G_{\text{г}}/G_{\text{ж}}$ состояние равновесия может иметь место на верхнем либо нижнем концах охладителя [1-2]. Одновременно на обоих концах равновесие не наступает, что объясняется кривизной линии насыщения. В общем случае новые значения пределов процесса при испарительном охлаждении определяются:

$$t_{\text{м}}^0 = f(t_{\text{ж}}^1, t_{\text{м}}^1, l = G_{\text{г}}/G_{\text{ж}}); \quad h_{\text{г}}^0 = f(t_{\text{ж}}^1, t_{\text{м}}^1, l = G_{\text{г}}/G_{\text{ж}}) \quad (3)$$

Анализ полученных результатов

Характер протекания процесса изменения состояния воздушного потока по высоте аппарата показан на рис. 2 для градирни ГРД. Результаты изучения процесса испарительного охлаждения воды приведены в виде зависимости эффективности процесса (степени охлаждения воды в градирне) от характеристического числа $\Lambda = l / l_{\text{ид}}$, где $l = G_{\text{г}}/G_{\text{ж}}$. Величина соотношения потоков $l = G_{\text{г}}/G_{\text{ж}} \approx 1,0$, при этом плотность орошения составляла $q_{\text{ж}} = 5-18 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$. Можно видеть, что, сравнительно с ранее полученными результатами в работе [2] на насадках из алюминиевой фольги, и РН из многоканальных поликарбонатных плит [1] эффективность процесса существенно возрастает. Полученные результаты применительно к процессу испарительного охлаждения воды могут быть описаны уравнениями [1-2]:

$$E_{\text{ж}} = c(1 - e^{-1.1\Lambda}), \quad E_{\text{г}} = c(1 - e^{-1.1\Lambda})\Lambda^{-1} \quad (4)$$

Значение постоянной величины «с» в этих уравнениях, в среднем, составляет: $c = 0.88-0.9$. Для ГРД с насадкой из алюминиевой фольги $c = 0.82-0.84$ [2]; для насадок из полимерных материалов $c = 0.86-0.87$ [1]. Увеличение показателя для ТМА из КПМ обеспечивает реальный рост поверхности переноса в единице объема слоя насадки за счет задержки жидкости.

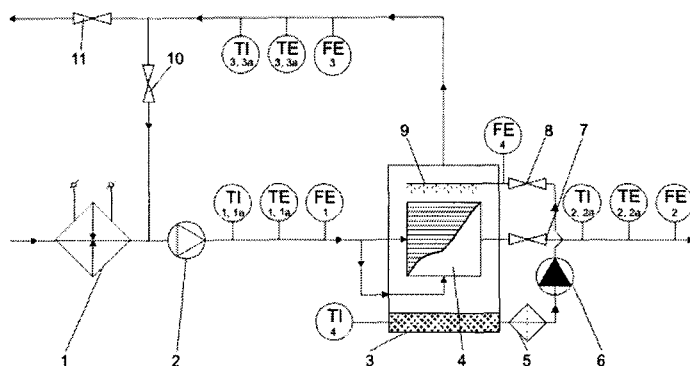


Рисунок 1 – Принципиальная схема стенда.

На схеме цифрами указаны: 1 – электро-калорифер, 2 – вентилятор, 3 – центральная часть стенда с емкостью для циркулирующей воды, 4 – испытуемый модуль, 5 – водяной фильтр, 6 – водяной насос, 7, 10, 11 – воздушные шиберы, 8 – регулирующий вентиль, 9 – ороситель.

Условные обозначения: TE – ртутные термометры с указанием точки замера, номер точки без индекса по сухому термометру, с индексом «а» – по влажному термометру; TI – термопары с указанием точки замера, номер точки без индекса по сухому термометру, с индексом «а» – по влажному термометру; FE – расходомеры измеряемой среды. Точки замера 1 – полный поток, 2 – основной поток, 3 – вспомогательный поток, 4 – рециркулирующая вода.

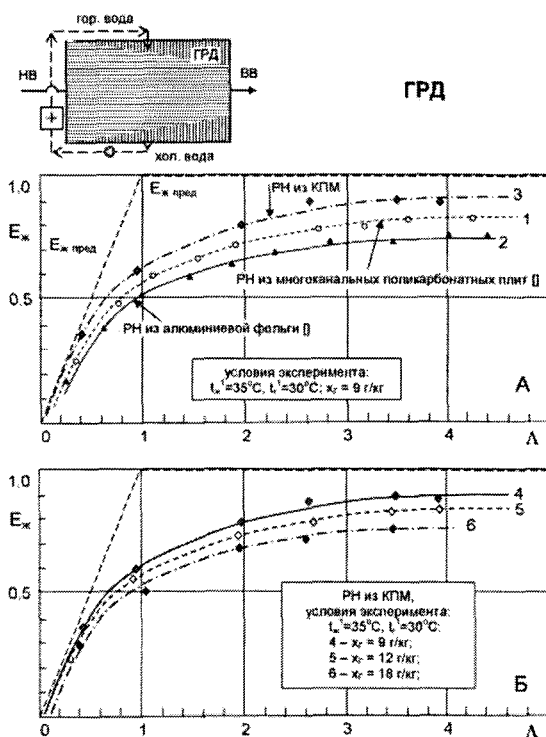


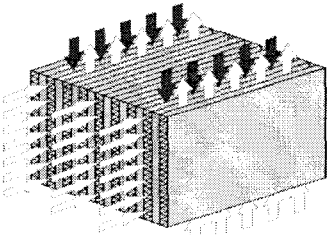
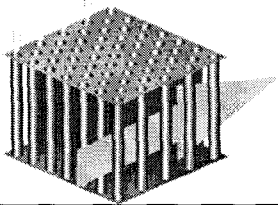
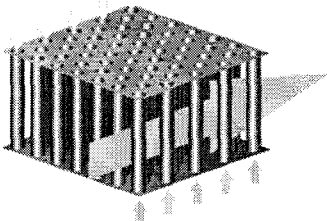
Рисунок 2 -. Эффективность процесса охлаждения воды в градирне ГРД, как функция характеристического числа Λ . Экспериментальные данные на насадках из алюминиевой фольги, полимерных многоканальных плит и микропористых керамических пластин (КПМ) при поперечноточной схеме контактирования воды и воздуха.

1 – на насадке из многоканальных многослойных поликарбонатных плит ПМ с параметрами слоя: $d_3 = 15\text{мм}$, $L_{PH} = 400\text{мм}$;

2 – по данным работы [1] на насадке из алюминиевой гофрированной фольги А1 с параметрами насадочного слоя: $d_3 = 12\text{мм}$; $L_{PH} = 400\text{мм}$;

3 – на насадке из микропористых керамических пластин КПМ с параметрами слоя насадки: $d_3 = 18\text{мм}$; $L_{PH} = 450\text{мм}$.

Таблица 1. Характеристики и схемы потоков для различных испытываемых насадок.

Эскизы насадок и схемы потоков	Краткое описание и прочие характеристики
	Для режимов непрямого испарительного охлаждения воздуха. Материал: поликарбонат. Поверхности: гладкая, обклейка синтетическим пористым материалом, покрытие натуральной тканью, механическая шероховатость. Габаритные размеры, Н×W×L, мм: 0,37×0,37×0,34. Площадь поверхности теплообмена, м²: 5,2. Живое сечение основного потока, м²: 0,0062 Живое сечение вспомогательного потока, м²: 0,0067
	Для режима прямого испарительного охлаждения воды или воздуха. Материал: керамическая трубка. Шахматный пучок по ходу воздушного потока. Габаритные размеры, Н×W×L, мм: 0,2×0,162×0,216. Площадь поверхности теплообмена, м²: 1,758. Живое сечение по воздуху, м²: 0,0038. Живое сечение по воде, м²: 0,0156.
	Для режима непрямого испарительного охлаждения воздуха. Материал: керамическая трубка. Габаритные размеры, Н×W×L, мм: 0,2×0,162×0,216. Площадь поверхности теплообмена, м²: 1,758. Гигроустойчивые со стороны основного потока поверхности, живое сечение, м²: 0,0038. Микропористая поверхность со стороны вспомогательного потока, живое сечение, м²: 0,0156.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтернативная энергетика. Солнечные системы тепло-хладоснабжения: монография /А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман. – Одесса: ОНУ, 2012. – 446 с
2. Дорошенко А. 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. Chen, G.M., Zheng, J., Doroshenko, A., Shestopalov, K., 2014a. Design and modeling of a collector-regenerator for solar liquid desiccant cooling system, International Sorption Heat Pump Conference, Washington.
4. Chen, G.M., Doroshenko, A.V., Shestopalov, K.O., Khliyeva, O.Y., 2014b. Evaporative coolers of water and air for cooling systems. Analysis and perspectives, 11th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Hangzhou.
5. Doroshenko, A., Shestopalov, K., Khliyeva, O., 2014. Development of new schematic solutions and heat and mass transfer equipment for alternative solar liquid desiccant cooling systems, International Sorption Heat Pump Conference, Washington.

УДК 536.248.2 : 532.529.5

РАЗРАБОТКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОДООХЛАДИТЕЛЕЙ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ТИПА И АНАЛИЗ ИХ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

*Дорошенко А.В., д.т.н., Цапушел А.Н, аспирант
 Одесская государственная академия холода Украина
 E-mail: andrei.tsapushel@yandex.ua*

Применение испарительных охладителей сред (ИО) ограничено климатическими условиями региона, в первую очередь относительной влажностью наружного воздуха, определяющей естественный предел испарительного охлаждения. Применительно к автономным испарительным охладителям (ИО) газов и жидкостей задача состоит в их совершенствовании и расширении области практического применения методов ИО, путем снижения естественного предела испарительного охлаждения, совершенствовании тепломассообменной аппаратуры ИО пленочного типа, основанной