

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В ШАРІ РУХОМОЇ НАСАДКИ ОСУШУВАЛЬНОГО КОНТУРУ СОНЯЧНИХ СИСТЕМ

У статті наведено результати експериментальних досліджень процесів тепломасообміну в абсорбційних апаратах систем сонячного теплохолодопостачання. Розроблено інженерні рекомендації щодо режимних і конструктивних параметрів абсорбційних тепломасообмінних апаратів із рухомою насадкою.

Ключові слова: абсорбція, тепломасообмін, осушення повітря, рухома насадка, сонячна система, кондиціонування повітря.

Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Розвиток абсорбційних сонячних систем теплохолодопостачання та кондиціонування повітря в останній час набуває великого значення завдяки їх екологічній безпеці, дуже низькому енергоспоживанню, на відміну від традиційних компресійних холодильних систем [1]. Однак, у світовій і вітчизняній літературі є відсутнім аналіз процесів, які відбуваються в абсорбційних тепломасообмінних апаратах.

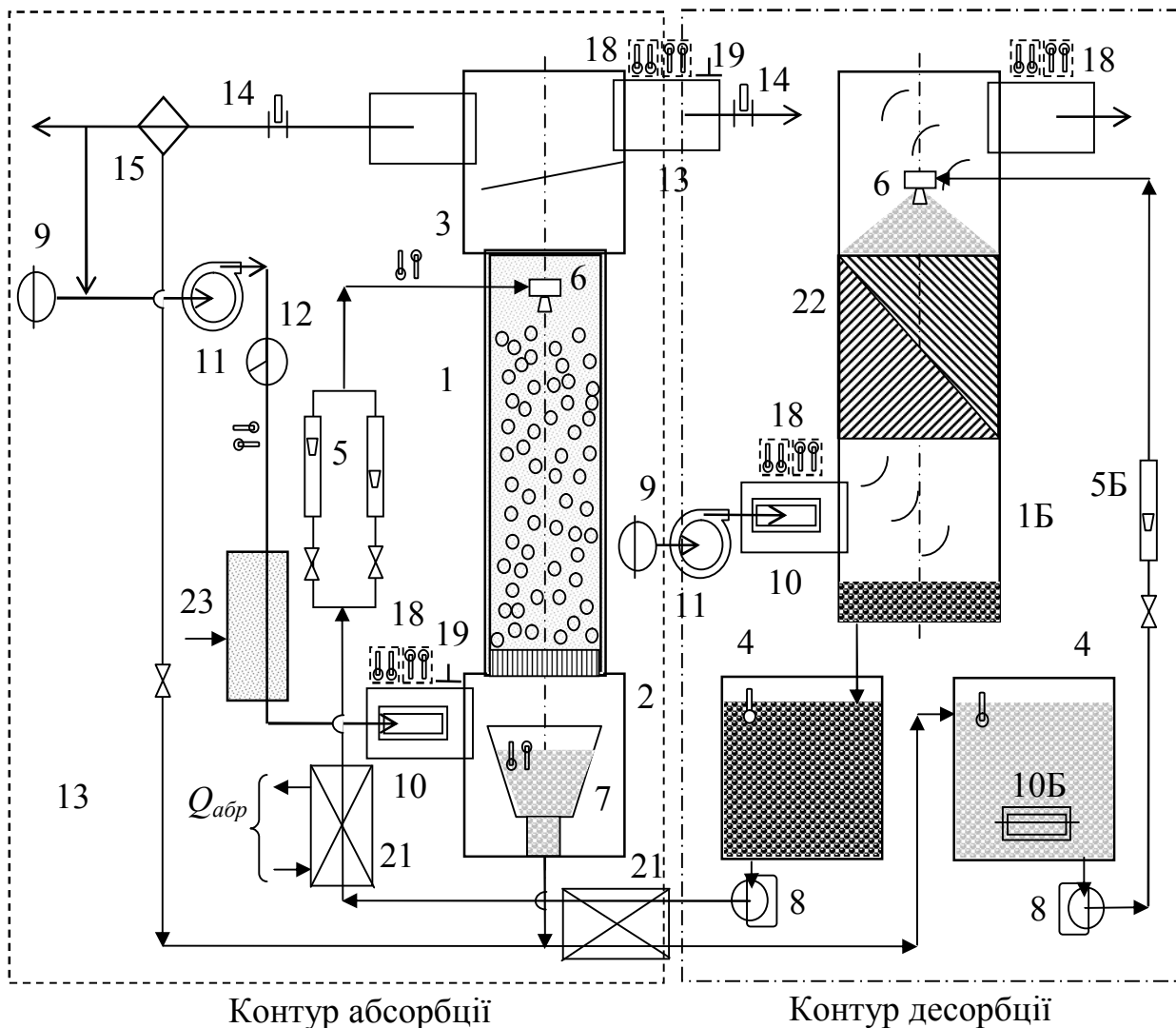
Мета статті полягає в розробленні інженерних рекомендацій щодо режимних і конструктивних параметрів абсорбційних тепломасообмінних апаратів із рухомою насадкою на підставі їх експериментального вивчення.

Процес відновлення розчину абсорбенту відіграє визначальну роль у підтримці безперервності абсорбційного циклу. Для експериментального вивчення теплових характеристик був використаний стенд, принципова схема якого наведена на рисунку 1. Стенд являє собою колону (1) циліндричної форми, яка складається з набору прозорих царг діаметром $D_k \approx 200$ мм і висотою $H_k = 1000$ мм. З урахуванням висоти опорно-розподільчої решітки висота робочої зони колони становить 950 мм. Усередині абсорбційної колони розміщено опорно-розподільчу решітку (ОРР) із шаром рухомої насадки (РН) і водорозподільник (6) із варійованим розташуванням по висоті колони. Площа опорно-розподільчої решітки – $f_{орр} = 75$; висота робочої зони – $H_{см} = 50$ мм. Можливості стенда: витрати теплоносіїв і теплофізичні параметри змінювалися в діапазонах: швидкість повітряного потоку, який осушується в абсорбері, $w_2 = 2,0..4,0$ м/с; питомий видаток абсорбенту $q_{жс} = 5...35$ м³/, (м²·год); температура і вологовміст зовнішнього повітря: $t_2 = 30^\circ\text{C}$, $x_2 = 11..20$ г/кг.

У дослідах використовували порожні целулоїдні частково заповнені водою кулі – елементи насадки з густиною $\rho_{ен} = 400$ кг/м³. Як абсорбент використовувався літієво-бромистий розчин (Li-Br).

Підготовка розчину Li-Br необхідної концентрації та підтримку його початкової концентрації в процесі досліджень забезпечував контур десорбції (відновлення абсорбенту), який містив: колону 1Б плівкового типу з насадкою регулярної структури; два баки-акумулятори 4А і 4Б – ємкості для міцного і слаб-

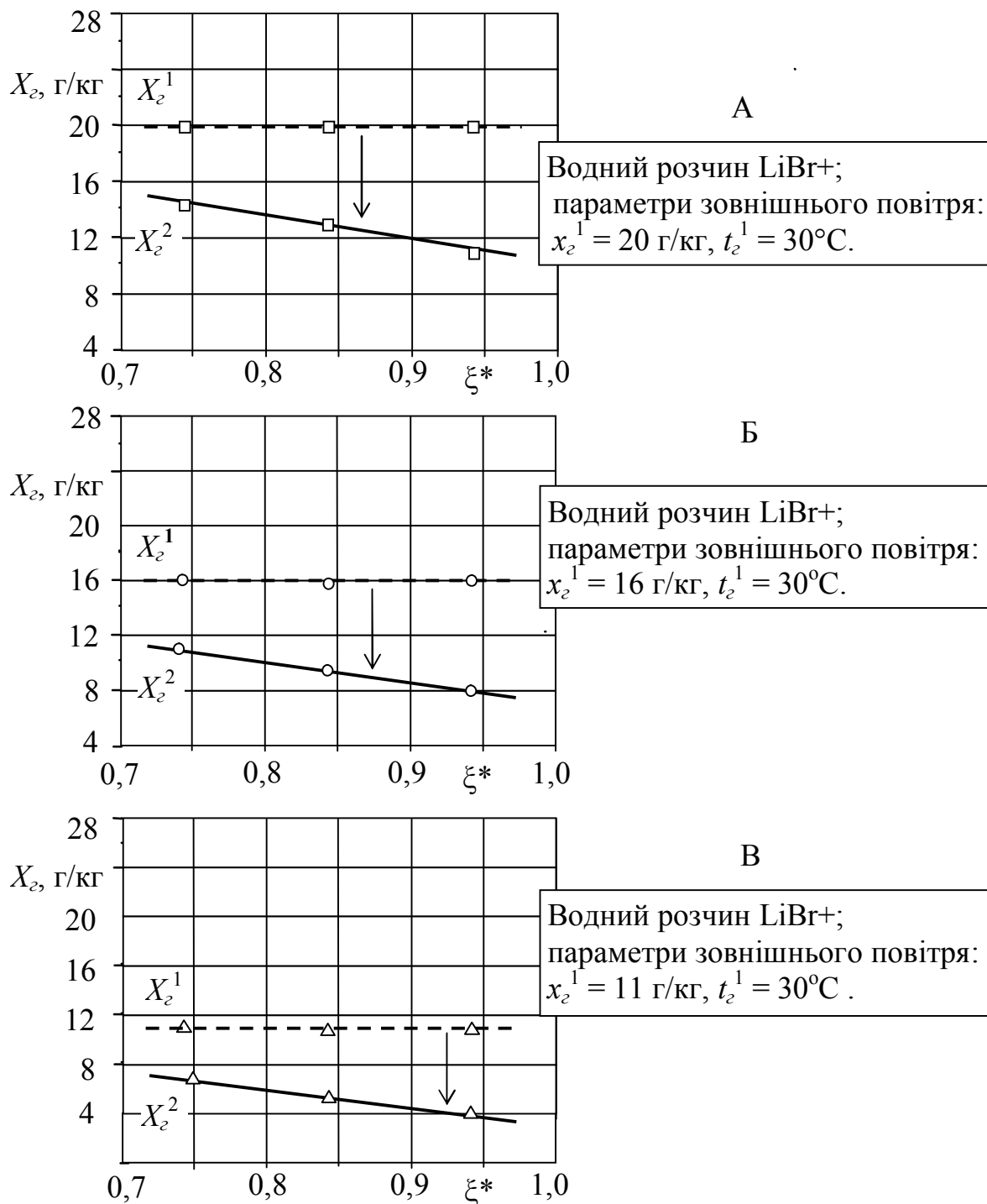
кого розчинів абсорбенту; теплообмінник 21 (внутрішня рекуперація тепла шляхом обміну між слабким холодним і міцним гарячим розчинами абсорбенту); повітрянагрівач 10А і нагрівач слабого розчину абсорбенту 10Б, які забезпечують необхідну температуру регенерації розчину абсорбенту.



1А – колона; 2, 3 – розподільчі камери; 4 – рідинний бак; 5А – блок водяних ротаметрів; 6 – розподільник рідини; 7 – накопичувач рідини; 8 – насос; 9 – забір повітря; 10А, 10Б – повітря- та водонагрівачі; 11 – вентилятор; 12 – вимірювач видатку; 13 – камери статичного тиску та вимірювальні ділянки; 14 – регулятор видатку; 15 – сепаратор крапельної вологи; 16 – ємкість; 17 – вимірювальна лінійка; 18 – блок ртутних термометрів та термометрів опору; 19 – відбір тиску; 20 – вимірювальний комплекс. 1Б – колона десорбції (регенерації абсорбенту); 4А, 4Б – ємкості для концентрованого та слабого розчинів абсорбенту; 5Б – ротаметр; 21 – теплообмінник; 22 – насадка регенератора; 23 – паровий зволожувач повітря.

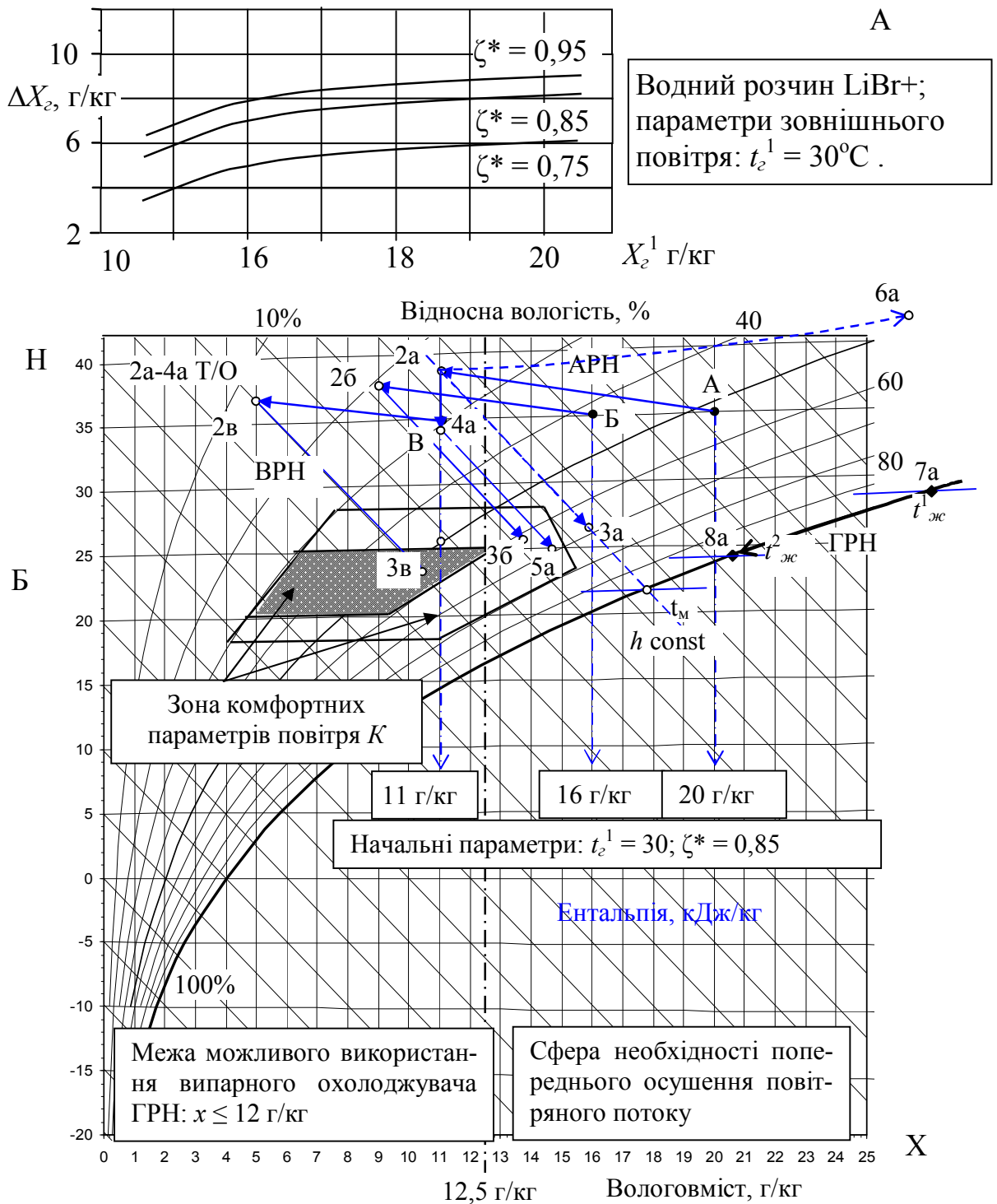
Рисунок 1 – Принципова схема експериментального стенда для вивчення характеристик процесу абсорбції

Результати, що отримали, наведені на рисунку 2 у вигляді залежностей зміни вологовмісту повітря в абсорбері АПН x_2^2 для різних значень початкового вологовмісту повітря x_2^1 . Наведену концентрацію розчину ξ^* подано тут як відношення робочої концентрації до гранично можливої, яка відповідає лінії кристалізації. Зі зростанням концентрації розчину абсорбенту ефективність процесу абсорбції зростає.



Примітка. Начальний вологовміст повітря $x_2^1 = 11, 16$ та 20 г/кг.

Рисунок 2 – Залежність зміни вологовмісту повітря в абсорбційній колоні від концентрації розчину, що наводилася, та вологовмісту зовнішнього повітря



А-2а – процес осушення повітря; 2а-3а, 4а-5а – процеси в ПРН; 2а-4а – процес у повітряно-водному теплообміннику (вода від градирні); 2а-6а – зміна стану повітря в градирні; 7а-8а – охолодження води в градирні.

Рисунок 3 – Залежність зміни вологовмісту повітря в абсорбційній колоні від концентрації розчину, що наводилася, та вологовмісту зовнішнього повітря (а) та принципові можливості сонячних систем кондиціонування повітря, що розробили, на основі відкритого абсорбційного циклу ССКП (б)

У діапазоні початкових вологовмістів зовнішнього повітря, що розглядається, $x_{г}^1 = 11...20$ г/кг сонячна абсорбційна система забезпечує достатньо ефективно зниження вологовмісту повітряного потоку, що дозволяє ефективно використовувати випарне охолодження в охолоджувальному контурі системи.

У разі, коли вихідний вологовміст повітря не перевищує 16...17 г/кг (розрахункові параметри Б і В), сонячна система забезпечує осушення повітряного потоку (процеси А-2а, Б-2б, В-2в показані з деяким зростанням температури в процесі абсорбції; наближення до ізотермічного осушення повітря підвищує ефективність процесу осушення, але пов'язане з деяким зростанням енерговитрат на охолодження води в технологічній градирні (ГРН), яка обслуговує абсорбер), є цілком достатньою для подальшого отримання комфортних параметрів повітря в повітроохолоджувачі ПРН (процеси 2а-3а, 2б-3б, 2в-3в).

Коли $x_{г}^1$ вище 17 г/кг, осушений повітряний потік може бути розділений на дві частини, одна з яких забезпечує одержання холодної води в градирні ГРН (процес 7а-8а) для попереднього охолодження осушеного повітря в повітроводяному теплообміннику (процес 2а-24) і наступного охолодження в ПРН (процес 4а-5а) з отриманням необхідних комфортних параметрів у приміщенні. Відзначимо, що для умов України початковий вологовміст повітря перебуває в межах до 17 г/кг.

Вироблення рекомендацій щодо режимних і конструктивних параметрів для апаратів із рухомою насадкою.

На підставі досліджень, що проводились, і аналізу, що виконувався, вироблені рекомендації до конструювання тепломасообмінної апаратури з псевдозрідженим шаром насадки для ССКП (геометричні характеристики шару РН, ОРР тощо) і вибору оптимальних параметрів експлуатації апаратів із РН. Розрахунки основних параметрів роботи апаратів із РН виконуються за формулами, наведеними в [2].

Проблема збільшення продуктивності одиничного ТМА вирішується методом багатоелементного масштабування, тобто переходом до багатосекційного оформлення апаратів. Ця проблема пов'язана з виникненням нерівномірності розподілу матеріальних потоків з перетину апарату за зростання одиничної продуктивності ТМА.

Інженерні рекомендації щодо конструювання тепломасообмінної апаратури з псевдозрідженим шаром насадки для СХС та ССКП і автономних систем випарного охолодження води і повітроохолоджувачів:

І. Геометричні характеристики насадки ТМА.

1. Розмір і форма елемента насадки (ЕН). Переважним для абсорбції є діапазон густини елемента насадки $\rho_{ен} = 200...600$ кг/м³, що відрізняється широкою робочою ділянкою за швидкістю руху повітря, прийнятними значеннями виносу рідини і порівняно невеликою динамічною висотою шару, що насаджувався. Форма ЕН – куляста; тип елемента – цільний; матеріал ЕН – спінений поліпропілен; діаметр ЕН – 30...60 мм.

2. Оптимальним для реалізації процесів абсорбції є значення $H_{ст} \approx 0,1...0,2$ м. За $H_{ст} < 0,1$ м елементів насадки в шарі виявляється недостатньо для створення рівномірного псевдозрідженого шару і має місце канало-

утворення, яке пов'язане з «проскакуванням» газу через шар і роздільним рухом матеріальних потоків; за $H_{cm} > 0,2$ м має місце непродуктивне зростання наведених витрат і остаточне рішення визначається реальностями конкретного випадку. Висота статичного шару насадки – $H_{cm} \approx (3-5) \cdot den$.

3. Зі зростанням продуктивності апарату висота ОРР повинна зростати для поліпшення рівномірності розподілу газового потоку за перерізом ТМА (за значних одиничних потужностей ТМА з РН ОРР повинна поєднуватися з поворотною решіткою, яка розташовується у вікні апарату, що приймає повітря). Опорно-розподільна решітка ОРР: живий перетин $f_{opp} = 0,75\%$; висота $h_{opp} = 0,1...0,2$ м.

4. Зі зростанням продуктивності апарату висота ОРР-теплообмінника повинна зростати для поліпшення рівномірності розподілу газового потоку за перерізом ТМА. Опорно-розподільна решітка у варіанті теплообмінника ОРР-теплообмінник: живий перетин $f_{opp} = 0,35...0,55\%$; висота $H_{opp} = 0,05...0,2$ м.

5. Вибір оформлення ТМА визначається необхідним ступенем ефективності процесу, який реалізується. Оформлення робочої зони тепломасообмінних апаратів (колони): для ТМА осушувального контуру (абсорбер-осушувач та десорбер-регенератор) двоярусне розташування РН; для ТМА охолоджувального контуру: для технологічної градирні, яка обслуговує абсорбер і для повітроохолоджувача ПРН – одноярусне розташування РН; для продуктової градирні СХС – двоярусне розташування РН.

6. За автономного використання ТМА з рухомою насадкою (вентиляторні градирні ГРН, повітроохолоджувачі ПРН, скрубери) використовується принцип багатосекційного оформлення апаратів на основі методу багатоелементного масштабування.

II. Режимні параметри ТМА.

1. Швидкість руху газового потоку (у розрахунку на «порожній» переріз колони): робочий діапазон швидкостей руху повітря: $2,5 \leq w_2 \leq 6,0$ м/с. Режим розвиненого псевдозрідження: весь шар насадки рухомий, система однорідна (гомогенна). Для апаратів випарного охолодження води (ГРН) діапазон $w_2 \approx 2,5...4$ м/с є оптимальним; для апаратів, які призначені для термовологісного оброблення повітря (ПРН) можна рекомендувати деяке збільшення навантаження по газовому потоку: $w_2 \approx 3...5,0$ м/с.

2. Щільність зрошення насадки: $q_p \geq 15$ м³/(м²·год); можливий діапазон варіювання q_p 15...35 м³/(м²·год). Область значень $q_p < 8...10$ м³/(м²·год) відповідає «осушеному» стану шару (недостатня затримка рідини в шарі РН) та для процесу випарного охолодження води не може бути рекомендованою.

3. Величина характеристичного числа $\Lambda = l/l_{id} = 0,5...11,0$. Співвідношення потоків газу і рідини $l = G_r/G_p = 1,0$. У цьому діапазоні $l = G_r/G_p$ відзначається висока стійкість процесів тепломасообміну в широкому діапазоні навантажень і мала чутливість до їх коливання; обмеження щодо навантажень обумовлені тільки рівнем енерговитрат на організацію процесу. Для випарних водоохолоджувачів-градирень ГРН оптимальне значення $\Lambda = l/l_{id} = 1,1...1,2$, при цьому ефективність охолодження води становить в середньому залежно від величини Λ діапазон значень 0,5...0,8. Для тепломасообмінних апаратів осушувального контуру (абсорбер-осушувач і десорбер-регенератор) оптимальне значення $\Lambda = l/l_{id} = 1,1...2,5$.

4. У системі охолодження абсорбера АРН рекомендовано використовувати технологічну градирню ГРН/т.

5. Температурний режим регенерації абсорбенту в десорбері ДРН рекомендується підтримувати за допомогою сонячної водогрійної системи ССГВ на основі плоских полімерних сонячних колекторів і бака – теплоакумулятора, причому останній повинен мати вбудований теплообмінник для компенсації коливань сонячної активності і вітронавантаження в місці установки ССГВ [3; 4].

Список літератури

1. Дорошенко А.В. Компактная тепломассообменная аппаратура для холодильной техники (теория, расчет, инженерная практика): дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.14 / А.В. Дорошенко. – О., 1992. – Т. 1. – 350 с., Т. 2. – 260 с.
2. Горин А.Н. Альтернативные холодильные системы и системы кондиционирования воздуха / А.Н. Горин, А.В. Дорошенко. – 2-е перераб. и доп. изд. – Донецк: Норд-Пресс, 2007.
3. Дорошенко А.В. Комбіновані сучасні системи теплохолодопостачання та кондиціонування повітря / А.В. Дорошенко, В.П. Данько // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. – 2011. – Вип. 26. – С. 517-522.
4. Данько В.П. Розробка метало-полімерних сонячних колекторів для багатofункціональних сонячних систем / В.П. Данько // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. – 2012. – Вип. 29. – С. 34-43.

УДК 613.292:582.26

Дейниченко Г.В., д-р техн. наук, проф., Войцицька А.Д. (ХДУХТ, Харків),
Колісниченко Т.О., канд. техн. наук, доц. (ДНУ ім. О. Гончара, Дніпропетровськ)

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СОУСІВ ЕМУЛЬСІЙНИХ ІЗ ВОДОРОСТЕВИМИ ДОБАВКАМИ

У статті наведено результати дослідження мікробіологічних показників соусів емульсійних, збагачених йодовміщувальними водоростевими добавками. Наведено переваги використання водоростевих добавок у фізіологічному та технологічному розумінні.

Ключові слова: *соуси емульсійні, еламін, фукус, дефіцит йоду, мікроорганізми, бактерії групи кишкових паличок, патогенні мікроорганізми, Salmonella, дріжджі, плісняві гриби.*

Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Розвиток сучасної харчової індустрії вже неможливо уявити без застосування безлічі заходів із підвищення якості харчових продуктів, зокрема їх збагачення есенціальними речовинами. Так, людство намагається пристосуватися до нових умов сьогодення, що характеризуються зниженням загальної якості нативної їжі у зв'язку з екологічними змінами.