

мореср
36

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПІЩАНСЬКА НОННА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 628.84

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПОПЕРЕЧНОТОЧНИХ
АПАРАТІВ ЗВОЛОЖЕННЯ ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ
НАСАДОК УПОРЯДКОВАНОЇ СТРУКТУРИ**

Спеціальність

05.05.14 – Холодильна, вакуумна та компресорна техніка,
системи кондиціонування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2015

Дисертація є рукописом.
Робота виконана на кафедрі холодильних машин, установок і кондиціонування повітря Одеської національної академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент **Липа Олександр Іванович**, доцент кафедри холодильних машин, установок і кондиціонування повітря Одеської національної академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор **Скрипніков Веніамін Борисович**, професор кафедри опалення, вентиляції і якості повітряного середовища Придніпровської державної академії будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України

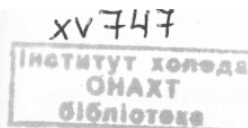
доктор технічних наук, професор **Нікульшин Володимир Русланович**, професор кафедри теоретичної, загальної і нетрадиційної енергетики Одеського національного політехнічного університету Міністерства освіти і науки України

Захист дисертації відбудеться 20 квітня 2015 року о 13 годині в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.03 при Одеській національній академії харчових технологій за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці ОНАХТ за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна.

Автореферат розісланий "___" березня 2015 р.

Мілованов В.І.



ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасному світі людина проводить у приміщенні близько 90 % свого часу. Тому підвищення якості внутрішнього клімату приміщення «Indoor Air Quality» (IAQ) є актуальною задачею. При цьому підтримання необхідного рівня зволоження повітря приміщення є значним фактором у вирішенні проблеми IAQ.

Зволоження повітря необхідно на об'єктах комфортного призначення, а також у забезпеченні технології виробництва якісної продукції цілого ряду галузей промисловості, таких як: харчова, тютюнова, целюлозно-паперова, текстильна, шкіряна, поліграфія, при вирощуванні та зберіганні грибів, в оранжереях, фрукто- та овочесховищах, птахофабриках, лакофарбових ділянках автомобілів емаліями на водній основі, інформаційних центрах, центрах зв'язку, АТС – автоматичних телефонних станціях, офісних приміщеннях з різного роду оргтехнікою та ін.

Аналіз проблеми дозволяє зробити висновок про безперечну необхідність удосконалення апаратного забезпечення, у рамках задач, які направлені на рішення питань IAQ та енергозбереження. 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 тому числі плівковим насадковим апаратам випарного типу, які характеризуються натуральним природним процесом та найкращими енергетичними показниками, приділялось недостатньо уваги. Цей напрямок потребує нових фундаментальних та прикладних досліджень.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках програми фундаментальних та пошукових досліджень, яка відповідає Постанові Верховної Ради України про ствердження програми енергоефективності та Київському протоколу від 1 березня 2010 р., указу президента України № 174 від 28.02.08 р. «Про невідкладні заходи щодо забезпечення ефективного використання паливних енергетичних ресурсів», Енергетичній Стратегії України на період до 2030 р., яка затверджена розпорядженням уряду від 15 березня 2006 р. № 145-р.

Мета і завдання дослідження. Метою цієї роботи є розробка ефективних зволожувальних пристроїв на базі нових типів регулярних насадок (РН) стосовно до систем кондиціонування повітря.

Для досягнення цієї мети були поставлені та вирішені наступні основні задачі:

- проектування та створення експериментального стенду для дослідження робочих характеристик зволожувачів з РН;
- проведення експериментальних досліджень процесів зволоження повітря у поперечноточних щільних насадкових структурах, в тому числі таких, які відрізняються високим ступенем використання конструктивної поверхні за рахунок влас-

Авторефер.
ПЗБ

Поскольку работа выполнена в рамках программы фундаментальных и поисковых исследований, которая соответствует Постановлению Верховной Рады Украины о утверждении программы энергоэффективности и Киевскому протоколу от 1 марта 2010 г., указу президента Украины № 174 от 28.02.08 г. «Про невідкладні заходи щодо забезпечення ефективного використання паливних енергетичних ресурсів», Енергетичній Стратегії України на період до 2030 р., яка затверджена розпорядженням уряду від 15 березня 2006 р. № 145-р.

тивості матеріалу (мікропористості) або особливої форми робочої поверхні, в режимі постійної подачі води, а також у спеціальному дискретному режимі дозованого зрошування;

- визначення оптимального варіанту компонування насадкового модуля при мінімізації витрати електроенергії на вентилятор та водяний насос;
- розробка інженерної методики розрахунку зволожувача із дозованим зрошуванням;
- визначення оптимальних режимів роботи контактних апаратів СКП для різних класів тепловологістного навантаження приміщень як об'єктів кондиціонування повітря;
- узагальнення отриманих результатів.

Об'єктом дослідження є нові типи регулярних насадок, які відрізняються високим рівнем змочуваності за рахунок матеріалів, що використовуються, або оригінальної геометрії поверхні.

Предметом дослідження є процес зволоження повітря у контактних апаратах систем кондиціонування повітря. Спеціальні режими проведення процесу зволоження повітря, які забезпечать високий рівень ефективності апарата поза оборотним циклом по воді, при мінімізації (або відсутності) невірних витрат води та зниженні енергозатрат на організацію процесу.

Методи дослідження. Експериментальне дослідження спільного тепломасообміну та аеродинаміки течії повітря у щільних насадкових шарах упорядкованої структури в умовах поперечної схеми контактування при змінному коефіцієнті зрошування РН.

Графоаналітичний аналіз за методом оптимальних режимів обробки повітря при його цілорічному кондиціонуванні із використанням можливостей пристроїв з РН в якості універсальної контактної апаратури СКП.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- удосконалено умови роботи зволожувачів повітря випарного типу застосуванням спеціального дискретного режиму дозованого зрошування на відміну від традиційного безперервного принципу подачі води, що при використанні встановлених експериментальним шляхом оптимальних параметрів дозування водою РН з високим ступенем відповідності конструктивної поверхні фактичної поверхні тепломасообміну дозволило мінімізувати витрати води і електроенергії;
- доведено можливість спрощення аналізу сумісного тепломасообміну при проведенні політропного зволоження повітря в компактній апаратурі з рекомендованими типами регулярних насадок та робочому режимі з причин виявлення в цих умовах зневажаєної величини термічного опору водяної плівки, що дає змогу відмовитись від дворівневої ітерації за методом Учїди – Міклі – Дорошенка;
- отримав подальший розвиток термодинамічний метод оптимальних режимів проф. А.А. Римкевича зі встановленням вперше меж витратного та безвитратного використання води на зволоження повітря для конкретних умов клімату міст України у цілорічному циклі експлуатації СКП;

- вперше одержано робочі характеристики зволожувача з використанням РН із листів поліетилентерефталату з дрібнокомірковою структурою у вигляді емпіричної критеріальної залежності числа Шервуда Sh від режимних факторів у широкому діапазоні чисел $Re_{ж}$ та $Re_{г}$, а також від величини початкової температури води $t_{в.л.}$.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій визначаються: коректністю постановки задачі і виконаних досліджень, використанням експериментального стенду з сучасними приборами вимірювань, проведенням поточних тарувальних вимірів із постійним контролем помилки експериментальних даних, адекватною обробкою отриманих результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що одержані теоретичні і експериментальні дані можуть бути використані при розробці компактно-тепломасообмінної апаратури СКП – зволожувачів повітря на базі РН, які здатні забезпечувати оптимальні режими обробки повітря в зонах зовнішнього повітря, що відповідають клімату України. Результати досліджень дисертаційної роботи використані для реальних об'єктів в м. Одеса інженерними компаніями: ПП «КІМС», ВАТ «Ukricekompany», а також в РФ ВАТ «Уніком» (м. Москва).

Особистий внесок здобувача полягає в розробці математичної моделі для аналізу політропних процесів зволоження повітря в щільних насадкових шарах РН. В процесі роботи над дисертацією при безпосередній участі здобувача був створений експериментальний стенд для дослідження процесів зволоження повітря.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень були представлені і обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології», Одеса, 2003 – 2014 рр.; на міжнародних наукових конференціях: «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», НУК ім. адм. Макарова, Миколаїв, 2013 р.; «Інноваційні розробки в області техніки і фізики низьких температур», МГУІЕ, Москва, 2011 р.; «Казахстан-Холод 2014», АТУ, Алма-Ата, 2014 р.

Публікації. Основний зміст дисертації представлено в 7 статтях, які опубліковані в професійних наукових виданнях, у тому числі в журналі European Science Review (Austria, Vienna), які відповідають вимогам ВАК України, а також у вигляді тез доповідей в збірниках наукових праць регіональних та міжнародних конференцій (11 робіт).

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, основних висновків, списку використаної літератури, яка включає 114 джерел. В дисертації міститься 115 сторінок основного тексту, 12 таблиць та 42 рисунків.

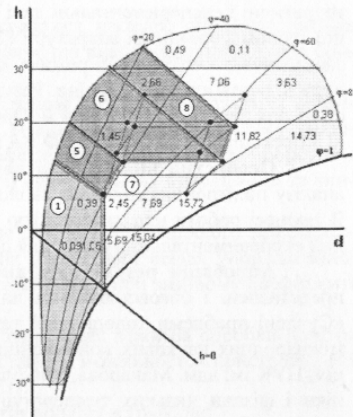
ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі надано обґрунтування актуальності теми дисертації, відображено зв'язок із державними програмами та темами, сформульовані мета і задачі досліджень, представлені нові наукові результати, конкретний особистий вклад здобувача, відомості про апробацію результатів роботи та основні публікації.

У першому розділі доведено безумовну необхідність використання зволоження повітря в системах кондиціонування повітря комфортного та технологічного призначення. Зокрема, показано, що для середньостатистичного європейського року задача підтримання необхідного рівня зволоження $\varphi = 40 \dots 60$ % при температурі повітря в приміщенні $t = 20$ °C потребує його зволоження протягом 4742 годин або 54 % річного часу. Ці дані практично підтверджуються і для клімату України, а саме: цілорічний цикл роботи СКП об'єктів комфортного призначення для забезпечення нормованих значень φ потребує проведення процесу зволоження повітря протягом тривалого періоду, який становить, наприклад, для умов м. Києва 4690 годин/рік (рис. 1).

Потрібно підкреслити, що для значного періоду часу (близько 50 % за рік) характерна обробка припливного повітря тільки в режимі зволоження без витрат теплоти або холоду (на рис. 1 – зони 5, 6, 8). Даний висновок був також підтверджений розрахунками за методом оптимальних режимів роботи СКП проф. А.А. Римкевича для кліматичних умов Одеси, Харкова та інших міст України.

Рис. 1 – Термодинамічна модель СКП для офісного приміщення із тепловолінісними навантаженнями I класу і зонами області зовнішнього клімату 1, 5, 6, 8, які потребують зволоження повітря



Проаналізовано різні способи зволоження, показано їх переваги та недоліки, визначено області переважного використання. Акцентовано увагу на перспективі подальшого розвитку такого напрямку науки і техніки, як зволоження повітря за рахунок випаровування води в процесі їх безпосереднього контакту в насадках щільної упорядкованої структури. Розглянуто та аргументовано вибір матеріалів і форми досліджених РН. Сформульовано задачі по визначенню робочих характеристик РН, які використовуються для зволоження повітря.

Регулярні насадки, які відібрані для дослідження, мають високий ступінь відповідності поверхні тепломасообміну величині конструктивної геометричної поверхні, що досягається для РН I, II за рахунок властивості матеріалу, а саме: міпласту – мікропористого полівінілхлориду із діаметром пор 33 мкм, а для РН III, IV із поліетилентерефталата (ПЕТ) – формуванням спеціальної коміркової структури поверхні листів (рис. 2б) при їх виготовленні в процесі штампування, яка дозволяє водній рідині рівномірно покривати майже всю поверхню.

При виборі конфігурації поверхні листів РН, в якості основного критерію, була прийнята рекомендація Канадзавського університету (Японія) щодо величини співвідношення $p/e = 8 \div 16$, яка є характеристикою штучної шорсткості поверхні за

параметрами: p – шаг, e – висота регулярних виступів, що виконують роль турбулізаторів течії контактувальних потоків. Такі виступи поверхні (ребра, гофри і т.п.) забезпечують зрив прикордонного шару змішуванням і, відповідно, інтенсифікацію процесу тепломасопереносу при незначному збільшенні коефіцієнта гідравлічного опору. Даний показник для РН I, II складає 12,5, для РН III, IV – $p/e = 9,5$. Для забезпечення зниження аеродинамічного опору та запобігання віднесення рідини за рекомендаціями наукового центру компанії Munters (Швеція) обрані оптимальні кути нахилу повітряного (15°) та водяного (45°) каналів для кожного типу насадки.

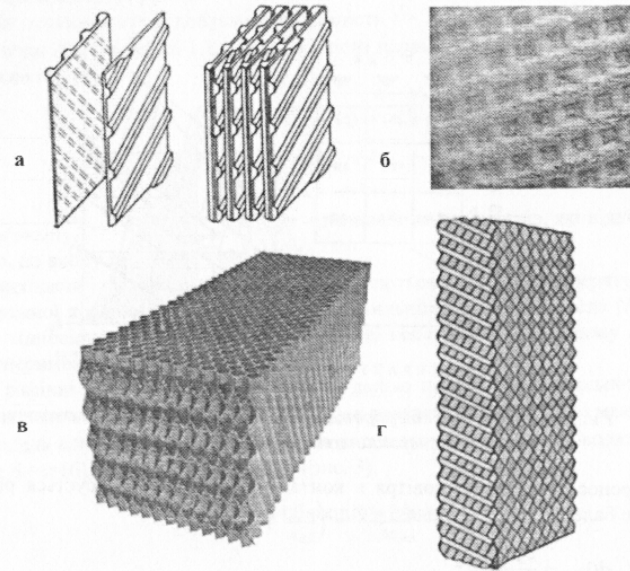


Рис. 2 – Типи досліджених РН: а – РН I, II (міпласт); б – РН III, IV (ПЕТ): фото поверхні листа з комірковою структурою; в – РН V (GLASdek 3); г – РН VI, VII (ПВХ)

Серед вчених, котрі плідно працювали в рамках даного наукового напрямку, на публікації яких автор спирався при вирішенні розглянутих в дисертації задач, необхідно назвати такі імена як: Учїда Х. (Uchida H.), Міклі Г.С. (Mickley H.S.), Дорошенко О.В., Липа О.І., Сикорська С.М., Гоголін В.А., Кокорін О.Я., Михайлов В.О., Римкевич А.А., Колев Н. та ін.

У другому розділі представлено метод аналізу політропних процесів зволоження повітря в щільних насадкових шарах РН при поперечноточній схемі контактування потоків, який є модифікованим варіантом рішення Х. Учїди (Kanazawa University, Japan) у цілому для модуля та Г.С. Міклі (Massachusetts Institute of Tech-

nology, USA) для елементарної ланки, з урахуванням його розвитку в науковій групі проф. О.В. Дорошенка (ОТХП).

Метод базується на наступних допущеннях: поперечноточний модуль зволожувача розбивається на ряд елементарних умовно протічетійних $m \times n$ комірок (рис. 3); інтенсивність процесів переносу для конкретних робочих умов в площині насадки не змінюється: $N_{\Sigma}(k_h) = \text{const}$, $\alpha_{жк}/\beta_h = \text{const}$; розподіл потоків в об'ємі модуля рівномірний; коефіцієнт зрошування $\mu_i = G_{жк}/G_z = \text{idem}$; зміна витрати $G_{жк}$ в процесі випаровування не враховується; співвідношення Л'юїса $le = 1$; величини поверхні переносу теплоти F_m і маси F_m однакові та дорівнюють геометричній поверхні $F_{к.л}$ РН: $F_m = F_m = F_{к.л}$.

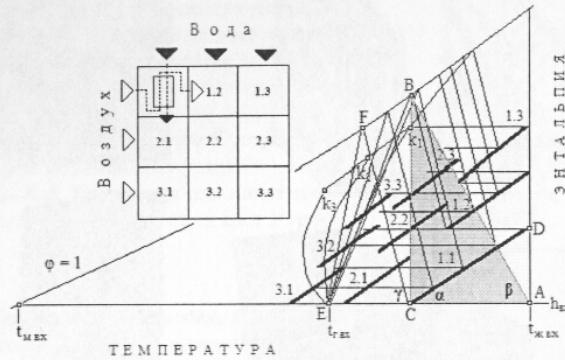


Рис. 3 – Графічна інтерпретація в t, h -діаграмі метода аналізу процесу у поперечноточному модулі зволожувача

Процес зволоження повітря в контактних апаратах описується рівняннями теплового балансу та тепловіддачі у відповідних фазах (1, 2):

$$dQ_{\Sigma, i} = \frac{c_{жк} G_{жк}}{m} dt_{жк, i},$$

$$dQ_{\Sigma, i} = \alpha_{жк} (t_{жк} - t^*)_i dF_i, \quad \rightarrow \quad N_{жк} = \alpha_{жк} \frac{c_{жк} G_{жк}}{m F} = \int dt_{жк, i} / (t_{жк} - t^*)_i; \quad (1)$$

$$dQ_{\Sigma, i} = -\frac{G_z}{n} dh_i,$$

$$dQ_{\Sigma, i} = \beta_h (h^* - h)_i F_i, \quad \rightarrow \quad N_{\Sigma} = \frac{\beta_h G_z}{n F} = \int dh_i / (h^* - h)_i; \quad (2)$$

а також рівнянням кінетики сумарного переносу теплоти (3):

$$dQ_{\Sigma, i} = k_h (h^* - h)_i F_i, \quad \rightarrow \quad N_{\Sigma} = \frac{k_h G_z}{n F} = \int dh_i / (h^* - h)_i, \quad (3)$$

де G_z , $G_{жк}$ – витрати повітря і води в модулі, кг/с; $c_{жк}$ – теплоємність води, кДж/(кг·К); $t_{жк}$, t^* – температури води та поверхні розділу, °С; h^* , h – ентальпії

насиченого повітря, відповідно, при, t^* , t^* кДж/кг; F – площа поверхні контакту фаз, м²; $\alpha_{жк}$ – коефіцієнт тепловіддачі у рідинній фазі, кВт/(м²·К); β_h , k_h – коефіцієнти переносу, відповідно, у газовій фазі та загальний, кг/(м²·с); N_{Σ} , $N_{жк}$, N_{Σ} – числа одиниць переносу, відповідно, у газовій і рідинній фазах та сумарне; i – номер ланки; m , n – числа розбиття модуля (число комірок) у напрямі руху потоків води та повітря.

Числа одиниць переносу (NTU) N_{Σ} , $N_{жк}$, N_{Σ} , які визначають інтенсивність процесу тепломасопереносу, є розрахунковими величинами.

Метод аналізу складається з встановлення рушійних сил процесу у контактних фазах, що в умовах поперечноточного модуля потребує проведення певних ітераційних процедур, рис. 3.

На першому етапі допускається рівність $t^* = t_{жк}$, і задаючись перепадом температур води $\Delta t_{жк}$ в комірці 1.1, для якої відомі параметри потоків на вході, визначається число $N_{\Sigma, i}$ (4).

$$N_{\Sigma, i} = \frac{2 \cdot c \cdot \Delta t_{жк, i}}{(h_{ex}^* - h_{ex})_i + (h_{in}^* - h_{ex} - c \cdot \Delta t_{жк})_i}, \quad (4)$$

$$\Delta t_{жк, i} = a [h_{ex}^* + h_{in}^* - 2h_{ex}]_i. \quad (5)$$

де $a = \frac{1}{c \cdot (1 + 2/N_{\Sigma, i})}$, $c = \frac{c_{жк} G_{жк}}{G_z} \cdot \frac{n}{m}$; ex , in – позначення параметрів, які відносяться, відповідно, до входу та виходу комірки.

Виходячи із умови $N_{\Sigma, i} = \text{const}$, обчислюються значення температури води на виході кожної комірки $t_{жк, вих, i}$, при цьому правильність завдання числа $N_{\Sigma, i}$ встановлюється відповідністю середньої розрахункової величини $t_{жк, вих}$ в цілому для модуля його експериментальному значенню.

Графічні побудови в t, h -діаграмі за даною процедурою складаються із знаходження положення робочих ліній процесу в комірках $h_i = f(t_{жк, i})$, які мають нахил α ($\text{tg } \alpha = c$, для комірки 1.1 – CD, рис. 3), за допомогою ліній, які проводяться під кутом β , $\text{tg } \beta = \pi$ (6), для комірки 1.1 – AB (рис. 3).

$$\pi = c \left(1 + \frac{2}{N_{\Sigma, i}} \right) - \frac{(h_{ex}^* - h_{ex})_i}{\Delta t_{жк, i}}. \quad (6)$$

Для визначення чисел одиниць переносу у фазах N_z і $N_{жк}$ необхідно проведення другої ітерації, яка передбачає розрахунок температури повітря на виході із модуля $t_{z, вих}$ для пошуку дійсного значення співвідношення $\alpha_{жк}/\beta_h$, яке встановлюється при умові $t_{z, вих} = t_{жк}$, що в t, h -діаграмі означає знаходження положення допоміжних робочих ліній процесу в ланках $h_i = f(t^*_i)$, та ліній зміни стану повітря $t_{z, i} = f(h_i)$ (на рис. 3 – криві, які виходять з т. E, із закінченням в точках k_1 , k_2 і k_3 , відповідно коміркам кожного із рядів модуля). Побудова виконується за допомогою конгод: на рис. 3 – EC і паралельних їй ліній, які проведені під кутом γ , $\text{tg } \gamma = \alpha_{жк}/\beta_h$ (7), а також ліній, які зв'язують термічні $t_{z, i}$ та калориметричні h_i параметри повітря (8):

$$\alpha_{жк}/\beta_h = (h^* - h)_i / (t_{жк} - t^*)_i, \quad (7)$$

$$dh_i / dt_{z, i} = (h^* - h)_i / (t_{z, i} - t^*)_i \quad (8)$$

Для аналізу експериментальних даних, які отримані в умовах проведення адиабатичного процесу, використовувався класичний метод Мак-Адамса.

В третьому розділі представлені експериментальний стенд (рис. 4, 5), методи досліджень. Головна частина стенду – секція із прозорого оргстекла прямокутного перетину, розмірами 300 x 800 x 350 мм, всередині якої встановлена РН, а також водорозподільний та водозбірний пристрої.

Водорозподільний пристрій – набір мідних трубок діаметром 10 мм, які мають виходи, рівномірно розподілені над верхнім перетином РН (68 отворів діаметром 2 мм). З метою рівномірного зрошування насадки та попередження проскакування повітря трубки покриті шаром поролону та дрібно ланкової сітки, яка виготовлена з неіржавкової сталі. Водозбірний пристрій для вимірювання віднесення рідини – шість несполучених між собою карманів. В кожному кармані встановлена вимірювальна колба для урахування витрати води та термопара.

Рух повітряного потоку організується за рахунок відцентрового вентилятора. Після вентилятора встановлено дросельний пристрій – шибер, який дозволяє змінювати витрату повітря. Для охолодження повітря використовується повітроохолоджувач холодильної машини. Для нагріву повітря та води використовуються ТЕНи. Між вентилятором та головною частиною передбачена ділянка стабілізації повітряного потоку. Подача води на зрошування здійснюється із теплоізоляованого баку за допомогою циркуляційного насоса. Для зміни витрати води передбачена байпасна лінія. В якості витратоміра води був застосований вимірювальний прилад постійного перепаду тиску – ротаметр РС-3 із поплавком, що вільно переміщається усередині конусоподібної трубки.

Для охолодження води, що подається на насадку, використовувався водний лід, заздалегідь підготовлений в льодогенераторі.

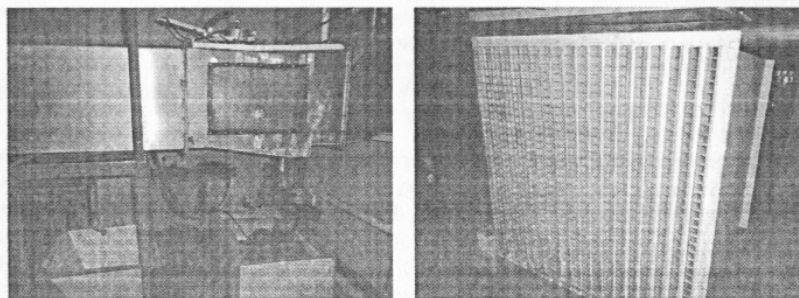


Рис. 4 – Фотографії стенду та експериментального модуля

Вимірювання температур здійснювалося за допомогою електронного контролера ELIWELL ID 961 LX. Діапазон вимірювань: $-50 \dots +140$ °С, $\delta t \pm 0,5$ %. Дублювальний прилад – ртутний лабораторний термометр ТЛП зі шкалою 0,1°С. Для визначення швидкості руху повітря використовувався цифровий анемометр ЕА-3010

точно з діапазоном вимірювання 0,2...3,0 м/с, $\delta v = \pm 5$ %. Для отримання значень відносної вологості повітря використовувався емксісний вимірювач вологості з виходом 4...20 мА – ДВ УТ-02-НІН-0...100 %-100-Д, $\delta \phi = \pm 3$ %.

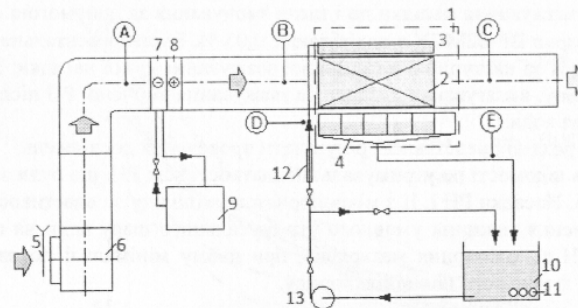
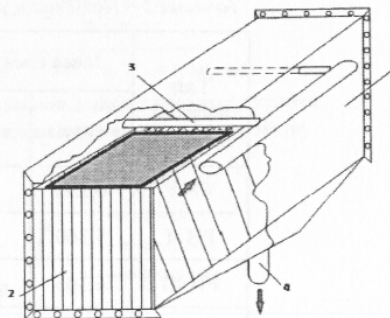


Рис. 5 – Схема стенду та ескіз експериментального модуля з РН:

1 – модуль; 2 – РН; 3 – водорозподільний пристрій; 4 – водозбірна камера; 5 – шибер; 6 – відцентровий вентилятор; 7 – повітроохолоджувач; 8 – повітрянагрівач; 9 – компресорно-конденсаторний агрегат; 10 – водяний бак; 11 – ТЕНи; 12 – ротаметр; 13 – насос; А, В, С, D, Е – точки заміру параметрів потоків повітря та води



У якості експериментальних зразків РН були використані сучасні насадки із полімерних матеріалів (табл. 1), а саме: міпласт та ПЕТ (Україна), GLASdek3 (Швеція), ПВХ (Нідерланди).

Таблиця 1 – Геометричні характеристики досліджених РН

| № РН | Матеріал | Еквівалентний діаметр d_e , мм | Площа робочої поверхні $F_{к.п.}$, м ² | Пористість шару P_c , м ³ /м ³ | Питома площа насадки $f_{к.п.}$, м ² /м ³ |
|------|-----------|----------------------------------|--|--|--|
| I | Міпласт | 6,9 | 20,01 | 0,654 | 381 |
| II | | 17,0 | 9,13 | 0,745 | 174 |
| III | ПЕТ | 6,0 | 29,40 | 0,243 | 560 |
| IV | | 13,0 | 12,70 | 0,436 | 242 |
| V | GLASdek 3 | 6,5 | 28,51 | 0,521 | 543 |
| VI | ПВХ | 15,5 | 7,25 | 0,465 | 138 |
| VII | | 18,0 | 4,78 | 0,465 | 91 |

Дослідження проводилися в наступному діапазоні вимірювання початкових значень температури повітря і води: $t_p = 10 \div 40$ °С, $t_{ж} = 5 \div 80$ °С.

З метою визначення утримувальної здатності РН було виконано спеціальне дослідження шляхом зважування насадки до і після змочування за допомогою електронного пристрою марки ВР-02МСУ з похибкою $\pm 0,05$ %. Експериментальне дослідження здійснювалось за наступною методикою: зважування сухої насадки; занурення РН у водяну ванну; витягування насадки та зважування змоченої РН після того, як з неї стекла зайва вода.

В четвертому розділі представлені результати проведених досліджень.

Табл. 2 містить відомості по утримувальній здатності всіх РН, що були застосовані в експерименті. Насадки РН I, II з мікропористого міпласту за властивостями матеріалу мають значення товщини умовного утримувального шару води на порядок вищі відносно РН з полімерних матеріалів, при цьому мінімальні показники спостерігаються у РН із щільного полівінілхлориду.

Таблиця 2 – Показники утримувальної здатності РН

| Тип насадки | Маса насадки m , кг | | Товщина умовного утримувального шару води $\delta_{ж}$, мм |
|-------------|-----------------------|------------|---|
| | «сухої» | «змоченої» | |
| РН I | 6,232 | 10,513 | 0,2100 |
| РН II | 5,360 | 7,071 | 0,1900 |
| РН III | 6,305 | 8,155 | 0,0630 |
| РН IV | 5,481 | 6,091 | 0,0480 |
| РН V | 7,830 | 9,535 | 0,0600 |
| РН VI | 0,198 | 0,260 | 0,0086 |
| РН VII | 0,150 | 0,203 | 0,0110 |

На рис. 6 наведено результати дослідження часового циклу зрошування, а саме графік часу випаровування води з поверхні насадки τ в залежності від швидкості повітря w в живому перетині РН. Початковий час експозиції зрошування насадки становив 5 хв., що гарантувало повне зрошування всієї поверхні.

Встановлено час повного випаровування вологи для дослідженого діапазону швидкостей повітряного потоку, що визначає параметри часового циклу зрошування $\tau_{вкл} / \tau_{вкл}$ для зволожувачів із дозованим зрошуванням насадки.

На рис. 7 показана експериментальна залежність зміни температури плівки води $t_{ж}$ у часі при різних значеннях витрати повітря G_p . В процесі роботи зволожувального 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 – показаннями термопар, які розміщені на робочій поверхні РН. Екстремум t пояснюється суттєвим зменшенням рідинного шару до «оголення» термопари.

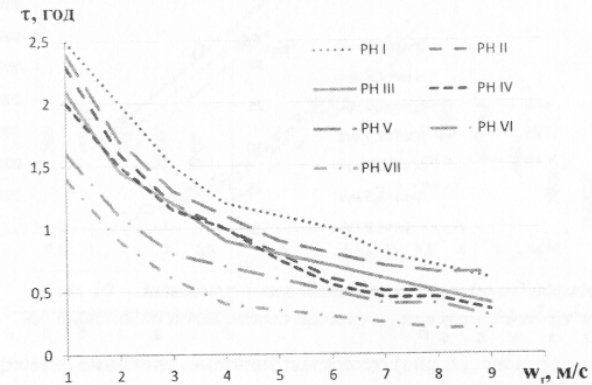


Рис. 6 – Залежність часу випаровування води τ з поверхні насадки від швидкості потоку повітря в «живому» перетині насадки w_2

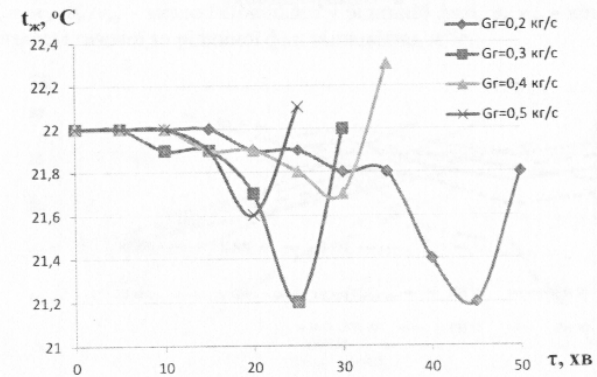


Рис. 7 – Зміна температури поверхні води $t_{ж}$ протягом часу τ при різних масових витратах повітря G_p

При аналізі характеристик поперечноточних насадок вагоме значення представляє інформація про розподіл газового та рідинного потоків у насадковому шарі, оскільки рівномірне зрошування верхнього шару РН само за себе не гарантує незмінності витрати рідини в кожному із каналів насадки. Результати дослідження цього питання відображені на рис. 8, 9 та свідчать про те, що на відміну РН VI, VII, які характеризуються суттєвим віднесенням рідини, насадки РН I...V забезпечують

майже рівномірний розподіл рідини. Останнє визначає перевагу РН I...V в плані ефективності використання конструктивної поверхні РН, а також практично вирішує проблему виносу рідини за межі насадного модуля.

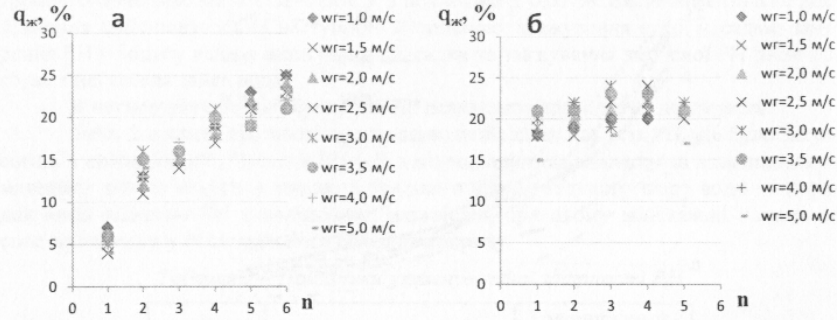


Рис. 8 – Розподіл питомої витрати води $q_{ж} = 11 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$ по довжині насадки для РН VI (а) та РН III (б) при відповідних швидкостях повітряного потоку $w_г$, n – номер карману

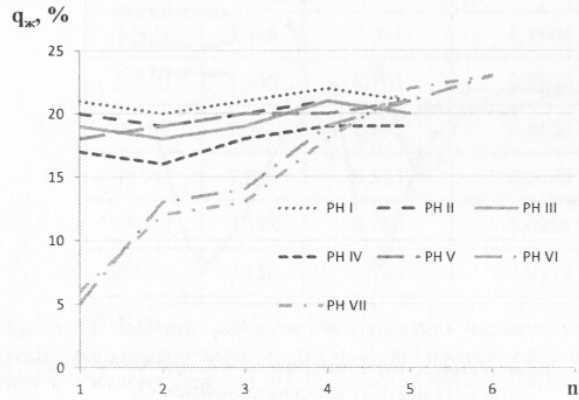


Рис. 9 – Розподіл питомої витрати води $q_{ж} = 11 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$ по довжині насадки при швидкості повітряного потоку $w_г = 2 \text{ м/с}$

Дослідження аеродинамічних характеристик (рис. 10) показало, що за величиною опору повітря перевагу мають насадки РН II, IV, а також РН VI, VII, для яких в робочому діапазоні $w_г = 1,5 \dots 4 \text{ м/с}$: $\Delta P = 75 \dots 450 \text{ Па}$, що у 2 – 4 рази менше ніж для РН I, III, V.

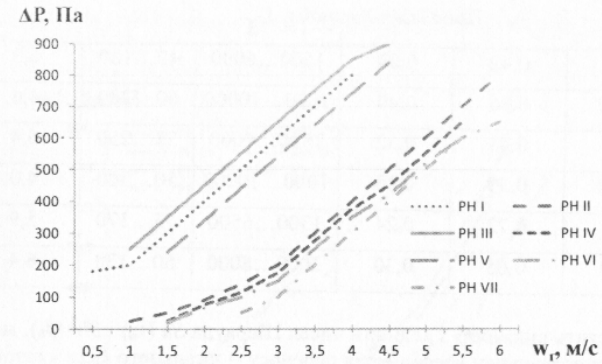


Рис. 10 – Залежність аеродинамічного опору ΔP насадок від швидкості повітряного потоку $w_г$ при $q_{ж} = 11 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$

Отримано емпіричні кінетичні залежності (рис. 11, табл. 3):

$$Sh = c \cdot Re_г^n \cdot Re_{ж}^m, \tag{9}$$

де c, n, m – коефіцієнти пропорційності; $Re_г = w_г \cdot d_c / \nu_г$ – число Рейнольдса у газовій фазі; $Re_{ж} = w_{ж} \cdot d_c / \nu_{ж}$ – число Рейнольдса у рідинній фазі; $\nu_г, \nu_{ж}$ – кінематичні коефіцієнти в'язкості газової та рідинної фаз, відповідно, $\text{м}^2/\text{с}$.

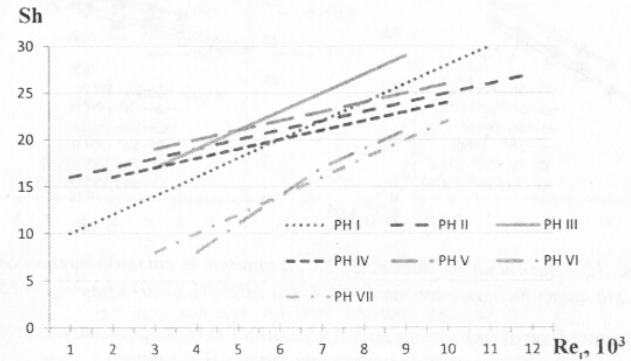


Рис. 11 – Залежність чисел Sh від чисел $Re_г$ для досліджених насадок при $Re_{ж} = 150$

Таблиця 3 – Значення параметрів кінетичної залежності $Sh = f(Re_г, Re_{ж})$

| Тип РН | c | n | m | $Re_г$ | $Re_{ж}$ | $\delta_{ср}, \%$ |
|--------|-------|------|------|--------------|----------|-------------------|
| РН I | 165,4 | 0,34 | 0,37 | 1000...10000 | 55...300 | 4,9 |

| | | | | | | |
|--------|-------|------|------|--------------|----------|-----|
| PH II | 12,4 | 0,42 | 0,28 | 1500...6000 | 42...180 | 6,3 |
| PH III | 154,2 | 0,38 | 0,40 | 1000...10000 | 60...280 | 4,6 |
| PH IV | 16,1 | 0,41 | 0,32 | 1500...6000 | 38...250 | 6,4 |
| PH V | 144,1 | 0,39 | 0,36 | 1000...10000 | 50...300 | 4,0 |
| PH VI | 8,6 | 0,72 | 0,24 | 1300...6500 | 55...170 | 5,9 |
| PH VII | 11,2 | 0,65 | 0,30 | 2000...8000 | 60...170 | 6,4 |

Рис. 12 містить відомості з величин чисел Шервуда Sh (k_h) і Sh^* (β_h), які були отримані в процесі розрахунку коефіцієнтів переносу – загального k_h та у газовій фазі β_h – для PH I...IV, а також має дані про їх співвідношення Sh/Sh^* . Наведена інформація висвітлює незначне відхилення величини Sh^* від Sh , та свідчить про те, що для даних насадок величина термічного опору у рідинній фазі досить мала, та її врахування не потрібне.

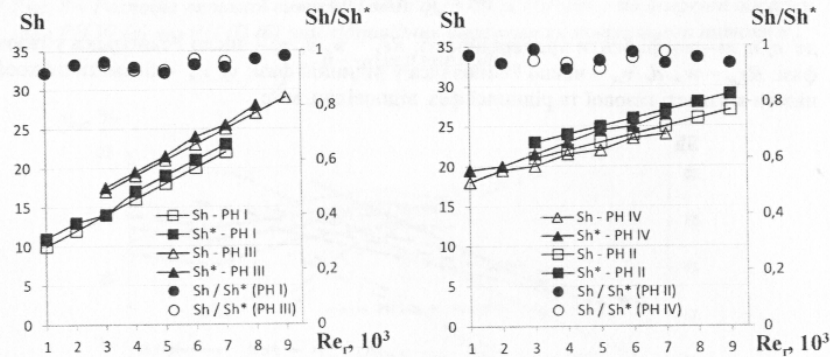


Рис. 12 – Залежність чисел Sh і Sh^* , а також їх співвідношення Sh/Sh^* від чисел Re_p для насадок PH I, II (а) і PH III, IV (б) при $Re_ж = 150$

Кінетичні характеристики досліджуваних PH були розглянуті із урахуванням енерговитрат на здійснення процесу за методикою Н. Колева:

$$E^* = \left(\frac{1}{N_g}\right) \cdot \left[\Delta P + \frac{H \cdot G_w \cdot \rho_w \cdot g}{G_g}\right] \quad (10)$$

де E^* – питома витрата енергії, яка складається із сумарної роботи вентилятора і насоса, віднесеної до одного кубічного метру повітря і до висоти насадки, яка відповідає одній одиниці переносу, Дж/м³. Даний підхід був також використаний для випадку дозованого зрошування насадки водою із урахуванням відсутності затрат на роботу насоса, рис. 14. В цих умовах вираз для питомої витрати енергії:

$$E^* = \left(\frac{1}{N_g}\right) \cdot \left[\frac{\Delta P^2}{G_g}\right] \quad (11)$$

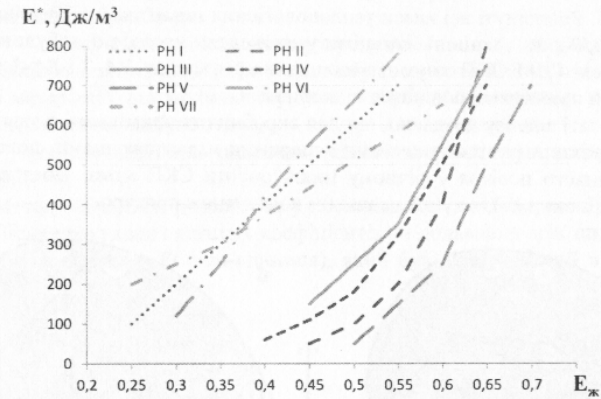


Рис. 13 – Залежність питомої витрати енергії E^* від ступеня ефективності $E_ж$ у режимі постійної подачі води при $q_ж = 11 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$

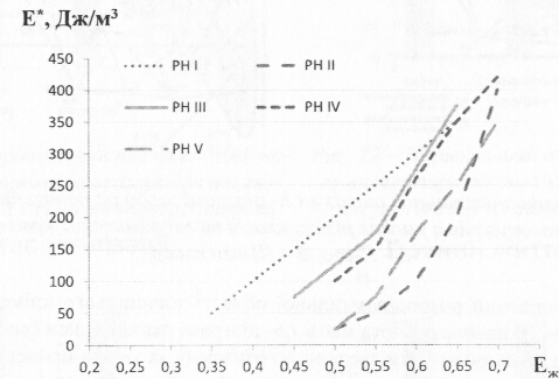


Рис. 14 – Залежність питомої витрати енергії $E^* = f(E_ж)$ у режимі дозованого зрошування

При однакових значеннях числа $E_ж$ насадки PH II, PH IV і PH V характеризуються меншими величинами E^* . Енергоефективність цих насадок у порівнянні із PH VI, PH VII приблизно у 1,5 рази більше. Насадки PH I, II, III, IV, які складаються із листів ПЕТ та міпласта, виявили здатність щодо використання їх в якості робочої поверхні зволожувачів припливного повітря СКП із забезпеченням високоєфективної роботи у режимі дозованого зрошування.

В роботі здійснений графоаналітичний аналіз наявних областей зовнішнього повітря, згідно кліматичних паспортів міст України, на предмет раціонального ведення процесу зволоження повітря за методом оптимальних режимів проф. А.А. Римкевича, рис. 15. Розглянуті всі класи тепловологісних навантажень приміщень, при цьому для кожної зони зовнішнього клімату проведено необхідні побудови термодинамічної моделі ТДМ СКП за умови виконання ранжувачів PA-2 і PA-3 щодо мінімізації витрати припливного повітря, відповідно, G_n і $G_{ж}$.

У результаті аналізу доведено, що для виробничих приміщень, а також інших об'єктів, що характеризуються значними тепловими навантаженнями, політропічна обробка зовнішнього повітря у річному циклі роботи СКП може забезпечуватися контактним апаратом з РН, як універсальним контактним пристроєм.

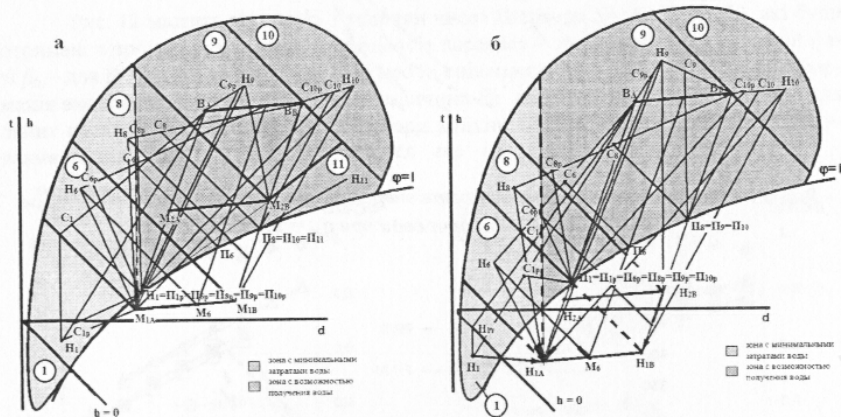


Рис. 15 – Графоаналітичний аналіз в t, h -діаграмі щодо раціональних режимів роботи зволожувачів в умовах різних класів тепловологісних навантажень: а – II-ого, б – III-ого класу

Запропонований розподіл загальної області зовнішнього клімату, яка за даними кліматичного паспорта міста має в t, h -діаграмі певні обриси (рис. 15), на дві: в першій витрата води може бути зведена до мінімуму за умови проведення відповідного політропічного процесу при $\Delta d = d_n - d_n < 0$, а у другій можливе отримання додаткової кількості вологи із атмосферного повітря при $\Delta d > 0$. Межа вищевказаних умовних підобластей зовнішнього повітря визначається величиною вологовмісту припливного повітря:

$$d_n = d_b - \frac{Q_n}{\varepsilon \cdot G_n}, \quad (12)$$

де d_n, d_b – вологовміст, відповідно, внутрішнього і зовнішнього повітря, кг/кг; G_n – витрата припливного повітря, кг/с; Q_n – повне теплове навантаження приміщення, кВт; $\varepsilon = Q_n / W_n$ – тепловологісне навантаження приміщення, кДж/кг; W_n – повне вологісне навантаження приміщення, кг/с.

Сучасним методом порівняння альтернативних варіантів при виборі обладнання СКП є аналіз їх техніко-економічних та екологічних показників за повний життєвий цикл із урахуванням показників утилізації за методом LCA (Life Cycle Assessment), що передбачає:

- оцінку екологічного впливу продукції (процесу) за рахунок встановлення та кількісного визначення всіх показників за життєвий цикл продукції (процесу), енергії і матеріалів, що використовуються, та шкідливих викидів у навколишнє середовище, які потім відбуваються;
- оцінку здатності зниження екологічного впливу аналізованої продукції (процесу).

Методологія LCA розроблена у відповідності із стандартом ISO 14040.

Після урахування вагових коефіцієнтів та додавання всіх шкідливих впливів виділено екоіндикатор Pt (еко-одиниця), який був використаний в даному аналізі, рис. 16 – 19.

Etap виробництва



Etap експлуатації

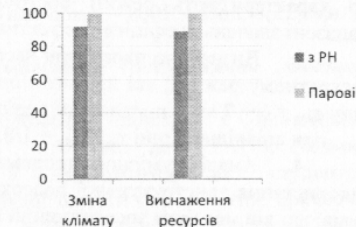


Рис. 16 – Порівняльний аналіз екологічного впливу парових зволожувачів та зволожувачів з РН на етапі виробництва

Рис. 17 – Порівняльний аналіз екологічного впливу парових зволожувачів та зволожувачів з РН на етапі експлуатації

Etap утилізації



Повний життєвий цикл

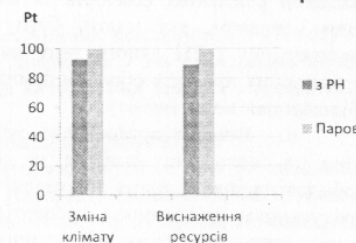


Рис. 18 – Порівняльний аналіз екологічного впливу парових зволожувачів та зволожувачів з РН на етапі утилізації

Рис. 19 – Порівняльний аналіз екологічного впливу парових зволожувачів та зволожувачів з РН у життєвому циклі

xv 747
ІНСТИТУТ КОЛОРДЕ

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі проведено експериментальні та теоретичні дослідження з удосконалення зволожувальних пристроїв СКП на базі сучасних регулярних насадок з метою підвищення їх ефективності та зменшення витрат якісної води та електроенергії на організацію процесу.

Згідно мети роботи розв'язані поставлені задачі дослідження і отримані наступні основні результати:

1. Доведено, що регулярні насадки з високим ступенем використання конструктивної поверхні, а саме: із листів мікропористого міпласту та поліетилентерефталату з дрібнокомірковою структурою РН I...IV, у зволожувачах припливного повітря СКП, які працюють у дискретному режимі дозованого зрошування водою, забезпечують високу інтенсивність процесу $Sh \geq 20...27$ на рівні світових зразків (РН V, Munters) при менших у 1,5 – 1,7 рази показниках питомої витрати енергії.

2. Встановлено, що режим дозованого зрошування призводить до зниження витрат питомої електроенергії в 2,5 рази від величин $E^* = 250...600 \text{ Дж/м}^3$, що характеризують режим постійної подачі води, до $E^* = 120...250 \text{ Дж/м}^3$ в діапазоні значень коефіцієнту ефективності $E_{\text{ж}} = 0,5...0,7$.

3. Визначено параметри часового циклу роботи зволожувачів з РН I...IV у дискретному режимі, які протягом однієї години мають працювати за часом подачі води $\tau_{\text{вкл}} = 6 \div 7 \text{ хв.}$ з подальшим періодом випаровування вологи без зрошування РН $\tau_{\text{вискл}}$ при співвідношенні $\tau_{\text{вкл}}/\tau_{\text{вискл}} = 1/8$.

4. Аналіз сумісного тепломасообміну в зволожувачах з високим ступенем використання конструктивної поверхні РН за методом Учїди – Міклі – Дорошенка довів, що він має бути зосереджений на визначенні загальних коефіцієнтів обміну як достатніх величинах, оскільки отримані в цих умовах величини термічного опору водяної плівки $R_{\text{ж}} = (0,05...0,07) R_{\Sigma}$ вельми малі, та не впливають на результат розрахункової процедури, яка може бути суттєво спрощена із скороченням часу розрахунку без втрати точності.

5. Отримано емпіричні залежності для досліджених насадок у широкому діапазоні режимних факторів та початкових параметрів контактних потоків води і повітря, які мають бути використані в інженерній практиці підбору зволожувачів з РН даного типу до складу СКП з метою проведення будь-яких політропних процесів обробки припливного повітря в межах, що характеризуються збільшенням вологовмісту.

6. Вперше встановлено межу витратного і безвитратного використання води на зволоження повітря за допомогою методу оптимальних режимів при побудові та аналізі термодинамічної моделі СКП в цілорічному циклі експлуатації з урахуванням кліматичних паспортів міст України. Запропоновано математичний опис взаємної межі та умов існування даних режимів.

7. Доведено за допомогою сучасного метода LCA (стандарти ISO 14040 - 14043) що використання зволожувачів з РН у порівнянні із паровими пристроями в середньому на 15 % поліпшує енергетичні показники та призводить до меншого впливу на виснаження ресурсів і зміну клімату.

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Подмазко, Н.О. (Піщанська, Н.О.) Аналіз використання парових зволожувачів повітря [Текст] : зб. тез доп. / Н.О. Подмазко (Н.О. Піщанська) // 2-а науково-технічна студентська конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса. – 2003. – С. 9.
2. Подмазко, Н.О. (Піщанська, Н.О.) Аналіз сучасних проблем вологісної обробки повітря в системах комфортного кондиціонування [Текст] : зб. наук. пр. / О.І. Липа, Н.О. Подмазко (Н.О. Піщанська), А. Мухамед Аль-Сагаф // 3-я міжнародна навчально-технічна конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса. – 2003. – С. 84.

Особистий внесок: аналітичне дослідження, виконання розрахунків.

3. Подмазко, Н.О. (Піщанська, Н.О.) Методика інженерного розрахунку форсуночної камери з малими коефіцієнтами зрошення в установках мікроклімату ентомологічних виробництв [Текст] : зб. наук. пр. / О.І. Липа, В.М. Бельченко, Н.О. Подмазко (Н.О. Піщанська) // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Дослідницьке (Київ. обл.). – 2005. – Вип. 8(22), кн. 2. – С. 305.

Особистий внесок: постановка задачі, аналітичне дослідження, виконання розрахунків.

4. Подмазко, Н.О. (Піщанська, Н.О.) Зволоження повітря в приміщеннях ентомологічного виробництва [Текст] : зб. тез доп. / Н.О. Подмазко (Н.О. Піщанська), А.Ю. Гончарова // Науково-технічна студентська конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», присвячена 100-річчю з дня народження проф. В.С. Мартиновського – Одеса. – 2006. – С. 30 – 31.

Особистий внесок: формулювання ідеї, аналітичне дослідження.

5. Піщанська, Н.О. Особливості компонування сучасних насадок фірми «Бротек» для систем кондиціонування повітря [Текст] : зб. тез доп. / Н.О. Піщанська // Сучасні проблеми холодильної техніки і технології. – Одеса: ОДАХ. – 2007. – С. 102.
6. Піщанська, Н.О. Зволоження повітря прецизійних кондиціонерів [Текст] : зб. тез доп. / О.І. Липа, С.О. Муратов, Н.О. Піщанська // 5-а міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса: ОДАХ. – 2009. – С. 97 – 98.

Особистий внесок: аналітичне дослідження, виконання розрахунків.

7. Піщанська, Н.О. Підвищення ефективності зволожувачів повітря прецизійних кондиціонерів [Текст] : зб. тез доп. / О.І. Липа, Н.О. Піщанська, Фатхі Даях // 7-а міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», частина I. – Одеса. – 2011. – С. 111 – 113.

Особистий внесок: аналітичне дослідження, виконання розрахунків.

8. Піщанська, Н.О. Експериментальне дослідження плівкових зволожувачів в режимі повного безостатнього випаровування [Текст] : зб. тез доп. / Н.О. Піщанська // Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих

вчених та студентів «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології». – Одеса: ОДАХ. – 2011. – С. 85 – 86.

9. Пищанская, Н.А. Исследование режима увлажнения воздуха с импульсным орошением насадок [Текст] : сб. тез. докл. / Н.А. Пищанская // Международная конференция с элементами научной школы для молодежи «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур». – М.: МГУИЭ. – 2011. – С. 42 – 43.
10. Пищанская, Н.А. Экспериментальное исследование оптимальных габаритных размеров орошаемой насадки в камерах увлажнения воздуха [Текст] : зб. тез. доп. / Н.А. Пищанская // IX міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса. – 2013. – С. 247 – 250.
11. Пищанская, Н.А. Выбор компоновочных размеров насадочных контактных устройств на базе регулярных структурированных насадок [Текст] / Н.А. Пищанская // Вісник НУК імені адмірала Макарова. – Николаев. – 2013. – № 4.
12. Пищанская, Н.А. Анализ способности воздуха ассимилировать влагу при использовании увлажнительных устройств [Текст] : темат. зб. наук. пр. / Н.А. Пищанская // Обладнання та технології харчових виробництв. – ДонНУЕТ. – 2014. – Вип. 32. – С. 107 – 113.
13. Пищанская, Н.А. Исследование процессов увлажнения воздуха при использовании дозированного увлажнения пленочных насадок [Текст] / Н.А. Пищанская // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса: ОНАХТ. – 2014. – Т. 1, вип. 45. – С. 61 – 64.
14. Пищанская, Н.А. Экспериментальное исследование регулярных структурированных насадок для увлажнения воздуха [Текст] : зб. наук. пр. / Н.А. Пищанская // 10-а міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса. – 2014. – С. 51 – 56.
15. Пищанская, Н.А. Математическая модель кондиционируемого помещения с учетом нестационарных внешних и внутренних тепловлажностных нагрузок [Текст] / Н.А. Пищанская // Холодильная техника и технология. – Одеса: НН ИКХЭ ОНАПТ. – 2014. – № 1 – С. 33 – 37.
16. Пищанская, Н.А. Математическое моделирование и анализ процессов увлажнения воздуха в системах кондиционирования [Текст] : сб. докл. / Н.А. Пищанская, В.Ю. Байдак // Международная научно-техническая конференция «Казахстан-Холод». – Алма-Ата: АТУ. – 2014. – С. 84 – 89.

Особистий внесок: формулювання ідеї, виконання розрахунків.

17. Pischanskaya, N.A. Mathematical modeling and analysis of humidification, air-conditioning systems [Text] / M.G. Khmelniuk, N.A. Pischanskaya, V.Y. Baidak // European Science Review. – 2014. – № 5 – 6. – P. 128 – 133.

Особистий внесок: аналітичне дослідження, виконання розрахунків.

18. Пищанская, Н.А. Усовершенствование поперечноточных аппаратов увлажнения воздуха на основе насадок упорядоченной структуры [Текст] : М.Г. Хмельнюк, Н.А. Пищанская // Пищевая промышленность: наука и технология. – Минск. – 2014. – № 3 (25) – С. 57 – 63.

Особистий внесок: аналітичне дослідження, виконання розрахунків.

АНОТАЦІЯ

Пищанська Н.О. Удосконалення поперечноточних апаратів зволоження повітря на основі насадок упорядкованої структури. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 – Холодильна, вакуумна і компресорна техніка, системи кондиціонування повітря. – Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2015.

Робота присвячена удосконаленню компактною поперечноточною тепломасообмінною апаратури систем кондиціонування повітря (СКП) при організації процесу безпосереднього контакту повітряного потоку із водою в об'ємі регулярних насадок (РН), які характеризуються розвинутою системою каналів.

Запропоновано нові типи РН, що відрізняються високим ступенем змочувальності за рахунок застосованих матеріалів або особливої геометрії поверхні. Дані насадки експериментально досліджені в широкому діапазоні початкових параметрів контактвальних потоків та режимних характеристик, у тому числі в спеціальному режимі дозованого зрошення.

Експериментальний матеріал оброблений за допомогою модифікованого методу аналізу Учїди – Міклі – Дорошенка, який розроблений для умов поперечноточної схеми та передбачає можливість оцінки внеску кожної з фаз в загальний термічний опір системи.

В результаті отримані необхідні емпіричні залежності для розрахунку зволожувачів повітря.

Проведено аналітичне дослідження можливості застосування даних зволожувачів повітря з використанням методу оптимальних режимів проф. А.А. Римкевича для умов, що характеризуються різними класами тепловологістного навантаження приміщення з цільовою функцією по мінімізації енерговитрат і води. Виконаний екологічний аналіз альтернативних РН за допомогою сучасного методу LCA «Life Cycle Assessment» (стандарт ISO 14040).

Ключові слова: кондиціонування повітря, регулярні насадки, зволоження повітря, дозоване зрошення, емпіричні залежності, оптимальні режими, екологічний аналіз.

АННОТАЦИЯ

Пищанская Н.А. Усовершенствование поперечноточных аппаратов увлажнения воздуха на основе насадок упорядоченной структуры. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – Холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования. – Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, 2015.

Работа посвящена совершенствованию компактной поперечноточной тепло-массообменной аппаратуры систем кондиционирования воздуха (СКВ) при организации процесса непосредственного контакта воздушного потока с водой в объеме регулярных насадок (РН), характеризующихся развитой системой каналов.

Предложены новые типы РН, образованные листами, отличающимися высокой степенью смачиваемости за счет примененных материалов либо особой геометрией поверхности. Данные насадки экспериментально исследованы в широком диапазоне начальных параметров контактирующих сред и режимных характеристик, в том числе в специальном режиме дозированного орошения.

Экспериментальный материал обработан с помощью модифицированного метода анализа Учиды – Микли – Дорошенка, разработанного для условий поперечной схемы, и который предусматривает возможность оценки вклада каждой из фаз в общее термическое сопротивление системы.

В результате получены необходимые эмпирические зависимости для расчета увлажнителей воздуха, использующих данные насадки, при этом показано, что:

- применение дискретного режима дозированного орошения насадочного слоя позволяет минимизировать затраты на организацию процесса, а именно, существенно уменьшить расход электроэнергии и воды питьевого качества;
- рекомендованные РН высокой смачиваемости не требуют проведения детального анализа по частным коэффициентам обмена, поскольку величина термического сопротивления жидкостной фазы в этих условиях пренебрежимо мала.

Проведено аналитическое исследование возможности применения данных увлажнителей воздуха с использованием метода оптимальных режимов проф. А.А. Рымкевича для условий, характеризующихся различными классами тепловлажностных нагрузок помещения с целевой функцией по минимизации энергопотребления и воды. Сформулированы рекомендации по использованию увлажнителей данного типа в качестве универсального аппарата для осуществления политермических процессов обработки воздуха в круглогодичном цикле функционирования СКВ.

Выполнен экологический анализ альтернативных РН с помощью современного метода LCA «Life Cycle Assessment» (стандарт ISO 14040).

Ключевые слова: кондиционирование воздуха, регулярные насадки, увлажнение воздуха, дозированное орошение, эмпирические зависимости, оптимальные режимы, экологический анализ.

ABSTRACT

Pishchanskaya N. A. Improvement of cross-current apparatuses for air humidification based on packing of ordered structure. - Manuscript.

Thesis for a Candidate's Degree in Technical Sciences. Speciality 05.05.14 – Refrigeration, Vacuum and Compressor Engineering, Air-conditioning systems. – Odessa national academy of food technologies. – Odessa, 2015.

The work is dedicated to the improvement of a compact cross-current heat and mass transfer equipment of air conditioning systems at organization of direct contact process of the air flow with water in the volume of regular packing (RP), characterized by a complex system of canals.

New types of RP, formed by sheets, which are characterized by a high degree of wettability on account of the applied materials and special surface geometry have been proposed.

Experimental data was processed by means of a known Uchida – Mickley – Doroshenko analysis method designed for cross-current scheme conditions and which provides the opportunity to assess the contribution of each phases into the aggregate thermal resistance of the system.

As a result, necessary empirical dependencies for calculation of the air humidifiers using these packing have been obtained.

An analytical research of these air humidifiers application possibilities with prof. A A Rymkevich optimal modes method for variety of conditions characterized by classes of heat and humidity loads of the space with the objective function on power and water consumption minimization has been carried out.

An environmental analysis of alternative RP by means of modern of LCA «Life Cycle Assessment» (ISO standard 14040) method was carried out.

Keywords: air conditioning, regular packing, humidification, metered irrigation, empirical dependencies, optimal modes, environmental analysis.