

## ХОЛОДИЛЬНІ ТА СУПУТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.565.001.63

## Регулярні насадки для апаратів зволоження повітря

Н. О. Піщанська, І. О. Подмазко, О. С. Подмазко

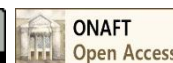
Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна

Проведено експериментальне дослідження спільного тепломасообміну та аеродинаміки течії повітря у щільних насадкових шарах упорядкованої структури в умовах поперечної схеми контактування при змінному коефіцієнті зрошування РН. Представлений графоаналітичний аналіз за методом оптимальних режимів обробки повітря при його цілорічному кондиціонуванні із використанням можливостей пристроїв з РН у якості універсального контактного апарату СКП для проведення необхідних політропічних процесів.

**Ключові слова:** Системи кондиціонування повітря СКП; Зволожувальні пристрої; Регулярні насадки; Дозування; Тепловологістні навантаження

© The Author(s) 2018. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## 1. Вступ

Процес зволоження повітря є невід'ємною частиною майже будь-якої обробки повітря в системах кондиціонування. Досягнення необхідного рівня вологості повітря можуть забезпечуватися СКП технологічного та комфортного призначення. При цьому слід зазначити, що протягом 20 років до 2004 р. спостерігалася майже повна відмова від зволожувачів повітря у скандинавських країнах, а в інших перевага надавалась застосуванню парових зволожувачів, у зв'язку із антибактеріальними властивостями гарячої пари при  $t \geq 100$  °С, не дивлячись на значні енергозатрати на організацію процесу. Іншим пристроям зволоження, у т.ч. плівковим насадковим апаратам випарного типу, які характеризуються натуральним природним процесом та найкращими енергетичними показниками, приділялось недостатньо уваги.

## 2. Дослідження регулярних насадок для зволожуючих пристроїв

Метою дослідження є розробка сучасних зволожувальних пристроїв на базі нових типів регулярних насадок (РН) стосовно систем кондиціонування повітря. Ці пристрої відповідають вирішенню актуальних на сьогодні питань "Indoor Air Quality" IAQ та енергозбереження.

У якості експериментальних зразків РН використані сучасні насадки із полімерних матеріалів (табл. 1), а саме: міпласт та ПЕТ (Україна), GLASdek3 (Швеція), ПВХ (Нідерланди), та визначені їх основні геометричні характеристики:  $d_e$  – еквівалентний діаметр,  $F_{к,н}$  – площа робочої поверхні,  $n_c$  – пористість шару,  $f_{к,н}$  – питома площа насадки.

Проведено експериментальне дослідження часо

вого циклу зрошування насадки. На рис. 1 представлено графік часу випаровування води з поверхні насадки  $\tau$  в залежності від швидкості повітря  $w$  в живому перетині РН. Початковий час експозиції зрошування насадки 5 хвилин, що гарантує повне зрошування всієї поверхні.

**Таблиця 1** – Геометричні характеристики досліджених РН

№ РН	Матеріал	$d_e$ , мм	$F_{к,н}$ , м <sup>2</sup>	$n_c$ м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$f_{к,н}$ , м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>
I	Міпласт	6,9	20,01	0,654	381
II		17,0	9,13	0,745	174
III	ПЕТ	6,0	29,4	0,243	560
IV	GLASdek 3	6,5	28,51	0,521	543
V	ПВХ	15,5	7,25	0,465	138
VI		18	4,78	0,465	91

На рис. 2 показана експериментальна залежність зміни температури плівки води  $t_w$  у часі при різних значеннях витрати повітря  $G_v$ . В процесі роботи зволожуючого пристрою після зрошування насадки температура плівки води зменшується разом із випаровуванням води до певного моменту часу, який визначає повне випаровування плівки, що фіксується ростом температури – показниками термопар, що розміщені на робочій поверхні РН.

Екстремум  $t$  пояснюється суттєвим зменшенням рідинного шару аж до «оголення» термопари. При аналізі характеристик поперечно точних насадок вагоме значення представляє інформація про розподіл газового та рідинного потоків у насадковому шарі, оскільки рівномірне зрошування верхнього шару РН не гарантує незмінності витрати рідини в кожному із каналів насадки. Результати дослідження цього питання відображені на рис. 3, 4, де  $w_{г}$  – швидкість повітряного потоку.

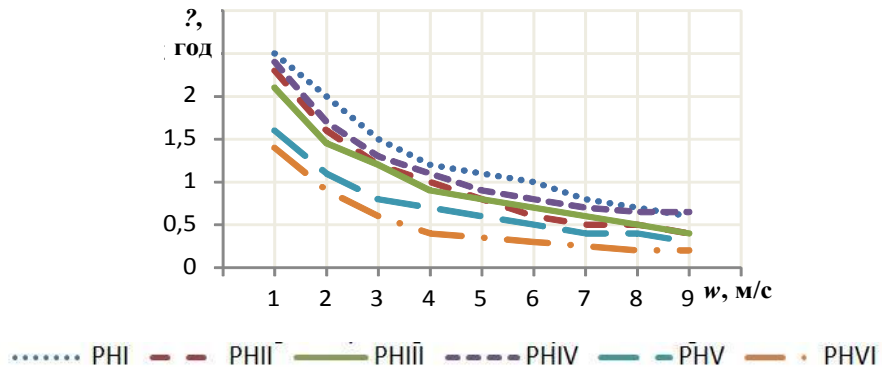


Рисунок 1 – Залежність часу випаровування води  $\tau$  з поверхні насадки від швидкості потоку повітря в живому перетині насадки  $w$

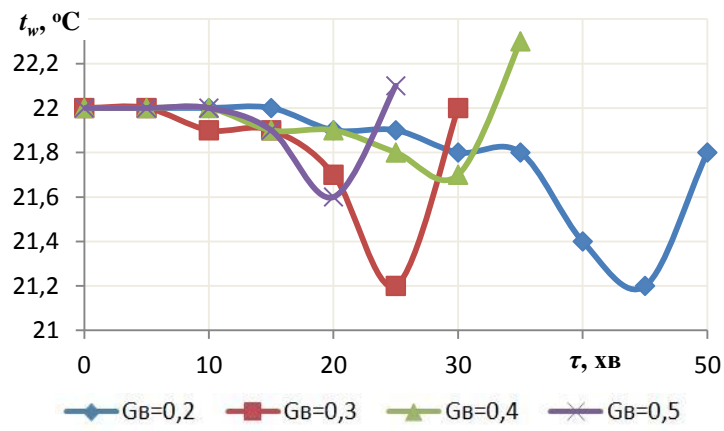


Рисунок 2 – Зміна температури поверхні води  $t_w$  протягом часу  $\tau$  при різних масових витратах повітря  $G_v$ :

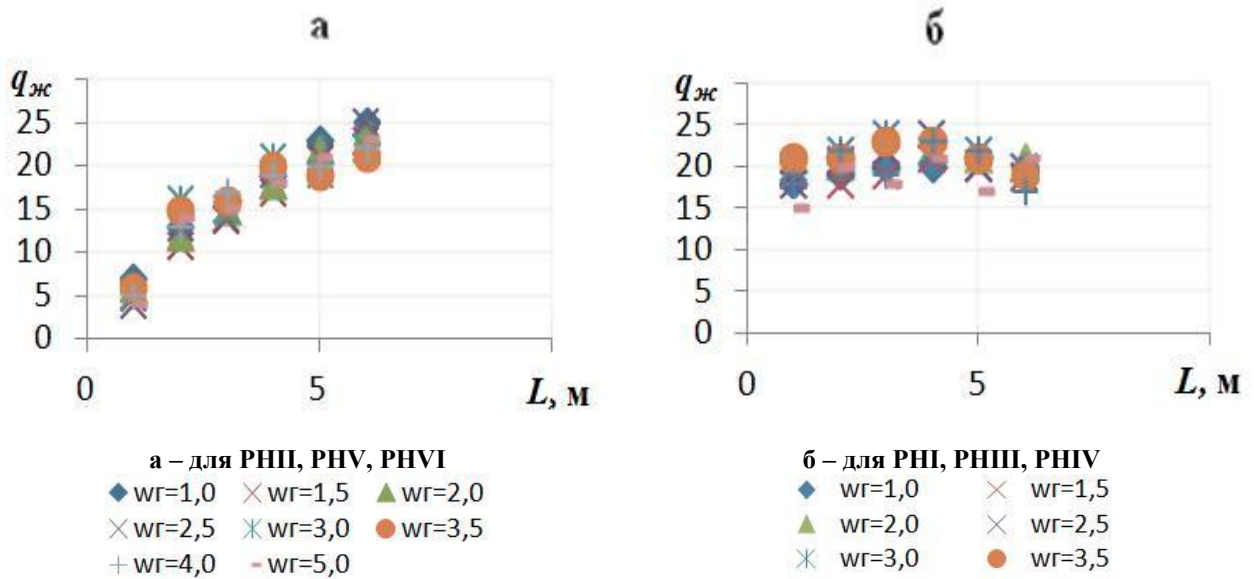


Рисунок 3 – Розподіл питомої витрати води  $q_w$  за довжиною насадки  $L$  при відповідних швидкостях повітряного потоку  $w_r$

Також проаналізовані аеродинамічні характеристики насадок у робочому діапазоні швидкості повітряного потоку  $w_T = 1,5 \dots 4$  м/с, рис. 5.

Отримана емпірична кінетична залежність:

$$Sh = c \cdot Re_z^n \cdot Re_w^m \quad (1)$$

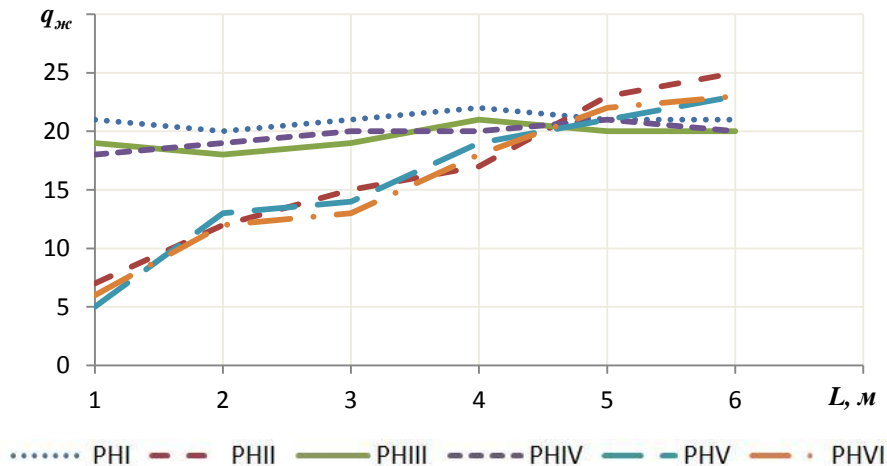
де  $c$ ,  $m$ ,  $n$  – коефіцієнти пропорційності;  $Re_z$ ,  $Re_w$  – число Рейнольдса для газу та рідини, відповідно.

Кінетичні характеристики досліджуваних РН аналізувалися із урахуванням енерговитрат на здійснення

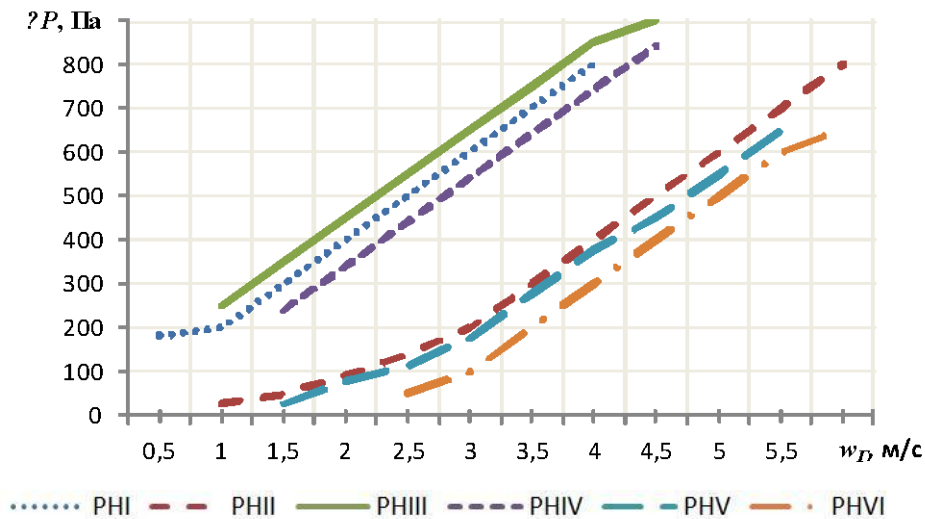
процесу. Використовувалася методика, яка запропонована в роботі Колева Н. [3]:

$$E^* = \left(\frac{1}{N_T}\right) \cdot \left[\Delta P + \frac{H \cdot G_w \cdot \rho_T \cdot g}{G_T}\right] \quad (2)$$

де  $E^*$  – питома витрата енергії, яка складається із сумарної роботи вентилятора і насоса, віднесеної до одного кубічного метру повітря і висоти насадки, яка відповідає одній одиниці переносу, Дж/м<sup>3</sup>.



Рисунік 4 – Розподіл питомої витрати води  $q_{ж}$  за довжиною насадки  $L$



Рисунік 5 – Залежність гідравлічного опору  $\Delta P$  насадок від швидкості повітряного потоку  $w_T$

Таблиця 2 – Параметри кінетичної залежності  $Sh=f(Re_z, Re_w)$

Тип РН	$c$	$n$	$m$	$Re_z$	$Re_w$	$\delta_{сп}$ , %
РН I	12,4	0,42	0,28	1500...6000	42...180	6,3
РН II	165,4	0,34	0,37	1000...10000	55...300	4,9
РН III	154,2	0,38	0,4	1000...10000	60...280	4,6
РН IV	144,1	0,36	0,36	1000...10000	50...300	4,0
РН V	8,6	0,65	0,24	1300...6500	55...170	5,9
РН VI	11,2	0,72	0,3	2000...8000	60...170	6,4

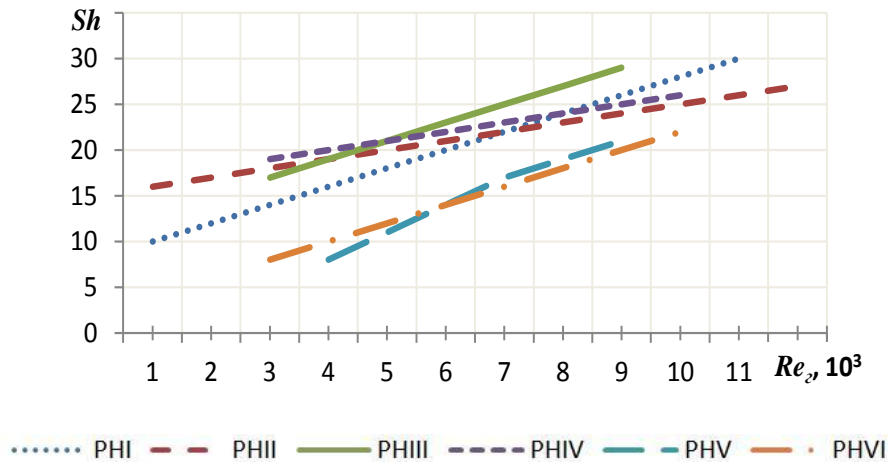


Рисунок 6 – Залежність чисел  $Sh$  від чисел  $Re$  газového потоку для досліджуваних насадок при  $Re_w = 150$ :

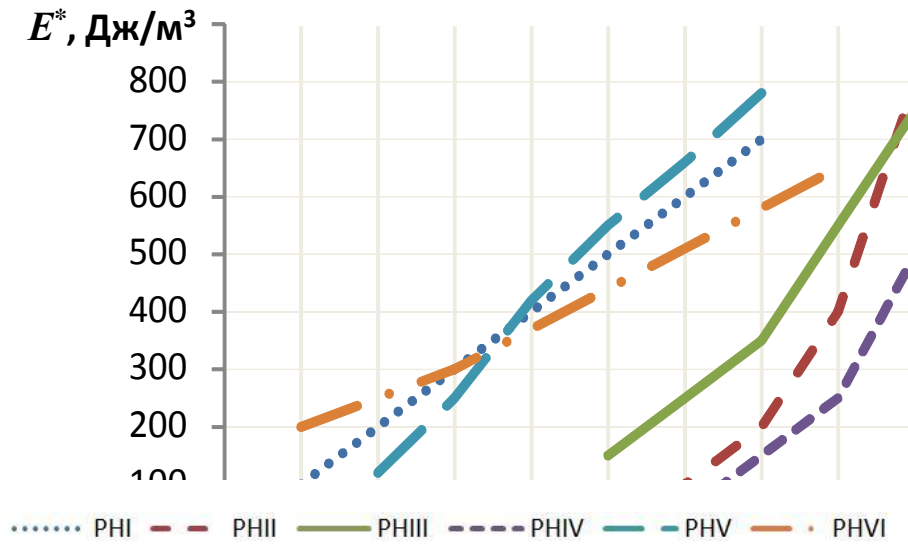


Рисунок 7 – Залежність питомої витрати енергії  $E^*$  від ступеню охолодження води  $E_w$  при  $q_w = 11 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ :

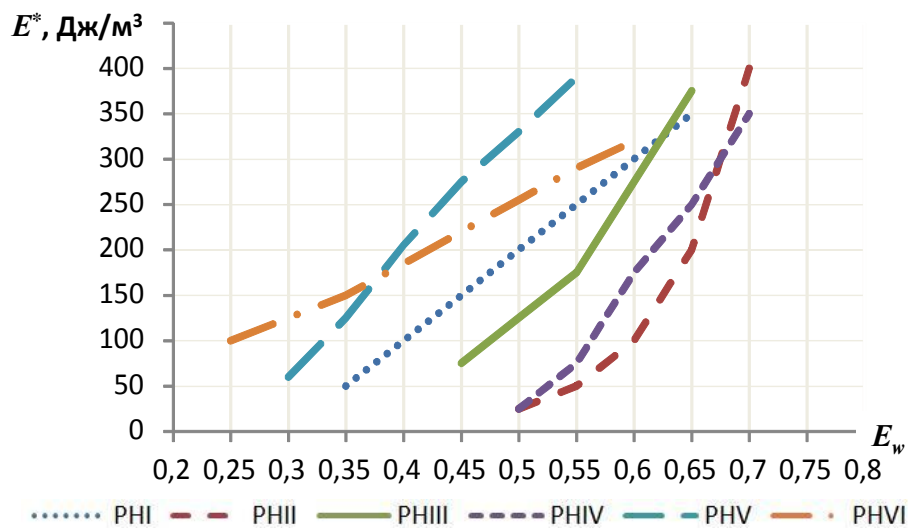


Рисунок 8 – Залежність питомої витрати енергії  $E^*$  від  $E_w$  при  $q_w = 11 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  без урахування роботи насоса

Із рис. 7 видно, що при однакових значеннях числа  $E_w$  насадки РНІ, РНІІ і РНІV характеризуються меншими питомими затратами енергії  $E^*$ .

Використовуючи даний підхід, був також розглянутий випадок дозованого зрошування насадки водою.

Аналіз такої ситуації проводився із урахуванням відсутності затрат на роботу насоса (рис. 8):

$$E^* = \left(\frac{1}{N_T}\right) \cdot \left[\frac{\Delta P}{G_T}\right] \quad (3)$$

Відповідно отриманим даним, можна зробити висновок відносно практичних рекомендацій: насадки РН, які складаються із листів ПЕТ та міпласта, найбільш оптимальні за своїми якостями і характеристиками для використання в секціях зволоження СКП.

### 3. Використання методу оптимального режиму

При аналізі областей застосування нових типів РН для зволоження повітря використовується метод оптимальних режимів проф. А.А. Римкевича (рис. 9). Розглянуті всі класи тепловологісних навантажень приміщень [2]. Для кожної зони зовнішнього клімату проведений порівняльний аналіз вихідної ТДМ СКП з умовами виконання ранжувань РА-2 і РА-3, за мінімізацією  $G_{п}$  і  $G_{ж}$ , відповідно. При цьому весь зовнішній клімат умовно розподілений на дві зони: в першій витрата води зведена до мінімуму, у другій – можливе отримання додаткової кількості вологи із атмосферного повітря.

Визначені границі зон:

$$\overline{\Delta d} = d_E - d_E + \frac{Q_{п}}{\varepsilon \cdot G_{ж}} \quad (4)$$

при  $\overline{\Delta d} < 0$  – витрата  $G_{ж}$  мінімізована, при  $\overline{\Delta d} > 0$  – отримуємо кількість  $G_{ж}$  із атмосферного повітря.

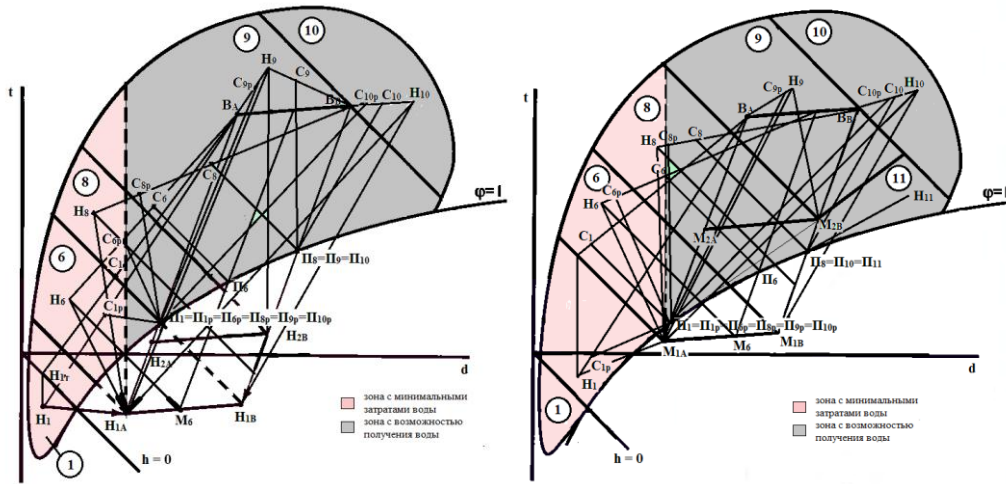


Рисунок 9 – Обґрунтування використання РН для обробки зовнішнього повітря: ліворуч – другий клас навантажень, праворуч – третій

### 4. Висновки

Для приміщень, а також об'єктів, що характеризуються значними тепловими навантаженнями, обробка зовнішнього повітря для всього річного циклу роботи СКП може забезпечуватися зволожувачами з РН, як універсальним контактним пристроєм.

Результати досліджень показали, що при режимі дозованого зрошування водою витрати питомої електроенергії у 2,5 рази менше, ніж при постійній подачі води. При такій роботі зволожувача використання РН із листів міпласта забезпечить високу інтенсивність процесу при менших затратах питомої енергії, на відміну від більш дорогих матеріалів.

В результаті проведеного дослідження можна сформулювати наступні висновки:

- в насадках РНІ, РНІІ, РНІV забезпечується майже рівномірний розподіл рідини;

- насадки РНІ, РНV, РНVI характеризуються суттєвим віднесенням рідини.

### Література

1. Піщанська Н.О. Удосконалення поперечно точних апаратів зволоження повітря на основі насадок упорядкованої структури / Н.О. Піщанська // Афтореф. на здобут. наук. ст. канд. техн. наук. – Одеса, «Печатный дом», 2015. – 22 с.
2. Римкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха / А.А. Римкевич // СПб: АВОК Северо – Запад, 2003. – 304 с.
3. Колев Н.Н. Исследование возможности интенсификации контактных экономайзеров при помощи новых высокоэффективных насадок / Н.Н. Колев // Теплоэнергетика. 1985. №3. – с. 24-27.

## Regular nozzles for air humidifiers

*N. Pishchanska, O. Podmazko, I. Podmazko*

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaia str., Odessa, 65039, Ukraine

*An experimental study of the joint heat exchange and aerodynamics of air flow in dense layers of packed structures in the conditions of a cross-current contacting scheme with a variable irrigation coefficient of regular nozzles is carried out. Graphoanalytical analysis is presented using the method of optimal air treatment modes with its year-round air conditioning using the capabilities of devices with regular nozzles as a universal contact device for the air-conditioning system for carrying out the necessary polytropic processes. The results of studies have shown that in the mode of metered water irrigation, the costs of the specific electron-pghi 2.5 times less than with constant water supply. With such work of the humidifier, the use of RH from the sheets of miplast will provide high intensity of the process at a lower cost of specific energy, in contrast to more expensive materials.*

**Keywords:** *Air-Conditioning System ACS; Humidifier; Regular Nozzles; Metering Control; Heat and Senescence Loads*

### References

1. **Pischanskaya N. O.** 2015. Uovershenstvovanie poperechnotochnyih apparatov uvlazhneniya vozduha na osnove nasadok uporyadochennoy strukturyi. Avtoreferat na soiskanie nauchnoe stepeni kandidata tehnikeskikh nauk. - Odessa, "Pechatnyiy dom", 22 p.
2. **Ryimkevich A. A.** 2003. Sistemyiy analiz optimizatsii obscheobmennoy ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh. SPB: AVOK Severo-Zapad, 304 p.

3. **Kolev N. N.** 1985. Issledovanie vozmozhnosti intensifikatsii kontaktnyih ekonomayzerov pri pomoschi novyih vyisokoeffektivnyih nasadok. *Teploenergetika*, No.3, 24-27.

---

Received 01 February 2018

Approved 06 March 2018

Available in Internet 30 April 2018