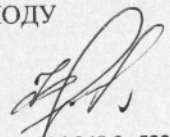


Автореферат
Ф83

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

Юрій Аркадійович Франко


УДК 536.248.2: 532.529.5

**«БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІ СОНЯЧНІ СИСТЕМИ ТЕПЛО-
ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ»**

Спеціальність

05.05.14 – «Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи
кондиціювання»

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса 2010

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Одеській державній академії холоду Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор **Дорошенко Олександр Вікторович**, професор кафедри технічної термодинаміки Одеської державної академії холоду

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Ткаченко Станіслав Йосипович**, завідувач кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету

доктор технічних наук, доцент **Тіглов Олександр Сергійович**, завідувач кафедри теплохолодотехніки Одеської національної академії харчових технологій

Захист дисертації відбудеться «25» 10 2010 року в 1430 годин в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.41.087.01 при Одеській державній академії холоду за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна

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

Реферат розісланий « » 2010 року

В.І. Мілованов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Взаємозв'язані проблеми енергетики і екології висувають нові вимоги до систем тепло-холододобавлення і кондиціювання повітря, насамперед, зниження енерговитрат і антропогенної дії на довкілля. До перспективного і довгострокового рішення в цьому напрямі відноситься створення альтернативних систем на основі методів випарного охолодження середовища. Практичне використання випарного охолодження вимагає вирішення принципових питань: розширення кліматичної області використання самих методів, підвищення компактності устаткування, зниження габаритів устаткування і енергоспоживання. Виконані останніми роками дослідження показали підвищений інтерес до можливостей випарних методів охолодження і створення альтернативних систем на їх основі. Найбільш перспективне включення випарних охолоджувачів до складу осушувально-випарних систем на основі відкритого циклу абсорбції, що дозволяє зняти кліматичні обмеження застосування випарних методів і істотно поліпшити енергетичні і екологічні показники альтернативних систем в цілому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до законодавчих актів: Постанови Верховної Ради України №75/94-ВР від 01.07.94 р. що затвердила "Закон України про енергозбереження", Постанови Кабінету Міністрів України №148 від 05.02.97 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 03.03.2006 р. № 85). Робота виконувалася за планом роботи аспірантів та тематикою, яка є складовою частиною наукової тематики ОДАХ, що відповідає енергетичній стратегії України.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вдосконалення багатофункціональних сонячних систем тепло - холодопостачання і кондиціювання повітря на основі осушувально-випарних методів і сонячної енергії для підтримки безперервності циклу. Для її досягнення вирішувалися наступні завдання: – розробка схемних рішень осушувально-випарних охолоджувачів з прямою (безпосередньою) регенерацією абсорбенту і вдосконалення тепломасообмінних апаратів осушувального і охолоджувального блоків ССКІІ; – розробка нового класу перетворювачів сонячної енергії газорідного типу для безпосередньої регенерації абсорбенту, заснованих на гравітаційній течії рідинної плівки; – створення уніфікованої компактної тепломасообмінної апаратури (абсорбера-осушувача, сонячного десорбера-регенератора, випарного охолоджувача), що забезпечує мінімізацію енерговитрат; – моделювання робочих процесів з урахуванням особливостей плівкових течій в ТМА і проведенні експериментального дослідження альтернативних систем: сонячних регенераторів абсорбенту і

АКТУАЛ
ІНСТИТУТ холода
ОНАХТ
бібліотека

випарних охолоджувачів; – одержання, на основі виконаного циклу теоретичних і експериментальних робіт, залежностей і рекомендацій, що забезпечують розрахунок і конструювання таких систем.

Об'єктом дослідження є сонячні багатофункціональні системи кондиціювання повітря і тепло-холодопостачання. **Предметом дослідження** є процеси тепломасообміну в альтернативних системах.

Методи дослідження: теоретичне вивчення процесів тепломасообміну (моделювання процесів спільного тепломасообміну при випарному охолодженні з урахуванням реальних уявлень про фазові термічні опори та величини поверхні тепло- і масообміну); експериментальне дослідження на натурних зразках тепломасообмінних апаратів (сонячні колектори-регенератори; випарні охолоджувачі).

Наукова новизна одержаних результатів: – Розроблені схемні вирішення багатофункціональних сонячних систем осушувально-випарного типу на основі абсорбції відкритого типу - з прямою (безпосередньою) регенерацією розчину абсорбенту і вперше показано, що пряма (безпосередня) регенерація абсорбенту знижує температурний рівень регенерації до температур не вище 70°C, що забезпечує можливість побудови ССКП на основі плоских сонячних колекторів-регенераторів і усуває необхідність в десорбері традиційного типу і сонячній водонагрівальній системі; – Вперше виконано теоретичне і експериментальне дослідження особливостей плівкових течій по похилих поверхнях (кут нахилу визначається шириною місцевості, де встановлена сонячна система), включаючи питання стійкості плівкових течій; вперше виконаний аналіз сумарних теплових втрат в сонячних газорідинних колекторах; з урахуванням одержаних результатів розроблені рекомендації по конструюванню сонячних колекторів нового покоління для абсорбційних систем з прямою (безпосередньою) регенерацією абсорбенту; – Отримані і узагальнені експериментальні дані по прямій сонячній регенерації абсорбенту (процеси десорбції) у колекторах-регенераторах із гравітаційним рухом рідинної плівки абсорбенту $\text{LiBr} + (\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3)$ по похилій поверхні СК/Р; виявлена залежність процесу від інтенсивності сонячної радіації і початкового вологовмісту повітря; – Розроблені теоретичні основи аналізу фазових термічних опорів повітряного і водяного потоків, що ґрунтуються на уявленнях про аддитивність фазових опорів; розроблена методика (на основі методу ентальпійного потенціалу), призначена для обробки експериментальних даних, отриманих для політропічних процесів у системі вода-повітря; це забезпечує розрахунок кінетичних характеристик (рушійних сил і коефіцієнтів обміну у фазях), на основі яких можна конкретизувати вибір напрямку інтенсифікації процесів при розробці структури поверхні і визначенні оптимальних режимних параметрів, виявити небезпеку повного насичення повітря вологою і розробити рекомендації для проектування охолоджувачів, що виключають небезпеку явища реконденсації;

встановлено, що лінія зміни стану повітряного потоку $h_f = f(t_f)$ завжди криволінійна, причому її кривизна визначається початковими параметрами води і повітря на вході в охолоджувач і величиною співвідношення витрат контактуючих потоків; – Результати зіставлення осушувально-випарного кондиціонера з парокомпресійним кондиціонером, показали, що осушувально-випарна схема дозволяє істотно зменшити споживану потужність системи (на 35-40%); – Виконано екологічний аналіз альтернативних рішень з використанням методології і бази даних «Повний життєвий цикл» (міжнародні стандарти ISO (14040, 14041, 14042 і 14043, «eco-indicator 99», база даних програми «SimaPro-6»); показано, що ССКП на основі осушувально-випарного циклу призводить до меншого виснаження природних ресурсів, ніж традиційна парокомпресійна СКП, вона менше впливає на глобальну зміну клімату; показано, що вибір ССКП за двома аналізованими критеріями (вплив на виснаження природних ресурсів і на глобальне потепління) сприяє реалізації Закону України про енергозбереження і Кіотського протоколу щодо зниження емісії парникових газів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і результатів підтверджуються результатами експериментально-розрахункових досліджень і хорошим якісним і кількісним узгодженням отриманих результатів з існуючими даними. Це забезпечує коректне використання методів математичного моделювання і розрахунку апаратів і багатофункціональних сонячних систем.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці рекомендацій для розрахунку і конструювання альтернативних ССКП з прямою (безпосередньою) регенерацією абсорбенту та їх основних елементів, включаючи новий тип газорідинного сонячного колектора і тепломасообмінне обладнання осушувального і охолоджувального контурів ССКП. Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в учбовому процесі на кафедрах ОДАХ в курсах лекцій і практичних занять з нетрадиційної енергетики у 2008 - 2010 роках.

Особистий внесок здобувача. Особисто здобувачем розроблені схемні рішення альтернативних систем і апаратів для них (СК-регенераторів, абсорберів, випарних охолоджувачів), проведено цикл експериментально-розрахункових досліджень; виконаний аналіз і узагальнення отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення, результати та висновки роботи доповідались автором на: науково-технічних конференціях: VI науково-технічна конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», м. Одеса, 2007р.; V міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання», Донецьк, вересень 2007 р.

Публікації. Основні наукові і прикладні результати автора представлені в 5 публікаціях, з них: 3 друкованих робіт у науково-технічних фахових журналах і 2 тези доповідей на міжнародних і науково-практичних конференціях.

Об'єм і структура дисертації. Дисертація викладена на 227 сторінках машинописного тексту, включаючи 144 сторінок основного тексту, 73 сторінок з рисунками, 10 сторінок з таблицями, і складається зі вступу, п'яти основних розділів, списку літератури з 198 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі і першому розділі роботи відбита актуальність проблеми, виконаний аналітичний огляд, що характеризує стан досліджень у світі в даній області і, як перспективний напрям, виділені сонячні системи осушувально-випарного типу з прямою (безпосередньою) регенерацією абсорбенту, сформульовані мета і завдання дослідження у теоретичній, експериментальній і прикладній частинах; виявлені і сформульовані наукова новизна і основні результати роботи і визначена її практична цінність.

Другий розділ присвячений розробці схемних рішень сонячних багатофункціональних систем тепло-холодопостачання і кондиціонування повітря (ССКП і СХС) осушувально-випарного типу з прямою (безпосередньою) регенерацією абсорбенту і тепломасообмінної апаратури (ТМА) для ССКП, а також вибору робочого тіла для осушувального контуру системи. Випарне охолодження є ефективним тільки в умовах, коли вологовміст зовнішнього повітря не перевищує 12, 5 г/кг (рис. 1А). Попереднє осушення повітря забезпечує ефективне застосування випарного охолодження у будь-яких кліматичних умовах. Розроблені схемні рішення стосовно завдань ССКП і СХС наведені на рис. 1. Поєднання абсорбції з десорбцією робить процес осушення повітря безперервним. Осушене повітря використовується у випарному охолодженні, забезпечуючи термовологісну обробку повітря, що надходить в приміщення, або випарне охолодження води. Основні принципи побудови схем: використовується пряма регенерація абсорбенту в сонячному колекторі-регенераторі СК/Р (5), де сонячна енергія одночасно забезпечує як підведення тепла для регенерації абсорбенту так і рух повітряного потоку над плівкою абсорбенту; уся тепломасообмінна апаратура (СК/Р, абсорбер-осушувач (1), випарні охолоджувачі (2 і 4)) виготовлена на основі багатоканальних багатопарових полімерних структур. Основним продуктом є повітря, що проходить необхідну термовологісну обробку у випарному охолодженні прямого типу ПВО (рис. 1А і Б), або охолоджена вода з градирні ГРД (рис. 1В). Інтерес представляє також комбіноване рішення з отриманням як обробленого повітряного потоку, так і холодної води (рис. 1Г). У розроблених схемах використовується дві градирні: технологічного призначення ГРД/т, що забезпечує абсорбера, і продуктова ГРД/п, що забезпечує отримання

охолодженої води на необхідному температурному рівні. Абсорбер-осушувач розроблений як із зовнішнім винесеним теплообмінником, так і з внутрішнім теплообмінником, розміщеним безпосередньо в об'ємі шару насадки. Важливою проблемою для ССКП є значні габарити ТМА у зв'язку з малими рушійними силами процесів і необхідністю забезпечити незначні опори руху потоків через насадку апаратів. Використовувалися ТМА плівкового типу, що забезпечує і необхідну компактність. Проведений аналіз властивостей полімерних матеріалів, які відповідають вимогам роботи колекторів-регенераторів СК/Р під впливом сонячного випромінювання і тепломасообмінних апаратів у «відкритому» циклі, показав, що перспективним матеріалом для створення прозорого покриття СК/Р і насадки ТМА є полікарбонат у вигляді багатопарових багатоканальних структур.

Для систем з відкритою регенерацією абсорбенту розроблений газорідинний сонячний колектор-регенератор СК/Р з гравітаційною течією рідинної плівки. СК/Р (рис. 2) є найважливішою частиною системи регенерації (відновлення абсорбенту), в якому рух повітряного потоку забезпечується сонячним розігріванням (різницею густини повітря на вході і виході з СК). Такий СК/Р містить теплоприймач (абсорбер), прозоре покриття (ПП) (1) з повітряним зазором між ПП і теплоприймачем (капалом, по якому рухається повітряний потік) і теплоізоляцію дна (3). Теплоприймач СК/Р має U-подібну форму (2), виконаний з алюмінієвого листа з чорним покриттям поверхні і забезпечує одночасне прогрівання як самого повітряного потоку, так і абсорбенту, що стікає у вигляді тонкої плівки по «дну» колектора під впливом сил гравітації. Нагрівання повітряного потоку зумовлює його рух через повітряний канал СК/Р; нагрівання абсорбенту забезпечує необхідні умови для реалізації процесу десорбції (видалення водяної пари з розчину, дифузії пари в повітряний потік і винесення водяної пари в навколишнє середовище). Сонячний колектор-регенератор, як і звичайний СК, орієнтований на південь і має певний кут нахилу до горизонтальної поверхні для максимального прийому сонячної енергії з урахуванням характеру системи: $\beta = \varphi$ для цілорічних геліосистем і $\beta = \varphi - 15^\circ$ для сезонних геліосистем (період експлуатації квітень – жовтень).

З використовуваних як абсорбенти речовин, з огляду на їх теплофізичні властивості, найбільш перспективними для осушувального контуру ССКП є водні розчини бромистого літію, при цьому доцільно використовувати добавки, що знижують корозійну активність і збільшують розчинність. Для ССКП це розчини $\text{LiBr} (\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr})$ і $\text{LiBr} + (\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3)$; для досягнення необхідної рушійної сили в ССКП необхідна концентрація LiBr + повинна складати 60-65% при температурі регенерації абсорбенту 30-60°C.

Третій розділ присвячений вивченню процесів тепломасообміну в осушувальній частині ССКП, зокрема, теоретичній і експериментальній розробці перетворювачів сонячної енергії в теплову енергію і аналізу процесів абсорбції-десорбції. Для газорідинних колекторів принципово

важливе вивчення особливостей плівкових течій по похилих поверхнях, по яким стікає рідина плівка абсорбенту. Особливості хвильового руху рідинної плівки вивчалися теоретично і експериментально, включаючи питання стійкості течій, отримано розрахункові залежності для визначення товщини стікаючих плівок; показано, що мінімальне значення середньої товщини плівки h_0 відповідає мінімальній потенційній енергії плівки в полі сили тяжіння і найбільш стійкому (при даній витраті рідини q_0) режиму її течії по похилих поверхнях, а середня по довжині хвилі товщина плівки при хвильовій течії менша, ніж при ламінарному безхвильовому режимі і визначається отриманими в роботі співвідношеннями. Експериментальна частина дослідження виконана методом електропровідності. Отримані результати підтверджують високу стійкість плівкових течій по листу з регулярною шорсткістю поверхні (РШ) і значне зростання питомої змоченої поверхні листа. РШ поверхні дна каналу СК/Р забезпечує сприятливі умови протікання процесів тепломасопереносу в рідинній плівці. Виконано математичне моделювання процесів трансформації сонячної енергії в газорідинному колекторі-регенераторі СК/Р з урахуванням теплових витрат (рис. 2 і 3) при наступних допущеннях: режим роботи сонячного колектора стаціонарний; градієнтом температури теплоносіїв по периметру каналу можна знехтувати; температура кожного елементу СК/Р змінюється тільки в напрямі руху теплоносія; властивості матеріалів СК/Р і теплоносіїв не залежать від температури; поглинання сонячної енергії покриттями колектора не впливає на втрати колектора в цілому.

На рис. 3 наведені результати розрахунків теплової ефективності для розробленого СК/Р для параметрів: $t_0 = 20^\circ\text{C}$; $t_1 = 50^\circ\text{C}$; $\beta = 30^\circ$; $\delta_{1-2} = 80, 40$ і 20 мм ; $\delta_{\text{из}} = 30\text{ мм}$; $\lambda_{\text{из}} = 0,04\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$; $\delta_{2-3} = 10\text{ мм}$; $\delta_{2-2} = 10, 15$ і 20 мм $w_r = 0$. Основний інтерес представляють геометричні параметри робочого каналу СК/Р. Зростання ширини каналу δ_{1-1} призводить до зниження величини U_Σ і оптимальною є величина співвідношення $\delta_{1-2}/\delta_{1-1} \approx 2,0$, при $\delta_{1-2} = 80 - 100\text{ мм}$. При збільшенні δ_{2-3} від 10 до 15 мм величина U_Σ зменшується в середньому від 7 до $5\text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ і з подальшим зростанням повітряного зазору δ_{2-3} практично залишається постійною. Впливу ширини каналу δ_{2-2} в діапазоні співвідношення $\delta_{2-2}/\delta_{2-3} = 1,0 - 2,0$ не виявлено. Величину $\delta_{2-3} = 15\text{ мм}$ можна вважати за оптимальну для формування прозорого покриття СК. Практичний інтерес представляє оцінка впливу швидкості вітру над поверхнею СК на коефіцієнт теплових втрат, а, отже, і на к.к.д. СК. При зміні w_r від 0 до 5 м/с , величина U_Σ збільшується найістотніше (на $20-30\%$). З цього виходить, що всупереч існуючим рекомендаціям, швидкість вітру необхідно враховувати при розрахунках СК і сонячних систем. Прийнято вважати, що коефіцієнт теплових витрат слабо залежить від температури пластини абсорбера. Проте показано, що ця залежність достатньо істотна і носить майже лінійний характер. Процес відновлення розчину абсорбенту в СК/Р грає визначальну роль в підтримці безперервності циклу. З причини експериментальної складності безпосереднього вивчення процесу регенерації абсорбенту, пов'язаної з необхідністю підготовки

розчину LiBr необхідної концентрації і підтримки початкової концентрації цього розчину в процесі досліджень, вивчення процесу десорбції в СК/Р було проведене на воді, тобто процес виділення вологи із розбавленого () розчину абсорбенту імітувався на основі процесу випаровування води, що стікає по похилій внутрішній поверхні СК/Р в протитечії з повітряним потоком (рис. 4). У порівнюваних ситуаціях ідентичний характер руху повітряного потоку над поверхнею рідинної плівки, обумовлений сонячним розігріванням; характер течії рідинної плівки абсорбенту достатньо близький до особливостей руху водяної плівки; фізична сторона процесу тепломасообміну в обох випадках виражається дифузією водяної пари в повітряний потік від поверхні рідинної плівки. Витрата повітряного потоку G_r фіксувалася непрямым чином, з урахуванням теплового балансу $G_r \cdot \Delta h_r = g \cdot \Delta G_{\text{ж}}$, де: $\Delta G_{\text{ж}}$ – кількість рідини, що випарувалася; визначалася розробленим раніше в ОДАХ методом відсічення живлення; витрату рідини $G_{\text{ж}}$ вимірювали за допомогою ротаметрів РС; температура рідини визначалася, як і у випадку з абсорбентом, прямою дією сонячної радіації (у разі потреби підключали додаткове джерело тепла); Δh_r – зміна ентальпії повітряного потоку, фіксувалося за показаннями пар термометрів (сухий і мокрий) і термометрів опору 15, встановлених на вході і виході з повітряної порожнини СК/Р. Отримані результати (у перерахованому стосовно процесу абсорбції вигляді) ілюструються на рис. 4 у вигляді залежності зміни вологовмісту повітря в абсорбері від приведеної концентрації розчину абсорбенту ξ^* (відношення робочої концентрації до гранично можливої, відповідної лінії кристалізації розчину) і температури зовнішнього повітря. Оскільки для розчину LiBr необхідна температура регенерації абсорбенту не перевищує 70% (ξ^* не вище $0,95$), цей розчин надалі використовувався в розробленій ССКП.

Четвертий розділ присвячений теоретичному і експериментальному вивченню процесів сумісного тепломасообміну у випарних охолоджувачах. Поля параметрів потоків (h і t) і коефіцієнти обміну у фазах можна розрахувати, вирішуючи систему рівнянь:

$$\begin{cases} G_r dh_r = \beta_h (h_r'' - h_r) dF, \\ G_{\text{ж}} c_{\text{ж}} dt_{\text{ж}} = \alpha_{\text{ж}} (t_{\text{ж}} - t_{\text{ж}}'') dF, \\ \frac{dh_r}{dt_{\text{ж}}} = \frac{G_{\text{ж}} c_{\text{ж}}}{G_r}, \\ \frac{dh_r}{dt_r} = \frac{(h_r'' - h_r)}{(t_{\text{ж}}'' - t_r)}, \\ h_r'' = f(t_{\text{ж}}''); \quad h_r' = f(t_{\text{ж}}) \end{cases} \quad (1),$$

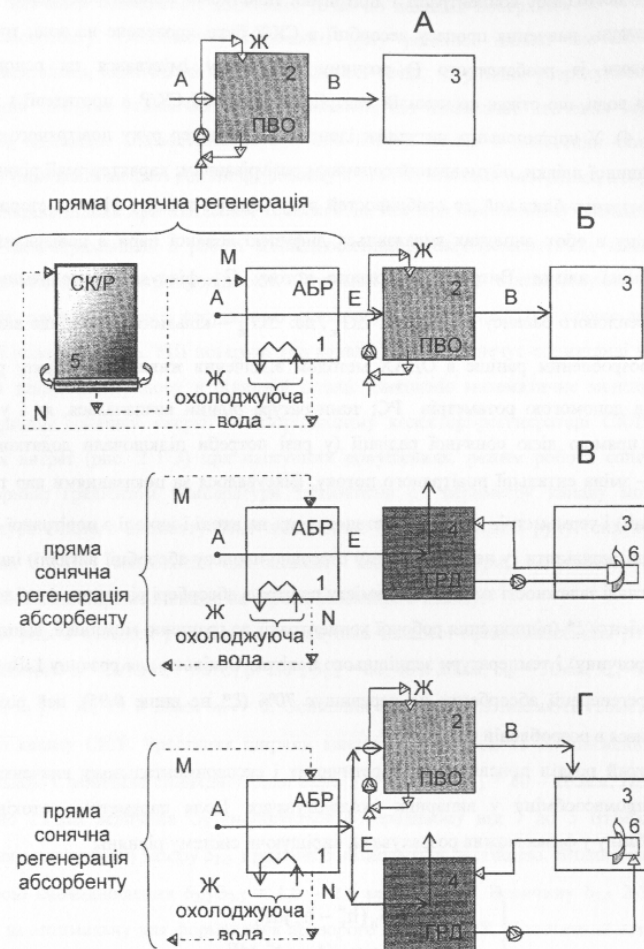


Рис. 1. Принципи побудови осушувально-випарних охолоджувачів з використанням сонячної енергії для відновлення абсорбенту. А. Випарний повітроохолоджувач прямого типу в автономному використанні. Б, В і Г – осушувально-випарні охолоджувачі (з подачею у приміщення повітря, що пройшло термовологісну обробку, охолодженої води, і повітряного струменю і охолодженої води, відповідно). Позначення: 1 – абсорбер; 2 – повітроохолоджувач; 3 – приміщення; 4 – градирня; 5 – газорідинний сонячний колектор-регенератор; 6 – водоповітряний теплообмінник; А – зовнішнє повітря; М, N – абсорбент; Ж – вода

за граничних умов:

$$\begin{cases} i = l: t_{жс} = t_{жс}^2; h_z = h_z^1; t_z = t_z^1 \\ i = n: t_{жс} = t_{жс}^1; h_z = h_z^2; t_z = t_z^2, \end{cases} \quad (2)$$

$$-\frac{\alpha_{ж}}{\beta_h} = \frac{(h_r'' - h_r)}{(t_{ж}'' - t_{ж})}, \quad \frac{\Delta h_r}{\Delta t_r} \cong \frac{(h_r'' - h_r)}{(t_{ж}'' - t_r)} \quad (3)$$

Грунтуючись на аналогії тепло- і масообмінних процесів, застосуємо основні положення двоплівкової теорії Льюїса до системи вода-повітря: 1) на границі розділу фаз (газ-рідина, пара – рідина) з боку кожної фази виникають пограничні плівки (газова плівка, рідинна плівка і тому подібне), що створюють основний опір під час переходу речовини з однієї фази в іншу; 2) на границі розділу двох фаз, відповідно на границі розділу між плівками, створюються умови рухливої рівноваги, тобто досягаються стаціонарні умови процесу; 3) тепловіддача в межах кожної фази розглядається незалежно. Отримано рівняння адитивності фазових опорів (5), що зв'язує спільний термічний опір в системі R_{Σ} з термічним опором повітряної R_r і водяної $R_{ж}$ фаз. Переважний вплив опору газової або рідинної плівки визначається залежно від розчинності газу в рідині.

$$\frac{1}{FK_h} = \frac{1}{F\beta_h} + \frac{\bar{m}}{F\alpha_{ж}}, \quad R_{\Sigma} = R_r + \bar{R}_{ж} \quad (5), \quad \text{де } dQ_{\Sigma} = K_h \cdot (h_r^* - h_r) \cdot dF \quad (4),$$

Система рівнянь (1) розв'язувалася з урахуванням термічного опору рідини, тобто $R_{ж} \neq 0$.

Розрахунок полягає у виборі величини співвідношення інтенсивності процесів перенесення на стороні рідинної і газової фаз $\alpha_{ж}/\beta_h$, знаходженні параметрів контактуючих потоків і перевірці виконання умови $t_z^{2(расч)} = t_z^{2(эксп)}$. Завдання вирішується інтервально-ітеративним методом. Запропонований розрахунковий метод призначений для обробки експериментальних даних, отриманих для політропічних процесів у системі вода-повітря, і може бути використаний для конструктивного розрахунку апаратів. Він забезпечує розрахунок кінетичних характеристик (рушійних сил і коефіцієнтів обміну у фазах), на основі яких можна конкретизувати вибір напрямку інтенсифікації процесів при розробці структури поверхні і визначенні оптимальних режимних параметрів. Як граничні умови тут використовуються дослідні значення параметрів на кінцях експериментального модуля. Опір поверхні розділу приймається зневажливо малим, що відповідає термодинамічній рівновазі фаз поверхні їх зіткнення. Застосовність інтервально-ітеративного методу до аналізу поперечної схеми зводиться до способу усереднювання рушійних сил в інтервалі, тобто можливості обчислення рушійних сил в поперечної шарунці із заданою точністю.

Експериментальний стенд забезпечував можливість вивчення робочих процесів: у випарному охолоджувачі води (градирня, ГРД) і охолоджувачі повітря прямого типу (ПВО). Аналіз дослідних даних виконаний для різних характерних значень Λ . Встановлено, що лінія зміни стану повітряного потоку $h_r = f(t_r)$ завжди криволінійна, причому її кривизна визначається початковими параметрами води і повітря на вході в охолоджувач і величиною співвідношення витрат контактуючих потоків. Для випадку, коли $\Lambda < 1.0$ лінія зміни стану повітряного потоку $h_r = f(t_r)$ тісно наближається до лінії повного насичення повітря $\phi = 100\%$. Оскільки експериментально можна визначити тільки параметри повітря на виході з модуля, то завжди залишається неясним, де по висоті модуля реально пройшло повне насичення повітряного потоку. Це важливо, оскільки подальше контактування повністю насиченого повітря з водою може приводити до реконденсації і зниженню ефективності процесу. Розроблена розрахункова процедура дозволяє виявити небезпечність повного насичення повітря і розробити рекомендації до проектування ПО, а саме градирень, які виключають небезпеку явища реконденсації. Такий аналіз поданий на рис. 5. На рис. 5В виділено випадок $\Lambda < 1.0$ і аналіз поширений в область менших значень температури повітря на вході $t_1^{1/3}$, при цьому варіювалася і ступінь наближення до межі випарного охолодження $\Delta t_{*ж}^1 = (t_{ж}^2 - t_{м}^1)$, – (крива 3В). Видно, що з ростом ефективності процесу (робоча лінія для випадку 3В зміщена і показана пунктиром) і зниженням $t_{г1}$ небезпека реконденсації значно підвищується. На рис. 5Г цей результат проаналізовано додатково в широкому інтервалі співвідношень початкових температур води і повітря (лінії $h_r = f(t_r)$ на графіку відповідають співвідношенням температур: $2 - t_{г1}^1 > t_{ж1}^1$; $1 - t_{г1}^1 < t_{ж1}^1$; $3 - t_{г1}^1 < t_{ж1}^1$). Показано вплив цих параметрів на положення робочої лінії та на хід процесу $h_r = f(t_r)$ в полі діаграми вологого повітря при незмінному співвідношенні витрат газу і рідини ($\Lambda = I_{г/л} = 1$). Зміна положення робочої лінії (паралельний її зсув у позиціях 1-3) обумовлено саме впливом реконденсації на ефективність процесу, що відбивається на підвищенні температури охолоджуваної води $t_{ж}^{2/3}$. Зниження ступеня охолодження води в градирні наочно ілюструється видом залежності $E = f(\Lambda)$ на підставі розрахункових даних по рис. 5Г в області значень $\Lambda < 1$ (рис. 6В). На рис. 6 наведені експериментальні результати дослідження процесів у градирні у вигляді ефективності охолодження води і ступеня використання повітряного потоку. Оптимальне значення співвідношення потоків газу і рідини складає $I = G_{г/ж} = 0,8$, при цьому ефективність охолодження води складає в середньому, в залежності від величини Λ , діапазон значень 0,5-0,8. Відзначимо, що раніше в ОДАХ, в дослідженнях ГРД з насадкою з теплопровідного матеріалу – алюмінієвої фольги, ця величина складала в середньому 0,8-1,0, при близькому значенні ефективності процесу. Отримані експериментальні дані можуть бути представлені у вигляді:

$$E_{ж} = c(1 - e^{-1.1\Lambda}), \quad E_r = c(1 - e^{-1.1\Lambda})\Lambda^{-1}, \quad (5)$$

де величина $c \approx 0.85$ (раніше в роботі Дорошенка О.В. для насадок з полімерного матеріалу

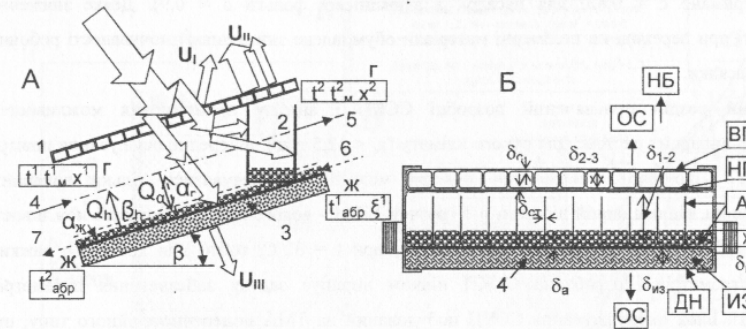


Рис. 2. Схема течії теплоносіїв у сонячному газорідинному колекторі-регенераторі і процеси сумісного тепломасообміну при десорбції водяної пари із слабого розчину абсорбенту. Позначення: 1 – прозоре покриття; 2 – теплоприймач (абсорбер); 3 – теплоізоляція; 4, 5 – повітряний потік; 6, 7 – абсорбент

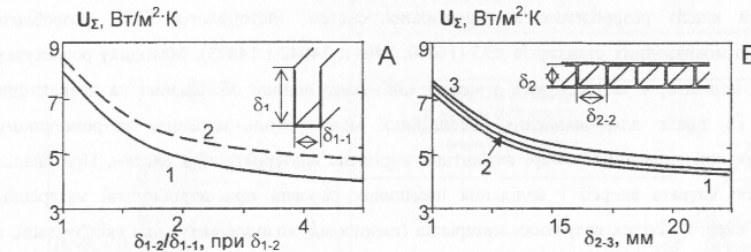


Рис. 3. Залежність коефіцієнта сумарних теплових витрат U_{Σ} від геометричних розмірів теплоприймача (абсорбера) СК/Р, – А, (1 і 2 – з природною тягою і вентиляційний варіанти СК/Р, відповідно); і від висоти прозорого покриття (Б), при: $\delta_{2-2}/\delta_{2-3} = 1,0$ (лінія 1); 1,5 (лінія 2); 2,0 (лінія 3)

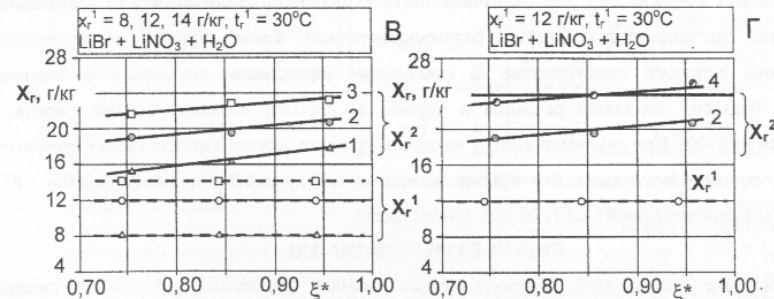


Рис. 4. Залежність зміни вологовмісту повітря у сонячному регенераторі СК/Р від приведеної концентрації розчину і вологовмісту зовнішнього повітря. А – СК/Р з природною «сонячною» тягою; Б – порівняння СК/Р з природною тягою (2) і вентиляційного СК/Р (4)

міпласту отримано $\epsilon \approx 0.83$, для насадок з алюмінієвої фольги $\epsilon \approx 0.9$). Деяке зниження ефективності при переході на полімерні матеріали обумовлене зниженням змочуваності робочих поверхонь насадки.

П'ятий розділ присвячений розробці ССКП і аналізу принципових можливостей осушувально-випарних систем. Для сухого клімату ($x_r < 12,5$ г/кг) попереднє осушування повітря не потрібне і комфортні параметри повітря можуть забезпечуватися тільки випарним охолодженням. На поєднаній діаграмі р-Т (розчин LiBr+ - вологе повітря) показані можливості застосування ССКП для умов, коли $x_r = 18$ г/кг, при $t = 32^\circ\text{C}$, тобто для достатньо важких зовнішніх параметрів. Розроблена ССКП цілком вирішує задачу забезпечення параметрів комфортності. Блок охолодження ССКП побудований на ТМА поперечнотечіного типу, що забезпечує «лінійність» схеми руху потоків і мінімізує енерговитрати на їх переміщення. Сумарний рівень витрат тиску не перевищує 120 Па, що дозволяє використовувати вентилятори осьового типу. На основі методології оцінки «повного життєвого циклу» (ІДЖЦ) виконано порівняльний аналіз розроблених альтернативних систем. Методологія ПЖЦ розроблена відповідно до міжнародних стандартів ISO (14040, 14041, 14042 і 14043). Методику розрахунку екологічних індикаторів застосовують з метою мінімізації впливу обладнання на навколишнє середовище, а також для виявлення потенційних можливостей зниження антропогенного навантаження при вивченні і виборі варіантних вирішень альтернативних систем. При аналізі враховуються: витрата енергії і виділення шкідливих речовин при виробництві матеріалів, споживання енергії і інших витратних матеріалів (наприклад, холодоагенту) при експлуатації, а також додаткові витрати енергії при утилізації об'єкту і супутні цьому викиди шкідливих речовин (рис. 7). Розрахунок всіх вибраних критеріїв ґрунтується на методології ECO-INDICATOR 99. Аналізувалися три критерії – вплив на здоров'я людини, якість екосистеми і виснаження ресурсів, які оцінювалися в *екоодинах* (яка є тисячною часткою щорічного навантаження на навколишнє середовище, що виникає від одного середньостатистичного жителя Європи, розраховується відношенням спільного навантаження на навколишнє середовище, пов'язаного з повними викидами будь-якої шкідливої речовини в Європі, до спільної кількості жителів Європи і множенням на 1000). При виконанні аналізу використовувалися середні дані для країн Євросоюзу. Показано, що за всіма трьома категоріями екологічної дії традиційна парокомпресійна СКП поступається альтернативній ССКП на всіх стадіях життя.

РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. Практичне використання випарних методів вимагає вирішення принципових питань: розширення кліматичної області використання методів, підвищення компактності і зниження енергоспоживання систем; найбільш перспективне включення випарних охолоджувачів до складу осушувально-випарних охолоджувачів на основі відкритого циклу абсорбції;

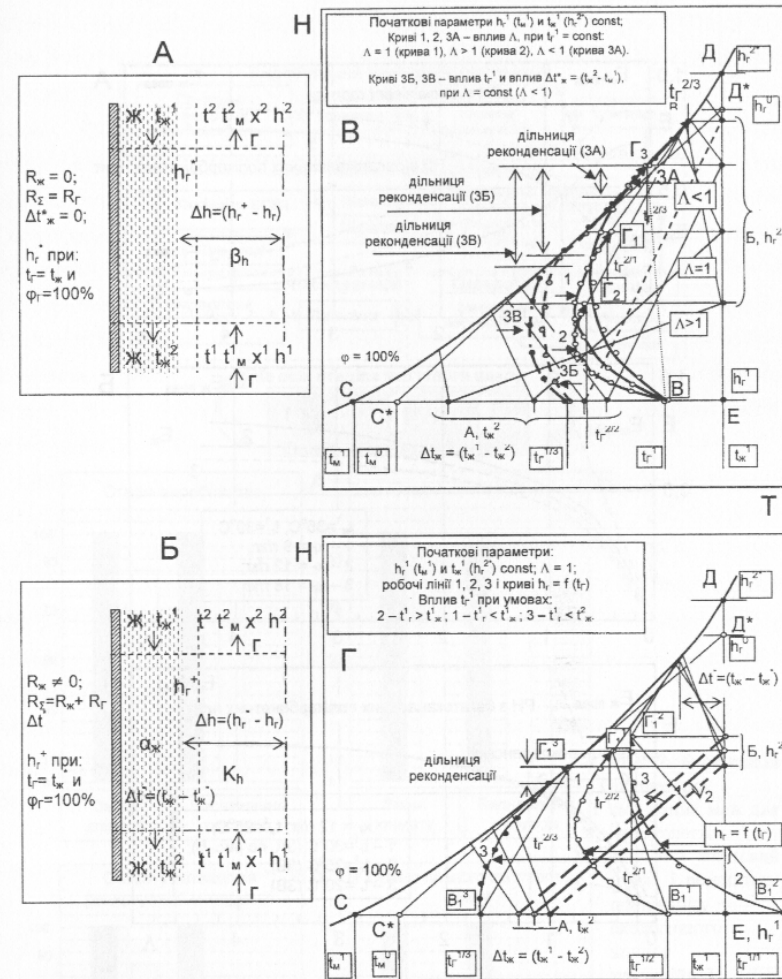


Рис. 5. Аналіз зміни стану повітряного потоку по висоті випарного охолоджувача. Т Процеси тепломасообміну розглянуто без урахування (А) і з урахування термічного опору рідинної плівки (Б); В. Аналіз небезпеки повного насичення повітряного потоку до виходу з насадки апарата [(вплив величин $\Lambda = l / l_{нд}$; початкових параметрів потоків h_r^1 (t_w^1), t_r^1 (h_r^2) и t_r^1 ; криві 3Б і 3В – вплив ступеня наближення до межі випарного охолодження $\Delta t_{жк} = (t_w^2 - t_w^1)$]. Г. Вплив співвідношення початкових температур води і повітря на положення робочої лінії і хід процесу $h_r = f(t_r)$ при незмінному співвідношенні витрат газу і рідини ($\Lambda = l / l_{нд} = 1$).

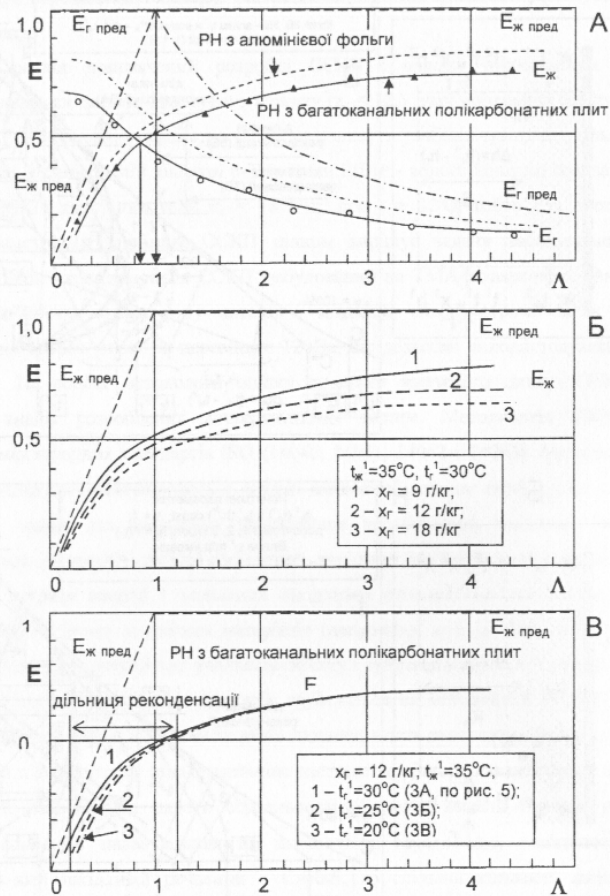
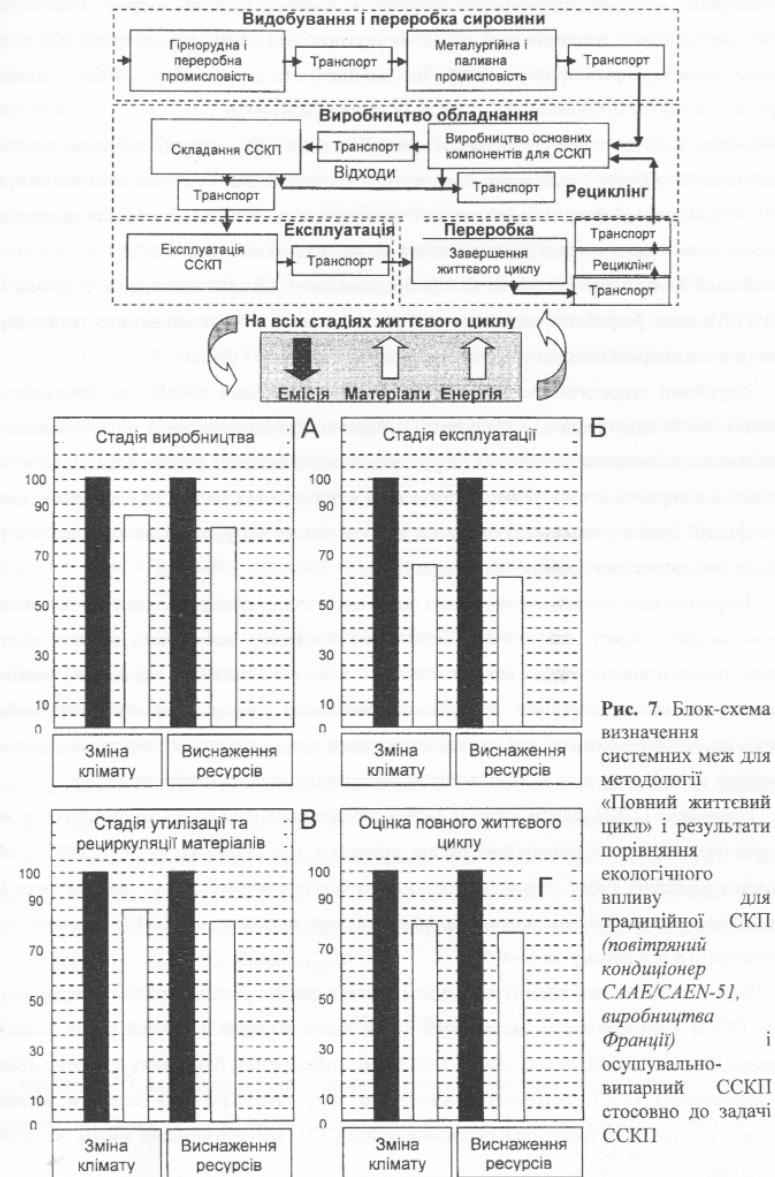


Рис. 6. Ефективність процесу охолодження води і використання повітряного потоку у градирні як функції характеристичного числа Λ . Експериментальні дані: А – за даними роботи Дорошенко (ОДАХ) на насадці з алюмінієвої гофрованої фольги з параметрами шару: $d_3 = 12\text{ мм}$; $H_{РН} = 400\text{ мм}$, і на насадці з багатоканальних багатопарових полікарбонатних плит (Б) з параметрами шару: $d_3 = 15\text{ мм}$, $H_{РН} = 400\text{ мм}$ (умови проведення експерименту: $t_{ж}^1 = 35^\circ\text{C}$, $t_r^1 = 30^\circ\text{C}$, $\phi_r^1 \approx 45\%$); В – вплив співвідношення потоків і початкової температури повітря (насадка з багатопарових полікарбонатних плит).



застосування ССКП з прямою (безпосередньою) регенерацією абсорбенту дозволяє зменшити енерговитрати, оскільки традиційний десорбер і сонячна система нагріву теплоносія тут замінюється сонячним регенератором абсорбенту; розроблені схемні вирішення ССКП на основі сонячних колекторів-регенераторів СК/Р, що забезпечують автономність ССКП і дозволяють створити сонячну багатофункціональну систему життєзабезпечення.

2. Розроблені сонячні колектори-регенератори СК/Р для ССКП, що забезпечують відновлення концентрації абсорбенту і підтримку безперервності циклу тільки на основі сонячної енергії; це дозволяє підвести необхідну кількість тепла, і організувати рух повітряного потоку над поверхнею абсорбенту, що стікає у вигляді рідинної плівки по внутрішній поверхні СК/Р.

3. Особливий інтерес для створення ССКП представляють випарні охолоджувачі прямого типу (ПВО ГРД); вони розроблені на основі плівкових апаратів з багатоканальною багатопаровою структурою полімерної насадки і розділним рухом потоків газу і рідини.

4. Розроблені теоретичні основи аналізу фазових термічних опорів, що ґрунтуються на уявленнях про їх адитивність, з урахуванням реальної величини поверхні тепло- і масообміну і відхилення від співвідношення Льюїса (порушення аналогії процесів перенесення теплоти і маси); показано, що термічний опір рідинної плівки не є зневажливо малим, що відкриває шлях до інтенсифікації процесу тепломасообміну як дією на газову фазу, так і на рідину, і є новим поглядом на перспективи розвитку плівкових ТМА.

5. Запропоновано розрахунковий метод визначення стану повітряного потоку по висоті і за об'ємом насадки апарату, що дозволяє встановити можливість небажаного повного насичення вологою газового потоку ще до виходу з насадки з метою вживання заходів по запобіганню різкому зниженню ефективності процесу; проаналізовані умови, при яких така небезпека виникає, що особливо важливо для апаратів плівкового типу з високою щільністю шару насадки з полімерних матеріалів (високою компактністю багатоканальної багатопарової насадки).

6. Розроблена ССКП цілком вирішує задачу забезпечення параметрів комфортності у всьому діапазоні параметрів зовнішнього повітря, що розглянуті ($x_r = 13-20$ г/кг, при $t = 25-40^\circ\text{C}$, тобто за найважчих зовнішніх умов); результати зіставлення осушувально-випарного кондиціонера ССКП з традиційним кондиціонером парокомпресійного типу показали, що ССКП дозволяє знизити енерговитрати в середньому на 35-40%.

7. Виконаний спільний екологічний аналіз альтернативних рішень в області кондиціюючих систем ССКП з використанням методології і бази даних «Повний життєвий цикл» (міжнародні стандарти ISO (ISO 14040, 14041, 14042 і 14043, «eco-indicator 99», база даних програми «SimaPro-6»). Застосування ССКП осушувально-випарного типу призводить до меншого виснаження природних ресурсів, ніж традиційна парокомпресійна СКП і вносить менший внесок до глобальної зміни клімату.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Дорошенко А.В., Франко Ю.А., Слободенюк М.И., Кириллов В.Х. Абсорбционные холодильные системы с солнечными газо-жидкостными коллекторами. Холодильная техника і технологія. – 2008. - №.6 (116). - С.32-36. *Особистий внесок автора:* аналіз результатів моделювання.

2. Дорошенко А.В., Франко Ю.А., Джамаль Камаль Хусейн. Солнечные абсорбционные системы с газо-жидкостными коллекторами-регенераторами. Труды Одесского политехнического университета. – 2009. – Вып. 1 (31). с.62-67. *Особистий внесок автора:* розробка схемних рішень та принципів створення тепломасообмінних апаратів, аналіз результатів моделювання.

3. Дорошенко А.В., Франко Ю.А., Хасан Сади Ибрагим., Глауберман М.А. Процессы совместного тепломасообмена в испарительных охладителях прямого типа. Холодильная техника і технологія. – 2010. - №.1 (123). - С.46-54. *Особистий внесок автора:* виконання та порівняльний аналіз отриманих результатів.

Конференції: VI науково-технічна конференція «Сучасні проблеми холодної техніки і технології», м. Одеса, 2007р. (доповідь Франка Ю.А. та ін. «Сонячні холодильні системи абсорбції з газо-рідинними колекторами-регенераторами»); V міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання», Донецьк, вересень 2007 р. (доповідь Франка Ю.А. і ін. «Проблеми розробки газо-рідинних колекторів-регенераторів для сонячних холодильних систем»)

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

t , T – температура; p – тиск; h – ентальпія; x – вологовміст; c_p – теплоємність; ρ – густина; g – прихована теплота пароутворення; ϕ – відносна вологість (%); ξ^* – приведена концентрація розчину абсорбенту; τ – час; δ – товщина рідинної плівки; G – масова витрата; Q – кількість тепла; E – ефективність; $\Lambda = l / l_{ид}$ – характеристичне число, де $l = G_r / G_{ж}$. *Індекси:* г, ж – газ, рідина; ос – навколишнє середовище; м, р – температура повітря за мокрим термометром і температура точки роси; вп, нп – верхнє та нижнє прозоре покриття СК. *Скорочення:* СХС, ССКП – сонячні холодильні і кондиціюючі системи; СК – сонячний колектор; СК/Р – сонячний колектор-регенератор; ПВО, ГРД – випарні охолоджувачі прямого типу (повітря і води, градієнта); АБР (а) – абсорбер; ТМА – тепломасообмінний апарат.

АНОТАЦІЇ

Франко Ю.А. «Багатофункціональні сонячні системи тепло-холодопостачання і кондиціювання повітря». – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата

xv 1270

ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
бібліотека

технічних наук за спеціальністю 05.05.14 – «Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціонування». – Одеська державна академія холоду, Одеса, 2010.

Дисертація присвячена розвитку наукових та інженерних основ створення багатофункціональних сонячних систем з використанням методів випарного охолодження середовищ. Найбільш перспективне включення випарних охолоджувачів у склад осушувально-випарних систем на основі відкритого абсорбційного циклу з прямою регенерацією абсорбенту. Це дозволяє знизити енерговитрати, оскільки традиційний десорбер і сонячна система нагрівання теплоносія тут замінюється сонячним регенератором абсорбенту. Розроблені схемні рішення ССКП на основі сонячних колекторів-регенераторів СК/Р. Газо-рідинні СК/Р забезпечують відновлення концентрації абсорбенту і підтримку безперервності циклу на основі сонячної енергії, що забезпечує як необхідне підведення тепла для регенерації, так і рух повітряного потоку над поверхнею абсорбенту. Виконано теоретичне та експериментальне дослідження особливостей плівкових течій по похилих поверхнях, включаючи питання сталості течій. Виконано математичне моделювання процесів трансформації сонячної енергії у газо-рідинному колекторі-регенераторі СК/Р з урахуванням теплових втрат, а також експериментальне вивчення процесів відновлювання абсорбенту в залежності від приведеної концентрації розчину ξ^* і температури зовнішнього повітря. Розроблені випарні охолоджувачі ВО (повітроохолоджувач і градирня) на основі апаратів плівкового типу з багатоканальною багат шаровою структурою полімерної насадки і роздільним рухом потоків газу і рідини. Виконано моделювання процесів тепломасопереносу в ВО. Розроблена методика забезпечує розрахунок кінетичних характеристик (рушійних сил і коефіцієнтів обміну у фазах), на основі яких можна конкретизувати вибір напрямку інтенсифікації процесів при розробці структури поверхні і визначенні оптимальних режимних параметрів, виявити небезпеку повного насичення повітря і розробити рекомендації до проектування охолоджувачів, які виключають небезпеку явища реконденсації. Експериментально одержані залежності, що забезпечують розрахунок і проектування охолоджувачів.

Як абсорбент для ССКП рекомендований розчин $\text{LiBr} + (\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3)$, як найкращий з точки зору ступеня осушування повітря, що досягається, і необхідної температури регенерації абсорбенту, а також надійності експлуатації. Розроблена ССКП вирішує задачі забезпечення параметрів комфортності у широкому діапазоні параметрів зовнішнього повітря ($x_r = 15, 20$ і 25 г/кг, при $t = 30^\circ\text{C}$, тобто при найбільш тяжких зовнішніх умовах), при цьому температура десорбції не перевищує 70°C . Результати зіставлення осушувально-випарного кондиціонера з пароконпресійним, показали, що осушувально-випарна схема дозволяє істотно знизити споживану потужність СКП (на 35–40%). Виконано екологічний аналіз альтернативних рішень з використанням методології «Повний життєвий цикл» (Life Cycle Assessment, міжнародні стандарти ISO (ISO 14040, 14041, 14042 і 14043, «eco-indicator 99», база даних програми

«SimaPro-6»). Розроблена ССКП приводить до меншого виснаження природних ресурсів, ніж традиційна, і вносить менший внесок у глобальну зміну клімату.

Ключові слова: сонячна система, сонячний колектор-регенератор, абсорбція-десорбція, випарне охолодження, реконденсація, гідродинаміка, тепломасообмін, повітроохолоджувач, градирня, полімерні матеріали, екологічний вплив.

Франко Ю.А. «Многофункциональные солнечные системы тепло-хладоснабжения и кондиционирования воздуха». – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – «Холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования». – Одесская государственная академия холода, Одесса, 2010.

Диссертация посвящена развитию научных и инженерных основ создания многофункциональных солнечных систем с использованием методов испарительного охлаждения сред. Практическое использование этих методов требует решения нескольких принципиальных вопросов: расширения климатической области использования самих методов, повышения компактности и снижения энергопотребления систем. Наиболее перспективно включение испарительных охладителей в состав осушительно-испарительных систем на основе открытого абсорбционного цикла с прямой (непосредственной) регенерацией абсорбента. Это позволяет снизить энергозатраты, поскольку традиционный десорбер и солнечная система нагрева теплоносителя здесь заменяется солнечным регенератором абсорбента. Разработаны схемные решения ССКВ на основе солнечных коллекторов-регенераторов СК/Р (прямая регенерация абсорбента), что обеспечивает автономность ССКВ и позволяет создать солнечную многофункциональную систему жизнеобеспечения. Новое поколение газо-жидкостных СК/Р обеспечивает восстановление концентрации абсорбента и поддержание непрерывности цикла на основе солнечной энергии, обеспечивающей как необходимый подвод тепла для регенерации, так и движение воздушного потока над поверхностью абсорбента, гравитационно стекающего в виде жидкостной пленки по внутренней поверхности СК/Р. Выполнено теоретическое и экспериментальное исследование особенностей пленочных течений по наклонным поверхностям (угол наклона определяется широтой местности), включая вопросы устойчивости пленочных течений. Выполнено математическое моделирование процессов трансформации солнечной энергии в газо-жидкостном коллекторе-регенераторе СК/Р с учетом тепловых потерь, а также экспериментальное изучение процесса восстановления абсорбента (изменения влагосодержания воздуха в абсорбере) в зависимости от приведенной концентрации раствора абсорбента ξ^* (отношение рабочей концентрации к предельно возможной, соответствующей линии кристаллизации раствора) и температуры наружного воздуха.

Разработаны испарительные охладители ИО (воздухоохладитель и градирня) на основе аппаратов пленочного типа с многоканальной многослойной структурой полимерной насадки и разделным движением потоков газа и жидкости. Выполнено моделирование процессов совместного тепломассопереноса в ИО. Разработанная методика (на основе метода энтальпийного потенциала) предназначена для обработки экспериментальных данных, полученных для политропических процессов в системе вода-воздух и обеспечивает расчет кинетических характеристик (движущих сил и коэффициентов обмена в фазах), на основе которых можно конкретизировать выбор направления интенсификации процессов при разработке структуры поверхности и определении оптимальных режимных параметров, выявить опасность полного насыщения воздуха и выработать рекомендации к проектированию охладителей, исключающие опасность явления реконденсации. Установлено, что линия изменения состояния воздушного потока $h_T = f(t_T)$ всегда криволинейна, причем ее кривизна определяется начальными параметрами воды и воздуха на входе в охладитель и величиной соотношения расходов контактирующих потоков. Экспериментально получены зависимости, обеспечивающие расчет и проектирование охладителей. 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, а также надежности эксплуатации. Разработанная ССКВ решает задачи обеспечения параметров комфортности во всем рассмотренном диапазоне параметров наружного воздуха ($x_a = 15, 20$ и 25 г/кг, при $t = 30^\circ\text{C}$, то есть при самых тяжелых внешних условиях), при этом температура десорбции не превышает 70°C . Результаты сопоставления осушительно-испарительного кондиционера с парокомпрессионным, показали, что осушительно-испарительная схема позволяет существенно снизить потребляемую мощность СКВ (на 35-40%).

Выполнен экологический анализ альтернативных решений с использованием методологии «Полный жизненный цикл» (Life Cycle Assessment, международные стандарты ISO (ISO 14040, 14041, 14042 и 14043, «eco-indicator 99», база данных программы «SimaPro-6»). Разработанная ССКВ приводит к меньшему истощению природных ресурсов, чем традиционная, и вносит меньший вклад в глобальное изменение климата.

Ключевые слова: солнечная система, солнечный коллектор-регенератор, абсорбция-десорбция, испарительное охлаждение, реконденсация, гидродинамика, тепломассообмен, воздухоохладитель, градирня, полимерные материалы, экологическое влияние.

Franko Y.A. «Multifunctional solar systems of heating, cooling and air conditioning». – Manuscript. The thesis for degree of candidate technical science by speciality 05.05.14 – "Refrigerating,

Vacuum and Compressor Techniques, Conditioning Systems", The Odessa State Academy of Refrigeration, - Odessa, 2010.

The dissertation is devoted to creation of multifunctional solar systems with use of methods evaporative cooling. The inclusion of evaporative cooling in structure of systems is most prospective on the basis of open absorptive cycle with direct regeneration of absorbent. It allows a decreasing of power expenses in comparison with conventional solar systems where the heat-carrier is replaced solar restoration absorbent.

The scheme decisions of solar systems are developed on the basis of solar collectors-regenerator SC/R. The continuity of cycle is provided by solar energy. Theoretical and experimental research of film flow on inclined surfaces is carried out including stability problem. The mathematical modelling of processes of solar energy transformation in a collector-regenerator SC/R is executed taking into account the thermal losses. Experimental study of absorbent regeneration at different concentration of solution ξ^* and ambient temperature.

Cooler of direct evaporative type has been developed on the basis of film type apparatus with multi-channel nozzle structure. Heat-and mass transfer processes is modelled. Developed technique evaluates the kinetic characteristics and gives an opportunity to specify tools for intensification of heat-and mass transfer processes. The relationships to design evaporative cooler are experimentally received.

The developed systems solve the problem of achievement of comfort parameters in a wide range of parameters of ambient air. The ecological analysis of the alternative decisions with use of methodology "Life Cycle Assessment", international standards ISO (ISO 14040, 14041, 14042 and 14043, "Eco-indicator 99", database of the program "SimaPro-6") is executed. The developed solar system reduces a depletion of natural resources in comparison with traditional and gives a minimal contribution to global warming.

Keywords: solar system, open sorption cycle, direct solar regeneration, evaporative cooling, heat-mass-transfer, mathematical model, enthalpy potential, surface of heat and mass-transfer, cooling tower, polymeric materials, ecological impact