

## Direct Evaporative Coolers of Gases and Liquids with Lowered Limit of Cooling

Doroshenko A.V., Kirillov V.H., Ludnitsky K.V., Goncharenko V.A.  
Odessa National Academy of Food Technologies  
Odessa, Ukraine

**Abstract.** We have developed main technical solutions of indirect evaporative water and air coolers with decreased cooling limit. Packed part of heat-mass transfer devices of the film type is implemented based on monoblock multichannel compositions of polymer materials. A mathematical model describing the processes of joint heat and mass transfer in evaporative coolers is proposed. A comparative analysis of the possibilities of coolers designed based on experimental data on the efficiency of processes of heat and mass transfer.

**Keywords:** indirect evaporative cooling, heat and mass transfer equipment, film flow.

**Răcire evaporativă de gaze și de lichide, de tip indirect cu limită de răcire scăzută**  
Doroșenco A.V., Kirillov V.H., Liudnițky K.V., Gonciarenco V.A.  
Academia Națională de Tehnologii Alimentare din Odesa  
Odesa, Ucraina

**Rezumat.** Sunt elaborate soluțiile principale ale evaporatoarelor de tip indirect pentru răcirea apei și aerului cu limită de răcire scăzută. Partea de ajutor a dispozitivelor de transfer termic și de masă este realizată pe bază compozițiilor de tip monobloc cu multe canale din materiale polimerice. Se propune un model matematic care descrie procesele de transfer de căldură și de masă comune în răcitoarele evaporative și este efectuată analiza comparativă a răcitoarelor elaborate pe baza datelor experimentale ale eficienței proceselor de schimb de masă și de căldură.

**Cuvinte-cheie:** răcire evaporativă indirectă, aparate de schimb de masă și de căldură, fluxuri peliculare.

**Испарительные охладители газов и жидкостей непрямого типа со сниженным пределом охлаждения**

Дорошенко А.В., Кириллов В.Х., Людницкий К.В., Гончаренко В.А.,  
Одесская национальная Академия пищевых технологий,  
Одесса, Украина

**Аннотация.** Разработаны принципиальные решения испарительных водо- и воздухоохладителей непрямого типа со сниженным пределом охлаждения. Насадочная часть тепло-массообменных аппаратов пленочного типа выполнена на основе моноблочных многоканальных композиций из полимерных материалов. Предложена математическая модель, описывающая процессы совместного тепло-массообмена в испарительных охладителях. Выполнен сравнительный анализ возможностей разработанных охладителей на основании экспериментальных данных по эффективности процессов тепло-массообмена.

**Ключевые слова:** не прямое испарительное охлаждение, тепло-массообменная аппаратура, пленочные течения.

### Введение

#### Введение.

Практический интерес к возможностям испарительных охладителей (ИО) газов и жидкостей непрерывно растет, о чем свидетельствуют публикации в ведущих мировых научных изданиях. Особый интерес вызывают ИО непрямого типа со сниженным пределом охлаждения [1-2, 4, 8, 10-11]. Разработанные решения охватывают нужды энергетики, традиционного и альтернативного типов, химической и пищевой промышленности и позволяют решать задачи охлаждения, не прибегая к традиционной

парокомпрессионной технике. Это позволяет также существенно улучшить их эко-энергетические показатели [9].

### I. Испарительные воздухоохладители непрямого типа со сниженным пределом охлаждения. Основные принципиальные решения

В испарительном воздухоохладителе непрямого типа НИОг (рис. 1), получившем наибольшее распространение в последние годы [1-2, 10-11], полный воздушный поток ( $\Pi$ ), поступающий на охлаждение, делится на две части. Вспомогательный поток воздуха

(В) поступает в «мокрую» часть охладителя, где контактирует с водяной пленкой, стекающей по поверхностям канала и обеспечивает испарительное охлаждение воды, которая, в свою очередь, охлаждает бесконтактно, через разделяющую стенку, основной воздушный поток (О), – рис. 1А и Б. Этот «продуктовый» поток воздуха охлаждается при неизменном влагосодержании, что обеспечивает преимущества при создании на основе НИО систем кондиционирования воздуха ССКВ.

На основе НИО может быть построен комбинированный низкотемпературный водоохладитель по формуле [НИО-ГРД], где испарительный водоохладитель, градирня (ГРД), работает на основном, охлажденном в НИО, воздушном потоке. В этом случае предел испарительного охлаждения для градирни (температура поступающего в нее воздуха по мокрому термометру), существенно ниже, чем у наружного воздуха.

Вспомогательный воздушный поток «В» выносит все тепло из НИО 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 воздуха. Эта температура зависит от соотношения воздушных потоков в НИО, основного и вспомогательного, и является пределом охлаждения для обоих воздушных потоков.

Испарительные воздухоохладители могут быть обычного (НИО, рис. 1А и Б) и регенеративного типов (рис. 1В, НИО/Р) [1, 8], отличаясь местом разделения воздушного потока, поступающего в охладитель. 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 охлаждение в «сухой» части охладителя и пределом охлаждения, в принципе, является температура точки росы наружного воздуха. Такая схема предпочтительна для глубокого охлаждения сред, но характеризуется и более высоким уровнем энергозатрат. обстоятельному изучению возможностей охладителя регенеративного типа НИО/Р посвящены исследования В. Майсоценко [8].

На рис. 2 представлены соответствующие варианты испарительных водоохладителей НИОж и НИОж/Р, в целом, аналогичные по смыслу рассмотренным воздухоохладителям НИОг. Здесь, вместо основного «сухого» канала для «продуктового» воздушного потока, появляется такой же канал-водоохладитель для «продуктовой» охлаждаемой воды, поступающей потребителю. В НИОж имеется два водяных потока, один, рециркуляционный (8), через «мокрые» каналы, где водяная пленка находится в прямом контакте с воздушным потоком, и второй, «продуктовый» (9), где вода, поступающая потребителю, охлаждается бесконтактно с воздухом. Это важный момент для систем охлаждения, поскольку наружный воздух вносит в аппарат загрязнения, что может приводить к отложениям на поверхностях теплообмена и к возникновению слабых растворов кислот, к чему приводит абсорбция различных ингредиентов из наружного воздушного потока. Такие системы охлаждения иногда называются «двухконтурными градирнями». Они особенно целесообразны при охлаждении электронной аппаратуры или в медицинской промышленности, где требуется высокая чистота охлаждающего потока. Решение представлено в противотоковом и поперечноточном вариантах контакта рециркулирующей через охладительные каналы воды и воздушного потока (А и Б, соответственно).

Особый интерес представляет вариант охладителя-чиллера НИОж/Р, где часть охлажденной воды используется для предварительного охлаждения наружного воздуха в теплообменнике 11 (рис. 2В). Это перспективное решение обеспечивает глубокое охлаждение воды и, в известной мере, аналогично решению для воздухоохладителя НИОг/Р. В принципе, это аналогично и решению низкотемпературного комбинированного охладителя по формуле [НИО-ГРД], с той разницей, что реализуется в едином теплообменном аппарате.

На рис. 3 представлены основные элементы и принципы компоновки воздухоохладителей НИОг. Насадка НИО составлена из «сухого» (1) и «мокрого» (2) элементов (многоканальных плит), каналы в которых имеют взаимно перпендикулярные направления. «Мокрая» часть насадки НИО комплектуется водораспределителем (3) и

водосборником (4). Поскольку вспомогательный воздушный поток покидает аппарат достаточно холодным (его температура практически равна температуре основного продуктового воздушного потока, а основную часть тепла он выносит из системы в «связанном» виде), целесообразно использование этого потенциала для предварительного охлаждения, например, поступающего в НИО полного воздушного потока.

«Мокрые» каналы насадки, предназначенные для непосредственного взаимодействия вспомогательного воздушного потока и рециркулирующей воды, имеют сложную форму, обеспечивающую хорошее распределение жидкости (включая задержку жидкости, которая обеспечивает реальную поверхность теплообмена в аппарате), стекающей по поверхности элементов насадки. Схема контактирования по воздушным потокам поперечноточная, и, в «мокрой» части, по воде и вспомогательному воздушному потоку, противоточная. Величина эквивалентного диаметра каналов одинакова для «сухой» и «мокрой» частей насадки, и, в зависимости от решаемой задачи, в среднем составляет:  $d = 15 - 20$  мм [1-2].

Регенеративный вариант воздухоохладителя непрямого типа НИО/Р представлен на рис. 3В. Принцип устройства и образования моноблока здесь полностью идентичен рассмотренному выше для НИО, с той разницей, что разделение полного воздушного потока (П) происходит не на входе в моноблок, а на выходе, так что полный воздушный поток предварительно охлаждается в «сухой» части аппарата, что повышает потенциал охлаждения от ступени к ступени аппарата.

## II. Моделирование процессов совместного теплообмена в испарительном воздухоохладителе непрямого типа

Для описания процессов теплообмена при условии материальной однородности потоков выделим элемент насадки протяжённостью  $0 \leq x \leq H$ ,  $-a \leq y \leq b$ ,  $0 \leq z \leq L$  (рис. 4В). Основной поток воздуха охлаждается через разделяющую стенку за счёт испарительного охлаждения воды, стекающей в виде плёнки. При этом вспомогательный воздушный поток

находится в непосредственном контакте с жидкостью (схемы контактирования потоков газа и жидкости в «мокрых» каналах рассмотрены как прямо- так и противоточная, А и Б, соответственно).

Основные уравнения совместного теплообмена в «мокрой» части ТМА (конвекция и диффузия) и конвективного теплообмена в его «сухой» части, а также соответствующие условия сопряжения в форме уравнений пограничного слоя [1-2]:

– для жидкости ( $0 \leq x \leq H$ ,  $0 \leq y \leq h$  ( $h$  – толщина слоя жидкости),  $0 \leq z \leq L$ ); температура  $t_{жс} = t_{жс}(x,y,z)$  определяется из уравнения:

$$V_{жс}(y) \frac{\partial t_{жс}}{\partial x} = a_{жс} \frac{\partial^2 t_{жс}}{\partial y^2} \quad (1)$$

а условие на входе, при  $x = 0$ , имеет вид:  $t_{жс}(0,y,z) = t_{жс0}$  – для вспомогательного турбулентного потока газа ( $0 \leq x \leq H$ ,  $h \leq y \leq b$ ,  $0 \leq z \leq L$ ) температура  $t_B = t_B(x,y,z)$  и парциальное давление пара  $p_n = p_n(x,y,z)$  определяются уравнениями:

$$V_B(y) \frac{\partial t_B}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left[ (a_2 + a_2^T) \frac{\partial t_B}{\partial y} \right] \quad (2)$$

$$V_B(y) \frac{\partial p_n}{\partial x} = R_n T_B \frac{\partial}{\partial y} \left[ (D_2 + D_2^T) \frac{\partial p_n}{\partial y} \right] \quad (3)$$

при условии, когда  $x = 0$ :  $t_B = t_B^0$ ,  $p_n = p_n^0$  (4)

и при  $y = b$ :

$$\frac{\partial t_B}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial p_n}{\partial y} = 0. \quad (5)$$

– для основного газового потока ( $0 \leq x \leq H$ ,  $-a \leq y \leq 0$ ,  $0 \leq z \leq L$ ) температура  $t_O = t_O(x,y,z)$  определяется из уравнения:

$$V_O(y) \frac{\partial t_O}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left[ (a_2 + a_2^T) \frac{\partial t_O}{\partial y} \right] \quad (6)$$

при  $z = 0$ :  $t_O = t_O$ ; при  $y = -a$ :  $\frac{\partial t_O}{\partial y} = 0$  (7)

– условия сопряжения: на стенке, при  $y = 0$

$$q_0 = k_a (t_B - t) \quad (8),$$

где  $q_0$  – тепловой поток при  $y = 0$ , а  $k_\alpha$  – коэффициент теплопередачи через разделяющую каналы стенку толщиной  $\delta_{cw}$  и теплопроводности  $\lambda_{cw}$ :

$$k_\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0} + \frac{\delta_{cw}}{\lambda_{cw}} + \frac{1}{\alpha}}$$

на поверхности раздела, когда  $y = h$ :  $p_n = p''$ ,

$$q = q_\alpha + q_\beta. \quad (9)$$

В результате осреднения, используя законы Ньютона и Дальтона, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial t_O}{\partial x} = a_1(t_B - t) + b_1(p - p'') + c_1(t_O - t) \\ \frac{\partial t_B}{\partial x} = a_2(t - t_B), \quad \frac{\partial p}{\partial x} = b_2(p'' - p) \\ \frac{\partial t_{жк}}{\partial z} = c_2(t - t_{жк}) \end{cases} \quad (10)$$

Граничные условия имеют вид:  
 при  $x = 0$ :  $t = t^0$ ,  $t_B = t_B^0$ ,  $p = p^0$ ;  
 при  $z = 0$ :  $t = t_0$ . (11)

Коэффициенты  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$ ,  $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$  определяются следующими соотношениями:

$$a_1 = \frac{\alpha}{c_{жк} g_{жк}}, \quad b_1 = \frac{r_D \beta_p}{c_{жк} g_{жк}}, \quad c_1 = \frac{k_\alpha}{c_{жк} g_{жк}},$$

$$a_2 = \frac{\alpha}{c_\alpha g_B}, \quad b_2 = 1,61 \frac{p_B \beta_p}{g_B}, \quad c_2 = \frac{k_\alpha}{c_\alpha g_O}$$

В дальнейшем рассматривается только нелинейная теория испарительных воздухоохладителей непрямого типа, т.е. коэффициенты  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$ ,  $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$  являются постоянными величинами, а для парциального давления, насыщенного пара  $p''$  предполагается нелинейная зависимость:

$$p''(t) = 690,5 \cdot \exp(0,068 \cdot t) \quad (12)$$

Для получения численного решения задачи (13) - (11) применена явная разностная схема Эйлера [1-2].

Представим уравнения (10) в виде:

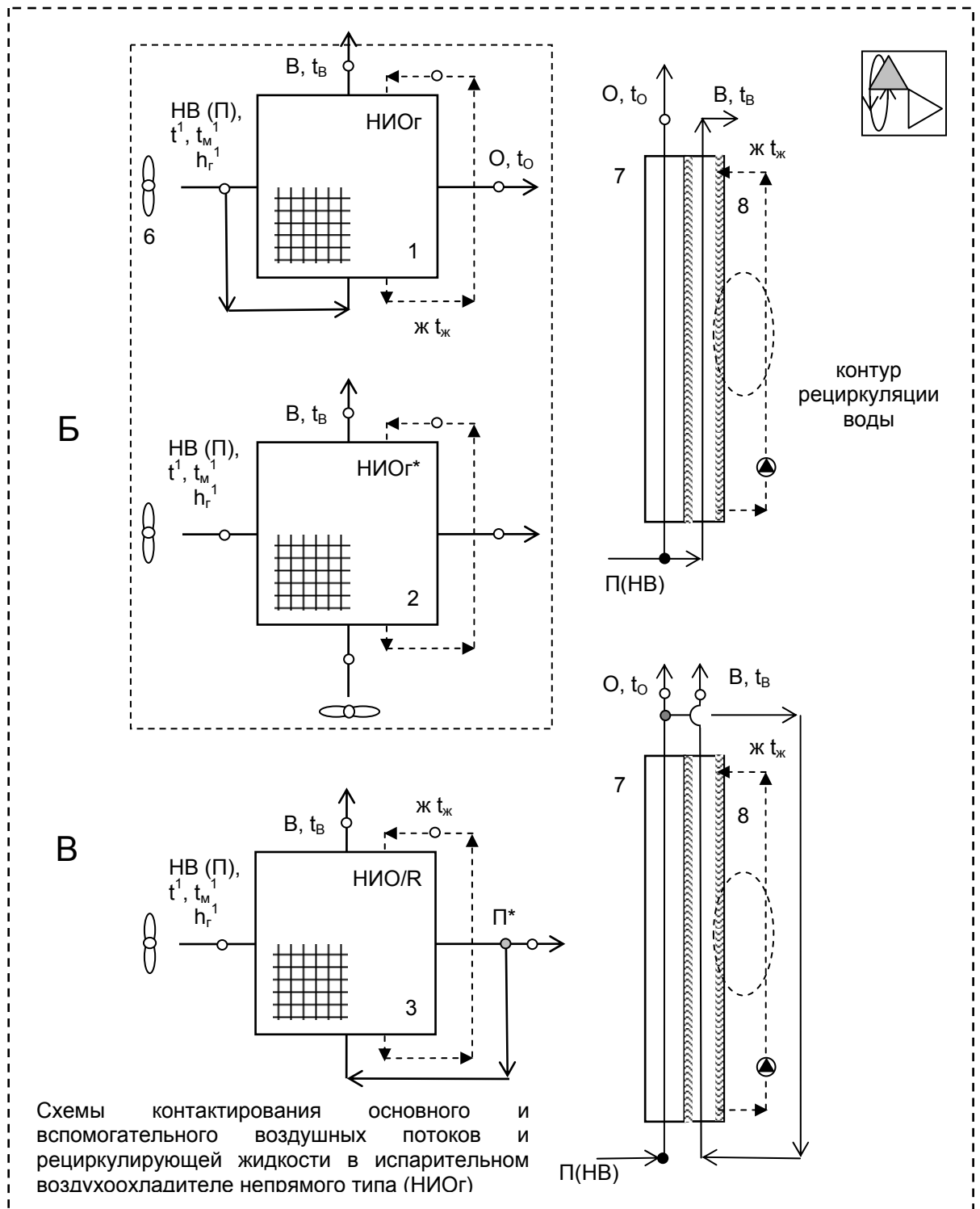
$$\begin{cases} \frac{\partial t_O}{\partial x} + c_0 t = a_1 t_O + b_1 (p - p'') + c_1 t_O, \\ c_0 = a_1 + c_1; \quad \frac{\partial p}{\partial x} + b_2 p = b_2 p'' \\ \frac{\partial t_B}{\partial x} + a_2 t = a_2 t_B, \\ \frac{\partial t_{жк}}{\partial z} + c_2 t = c_2 t_{жк} \end{cases} \quad (13)$$

На рис. 4 представлены характерные профили изменения основных параметров воздушных и водяного потоков в НИО и НИО/Р.

### III. Анализ возможностей испарительных охладителей непрямого типа

Основные результаты представлены на рис.5-6. Был приведен анализ работы одноступенчатого испарительного воздухоохладителя НИО (ИЕС) для трех различных соотношений основного и вспомогательного воздушных потоков  $l = G_o/G_B$ : 1 – 1,5; 2 – 1,0; 3 – 0,5 (рис.5). Увеличение доли вспомогательного потока последовательно повышает глубину охлаждения основного потока, одновременно повышая и удельные энергозатраты на единицу «продукта». Обратим внимание на последовательное приближение состояния вспомогательного воздуха к равновесной кривой  $\phi = 100\%$ , что является следствием приближения к естественному пределу охлаждения. Применительно к процессу в НИО в качестве естественного предела охлаждения основного и вспомогательного воздушных потоков можно рассматривать температуру полного воздушного потока по мокрому термометру  $t_m^1$ , увеличенную на некоторую величину, в зависимости от соотношения расходов воздушных потоков в аппарате  $l = G_o/G_B$ :  $t^0 = t_m^1 + \Delta t^*$ , что связано с процессом переноса тепла в «явном» виде от основного к вспомогательному потоку через разделительную стенку и стекающую по поверхности «мокрого» канала жидкостную пленку, и соответствующим повышением температуры рециркулирующей через «мокрую» часть аппарата жидкости (воды –  $t_{жк}^p$ ), которая остается в цикле постоянной ( $t_{жк}^p = t^0$ ).

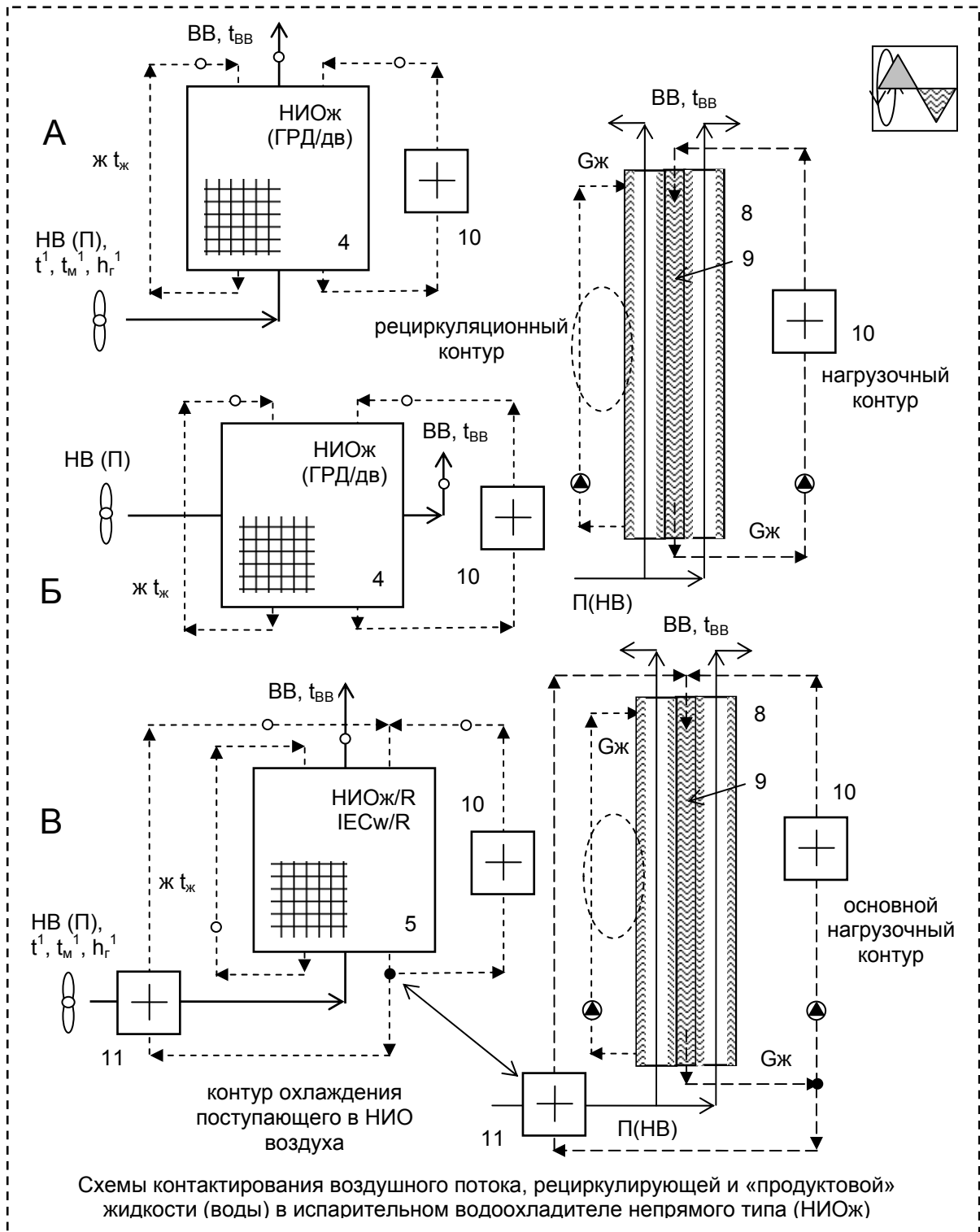
Испарительный воздухоохладитель непрямого типа НИОг.  
 Indirect Evaporative cooling IECg (IECg/R)



Обозначения: 1 и 2 – НИОг с одним и двумя вентиляторами; 3 – НИОг/R; 6 – вентилятор; 7 и 8 – «сухой» и «мокрый» каналы насадки НИО

Рис. 1. Принципиальные решения и схемы контактирования основного и вспомогательного воздушных потоков и рециркулирующей жидкости в испарительном воздухоохладителе непрямого типа, в обычном НИОг (IECg) и регенеративном НИОг/R (IECg/R) вариантах

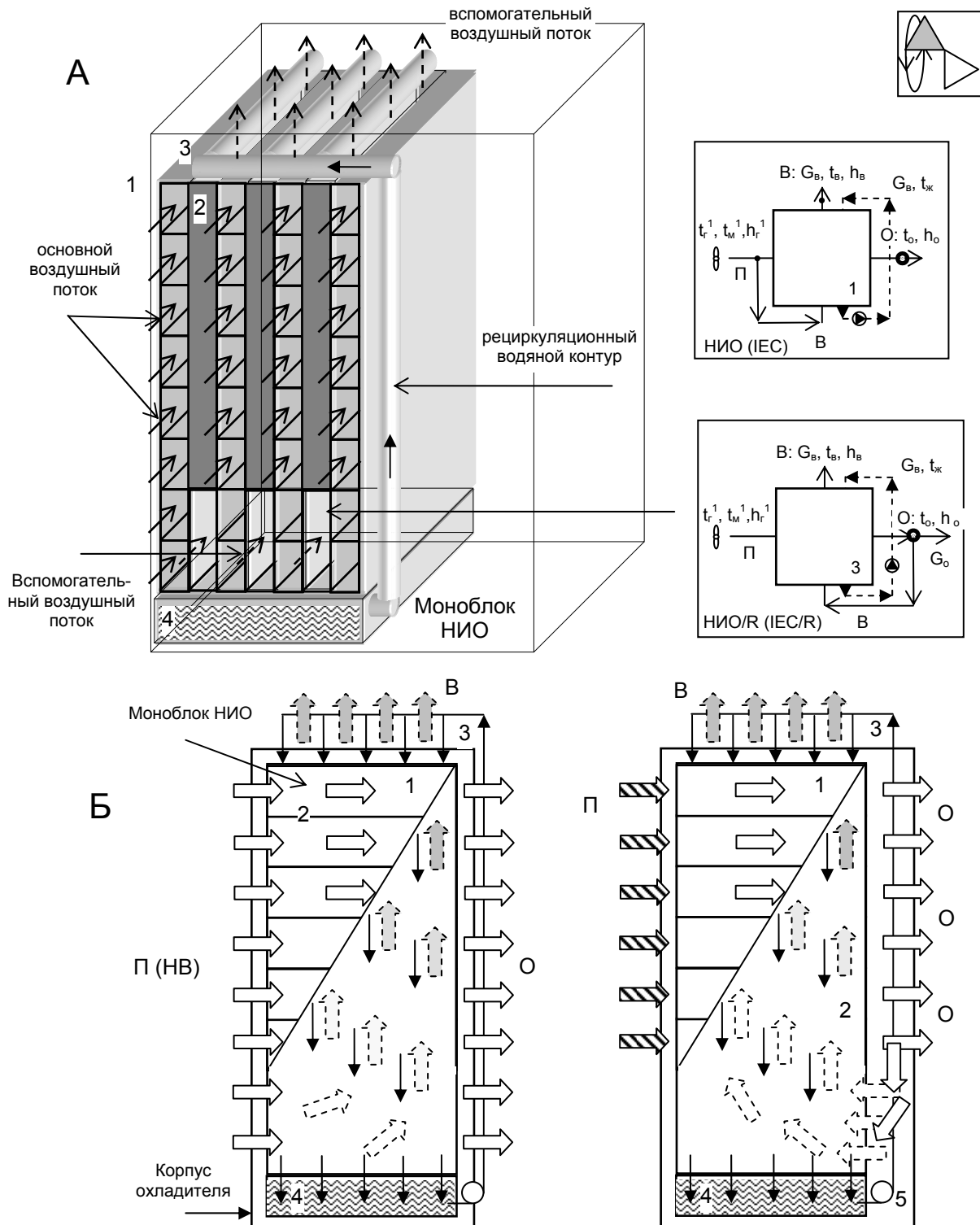
Испарительный водоохладитель непрямого типа НИОЖ.  
 Indirect Evaporative cooling IECw (IECw/R)



Обозначения по рис. 1, доп.: 4 – НИОЖ; 5 – НИОЖ/Р; 9 – жидкостной («продуктовой») канал; 10 и 11 – теплообменники;

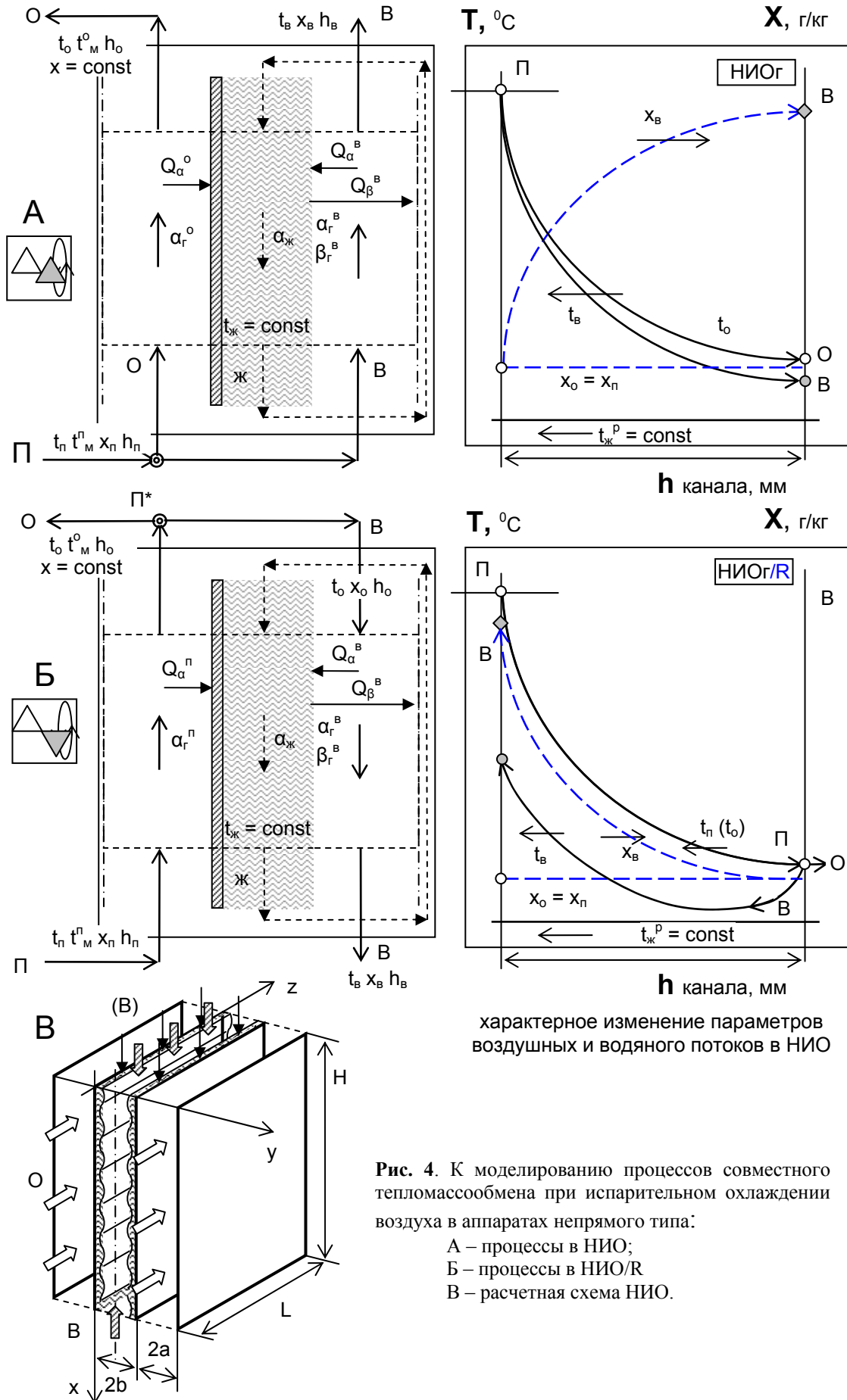
**Рис. 2.** Принципиальные решения и схемы контактирования воздушного и жидкостных потоков («продуктового» и рециркуляционного) в испарительном водоохладителе непрямого типа, в обычном (двухконтурная градирня) НИОЖ (IECw) и регенеративном НИОЖ/Р (IECw/R) вариантах.

Принципиальная компоновка испарительного охладителя непрямого типа НИО и НИО/R. Indirect Evaporative cooling IEC (IEC/R)



Обозначения: 1 – «сухой» канал; 2 – «мокрый» канал; 3 – водораспределитель; 4 – водосборник; 5 – насос; П, О, В – полный, основной и вспомогательный воздушные потоки.

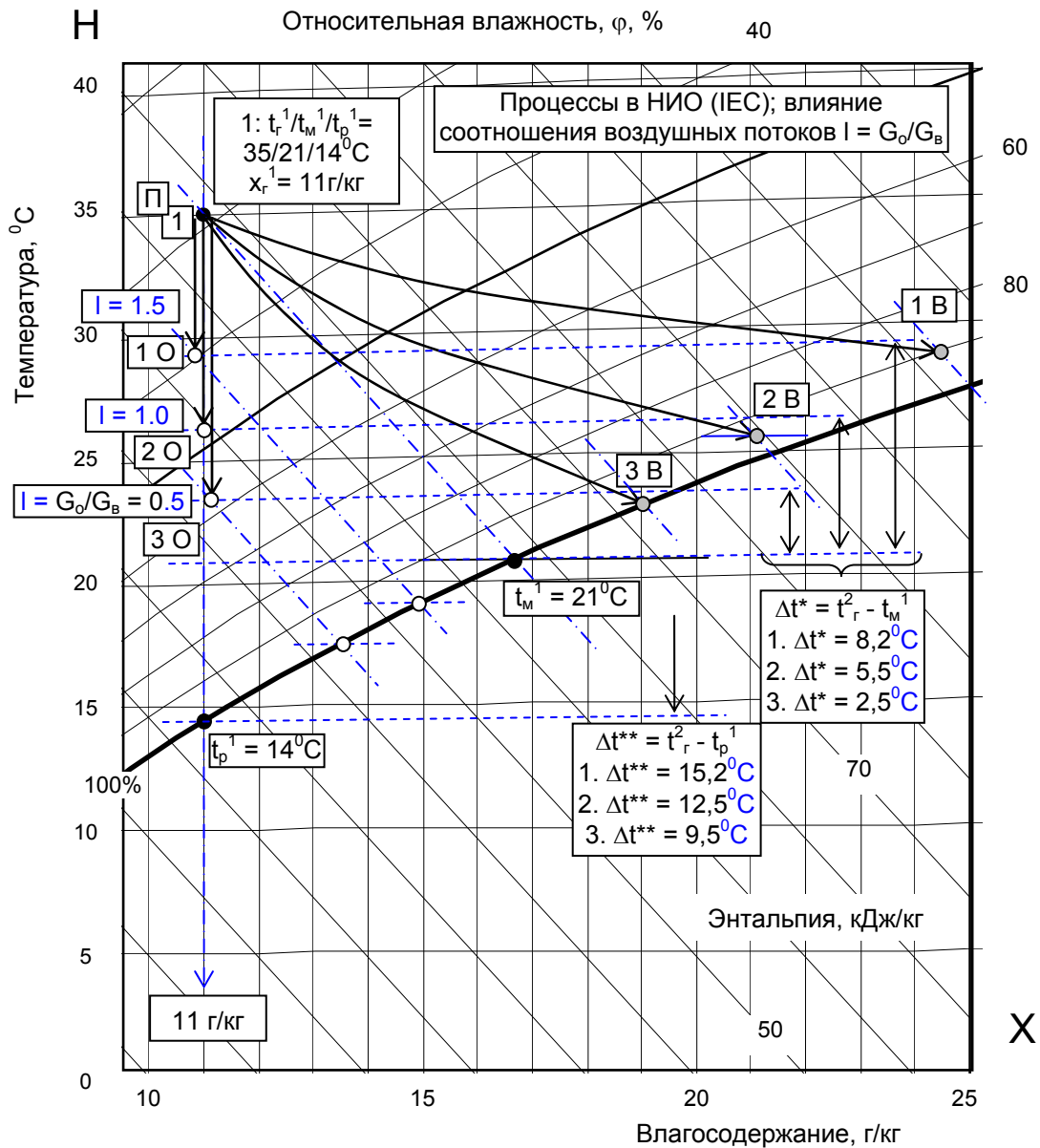
Рис. 3. Принципиальная компоновка испарительных воздухоохладителей НИО (А, Б) и НИО/R (В) на основе многоканальной полимерной насадочной структуры



**Рис. 4.** К моделированию процессов совместного теплообмена при испарительном охлаждении воздуха в аппаратах непрямого типа.

- А – процессы в НИО;
- Б – процессы в НИО/R
- В – расчетная схема НИО.



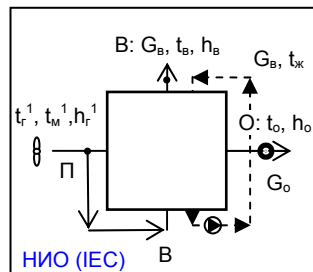


Начальные условия:  
 $t_r^1 = 35^\circ\text{C}$ ,  $x_r^1 = 11\text{г/кг}$   
 $t_p^1 = 14^\circ\text{C}$

1.  $l = G_o/G_b = 1,5$ :  $t_o = 29,2^\circ\text{C}$ ,  
 $t_b = 28,5^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_b = 90\%$

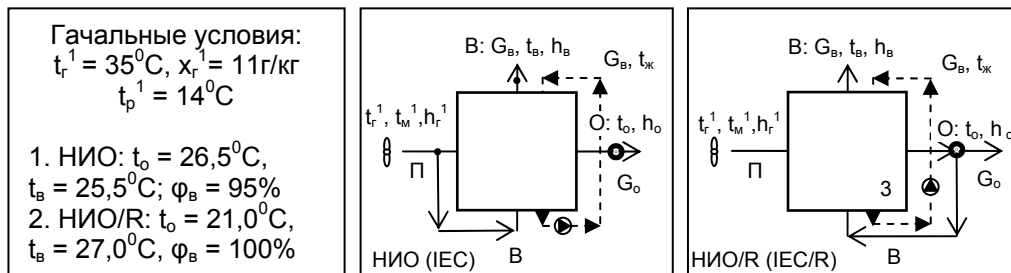
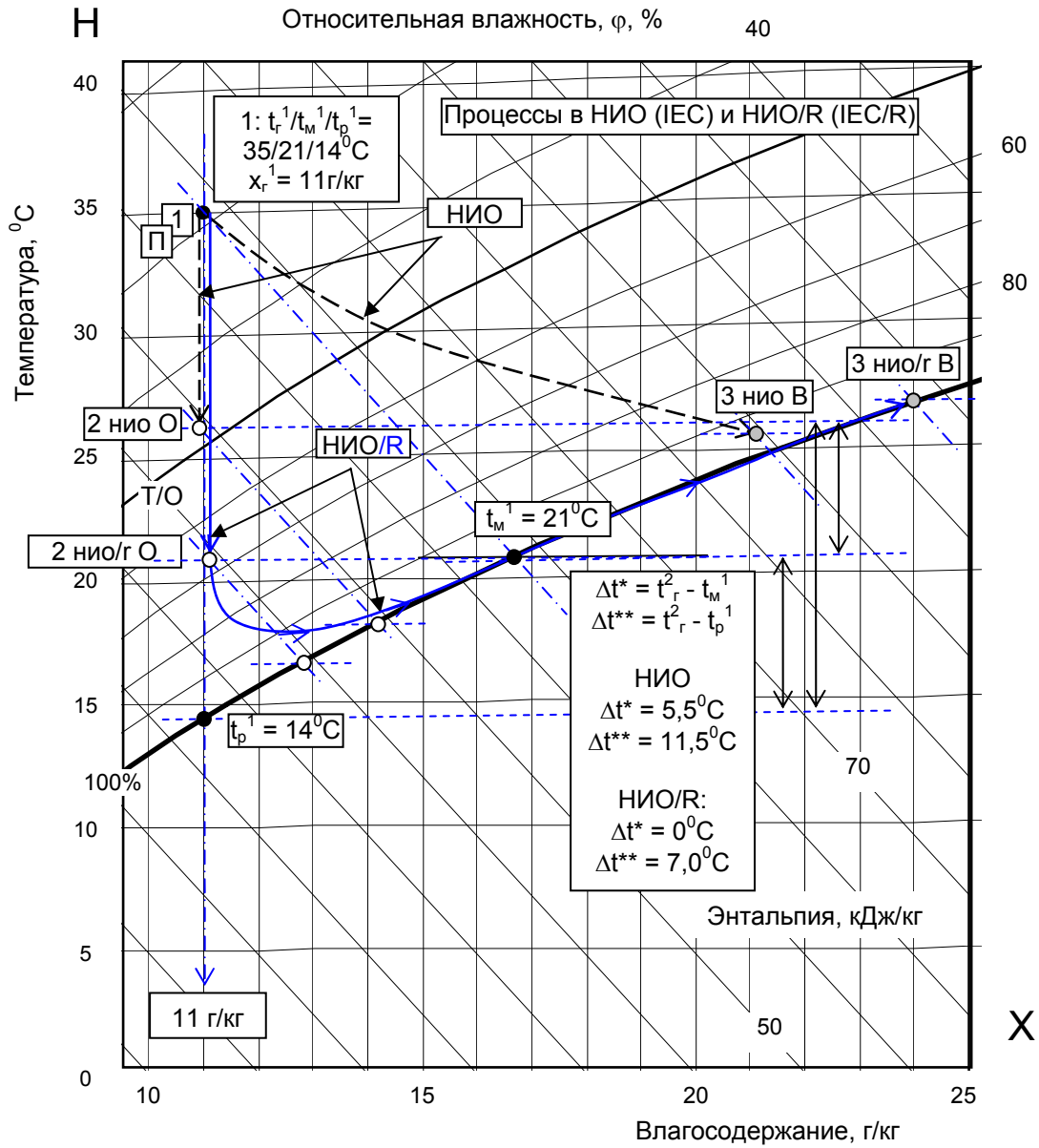
2.  $l = G_o/G_b = 1,0$ :  $t_o = 26,5^\circ\text{C}$ ,  
 $t_b = 25,5^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_b = 95\%$

3.  $l = G_o/G_b = 0,5$ :  $t_o = 23,5^\circ\text{C}$ ,  
 $t_b = 22,5^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_b = 100\%$



Обозначения: 1-1о-2о-3о – процессы по основному потоку; 1-1в-2в-3в – процессы по вспомогательному потоку.

**Рис. 5.** Анализ работы испарительного воздухоохладителя НИО (ИЕС) для различных соотношений основного и вспомогательного воздушных потоков  $l = G_o/G_b$ : 1 – 1,5; 2 – 1,0; 3 – 0,5.



Анализ выполнен для условия:  $l = G_o/G_b = 1.0$  для обеих схем.

Обозначения: 1-2 – процесс по основному потоку; 1-3 – процесс по вспомогательному потоку.

**Рис. 6.** Анализ работы испарительного воздухоохладителя непрямого типа НИО (пунктирные линии) и воздухоохладителя НИО/R

Термическая эффективность НИО по основному и вспомогательному потокам составляет:

$$E_O = \frac{t_o^1 - t_o^2}{t_o^1 - t_o^0}; E_B = \frac{t_B^1 - t_B^2}{t_B^1 - t_o^0}, \quad (14)$$

$$E_O = f(l = \frac{G_O}{G_B}; t_{II}, t_o^0); \quad (15)$$

$$E_B = f(l = \frac{G_O}{G_B}; t_{II}, t_o^0);$$

Получены следующие значения термической эффективности процесса, соответственно реальным значениям предела охлаждения  $t^0$ :

$$l = G_O/G_B = 1,5; E_O = 0,45;$$

$$l = G_O/G_B = 1,0; E_O = 0,65;$$

$$l = G_O/G_B = 0,5; E_O = 0,89.$$

На рис. 6 приведен сравнительный анализ работы испарительного воздухоохладителя непрямого типа НИО (пунктирные линии) и воздухоохладителя НИО/R. Анализ выполнен для условия:  $l = G_O/G_B = 1,0$ ; для обеих схем испарительных воздухоохладителей. Достигнуто снижение температуры основного воздушного потока от  $t_o = 26,5^{\circ}\text{C}$  для НИО ( $t_b = 25,5^{\circ}\text{C}$ ;  $\varphi_b = 95\%$ ) до  $t_o = 21,0^{\circ}\text{C}$  для НИО/R (параметры вспомогательного воздушного потока  $t_o = 27,0^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi = 100\%$ ). Следует обратить особое внимание на выходные параметры вспомогательного воздушного потока, покидающего воздухоохладитель НИО/R.

### Выводы:

1. Сравнительно с прямым испарительным охлаждением в ПИО, охлаждение воздушного потока в охладителе непрямого типа НИО обеспечивает возможность «сухого» охлаждения воздуха, без его увлажнения, что открывает пути к построению СКВ на основе «основного» воздушного потока и перспективы построения комбинированных схемных решений, где в первой ступени охлаждения используется воздухоохладитель НИО, обеспечивающий снижение предела охлаждения в последующих степенях охлаждения (ПИО или градирня ГРД);

2. Переход на схемное решение испарительного воздухоохладителя НИО/R обеспечивает, сравнительно с традиционным оформлением воздухоохладителя непрямого типа, существенное снижение температуры воздушного потока, но требует рассмотрения опасности возникновения «реконденсации» во вспомогательном воздушном потоке, непосредственно контактирующем с водой, рециркулирующей через «мокрую» часть аппарата.

### Литература (References)

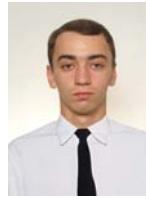
- [1] Doroshenco A.V., Glauberman V.A. Alternativnaia energetika. Solnechnie sistmi teplohodosnabjenia. [Alternative energetica. Solar systems of heat and cold supply] Monograph. Odessa, 2012.
- [2] Doroshenko A.V. Kompaktnaia teplomassobmennaja apparatura dlia holodilinoi tehniki (teoria, raschet, injenernaia praktika). [The compact heat and mass transfer equipment for refrigeration (theory, computation, engineering practice).] Doctoral thesis, Odessa, 1992.
- [3] Loitsianskii L.G. Mehanika jidkosti i gaza. [Fluid Mechanics] Moscow, 1973.
- [4] McNab J.L., McGregor P., 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] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Denis Pandelidis, Sergey Anisimov, William M. Worec. Performance study of the Maisotsenko Cycle heat exchangers in different air-conditioning applications. Intern. Journal of Heat and Mass Transfer 81 (2015) 207-221

- [9] Koltun, P. Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternantive Air-Conditioning Systems. P. Koltun, S. Ramakrishnan, A. Doroshenko, M. Kontsov. 21<sup>h</sup> International Congress of Refrigeration IIR/IF, Washington, D.C, ICR0140, 2003. P. 45-57.
- [10] Doroshenko A.V., Antonova A.R., Lyudnitsky K.V. Solnechnie mnogostupenchatie absorbtionnie holodilinie sistemi na osnove teplomassoobmennih apparatov plionochnogo tipa. [Solar multi-stage absorption refrigeration systems based on film type heat-mass exchange apparatuses] Holodilinaia tehnica i tehnologia. – 2015. V51(2) , p. 25-31.
- [11] Doroshenko A.V., Lyudnitsky K.V.. Solnechnie holodilinie sistemi na osnove absorbera s vnutrenni isparitelinim ohlajdeniem. [ Solar refrigeration systems based on the absorber with internal evaporative cooling] Holodilinaia tehnica i tehnologia. – 2015.V 51 (3) p. 42-52.

**Сведения об авторах.**



**Дорошенко Александр Викторович** – доктор технических наук, профессор кафедры термодинамики и возобновляемой энергетики ОНАПТ, сфера научных интересов – теплофизика, тепломассообмен, холодильная техника, альтернативная энергетика.



**Людницкий Константин Владимирович** – аспирант ОНАПТ, сфера научных интересов – теплофизика, тепломассообмен, холодильная техника, альтернативная энергетика.