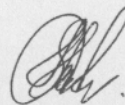


Автореферат
Д 19

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ДАНЬКО ВЛАДИСЛАВ ПАВЛОВИЧ



УДК 620.92:621.565.58

**СОНЯЧНІ ОСУШУВАЛЬНО – ВИПАРНІ ХОЛОДИЛЬНІ СИСТЕМИ НА
ОСНОВІ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ АПАРАТІВ З РУХОМОЮ НАСАДКОЮ**

Спеціальність

05.05.14 – Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціювання

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор **Дорошенко Олександр Вікторович**, професор кафедри технічної термодинаміки Одеської національної академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти:

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

доктор технічних наук, професор **Радченко Микола Іванович**, завідувач кафедри кондиціонування та рефрижерації Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова Міністерства освіти і науки України

Захист дисертації відбудеться « 23 » травня 2013 р. в 13:00, в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.03 в Одеській національній академії харчових технологій за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна.

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

Автореферат розісланий «22» квітня 2013 р.

спеціалізованої вченої ради

професор

В.І Мілованов

xv 1129

ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

ГАЛУЗЕВИЙ
ВІДДІЛ

Актуальність теми. Взаємопов'язані проблеми енергетики та екології диктують нові вимоги до сучасних систем тепло – холодозабезпечення, насамперед, зниження енерговитрат і антропогенної дії на довкілля. Аналітичний огляд вітчизняних і зарубіжних наукових та інженерних досліджень останніх років показав істотне зростання інтересу до можливостей випарних методів охолодження та створення альтернативних систем на їх основі. Найбільш перспективне включення випарних охолоджувачів до складу осушувально-випарних систем на основі тепловикористовуючого циклу абсорбції, що дозволяє зняти кліматичні обмеження застосовності випарних методів і покращити їх енергетичні та екологічні показники.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до законодавчих актів: Постанови Верховної Ради України №75/94-ВР від 1.07.94р. що затвердила “Закон України про енергозбереження”, Постанови Кабінету Міністрів України №148 від 5.02.97 р. “Про комплексну державну програму енергозбереження України”, Постанови Кабінету Міністрів України №583 від 14.04.99 р. “Про Міжвідомчу комісію із забезпечення виконання Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату”, Галузевої науково-технічної програми сталого розвитку побутової техніки в Україні на 2006-2011 роки (наказ Мінпромполітики України від 03.03.2006р. № 85).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вдосконалення багатофункціональних сонячних систем: осушування повітря, теплохолодопостачання і кондиціонування повітря на основі осушувально-випарних методів і сонячної енергії для підтримки безперервності циклу. Вирішувалися наступні завдання: – розробка схемних рішень осушувально-випарних охолоджувачів з непрямою регенерацією абсорбенту; – створення уніфікованої тепломасообмінної апаратури ТМА (абсорбера-осушувача, десорбера-регенератора, випарних охолоджувачів) на основі рухомих псевдозріджених шарів насадок (РН) («газ-рідина-тверде тіло»), що забезпечують можливість ефективної і надійної роботи на розчинах абсорбентів (запобігання небезпеці забруднень робочих поверхонь); – моделювання процесів тепломасообміну в основних елементах осушувального та охолоджувального контурів і проведення експериментального дослідження: сонячних металополімерних колекторів СК/м-п, випарних охолоджувачів і абсорберів з РН; – отримання залежностей і рекомендацій, які забезпечують розрахунок і конструювання сонячних систем.

Об'єктом дослідження є сонячні багатофункціональні системи кондиціонування повітря і теплохолодопостачання. **Предметом** дослідження є процеси тепломасообміну в основних елементах сонячних систем.

Методи дослідження: теоретичне вивчення, експериментальне дослідження на натурних зразках металополімерних сонячних колекторів і тепломасообмінних апаратів (ТМА) з рухомою насадкою (РН) – випарних охолоджувачів і абсорберів.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

– Показано, що для створення сонячних холодильних і кондиціонуючих систем перспективне використання тепловикористовуючого циклу абсорбції і розроблені схемні рішення для багатофункціональних сонячних систем;

– Розроблені принципи конструювання уніфікованої ТМА для сонячних систем з використанням рухомих шарів («газ-рідина-тверде тіло») насадок, що забезпечує можливість ефективної і надійної роботи на розчинах абсорбентів і запобігання небезпеці забруднень робочих поверхонь; вперше обґрунтований перехід на багатоярусне розташування насадки в колоні і використання опорно-розподільчих решіток (ОРР) як теплообмінника;

– Вперше виконано аналіз розподілу фазових термічних опорів (R) при реалізації політропічних процесів у системі вода-повітря, які показали, що величина опору рідини R_p в спільному опорі системи складає 53...80%, що обумовлює доцільність використання рухомої насадки в системах «вода-повітря» і «розчин абсорбент - повітря»;

– Вперше показано, що оптимальний діапазон щільності елементу насадки (ρ_{en}) для реалізації процесів тепломасообміну складає $\rho_{en} = 200...600 \text{ кг/м}^3$ і рекомендовані значення навантажень: для градирень (ГРН) $w_r \cong 2,5...4 \text{ м/с}$; для повітроохолоджувачів (ВРН) $w_r \cong 3...5,0 \text{ м/с}$; діапазон навантажень по рідині $q_p \approx 15 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$; оптимальне значення співвідношення потоків складає $l = G_r/G_p = 1,1...1,2$; показано, що багатократне збільшення навантажень (при $l = G_r/G_p \cong 1,0$) не приводить до помітного зниження ефективності процесу; одержані вирази, які описують значення критичних швидкостей (w'_0, w_1), динамічної висоти, втрат напору та ефективності процесів тепломасообміну в шарі РН;

– Вперше експериментально вивчені гістерезисні явища і зміна динамічної висоти шару РН; рекомендовано для оформлення апаратів осушувального контуру і продуктової градирні двоюрисне оформлення колони, для повітроохолоджувача ВРН і градирні технологічного призначення одноюрисне; для двоюрисної насадки вперше виконано вивчення режиму «захливання» насадки на високих навантаженнях по газовому потоку і побудована інверсійна крива, що забезпечує можливість конкретизації робочого діапазону навантажень.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджуються результатами експериментально-розрахункових досліджень і добрим якісним та кількісним узгодженням отриманих результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці рекомендацій щодо розрахунку і конструювання сонячних систем. Матеріали дисертації передані ПАТ «УКР НДІ ПОБУТМАШ» для промислової реалізації і використовуються в учбовому процесі на кафедрах Одеської національної академії харчових технологій в курсах лекцій і практичних занять з нетрадиційної енергетики та енергозбереження.

Особистий вклад здобувача. Здобувачем розроблені схемні рішення сонячних систем і апаратів з РН; проведений цикл експериментально-розрахункових досліджень; виконано аналіз і узагальнення отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації проводилася на: IV Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», Одеса, 2005; науково-технічній конференції з міжнародною участю «Холод-2011. Промекологія і енергозбереження», Санкт-Петербург, 2011; Міжнародній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» Одеса, 2011; II Міжнародній конференції з елементами наукової школи для молоді «Інноваційні розробки в області техніки і фізики низьких температур» Москва, 2011; II республіканській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Промисловість регіону: проблеми і перспективи інноваційного розвитку», Гродно, 2012; міжнародній науково-практичній конференції «Удосконалення процесів і обладнання - запорука інноваційного розвитку харчової промисловості», Київ, 2012; VI Міжнародній науково-технічній конференції «Удосконалення малої холодопелотехніки – використання холоду в харчовій галузі» Донецьк, 2012; VIII Міжнародній конференції «Стратегія якості у промисловості і освіті», Варна, 2012; III Міжнародній науково-технічній конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», Миколаїв, 2012;

Публікації. Основні наукові і прикладні результати автора представлені у 10 публікаціях в науково-технічних журналах (одна публікація в журналі Молдавської академії наук), і 10 доповідях на міжнародних і науково-практичних конференціях.

Об'єм і структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків і списку використаної літератури з 285 джерел, містить 158 сторінок тексту, 88 рисунків, 15 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі і першому розділі роботи відображена актуальність проблеми, виконано аналітичний огляд, що характеризує стан досліджень у світі в даній області і, як перспективний напрям розвитку сонячної енергетики, виділені багатофункціональні сонячні системи осушувально-випарного типу з непрямою регенерацією абсорбенту, сформульовані цілі і завдання дослідження.

Другий розділ присвячений розробці схемних рішень сонячних багатофункціональних систем (БСС) теплохолодопостачання і кондиціонування повітря (СХС і ССКП) осушувально-випарного типу з непрямою регенерацією абсорбенту; розробці сонячних колекторів (СК) і тепломасообмінної апаратури (ТМА) для БСС, а також вибору робочого тіла для осушувального контуру системи. Аналітичний огляд дозволив виділити, як перспективний напрям розробок, наступні принципи: сонячні тепловикористовуючі системи абсорбції з непрямою регенерацією абсорбенту; сонячні колектори на основі металополімерних багат шарових багатоканальних композицій СК/м-п; широке використання полімерних матеріалів в ТМА осушувального та охолоджувального контурів сонячних холодильних систем (СХС). Сонячна холодильна система (рис. 1) включає два контури: осушувальний (II) і охолоджувальний (III). Осушувальний контур складається з абсорбера-осушувача зовнішнього повітря (АРН) з рухомою псевдозріженою насадкою, десорбера-регенератора (ДРН), причому абсорбер потребує охолодження, оскільки в процесі поглинання водяної пари виділяється

теплота, а десорбер – підведення теплоти для регенерації абсорбенту. Завдання охолодження вирішує градирня технологічного призначення (ГРН/т), а завдання генерування теплової енергії – сонячна система (I), що складається з набору СК/м-п. Охолоджувальній контур СХС (III) включає випарний охолоджувач води, продуктову градирню (ГРН/пр) або повітроохолоджувач ВПН, що забезпечує подачу в приміщення повітря, яке пройшло термовологісну обробку. В даний час в практиці набули поширення комбіновані рішення (рис. 1Б), коли в приміщення подається як оброблене повітря, так і охолоджена вода, що забезпечує необхідну оперативність управління комфортними параметрами повітряного середовища в приміщенні. На рис. 1В-Г наведено варіанти компоновки охолоджувачів з використанням наявних потенціалів додаткового охолодження в повітряному потоці, що покидає приміщення і у холодному повітряному потоці, який покидає ГРН/пр. Повітря покидає градирню при температурі істотно нижчій, ніж температура зовнішнього повітря. На рис. 2 наведено варіант розробленої СХС. В осушувальній частині теплота, необхідна для регенерації абсорбенту, забезпечується геліосистемою з плоскими сонячними колекторами 16 (17 – бак-теплоакумулятор, 18 – додаткове гріюче джерело, необхідність в якому визначається природними коливаннями сонячної активності і робочими параметрами сонячної системи, що змінюються). Повітряний потік (свіже зовнішнє повітря) при осушуванні в абсорбері АРН знижує вологовміст x_2 , що забезпечує значний потенціал подальшого випарного охолодження води в ГРН/пр або повітря в повітроохолоджувачі ВРН. Як тепломасообмінні апарати використовуються розроблені апарати уніфікованого типу з рухомою насадкою сферичної форми (трьохфазний псевдозріджений шар «газ-рідина-тверде тіло»). Це забезпечує можливість самоочищення робочих поверхонь і стінок корпусу ТМА, що, при роботі із зовнішнім повітрям і розчинами абсорбентів, є принципово важливою умовою підтримки працездатності систем. У ТМА використовується двоjarусне розташування рухомої насадки, причому, для кожного jarусу роль опорно-розподільної решітки (ОРР) виконує теплообмінник 7 (пластинчастого або трубчастого типу). У теплообмінники абсорбера поступає вода від випарного охолоджувача води ГРН/т, а в теплообмінники десорбера – теплоносії від сонячної водонагрівальної системи. Для створення ГРН/т, що обслуговує абсорбер-осушувач рекомендовано одноjarусне рішення, де робоча зона апарату екранована знизу теплообмінником, а у верхній частині або краплевідділювачем жалюзійного типу, або ще одним теплообмінником, який виконує одночасно роль такого краплевідділювача. По такій схемі оформлюється і повітроохолоджувач ВРН. Ще один теплообмінник може розташовуватися безпосередньо в ємкості охолодженої води і в цьому випадку він виконується з неорєбраних труб. Градирня продуктового контуру виконується з двоjarусним оформленням робочої зони, і число теплообмінників в ній може варіюватися до чотирьох. Повітря, яке осушене в абсорбері, поступає в градирню ГРН/пр, де забезпечується глибоке охолодження води, яка може використовуватися у вентильованих теплообмінниках-охолоджувачах, які встановлюються в приміщеннях, що кондиціонують, або холодильних камерах. Геліосистема у складі необхідного числа сонячних колекторів (16) і бака-теплоакумулятора (17) з дублюючим джерелом нагрівання (18), забезпечує теплову енергію для реалізації

процесу десорбції (поновлення абсорбенту) у десорбері ДРН. Оскільки повітря, що покидає «продуктову» градирню, зволожено, але достатньо холодне, воно може використовуватися для попереднього охолодження гарячого розчину абсорбенту, який покидає ДРН. Як абсорбент використовуються водні розчини бромистого літію з домішками, що знижують корозійну активність і збільшують розчинність. Це розчини LiBr ($H_2O+LiBr$) та $LiBr+(H_2O+LiBr+LiNO_3)$; для досягнення потрібної рушійної сили необхідна концентрація LiBr повинна складати 60...65% при температурі регенерації абсорбенту 30...60 °С.

Сонячний колектор (16) включає теплоприймач-абсорбер, прозоре покриття з повітряним зазором між прозорим покриттям і теплоприймачем, і теплоізоляцію дна. Раніше в Одеській державній академії холоду (ОДАХ) вперше було підтверджено високі характеристики полімерних СК порівняно з традиційними металевими СК і показана доцільність усунення повітряного зазору без істотного зниження ефективності СК. Найважливішою характеристикою плоского СК є рівномірність розподілу теплоносія по каналах теплоприймача, оскільки нерівномірність може призводити до формування ситуацій, наприклад до утворення парових пробок в каналах з мінімальною витратою теплоносія; це явище значно посилюється при переході до суцільної багатоканальної структури каналів і стає небезпечним при використанні, як матеріалу теплоприймача, полімерів. Перехід на метало-полімерний варіант СК/м-п усуває цю небезпеку.

Третій розділ присвячений вивченню процесів тепломасообміну в ТМА з рухомим шаром насадки (процесів гідраеродинаміки трьохфазного псевдозрідженого шару насадки «газ-рідина-тверде тіло» і випарного охолодження води, а також процесу осушування повітря розчинами абсорбенту). Експериментальний стенд є колоною циліндричної форми, яка складається з набору прозорих царг діаметром $D_k \approx 200$ мм і висотою $H_k = 1000$ мм. З урахуванням ОРР висота робочої зони колони складає 950 мм (при двоjarусному розташуванні насадки висота робочої зони кожного jarусу складає приблизно 450 мм). В колоні розміщена ОРР з шаром рухомої насадки РН і водорозподільник з варіюваним розташуванням по висоті колони. Величини $f_{орр} = 65...85\%$ і $H_{ст} = 50...160$ мм змінювалися дискретно. У розподільних камерах (нижній і верхній) розташовані вимірвальні датчики для виміру значень температури і вологості повітряних потоків. Стенд обладнаний додатковим баком з вузькою горловиною і вимірвальною лінійкою для виміру затримки рідини H_p (утримуючої здатності шару РН). Можливості стенду: витрати теплоносіїв і теплофізичні параметри змінювалися в діапазонах: $q_p = 5...35$ м³/(м² год), $w_r = 1,5...7$ м/с, t_r до 50С°, $\phi_r = 30...90\%$, початкова температура рідини t_r^1 до 40 °С. Найважливішою характеристикою апаратів з РН є кількість утримуваної рідини, або затримка H_p . Ця величина визначає поверхню тепломасопереносу в псевдозрідженому шарі насадки. В роботі використано циркуляційний метод, який заснований на принципі збереження кількості рідини при роботі по замкнутому контуру. У дослідях використовували переважно порожнисті целулоїдні кулі – елементи насадки (ЕН), причому величина $\rho_{ен}$ для них варіювалася послідовним частковим заповненням водою порожнистих куль (у контрольних партіях). Разом з цим, раніше, було

проведено експеримент з цілісними кулями зі спіненого поліпропілену, якими комплектуються промислові ТМА. Програма дослідження охоплювала наступні питання: вивчення гідроаеродинаміки рухомого шару «газ-рідина-тверде тіло» з урахуванням критичних явищ в системі (перехід ЕН в псевдозрідження, явища гістерезису і «захливання» шару РН); визначення робочих діапазонів навантажень по газу і рідині і відповідних режимів псевдозрідження насадки, включаючи вплив $f_{\text{орр}}$, $H_{\text{ст}}$, $\rho_{\text{ен}}$; вплив багатоярусного оформлення колони (двох- і трьохярусне); структури трьохфазного рухомого шару насадки з урахуванням затримки рідини, динамічної висоти шару РН, порозності, поверхні перенесення тощо; вплив типу ОРР, у вигляді звичайних опорно-розподільних решіток або пластинчастого теплообмінника ОРР/Г-о на гідроаеродинаміку рухомого шару «газ-рідина-тверде тіло»; оптимальний режим роботи колони з рухомою насадкою і відповідні йому геометричні параметри елементів і шару, включаючи вплив $f_{\text{орр}}$, $H_{\text{ст}}$, $\rho_{\text{ен}}$, форми і матеріалу ЕН; оптимальний принцип компоновки шару РН, включаючи число ярусів розташування насадки.

Основні результати представлені на рис. 3-7, причому результати для одноярусного розташування насадки в колоні були отримані раніше в ОДАХ в роботах О. Дорошенка, М. Кологривова, О. Грандова, І. Козака і були використані для оцінки даних експериментальних досліджень. Важливим є питання про характер переходу шару насадки із стаціонарного в рухомий стан. Традиційно критична швидкість переходу (w_0, w'_0) визначається візуально аналізом кривої псевдозрідження $\Delta p = f(w_r, q_p)$. Нами проведена конкретизація перехідних процесів аналізом віброкривої $L_a(w_r, q_p)$. Швидкість була визначена для порожнього перетину колони; розглянуті фіксований та первинно ущільнений шар ЕН, що має можливість розширюватися при подачі навантаження по газу і рідині (рис. 3А). Характерні швидкості руху газу: w_r^* ; $w_{\text{отр}}$ – максимальна швидкість, до якої збігаються криві для фіксованого і рухомого шарів; w_3 – початок «захливання» стаціонарного шару; w_0, w^*_0 – початок псевдозрідження «сухого» і «зрощувального» шару насадки; w_1 – початок розвиненого псевдозрідження; w_i – початок інверсії. Значення w^*_0 чітко фіксується по віброкривій $L_a(w_r)$ у вигляді стрибка ($\cong 20$ дБ або 30%) і слабо виражено на кривій псевдозрідження. Процес переходу в рухомість виявився значно складнішим за традиційні уявлення. При $w_r \cong w'_0$ утворюються нестійкі псевдостационарні стани ЕН, що характеризуються періодичним рухом окремих ЕН (перебудова шару із зміною його порозності). Змінюється структура шару і коливається затримка рідини, тобто значення w'_0 характеризується деяким діапазоном існування. Ширина цього діапазону залежить від ступеня первинної ущільненості шару, яка визначається власною вагою ЕН і дією зовнішніх навантажень і вібрацій. Зафіксований гістерезис кривих псевдозрідження при прямому і зворотному ході (нарощування і зменшення навантаження по газу w_r). Це явище обумовлене силами зчеплення між ЕН, що приводять до формування щільних або рихлих упаковок. Величина затримки рідини впливає на спосіб упаковки: із зростанням H_p знижується вірогідність утворення рихлої, стійкої упаковки. Елементи с $\rho_{\text{ен}} < 200$ кг/м³ переходять у рухомість, минаючи «захливання» у

стаціонарному стані; при $\rho_{\text{ен}} > 200$ кг/м³ псевдозрідження здійснюється в умовах «захливання» псевдостационарного шару, який розширюється; при $\rho_{\text{ен}} > 700$ кг/м³ ця картина зберігається при більших значеннях H_p , причому частина рідини виноситься за межі шару і розташовується поверх його верхньої межі у вигляді піни товщиною H_d понад 0,02 м. Можна зробити висновок про суттєво більш складне протікання процесів у трьохфазній системі і доповнити уявлення про вплив $\rho_{\text{ен}}$ (рис. 3А):

1. $\rho_{\text{енI}}$ ($\rho_{\text{ен}} < 200$ кг/м³) – «легкі» елементи; система переходить у стійкий псевдозріджений стан із незначним накопиченням рідини у стаціонарному шарі; характерні особливості: невеликі значення H_p , причому затримка рідини мало змінюється із зростанням w_r (рис. 4 Г і Д); різке зростання із збільшенням w_r динамічної висоти шару ЕН – H_d , а, отже, висоти робочої зони і загальної висоти апарату.
2. $\rho_{\text{енII}}$ (200...700 кг/м³) – початку псевдозрідження передують часткове «захливання» стаціонарного шару; характер переходу у рухомість визначає послідовну поведінку системи; характерні особливості: значно більше значення H_p ; зниження H_d у порівняльних умовах; швидкість початку «захливання» апарату w_3 достатньо велика ($\cong 6$ м/с); унесення рідини ΔG_p із робочої зони невелике до значень w_3 .
3. $\rho_{\text{енIII}}$ ($\rho_{\text{ен}} > 700$ кг/м³) – «важкі» елементи; характерні особливості: подальше зростання H_p , але його супроводжує перерозподіл маси рідини за рахунок її виносу у пінний шар; різке зростання ΔG_p при $w_r > w_3$; спостерігається абсолютно інша картина роботи системи, ніж у попередньому випадку; цьому режиму відповідає зростання ступеня використання газового потоку (рис. 5, 6). Переважним для реалізації є діапазон $\rho_{\text{енII}}$ (200...600 кг/м³), який відрізняється широкою робочою ділянкою по w_r , прийнятними значеннями унесення рідини і порівняно невеликою динамічною висотою шару. Стосовно до цієї зони виділені характерні режими псевдозрідження: 1) $0 < w_r \leq 2,0$ м/с – стаціонарний стан системи з локальною перебудовою структури нерухомого шару і деяким зростанням порозності; лінійне зростання H_p (w_r) аж до швидкості початку псевдозрідження w'_0 із прогресуючим «захливанням» нерухомого шару, який перебудовується. 2) $2,0 < w_r \leq 2,5$ м/с – режим початкового псевдозрідження (перехідний); відмічається характерний пік H_p при швидкості газу w'_0 , з наступним поновленням до попереднього значення; система нестала, частина шару залишається нерухомою і має місце його перебудова. 3) $2,5 < w_r \leq 6,0$ м/с – режим розвинутого псевдозрідження; весь шар насадки рухомий, система однорідна (гомогенна); характер переходу у рухомість позначився на поведінці системи: підтримується стан початкового «захливання», яке із зростанням w_r не розвивається далі у розвинуте «захливання» завдяки компенсуючому механізму розширення шару. Така своєрідна ситуація у широкому діапазоні w_r початкового «захливання», який підтримується, забезпечує можливість сталої експлуатації апаратів з РН в режимі високих навантажень. В межах режиму, що описується, можна виділити ділянку $w_r \cong 4,7...6,0$ м/с, де залежність $H_p = f(w_r)$ практично відсутня. Ділянка ця передуює новому різкому зростанню H_p (рис. 4 Г та Д). В якості оптимальних параметрів рекомендовані: $f_{\text{орр}} = 75\%$ і $h_{\text{орр}} = 0,1$ м, як для одно- так і для дво-ярусного оформлення колони; для оформлення апаратів осушувального контуру дво-ярусне оформлення колони (абсорбера АРН та

десорбера ДРН); для продуктової градирні дволярусне (ГРН/пр), для повітроохолоджувача ВРН і градирні ГРН/т однолярусне оформлення; вплив висоти стаціонарної насадки $H_{ст} = 0,1$ та $0,16$ м (рис. 3 В); для дволярусної насадки вперше вивчений характер «захливання» РН на високих навантаженнях по газовому потоку і побудована інверсійна крива (рис. 4 В, результат одержаний для високих значень $q_p = 12 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$); досліджена затримка рідини: вплив навантажень по газу на утримуючу здатність шару РН ($H_{ст} = 0,1$ м, $f_{орр} = 0,85$; $\rho_{ен} = (\text{кг}/\text{м}^3)$: 1 – 100; 2 – 300; 3 – 600; $q_p = 15 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$, як для однолярусної, так і дволярусної насадки; вплив навантажень по рідині на утримуючу здатність шару РН ($H_{ст} = 0,1$ м, $f_{орр} = 0,85$; $\rho_{ен} = (\text{кг}/\text{м}^3)$: 1 – 100; 2 – 300; 3 – 600; $w_r = 3,5 \text{ м}/\text{с}$, як для одно-, так і для дволярусної насадки (рис. 4 Г та Д); досліджена затримка рідини у псевдозрідженому шарі для колони з ОРР у вигляді теплообмінника; ці дані одержані вперше і без них неможливий розрахунок і проектування колон осушувального контуру сонячних систем і ГРН/пр.

На рис. 5, 6 приведені результати експериментального дослідження процесів в градирні у вигляді ефективності охолодження води і ступеня використання повітряного потоку. Визначення дійсної поверхні обміну є завданням надзвичайно складним, особливо стосовно апаратів з РН. Це привело до розвитку емпіричних методів, заснованих на використанні коефіцієнтів ефективності процесу. Як природну межу охолодження води прийнято розглядувати температуру повітря за «мокрим» термометром на вході в апарат t'_m . На виході з апарату, як граничний розглядають стан насиченого повітря, що має температуру води t_{p1} , що поступає на охолодження (повітря з ентальпією h_{r2}^*). Ефективність охолодження води у градирні і ступінь використання повітря в апараті можна характеризувати величинами:

$$E_p = \frac{(t'_p - t'_m)}{(t'_p - t'_m)}, \quad E_r = \frac{(h'_r - h'_r)}{(h'_r - h'_r)}$$

Слід припустити наявність залежностей: $E_p = f(l = G_r/G_p, t'_p, t'_m)$, $E_r = f(l = G_r/G_p, t'_p, t'_m)$, $\Sigma E = E_p + E_r \cong 1,0$. Реальні значення ефективності процесу визначаються, зокрема значень t'_m і t'_p , співвідношенням потоків $l = G_r/G_p$. Умови експлуатації градирні характеризуються *характеристичним числом* $\Lambda = l / l_{ид}$. Граничні значення ступені охолодження води і використання повітря:

$$E_{r \text{ гран}} = \lim_{\Lambda \rightarrow \infty} E_r = 1,0, \text{ при } \Lambda \leq 1,0; \quad E_{r \text{ гран}} = \lim_{\Lambda \rightarrow \infty} E_r \cong 1/\Lambda, \text{ при } \Lambda \geq 1,0$$

$$E_{p \text{ гран}} = \lim_{\Lambda \rightarrow \infty} E_p \cong \Lambda, \text{ при } \Lambda \leq 1,0; \quad E_{p \text{ гран}} = \lim_{\Lambda \rightarrow \infty} E_p = 1,0, \text{ при } \Lambda \geq 1,0$$

На рис. 5 Б визначені області можливих значень E_p і E_r . Для розрахунку величин ефективності процесів запропоновані емпіричні формули, які є зручними в практичному використанні:

$$E_p = c(1 - e^{-\Lambda}), \quad E_r = c(1 - e^{-\Lambda})\Lambda^{-1}, \quad E = c^2(1 - e^{-\Lambda})^2\Lambda^{-1}$$

Проведено аналіз розподілу фазових термічних опорів R_{Σ} (по величині коефіцієнту перенесення сумарної теплоти K_{Σ}), R_r (по величині коефіцієнта

перенесення сумарної теплоти β_h) і R_p (по величині коефіцієнта тепловіддачі в рідинній плівці α_p).

$$\frac{1}{FK_h} = \frac{1}{F\beta_h} + \frac{m}{F\alpha_p}; \text{ або } R_{\Sigma} = R_r + \overline{R_p}$$

Є цікавою тенденція щодо зміни термічних опорів газової і рідинної фаз в області $w_r \approx 3,0 \text{ м}/\text{с}$: величина R_r знижується, а R_p зростає. Це пов'язано із зміною структури

псевдозрідженого шару, коли верхня його частково «оголюється», тобто затримка рідини явно нерівномірна по висоті псевдозрідженої насадки, яка зменшується по висоті шару. Це зумовлює співвідношення ефективності E_p і E_r , причому величина E_r виявляється достатньо високою (порівняно до ефективності E_r для градирні плівкового типу), що вказує на існування резерву підвищення ефективності процесу в цілому і на перспективність переходу до дволярусного оформлення колони. Величина R_p в спільному опорі системи складає 53...80%, що в цілому відповідає небагатьом опублікованим, в основному в англійській літературі, результатам з цього питання. Такий аналіз виконано вперше, і дані з цього питання в світовій науковій літературі вкрай обмежені. На рис. 5 А і Б дано порівняння ефективності процесу для градирні з рухомою насадкою та градирні з регулярною насадкою (на насадках з алюмінієвої фольги). За близьких початкових умов процесу, ефективність одноступінчастої (однолярусної) ГРН нижча, ніж градирні з регулярною насадкою. При переході до дволярусного оформлення шару РН ефективність порівнюваних принципів охолодження практично збігається. Величина оптимального характеристичного числа Λ_{opt} для однолярусної насадки складає $E_p = 0,55$, а для регулярної насадки і дволярусної РН вони практично збігаються, складаючи $E_p \approx 0,6$, при зсуві Λ_{opt} від 1,0 для регулярної насадки до 1,1 для шару РН. Ступінь використання повітряного потоку підвищується для рухомого шару, порівняно до насадки плівкового типу, що було очікувано по аналізу фазових опорів. Це вказує на переваги дволярусного оформлення робочої колони. На рис. 5 В і Г представлено вплив початкових параметрів повітряного потоку на ефективність процесу по воді E_p . Ефективність процесу E_p залежно від висоти $H_{ст}$: зростання ефективності тут природним чином пов'язане із зростанням енерговитрат. Можна зробити висновок про перспективність дволярусного (рис. 6 А) оформлення, де зростання ефективності не призводить до істотного зростання енерговитрат і про недоцільність зростання $f_{орр}$ вище 0,75. Оптимальна висота ОРР складає величину 0,1 м, вона була надалі прийнята для одно- і дволярусного оформлення колони.

Оптимальне значення $l = G_r/G_p = 1,1...1,2$ при цьому E_p в залежності від величини Λ складає 0,5...0,8. Одержані експериментальні дані можна представити у вигляді:

$$E_p = c(1 - e^{-\Lambda}), \quad E_r = c(1 - e^{-\Lambda})\Lambda^{-1},$$

де величина $c \approx 0,85$ (раніше в ОДАХ для насадок з полімерного матеріалу отримано $c \approx 0,83$, для насадок з алюмінієвої фольги $c \approx 0,9$).

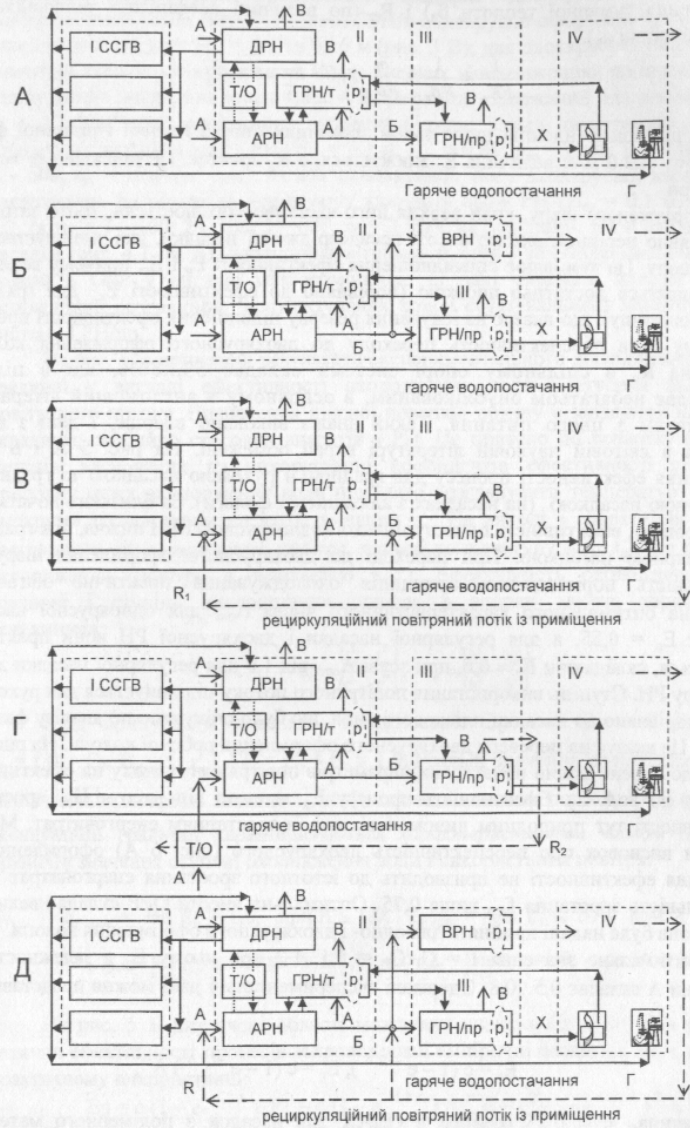


Рис. 1. Принципові схеми розроблених комбінованих сонячних систем теплохолодопостачання і кондиціонування повітря

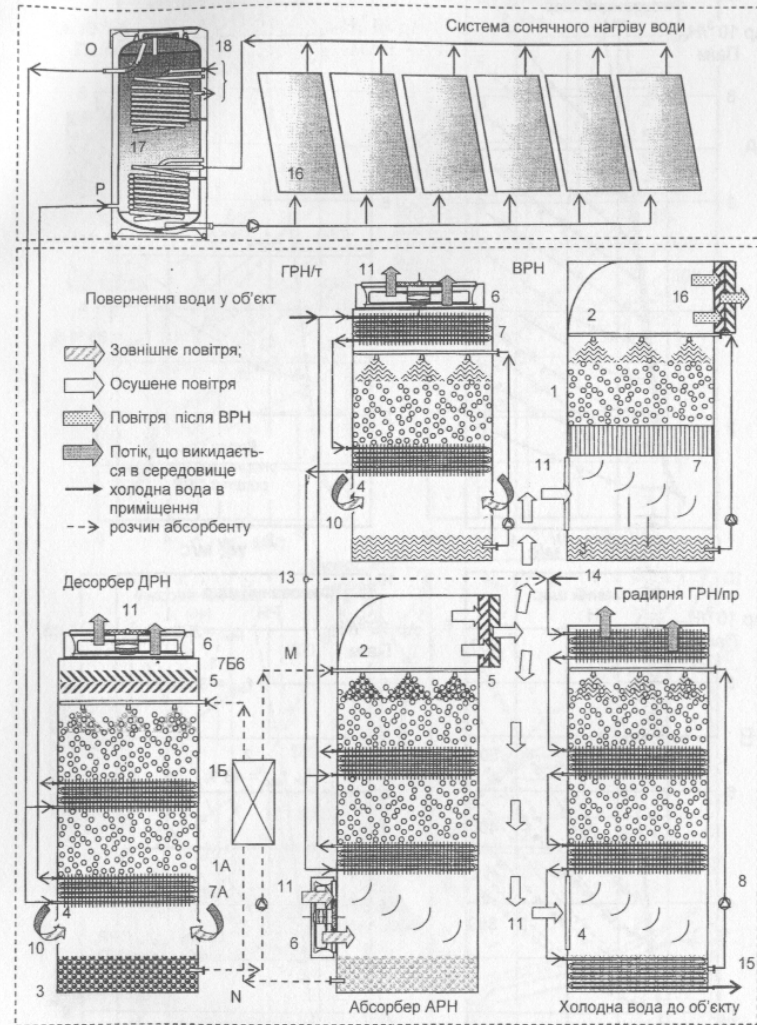


Рис. 2. Принципова схема комбінованої сонячної холодної системи СХС. Позначення по рис. 1, додатково: 16 – повітряний потік, який пройшов термовологісну обробку у повітроохолоджувачі ВРН

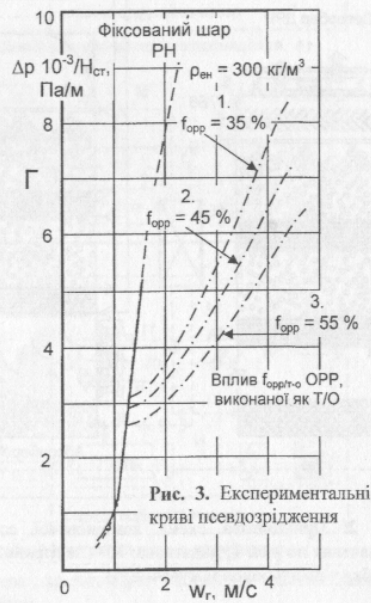
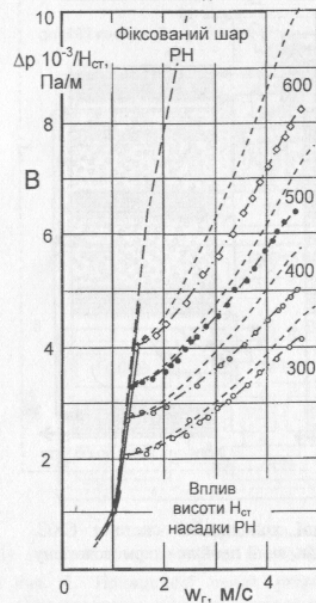
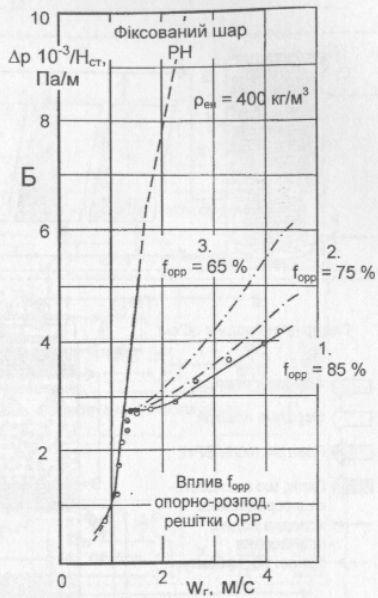
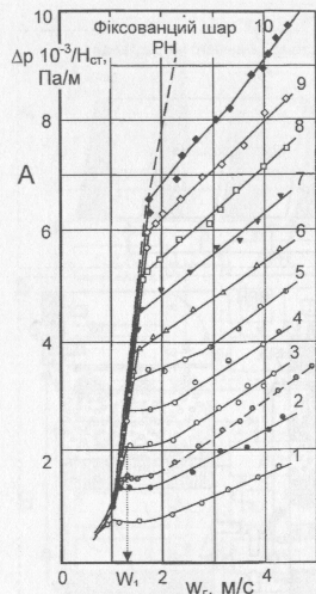


Рис. 3. Експериментальні криві псевдозрідження

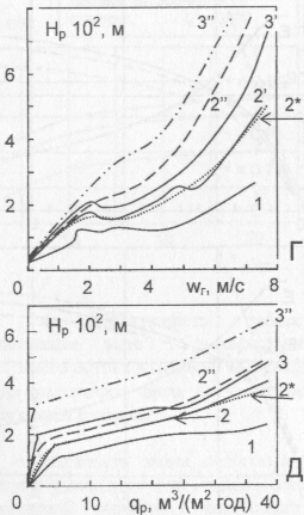
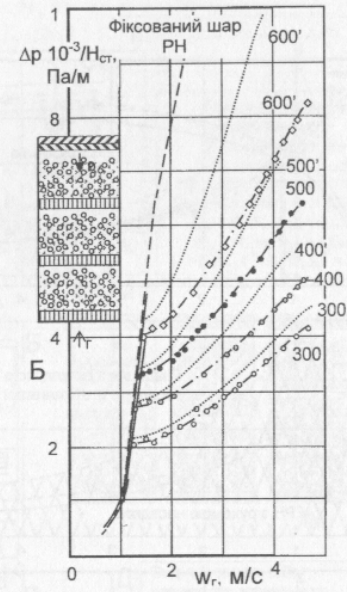
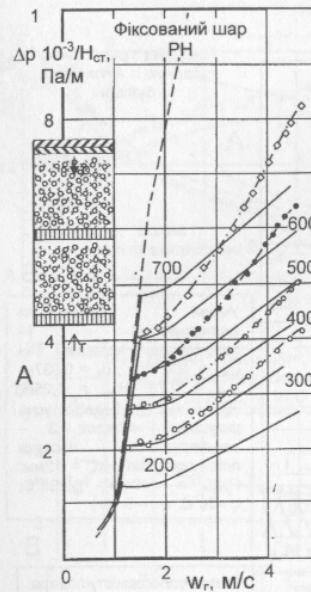


Рис. 4. Експериментальні криві псевдозрідження і затримка рідини в шарі РН

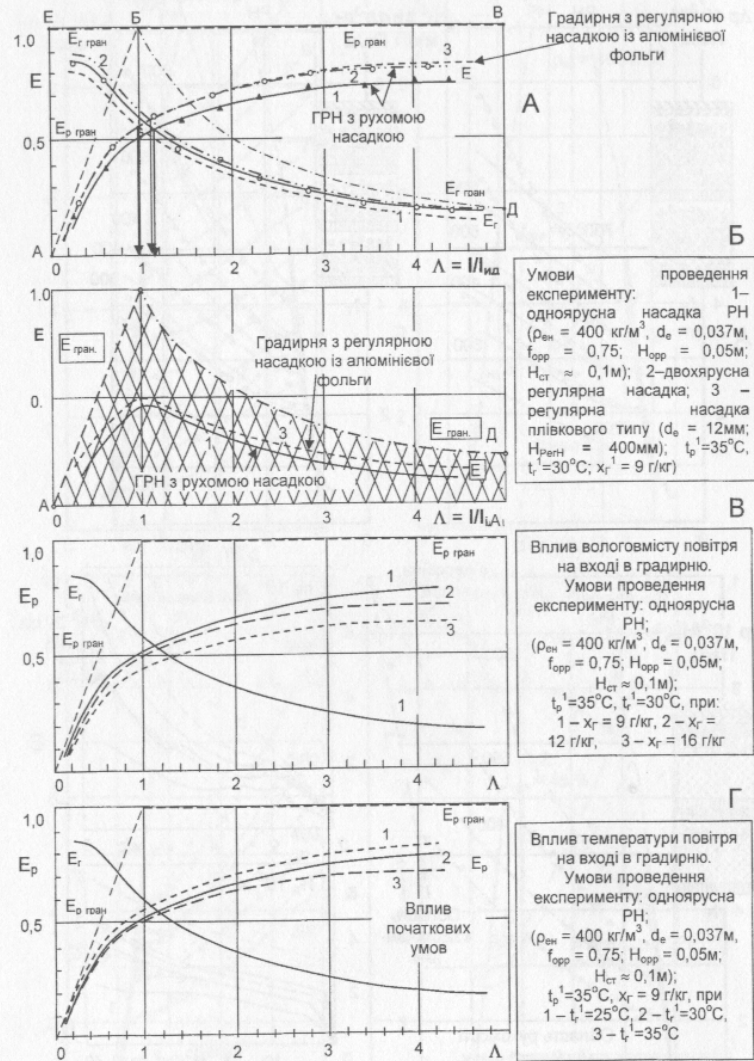


Рис. 5. Ефективність процесу охолодження води і використання повітряного потоку в градирні як функції характеристичного числа Λ .

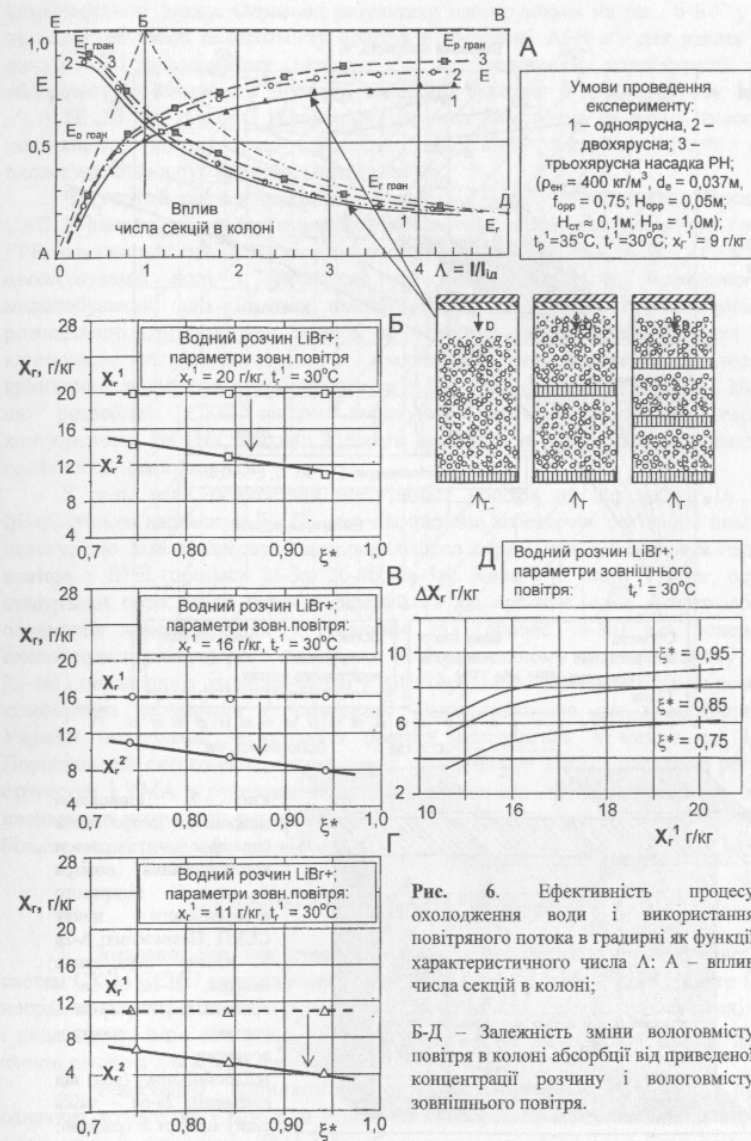
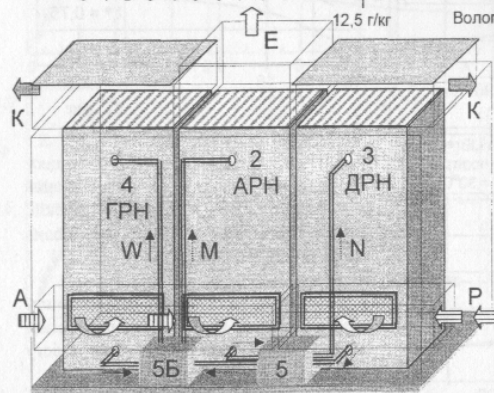
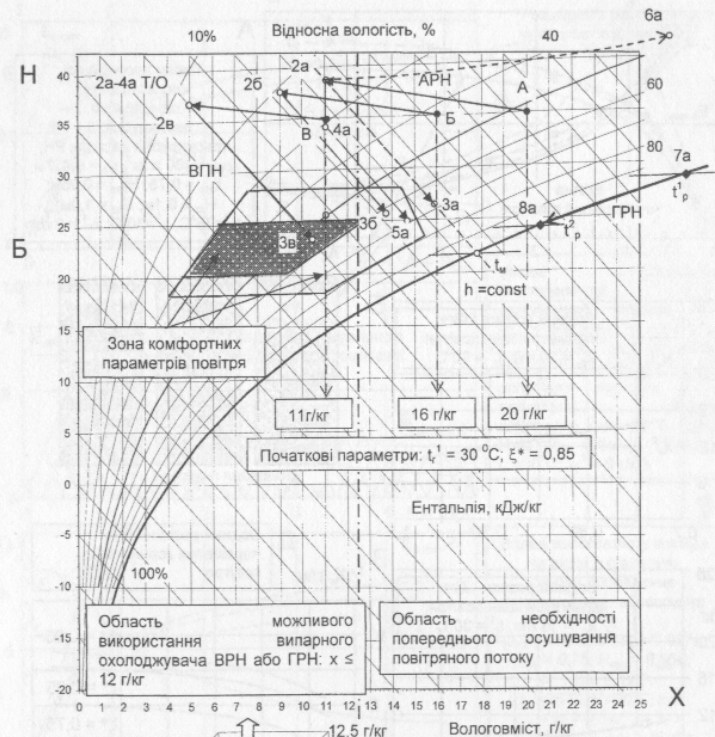


Рис. 6. Ефективність процесу охолодження води і використання повітряного потоку в градирні як функції характеристичного числа Λ : А – вплив числа секцій в колоні;

Б-Д – Залежність зміни вологовмісту повітря в колоні абсорбції від приведеної концентрації розчину і вологовмісту зовнішнього повітря.



Блок охолодження ССКП: 2 – абсорбер АРН, 3 – десорбер ДРН; 4 – градирня ГРН; 5А, 5Б – теплообмінники «розчин-розчин» і «вода-розчин».

Рис. 7. Принципові можливості розроблених сонячних систем кондиціонування повітря на основі відкритого абсорбційного циклу ССКП. Позначення: А-2а – процес осушування повітря; 2а-3а, 4а-5а – процеси в ВРН; 2а-4а – процес у повітро-водяному теплообміннику (вода від градирні); 2а-6а – зміна стану повітря в градирні; 7а-8а – охолодження води у градирні

Процес відновлення розчину абсорбенту грає визначальну роль в підтримці безперервності циклу. Отримані результати ілюструються на рис. 6 Б-Г у вигляді залежностей зміни вологовмісту повітря в абсорбері АРН $x'_{Г}$ для різних значень початкового вологовмісту повітря $x'_{Г}$. Із зростанням концентрації розчину абсорбенту ефективність процесу абсорбції зростає. У розглянутому діапазоні $x'_{Г} = 11...20$ г/кг сонячна абсорбційна система забезпечує зниження вологовмісту повітряного потоку, що дозволяє ефективно використовувати випарне охолодження в охолоджувальному контурі.

Четвертий розділ присвячено розробці і аналізу принципів можливостей СХС. В рамках роботи був створений типорозмірний ряд вентиляторних градирень ГРН, що включає повністю автономні секції продуктивністю 25, 50 і 100 м³/год по охолоджуваній воді і вирішений на основі принципу багатоелементного масштабування, що істотно знижує вплив проблеми нерівномірностей у розподіленні контактуючих потоків по перетину апарату. Такі градирні можуть автономно використовуватися в традиційних енергосистемах (холодильних, криогенних, в хімічних виробництвах та ін.) і у складі розроблених СХС. Показано, що розроблені СХС цілком вирішують задачу забезпечення параметрів комфортності. На Н/Х діаграмі вологого повітря проілюстровані можливості такої сонячної системи (рис. 7).

У разі, коли початковий вологовміст повітря не перевищує 16...17 г/кг (розрахункові параметри Б і В) сонячна система забезпечує осушення повітряного потоку, яке цілком достатнє для подальшого отримання комфортних параметрів повітря у ВРН (процеси 2а-3а, 2б-3б, 2в-3в). Коли $x'_{Г}$ вище 17 г/кг, осушений повітряний потік може бути розділений на дві частини, одна з яких забезпечує отримання холодної води у градирні ГРН (процес 7а-8а) для попереднього охолодження осушеного повітря у повітро-водяному теплообміннику (процес 2а-4а) і подальшого охолодження у ВРН (процес 4а-5а) з отриманням необхідних комфортних параметрів в приміщенні. Відзначимо, що для кліматичних умов України початковий вологовміст повітря знаходиться в межах до 17 г/кг. Порівняльний енерго-екологічний аналіз традиційних ТМА з насадкою регулярної структури і ТМА з рухомою насадкою показав, що АРН приводять до меншого виснаження природних ресурсів (у тому числі, енергоресурсів), що говорить про їх більшу енергетичну ефективність.

РЕЗУЛЬТАТИ І ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Показано, що для створення нового покоління сонячних холодильних систем СХС і ССКП перспективно використання відкритого абсорбційного циклу з непрямою регенерацією абсорбенту, який полягає в попередньому осушенні повітря і подальшому його використанні для випарного охолодження води; розроблені схемні рішення для альтернативних (сонячних) систем;
2. Розроблені принципи конструювання: металополімерних рідинних сонячних колекторів СК/м-п на основі багатошарових, багатоканалних структур і принципи конструювання ТМА (абсорбера-осушувача АРН, десорбера-регенератора ДРН і випарних охолоджувачів ВРН і ГРН) з використанням рухомої насадки РН,

Хв 1129
ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
Бібліотека

що забезпечує стійку експлуатацію в екстремальних умовах; обґрунтований перехід на багатоярусне розташування РН в колоні і використання ОРР як теплообмінника;

3. Аналіз розподілу фазових термічних опорів при реалізації політропічних процесів показав, що величина R_p в спільному опорі складає 53...80%, що обумовлює доцільність використання РН в системах «вода-повітря» (розчин «абсорбент-повітря»);

4. Цикл теоретичних та експериментальних досліджень показав, що оптимальний діапазон $\rho_{сн}$ для реалізації процесів контактної обробки газів і рідин складає $\rho_{сн} = 200...600 \text{ кг/м}^3$; рекомендовані значення навантажень: для ГРН діапазон $w_r \cong 2,5...4 \text{ м/с}$; для ВРН $w_r \cong 3...5,0 \text{ м/с}$; $q_p \approx 15 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$; оптимальне значення $l = G_r/G_p = 1,1...1,2$; показано, що багатократне збільшення навантажень (при дотриманні $l = G_r/G_p \cong 1,0$) не приводить до помітного зниження ефективності процесу; одержані вирази, які описують значення критичних швидкостей (w'_0, w_1), динамічної висоти і втрат тиску газового потоку, ефективності процесів тепломасообміну в шарі РН, що забезпечують можливість інженерного розрахунку апаратів з РН;

5. Вперше вивчені: гістерезисні явища і зміна динамічної висоти шару РН; вплив параметрів ОРР (живого перетину і висоти) на поведінку шару; вплив переходу на одно- і двоярусне оформлення колони апарату; рекомендовано для апаратів осушувального контуру і продуктової градирні двоярусне оформлення колони, для повітроохолоджувача ВРН одноярусне оформлення; для двоярусної насадки вперше виконано вивчення характеру режиму «захливання» РН і побудована інверсійна крива, яка конкретизує робочий діапазон навантажень; досліджена затримка рідини: вплив навантажень по газу і рідині на утримуючу здатність шару РН, як для одноярусної, так і двоярусної насадки;

6. Встановлено, що величина E_r для рухомого шару виявляється достатньо високою (порівняно до ефективності градирень плівкового типу), що вказує на перспективність двоярусного оформлення колони; отримані експериментальні дані представлені у вигляді залежностей для $E_p = c(1 - e^{-1,1 \Lambda})$ та $E_r = c(1 - e^{-1,1 \Lambda}) \Lambda^{-1}$, де величина $c \approx 0,85$;

7. Розроблена ССКП вирішує задачу забезпечення параметрів комфортності в широкому діапазоні параметрів зовнішнього повітря ($x_r = 13...20 \text{ г/кг}$, при $t = 25...40 \text{ }^\circ\text{C}$, тобто при найважчих зовнішніх умовах) і завдання охолодження середовища (СХС) на рівні $3...8 \text{ }^\circ\text{C}$; показано, що альтернативна ССКП приводить до меншого виснаження природних ресурсів і вносить менший вклад до глобальної зміни клімату.

Публікації автора по темі дисертації:

1. Дорошенко А. В. Комбіновані сучасні системи теплохолодопостачання та кондиціонування повітря [Текст] / А. В. Дорошенко, В. П. Данько // Обладнання та технології харчових виробництв : темат.зб. наук. пр. / голов. ред. О. О. Шубін. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2011. – Вип. 26. – С. 517–522.

Особистий внесок здобувача: аналіз напрямків розвитку альтернативних холодильних систем та формулювання завдань дослідження.

2. Дорошенко А. В. Солнечные холодильные системы, использующие тепломассообменные аппараты с подвижной насадкой [Текст] / А. В. Дорошенко, В. П. Данько // Холодильна техніка і технологія. – О. : ОДАХ, 2011 – № 6 (134) – С. 49–55.

Особистий внесок здобувача: аналіз роботи сонячної холодильної системи.

3. Данько В. П. Розробка метало-полімерних сонячних колекторів для багатофункціональних сонячних систем [Текст] / В. П. Данько // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / голов. ред. О. О. Шубін. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2012. – Вип. 29. – С. 34–43.

Особистий внесок здобувача: розробка основних принципів конструювання сонячних металополімерних колекторів.

4. Jamal Kamal Hussein. Теплоиспользующие абсорбционные осушительно-испарительные системы охлаждения с использованием альтернативных источников энергии [Текст] / Jamal Kamal Hussein, Хасан Сади Ибрагим, В. П. Данько // Холодильна техніка і технологія. – О. : ОДАХ, 2012. – № 4 (138). – С. 47–53.

Особистий внесок здобувача: аналіз роботи сонячної холодильної системи і полімерних сонячних колекторів.

5. Дорошенко А. В. Метало-полімерные солнечные коллекторы с многоканальным абсорбером для многофункциональных энергетических систем [Текст] / А. В. Дорошенко, В. П. Данько, Ю. Т. Турбовец // Academy of sciences of Moldova "Problems of the regional energetics". – 2012. – № 2 (19). – С. 41–48.

Особистий внесок здобувача: розробка нових полімерних сонячних колекторів та сонячних систем.

6. Дорошенко А. В. Солнечные осушительно-испарительные холодильные системы на основе тепломассообменных аппаратов с подвижной насадкой. Эффективность процесса испарительного охлаждения в аппаратах с подвижной насадкой / А. В. Дорошенко, В. П. Данько // Холодильна техніка і технологія. – О., 2012. – № 6 (140). – С. 22-30.

Особистий внесок здобувача: виведення основних теоретичних залежностей процесів випарного охолодження в апаратах з рухомою насадкою.

7. Дорошенко А. В. Исследование процессов в тепломассообменных аппаратах с подвижной насадкой для солнечных многофункциональных систем [Текст] / А. В. Дорошенко, С. Ю. Васютинский, В. П. Данько, М. А. Глауберман // Физика аэродисперсных систем. – О., 2012. – № 49. – С. 14-26.

Особистий внесок здобувача: обробка результатів експериментальних досліджень, побудова графічних залежностей.

8. Данько В. П. Експериментальне дослідження процесів тепломасообміну в шарі рухомої насадки осушувального контуру сонячних систем [Текст] / В. П. Данько // Обладнання та технології харчових виробництв : темат.зб. наук. пр. / голов. ред. О. О. Шубін. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2013. – Вип. 30. – С 31-37.

Особистий внесок здобувача: обробка результатів експериментальних досліджень, формування висновків.

9. Експериментальний стенд для визначення коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні робочих тіл [Текст] : пат. 77193 Україна : МПК (2013.01) F 25 D 31/00 / Горін О. М., Красновський І. Н., Данько В. П. ; власник «УКР НДІ ПОБУТМАШ». - № u201203778; заявл. 28.03.12 ; публ. 11.02.13, Бюл. № 3. - 4 с. *Особистий внесок здобувача: запропоновані оригінальні конструктивні рішення експериментального стенду.*
10. Горин А. Н. Теплообменные аппараты с подвижной насадкой для традиционных и альтернативных энергетических систем [Текст] : [моногр.] / А. Н. Горин, А. В. Дорошенко, В. П. Данько. - Донецк : Світ книги, 2013. - 327 с. *Особистий внесок здобувача: розроблені схемні рішення сонячних систем і апаратів з РН; проведений цикл експериментально-розрахункових досліджень; виконано аналіз і узагальнення отриманих результатів*

АНОТАЦІЯ

Данько В.П. Сонячні осушувально-випарні холодильні системи на основі тепломасообмінних апаратів з рухомою насадкою. – На правах рукопису. Дисертація на здобуття вченого степеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 – Холодильна та криогенна техніка, системи кондиціонування повітря. – Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2013.

Робота присвячена розвитку наукових і інженерних основ створення багатофункціональних сонячних систем з використанням методів випарного охолодження. Найбільш перспективне включення випарних охолоджувачів до складу осушувально-випарних систем на основі тепловикористовуючого абсорбційного циклу з непрямою регенерацією абсорбенту. Розроблені схемні рішення для багатофункціональних сонячних систем. Розроблено принцип створення метало-полімерних сонячних колекторів СК/м-п, виконано аналіз теплових втрат і цикл експериментальних досліджень. Розроблені принципи конструювання тепломасообмінної апаратури (абсорбера-осушувача, десорбера-регенератора і випарних охолоджувачів) з використанням рухомої псевдозрідженої насадки; створені базові варіанти таких апаратів з одно- і багатоярусним розташуванням насадки на опорно-розподільних решітках; такі апарати забезпечують стійку експлуатацію в екстремальних умовах, зростання навантажень, високу поперечну рівномірність шару рухомої насадки, при прийнятному рівні енерговитрат. Вперше виконано аналіз розподілу фазових термічних опорів при реалізації політропічних процесів в рухомому шарі насадки що показав, що величина опору рідини R_p в спільному опорі системи складає 53...80 %, що обумовлює доцільність використання рухомої насадки в системах «вода-повітря», розчин «абсорбент-повітря». Для двоюрисної насадки вперше вивчений режим «захливання» і побудована інверсійна крива. Досліджена затримка рідини в псевдозрідженому шарі насадки. Як абсорбент рекомендований розчин $\text{LiBr} + (\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3)$, переважний з погляду ступеня осушення повітря і необхідної температури регенерації абсорбенту, що досягається. Розроблена ССКП вирішує завдання забезпечення параметрів комфортності у всьому діапазоні параметрів зовнішнього повітря, при цьому температура десорбції не перевищує

55...60 °С. Показано, що вона приводить до меншого виснаження природних ресурсів, що говорить про її більшу енергетичну ефективність та менший внесок до глобальної зміни клімату.

Ключові слова: сонячна система, сонячний колектор, абсорбція, десорбція, випарне охолодження, повітроохолоджувач, градирня, рухома насадка, тепломасообмін, екологічний вплив.

АНОТАЦІЯ

ДАНЬКО В.П. Солнечные осушительно-испарительные холодильные системы на основе тепломасообменных аппаратов с подвижной насадкой. – На правах рукописи.

Диссертация посвящена развитию научных и инженерных основ создания многофункциональных солнечных систем с использованием методов испарительного охлаждения сред. Наиболее перспективно включение испарительных охладителей в состав осушительно-испарительных систем на основе теплоиспользующего абсорбционного цикла с непрямою регенерацией абсорбента. Разработаны схемные решения для многофункциональных солнечных систем. Разработан принцип создания металлополимерных солнечных коллекторов СК/м-п на основе теплоприемника из многоканальной тонкостенной алюминиевой плиты и полимерным прозрачным покрытием. Выполнен анализ тепловых потерь и цикл экспериментальных исследований. Разработаны принципы конструирования тепломасообменной аппаратуры (абсорбера-осушителя АРН, десорбера-регенератора ДРН и испарительных охладителей ВРН и ГРН) с использованием подвижной псевдооживленной насадки РН; созданы базовые варианты таких тепломасообменных аппаратов ТМА с одно- и многоярусным расположением РН на опорно-распределительных решетках ОРР, выполненных в виде теплообменников с каналами регулярной (упорядоченной) структуры; такие аппараты обеспечивают устойчивую эксплуатацию в экстремальных условиях, рост нагрузок, высокую поперечную равномерность слоя подвижной насадки ПН, при приемлемом уровне энергозатрат, в частности обоснован переход на многоярусное расположение насадки в колонне и использование в качестве ОРР теплообменника.

Впервые выполнен анализ распределения фазовых термических сопротивлений при реализации политропических процессов в подвижном слое насадки показал, что величина сопротивления жидкости $R_{ж}$ в общем сопротивлении системы составляет 53...80%, что обуславливает целесообразность использования подвижной насадки в системах «вода-воздух», «растворы абсорбента-воздух». Экспериментально показано, что переход ПН в подвижное состояние зависит от эффективной плотности $\rho_{эн}$; «легкие» элементы насадки ЭН ($\rho_{эн} < 200 \text{ кг/м}^3$) псевдооживаются при малой задержке жидкости; ЭН «средней плотности» ($200 < \rho_{эн} < 600 \text{ кг/м}^3$) начинают псевдооживаться в условиях «захлебывания» псевдостационарного слоя и состояние начального «захлебывания» характеризует их последующее поведение; «тяжелые» ЭН ($\rho_{эн} > 600 \text{ кг/м}^3$) псевдооживаются в условиях захлебывания и формирования слоя пены поверх РН. Оптимальный

диапазон $\rho_{эн}$ составляет $\rho_{эн} = 200...600 \text{ кг/м}^3$; при этом рекомендованы значения $w_r \approx 2,5...4 \text{ м/с}$, $q_{ж} \approx 15 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ ч})$; оптимальное соотношение $l = G_r/G_{ж} = 1,1...1,2$. Впервые изучены гистерезисные явления, изменение динамической высоты слоя РН, влияние параметров ОРР, влияние перехода на одно- и двухъярусное оформление аппарата, причем рекомендовано для аппаратов осушительного контура и продуктовой градирни двухъярусное оформление колонны. Для двухъярусной насадки впервые изучен режим «захлебывания» РН и построена инверсионная кривая. В качестве абсорбента для ССКВ рекомендован раствор $\text{LiBr} + (\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3)$, предпочтительный с точки зрения достигаемой степени осушения воздуха и требуемой температуры регенерации абсорбента. Разработанная ССКВ решает задачи обеспечения параметров комфортности во всем рассмотренном диапазоне параметров наружного воздуха, при этом температура десорбции не превышает $55...60 \text{ }^\circ\text{C}$. Показано, что альтернативная система приводит к меньшему истощению природных ресурсов, что говорит о ее большей энергетической эффективности; она вносит меньший вклад в глобальное изменение климата.

Ключевые слова: солнечная система, солнечный коллектор, абсорбция, десорбция, испарительное охлаждение, воздухоохладитель, градирня, подвижная насадка, тепломасообмен, экологическое влияние

ABSTRACT

Solar drainage-evaporating cooling system on the basis of heat-mass-transfer apparatus with a mobile nozzle. – A manuscript.

The work is devoted to the development of the scientific and engineering fundamentals of the creation of multi-functional solar systems using the methods of the evaporating cooling. The most promising is the inclusion of evaporative coolers in the composition of the systems on the basis of absorption cycle with an indirect re-generation of the absorbent. Developed scheme solutions for multi-function solar systems. Designed by the principle of the creation of metal-polymer solar collectors, the analysis of the heat losses and the cycle of experimental studies. Developed the principles of construction of heat-mass-transfer apparatus (absorber-dryer, desorber-regenerator and evaporative coolers) with use mobile nozzles; created the basic variants of such apparatus with the single - and multi-stage column on support grids; these devices provide the stable operation in extreme conditions, the growth of loads, high transverse uniformity, at an acceptable level of energy over-spending.

For the first time carried out the analysis of the distribution of phase thermal resistor of the implementation of the drying and evaporative processes which showed prospectively of use of a movable space in the system «water-air» and «absorbent-air». For multi-stage apparatus (column) for the first time built the inversion curve. As an absorbent recommended solution $\text{LiBr} + (\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3)$, preferable from the point of view of the achieved degree of drying of the air and the temperature absorbent regeneration. Developed by solar air-conditioning system (SACS) and solar cooling system SCS solves the task of ensuring the parameters of comfort in all things considered, Mr. range of parameters of the outside air, the temperature of the desorption does not

exceed $55...60 \text{ }^\circ\text{C}$. It is shown that it leads to less depletion of natural-resources, which speaks to its greater energy efficiency, and makes a smaller contribution to global climate change.

Key words: solar system, solar collector, absorption, desorption, evaporative cooling systems, cooling tower, mobile nozzle (“gas-liquid-solid body”), heat-mass-transfer, environmental impact