

опише  
456

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

АЛЬ ГАРБІ НАБІЛЬ

УДК 536.248.2: 532.529.5

**АЛЬТЕРНАТИВНІ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ  
ПОВІТРЯ З ПРЯМОЮ СОНЯЧНОЮ  
РЕГЕНЕРАЦІЄЮ АБСОРБЕНТУ**

Спеціальність  
05.05.14 – Холодильна та криогенна техніка,  
системи кондиціонування

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

xv 708  
ІНСТИТУТ ХОЛОДА  
ОНАХТ  
БІБЛІОТЕКА

Одеса – 2006

Дисертація є рукописом.

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

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор кафедри технічної термодинаміки Одеської державної академії холоду  
**ДОРОШЕНКО Олександр Вікторович**

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор кафедр технічної термодинаміки Одеської державної академії холоду  
**МАЗУР Віктор Олександрович;**

кандидат технічних наук, доцент кафедри теплохолодотехніки Одеської національної академії харчових технологій  
**ТІТЛОВ Олександр Сергійович**

**Провідна організація:** Одеський національний політехнічний університет Міністерства освіти і науки України

Захист дисертації відбудеться "21" 09 2006 року о 14<sup>00</sup> годині в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.41.087.01 в Одеській державній академії холоду за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65026, Україна

Дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці ОДАХ за адресою: вул. Дворянська, 1/3, г. Одеса, 65026, Україна

Зісланий "24" 07 2006 року

Мілованов В.І.

ПЕРЕОБЛІК

2014 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Використання поновлюваних джерел енергії (ПЕР) в енергетичних системах більшості країн світу до 2010 року може досягти 12-15%. Сонячна енергія є одним із видів ПЕР, що найбільш використовується і може використовуватися для рішення задач охолодження і кондиціонування повітря (АСКП), як комфортного, так і технологічного призначення. Враховуючи рівень сонячної радіації, такі системи особливо перспективні як для України, так і для країн північноафриканського регіону. Але, поряд з малим енергоспоживанням і екологічною чистотою, вони характеризуються значними габаритами приймачів сонячної енергії, а для АСКП це ще і велика кількість тепломасообмінних апаратів (ТМА: абсорбери, десорбери, випарні охолодники і теплообмінники). Побудування схемних рішень, що дозволяють знизити кількість ТМА, а також зниження температурного рівня регенерації абсорбенту, що вимагається, яке дозволило б використовувати плоскі сонячні колектори (СК), здатне забезпечити практичну реалізацію конкурентоздатних АСКП. Використання полімерних матеріалів (ПМ) у складі ТМА дозволить знизити їх вагу і вартість. Дисертаційна робота виконувалась відповідно з законодавчими актами: 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".

**Ціль і задачі дослідження.** Ціллю є розробка науково-інженерних основ для створення екологічно чистих, енергозберігаючих систем АСКП з використанням сонячної енергії. Були сформульовані і вирішені задачі: розробка схемних рішень АСКП на основі відкритого абсорбційного циклу з прямою регенерацією абсорбенту; теоретичне і експериментальне вивчення робочих процесів у основних елементах систем (випарних охолодниках, осушувачах повітря – абсорберах, сонячних колекторах-регенераторах СК-Р); створення методики інженерного розрахунку і розробка пілотної установки АСКП; проведення екологічної оцінки нових систем.

**Об'єктом дослідження** є альтернативні сонячні системи кондиціонування повітря АСКП; **предметом** дослідження є процеси у АСКП.

**Методи дослідження:** теоретичне вивчення, експериментальне дослідження на натурних зразках ТМА і СК-Р, апроксимація масиву табличних (експериментальних) даних.

В дисертації захищаються наукові положення:

XV 708  
ІНСТИТУТ ХОЛОДУ  
ОДАХ

1. Пряма сонячна регенерація абсорбенту знижує температурний рівень регенерації і забезпечує можливість побудування АСКП на основі плоских сонячних колекторів-регенераторів;

2. Підвищення ізотермічності процесу абсорбції підвищує ефективність абсорбції і наступного випарного охолодження, і знижує температуру регенерації, що потрібна; найбільш доцільно це забезпечує ефективна робота градієнтна, яка обслуговує абсорбер, що виявляється економічно вигідним підвищення концентрації абсорбенту.

**Наукова новизна** роботи визначається наступними результатами: показано, що переважною областю практичного використання альтернативних систем, є сонячне кондиціонування повітря, що обумовлено відомою кореляцією між інсоляцією і необхідним рівнем охолодження і порівняно невисокими температурами регенерації абсорбенту; розроблені схемні рішення АСКП на основі відкритого абсорбційного циклу з прямою регенерацією абсорбенту, що дозволяють знизити температурний рівень регенерації і значно спростити систему регенерації абсорбенту, а саме, виключити із схеми десорбер традиційного типу; розроблені принципи інженерного оформлення ТМА для АСКП (випарних охолоджувачів і абсорбера) на основі використання полімерних матеріалів в їх конструкції, що забезпечує зниження ваги і вартості устаткування АСКП; розроблені полімерні повітряні сонячні колектори-регенератори СК-Р; показано, що умови експлуатації випарного охолоджувача (або абсорбера) визначаються характеристичним числом  $\Lambda = l/l_{ид}$ , де  $l$  і  $l_{ид}$  відносна витрата повітряного потоку ( $G_r/G_{ж}$ ), для реального ТМА і його ідеальної моделі, що характеризується умовами рівноваги на обох кінцях апарату; введені відповідні поняття для ступеню охолодження води  $E_{ж}$ , ступеню використання повітря  $E_r$  і ступеню ефективності процесу  $E$  в цілому (для абсорбції – ступеня осушування повітря в абсорбері –  $E_{AB_r}$  і ступеня використання абсорбенту –  $E_{AB}$ ); виконано експериментальні дослідження ТМА (випарних охолоджувачів і абсорбера) і одержані нові дані, необхідні для розрахунку і проектування АСКП; виконано експериментальні дослідження натурних зразків плоских сонячних колекторів – регенераторів СК-Р, виготовлених із полімерних матеріалів; розроблена повномасштабна пілотна установка АСКП на основі одержаних теоретичних та інженерних результатів; на основі методології “Повний життєвий цикл” (Life Cycle Assessment – LCA) показано, що полімерний сонячний колектор-регенератор СК-Р має суттєві переваги у величині впливу на довкілля перед повітряним СК традиційного типу.

**Достовірність наукових положень і результатів** підтверджуються результатами експериментально-розрахункових досліджень, і добрим якісним і кількісним узгодженням одержаних результатів з існуючими даними.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у розробці практичних рекомендацій по розрахунку і конструюванню АСКП, у створенні нового покоління полімерних ТМА і СК-Р для АСКП. Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в учбовому процесі на кафедрі технічної термодинаміки ОДАХ в курсі лекцій і практичних занять по нетрадиційній енергетиці у 2003 – 2006 роках.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота виконана при консультаціях наукового керівника. Особисто здобувачем виконано цикл експериментально-розрахункових досліджень і аналіз одержаних результатів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи були представлені на: 4-ой міжнародной научно-технической конференции “Современные проблемы холодильной техники и технологии”, Одесса, 2005; IV міжнародної науково-практичної конференції „Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація ш економіка”, Донецьк, 2005; International Conference for Energy & Environment, Libyan Arab Jamahiriya, 2003; 9-th Arab International Solar Energy Conference, Libyan Arab Jamahiriya, Tripoli, 2006.

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано 6 наукових праць, серед них 4 друкованих роботи у науково-технічних журналах і 2 повних тексти докладів на міжнародних і науково-практичних конференціях.

**Об'єм і структура дисертації.** Дисертація викладена на 177 сторінках машинописного тексту, включаючи 42 рисунки, 4 таблиці і складається із вступу, чотирьох основних розділів, списку літератури із 113 найменувань і додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі відображено актуальність проблеми і сформульовано цілі і задачі дослідження, наукові положення, наукова новизна, основні результати роботи і визначена її практична цінність.

У першому розділі проаналізовано сучасні проблеми екології і енергетики, розглянуто види поновлюваних джерел енергії, проаналізовано тенденції розвитку сонячної енергетики і АСКП на основі відкритого абсорбційного циклу, з використанням твердих і рідких сорбентів, з прямою і непрямою регенерацією сорбенту, різної конфігурації в осушувальній і в охолоджувальній частинах та інш. Аналіз показав, що в теперішній час для України, і особливо для її південних регіонів, найбільш перспективним є використання сонячної енергії для рішення різноманітних задач життєзабезпечення, а саме, кондиціонування повітря. Була поставлена задача про широке використання ПМ в конструкції усіх основних елементів АСКП.

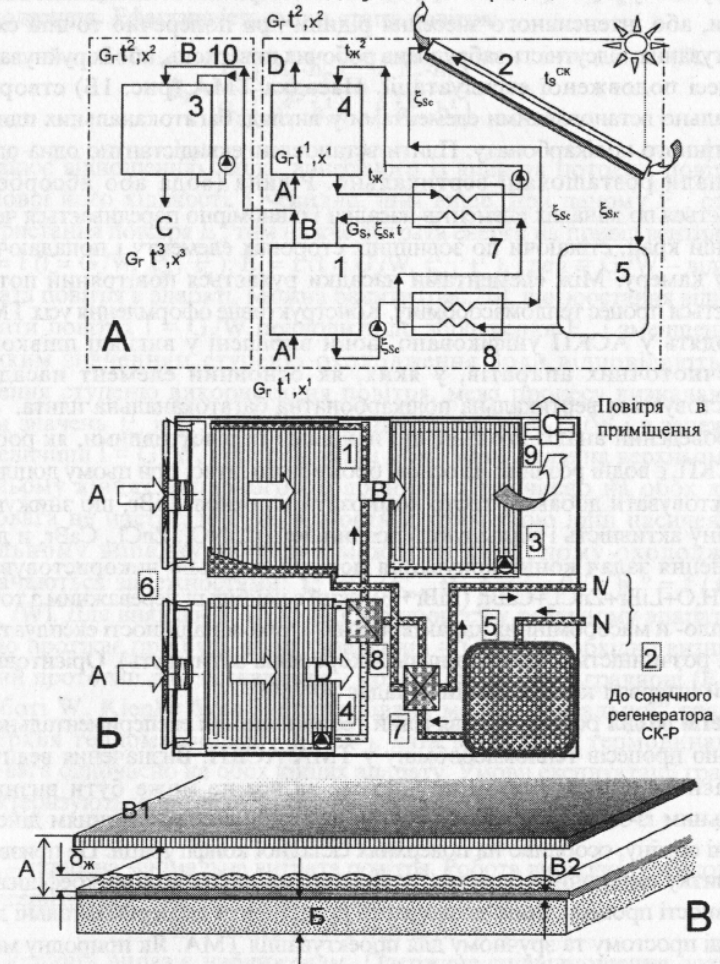
Другий розділ присвячений розробці нових схемних рішень для АСКП з відкритою регенерацією абсорбенту, розробці ТМА для цих систем, включаючи абсорбер-осушувач повітря, випарні охолоджувачі і сонячний колектор-

регенератор і вибору робочих тіл (водних розчинів абсорбентів). Абсорбційний цикл працездатний на малих перепадах температур, в цілому екологічно чистий і характеризується малим споживанням енергії. Для регенерації абсорбенту тут можна використовувати сонячну енергію. Завдяки виконаним в ОДАХ дослідженням, з'явилась можливість створення полімерного типу СК-регенератора абсорбента (СК-Р), що принципово важливо, якщо врахувати, що основна вартість і вага АСКП приходить саме на систему сонячної регенерації абсорбенту. На рис.1А приведено основний варіант розробленої схеми АСКП. Вона включає дві частини: попереднього осушування повітря в абсорбері-осушувачі, в умовах безперервного циклу осушування повітря і регенерації абсорбенту, і наступного випарного охолодження у випарному охолоднику. Тепло, необхідне для регенерації, забезпечується геліосистемою з плоскими сонячними повітряними колекторами-регенераторами 2, а охолодження абсорбера забезпечується вентиляторною градирнею 4. Схеми включають також систему регенеративних теплообмінників 7-9, необхідність у яких продиктована малими температурними напорами, які є. Повітряний потік, при осушуванні в абсорбері 1, знижує вологовміст  $x_g$  і температуру точки роси  $t_{dp}$ , що забезпечує значний потенціал охолодження у випарному охолоднику. В схему включається вентиляторна градирня 4, що охолоджує абсорбент на вході в абсорбер.

Як випарний охолодник використовується апарат прямого ПВО (рис.1Б, позиція 3), або непрямого випарного охолодження НВО. Це плівкові тепломасообмінні апарати поперечноточного типу. Кількість води, що випарилась в рециркуляційному водному контурі, компенсується підживленням свіжою водою 10. Природною межею випарного охолодження в одноступеневому НВО також, як і в ПВО, є температура повітря по мокрому термометру на вході у НВО (це або зовнішнє повітря, або його суміш із рециркулюючим повітряним потоком, що залишає приміщення). Особливий інтерес для АСКП уявляють схеми, де, як випарний охолодник, використовується градирня. Повітря, осушене в абсорбері 1 і яке має низьку температуру точки роси, надходить у градирню, де забезпечується глибоке охолодження води, яка може використовуватися у теплообмінниках-охолодниках, що вентилюються, які встановлюються безпосередньо в приміщеннях, що кондиціонуються, або холодильних камерах. Оскільки повітря, що залишає градирню випарного контуру, має низьку температуру, з'являється можливість його використання для розвантаження градирні осушувального контуру, або для додаткового охолодження повітряного потоку після абсорбера.

Забезпечення безперервності циклу досягається в процесі сонячної регенерації абсорбенту. Тут використовується система із полімерних сонячних колекторів-регенераторів СК-Р (рис. 1В), у вигляді десорбера прямого типу. По похилих каналах такого сонячного регенератора тече плівка абсорбенту, над поверхнею

якої рухається повітряний потік. Кут похилу сонячного теплоприймача визначається загальними вимогами до установки традиційних СК.



**Рисунок 1.** Принципова схема розробленої АСКП (А) і загальний вид блоку охолодження (Б). Позначення: 1 – абсорбер; 2 – десорбер (регенератор); 3 – випарувальний охолодник прямого типу; 4 – градирня; 5 – танк; 6 – вентилятор; 7, 8 – теплообмінники; 9 – сепаратор крапельної вологи. В – сонячний колектор - регенератор СК-Р з використанням полімерної багатоканальної плити як прозорого покриття.

Загальною вимогою до тепломасообмінної апаратури (ТМА) для альтернативних систем є: висока інтенсивність процесів, що протікають, та малий аеродинамічний опір при транспорті робочих речовин (повітряних і

рідинних потоків); достатньо широкий діапазон робочих навантажень по газу і рідині, у якому робота ТМА є стійкою і не спостерігається явища заклинання насадки, або інтенсивного знесення рідини при поперечно точній схемі контактування; відсутність забруднень робочих поверхонь, або їх руйнування в процесі подовженої експлуатації. Насадка ТМА (рис. 1Б) створена вертикально встановленими елементами у вигляді багатоканальних плит із тонкостінного полікарбонату. Плити встановлені екувідстантно одна одній і їх канали розташовані вертикально. Рідина (вода або абсорбент) підіймається по каналах елементів насадки і рівномірно переливається через їх верхній край, стікаючи по зовнішніх сторонах елементу і попадаючи у вихідну камеру. Між елементами насадки рухається повітряний потік і реалізується процес тепломасообміну. Конструктивне оформлення усіх ТМА, що входять у АСКП уніфіковано. вони вирішені у вигляді плівкових поперечноточних апаратів, у яких, як основний елемент насадки, використовується вертикальна полікарбонатна багатоканальна плита.

Проведений аналіз показав, що найбільш перспективними, як робочі тіла АСКП, є водні розчини на основі бромистого літію, при цьому доцільно використовувати добавки, тобто композити на основі LiBr, що знижують корозійну активність і збільшують розчинність (LiNO<sub>3</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, CaBr<sub>2</sub> і др.); для рішення задач кондиціонування повітря доцільно використовувати розчин H<sub>2</sub>O+LiBr+ZnCl<sub>2</sub>+CaBr<sub>2</sub> (LiBr++), який є найбільш переважним з точки зору тепло- і масообмінних характеристик, а також надійності експлуатації (висока розчинність і відносно низька корозійна активність). Орієнтовний робочий інтервал концентрацій складає 70-75%.

Третій розділ роботи присвячений теоретичному і експериментальному вивченню процесів тепломасообміну у ТМА АСКП. Визначення величин коефіцієнтів тепломасообміну частіше за все не може бути визнано задовільним із-за наявності труднощів, пов'язаних з визначенням дійсної поверхні обміну, особливо на поверхнях складної конфігурації. Це призвело до розвитку емпіричних методів, основаних на використанні коефіцієнтів ефективності процесу. Вони дозволяють представити експериментальні дані у вигляді простому та зручному для проектування ТМА. Як природну межу охолодження у випарному охолоднику прийнято розглядати температуру повітря по мокрому термометру на вході в апарат  $t_m^1$ . На виході із апарату, як крайового, розглядають стан повністю насиченого повітря, що має температуру води, яка поступає на вході  $t_w^1$ . Ефективність охолодження води:

$$E_{ж} = \frac{W_{сж} (t_w^1 - t_w^2)}{W_{сж} (t_w^1 - t_m^1)} = \frac{(t_w^1 - t_w^2)}{(t_w^1 - t_m^1)} \quad (1),$$

дорівнює відношенню фактично відведеного від води тепла до крайової кількості, що визначається рівнянням:  $t_w^2 = t_m^1$ , де  $\Delta = (t_w^1 - t_m^1)$  – ширина зони охолодження. Ефективність зміни стану повітря:

$$E_{г} = \frac{G_{г} (h_{г}^2 - h_{г}^1)}{G_{г} (h_{г}^{2*} - h_{г}^1)} = \frac{(h_{г}^2 - h_{г}^1)}{(h_{г}^{2*} - h_{г}^1)} \quad (2),$$

дорівнює відношенню тепла, винесеного із апарату потоком повітря до крайової його кількості. Очевидно, чим вище, при даному  $E_{ж}$ , ступінь використання повітря  $E_{г}$ , тим нижче витрата енергії на привід вентилятора і  $E_{ж} = f(l = G_{г}/W, t_w^1, t_m^1)$ ;  $E_{г} = f(l = G_{г}/W, t_w^1, t_m^1)$ , где  $l = G_{г}/W$  – відносна витрата повітря в апараті. Можна бачити (рис.2Б), що зростання відносної витрати повітря  $l = G_{г}/W$  приводить до збільшення  $E_{ж}$  і зменшення  $E_{г}$ . Великим значенням ступеню охолодження води відповідають малі значення ступеню використання повітря. межі процесу визначаються, окрім значень  $t_m^1$  і  $t_w^1$ , співвідношенням потоків  $l = G_{г}/W$  і в залежності від величини  $l = G_{г}/W$ , стан рівноваги може мати місце на верхньому або нижньому кінцях випарного охолодника. Одночасно на обох кінцях рівновага не настає, що роз'яснюється кривизною лінії насичення. У загальному випадку значення меж, при випарному охолодженні, визначаються залежностями:  $t_m^0 = f(t_w^1, t_m^1, l = G_{г}/W)$ ;  $h_{г}^0 = f(t_w^1, t_m^1, l = G_{г}/W)$ . Для виявлення ефективності процесу у реальному апараті ( $F \neq \infty$ ), що протікає при будь-якому значенні  $l = G_{г}/W$ , необхідно визначити єдиний прототип для зіставлення – модель “ідеальної” градирні ( $F = \infty$ ). В роботі W. Klenke була запропонована модель “ідеальної” градирні (поверхня тепломасообміну  $F = \infty$ ), якій відповідає термодинамічна рівновага одночасно на обох кінцях апарату. Умови експлуатації градирні характеризуються характеристичним числом  $\Lambda$ :

$$\Lambda = l / l_{ид} \quad (3),$$

де  $l_{ид}$  – відносна мінімальна витрата повітря. Робота випарного охолодника характеризується залежностями:

$$E_{ж} = f(\Lambda), E_{г} = f(\Lambda); E_{ж}/E_{г} \cong \Lambda \quad (4)$$

Останній вираз є наближенням. Одержане співвідношення дозволяє встановити крайові значення ступеню охолодження води і використання повітря. Ця модель побудована за умови спрямленої лінії насичення. За умови  $F = \infty$ , в дійсності, на обох кінцях градирні встановляться стани, лише у певній мірі близькі до рівноважних ( $t_m^0 > t_w^1$ ;  $h_{г}^0 < h_{г}^{2*}$ ). Лінію, дотичну до кривої насичення у деякій точці діапазону температур ( $t_w^1 - t_m^1$ ) і яка має при цьому уклін  $1/l_{ид}$ , назвемо робочою лінією “ідеальної” моделі випарного охолодника, при цьому:

$$E_{\text{ж}} = \frac{(t_{\text{ж}}^1 - t_{\text{ж}}^2)}{(t_{\text{ж}}^1 - t_{\text{м}}^0)} \quad E_{\text{г}}^0 = \frac{(h_{\text{г}}^2 - h_{\text{г}}^1)}{(h_{\text{г}}^{2*} - h_{\text{г}}^1)} \quad (5)$$

де  $t_{\text{м}}^0$  і  $h_{\text{г}}^{2*}$  – нові значення меж, які визначаються положенням робочої лінії уточненої моделі на  $h - t$  діаграмі.  $E_{\text{ж}}^0 > E_{\text{ж}}$ ,  $E_{\text{г}}^0 > E_{\text{г}}$ . На підставі вище викладеного, слід сумісно розглядати залежності  $E_{\text{ж}}^0 = f(\Lambda)$  і  $E_{\text{г}}^0 = f(\Lambda)$  (див. рис. 2Б). Ефективність процесу абсорбції, тобто, ступінь осушування повітря в абсорбері  $E_{\text{г}}^{\text{АБ}}$  і ступінь використання абсорбенту  $E_{\text{АБ}}$  можуть бути виражені, подібно процесу випарювання у градирні:

$$E_{\text{АБ}} = \frac{(\xi_{\text{СК}} - \xi_{\text{СК}}^*)}{(\xi_{\text{СК}}^* - \xi_{\text{СК}})}, \quad E_{\text{г}}^{\text{АБ}} = \frac{(x^1 - x^2)}{(x^1 - x^*)} \quad (6)$$

де величина гранично можливої концентрації абсорбенту  $\xi_{\text{СК}}^*$  відповідає точці на лінії кристалізації, при заданих параметрах розчину, а граничне значення вологовмісту повітря в процесі його осушування в абсорбері  $x^*$  відповідає величині  $\xi_{\text{СК}}^*$ . При цьому також мають місце залежності  $E_{\text{г}}^{\text{АБ}} = f(\Lambda)$ ;  $E_{\text{АБ}} = f(\Lambda)$ , де:  $l = G_{\text{г}}/G_{\text{АБ}}$ ,  $\Lambda = l/l_{\text{ИД}}$ . Умови “ідеальної” моделі абсорберу (осушувача) виражено рівнянням  $\xi_{\text{СК}} = \xi_{\text{СК}}^*$ .

Експериментально вивчалися процеси випарного охолодження в апаратах АСКП. Стенд (рис. 2А) складається із головної частини 4 і систем підготовки потоків води і повітря. В нижній камері розміщений багатосекційний вимірювач витрати рідини 12. Для регулювання відносної вологи повітря передбачена байпасна лінія с автономним витратоміром 8. Вивчалися режими випарного охолодження води і адиабатичної обробки повітря при поперечноточній схемі контактування. При аналізі нових експериментальних даних додатково був використаний раніше одержаний в ОДАХ експериментальний матеріал на насадках із повздожгофрованої алюмінієвої фольги і ребристого міпласту. Це дозволило скоротити об'єм експерименту, використовуючи раніше одержані рекомендації по таких питаннях, як вплив щільності шару і вплив параметрів РШ. Дослідження було проведено на модулі з насадкою із полікарбонатних багатоканальних плит. Результати дослідження надані на рисунку 2Б у вигляді залежності ефективності процесу випарного охолодження ( $E_{\text{г}}$ ,  $E_{\text{ж}}$ ) від характеристичного числа  $\Lambda$ . Для залежності  $E_{\text{ж}} = f(\Lambda)$ , одержана емпірична формула:

$$E_{\text{ж}} = 0.89 (1 - e^{-1.1\Lambda}) \quad (7)$$

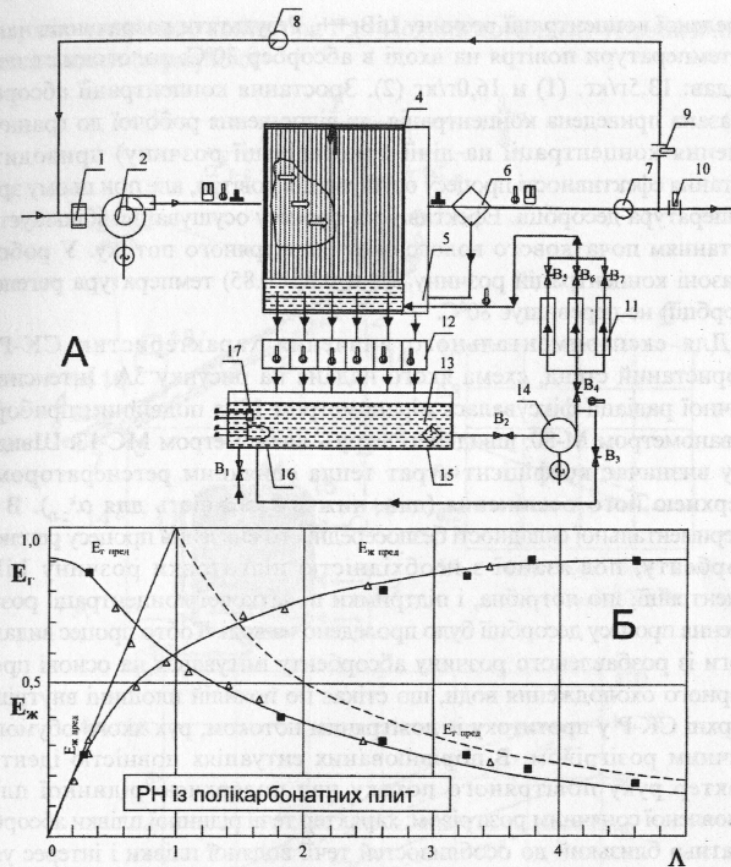
У загальному вигляді, можна записати:

$$E_{\text{ж}} = c (1 - e^{-1.1\Lambda}) \quad (8)$$

$$E_{\text{г}} = c (1 - e^{-1.1\Lambda}) \Lambda^{-1} \quad (9)$$

$$E = c^2 (1 - e^{-1.1\Lambda})^2 \Lambda^{-1} \quad (10)$$

Для ступеню осушування повітря в абсорбері:



**Рисунок 2.** А – стенд для дослідження характеристик поперечноточних плівкових випарювальних охолодників АСКП (градирня, ПВО). Позначення: 1 – електронагрівач; 2 – вентилятор; 4 – робоча камера; 5 – водозбірні секції; 6 – сепаратор; 7, 8 – повітряні витратомірювачі; 9, 10 – регулятори витрат; 11 – водяні ротаметри; 12 – секційний вимірювач витрати рідини; 13 – водяний бак; 14 – насос; 15 – фільтр; 16 – водонагрівач; 17 – регулятор температури рідини. Б – ступінь охолодження води і ступінь використання повітря, як функції числа  $\Lambda$ . Експериментальні дані: насадка із багатоканальних полікарбонатних плит с параметрами  $d_{\text{ж}} = 15\text{мм}$ ,  $H_{\text{РН}} = 400\text{мм}$ ; лініями показано граничні значення величин, значками – експериментальні точки.

$$E_{\text{г}}^{\text{АБ}} = 0.89 (1 - e^{-1.1\Lambda}) \Lambda^{-1} \quad (11)$$

На рис. 3В приведено розрахункові залежності зміни волого вмісту повітря в абсорбері ( $\Delta x$ ) і відповідної температури десорбції ( $t_{\text{п}}$ ) від

приведеної концентрації розчину LiBr++. Результати розрахунків наведені для температури повітря на вході в абсорбер 30°C; вологовміст повітря складає: 13,5г/кг (1) і 16,0г/кг (2). Зростання концентрації абсорбенту (показана приведена концентрація, як відношення робочої до граничного значення концентрації на лінії кристалізації розчину) приводить до зростання ефективності процесу осушування повітря, але при цьому зростає і температура десорбції. Ефективність процесу осушування збільшується із зростанням початкового вологовмісту повітряного потоку. У робочому діапазоні концентрацій розчину ( $\xi^* = 0.8 - 0.85$ ) температура регенерації (десорбції) не перевищує 80°C.

Для експериментального вивчення характеристик СК-Р був використаний стенд, схема якого надана на рисунку 3А. Інтенсивність сонячної радіації фіксувалась піранометром 18 із подвійним прибором – гальванометром М-80; швидкості вітру – анемометром МС-13. Швидкість вітру визначає коефіцієнт втрат тепла сонячним регенератором над поверхнею його оскління (див. нижче залежність для  $\alpha_{2,0}^k$ ). В виду експериментальної складності безпосереднього вивчення процесу регенерації абсорбенту, пов'язаної з необхідністю підготовки розчину LiBr++ концентрації, що потрібна, і підтримки початкової концентрації розчину, вивчення процесу десорбції було проведено на воді. Тобто процес видалення вологи із розбавленого розчину абсорбенту імітувався на основі процесу випарного охолодження води, що стікає по похилій площині внутрішньої поверхні СК-Р у протиток із повітряним потоком, рух якого обумовлено сонячним розігрівом. В порівнюваних ситуаціях повністю ідентичні: характер руху повітряного потоку над поверхнею рідинної плівки, обумовленої сонячним розігрівом; характер течії рідинної плівки абсорбенту достатньо близький до особливостей течії водяної плівки і інтерес уявляє тільки рівномірність розподілу рідинної плівки по поверхні листа. Витрата повітряного потоку  $G_r$  через СК-Р фіксувався посереднім чином, з урахуванням теплового балансу по воді і повітрю, при цьому убуток рідини у випарному процесі визначалась розробленим раніше в ОДАХ методом відсікання живлення; витрата рідини  $G_{ж}$  визначали з допомогою ротаметрів типу РС (13); зміну ентальпії повітряного потоку, фіксувалось по показникам пар термометрів (сухий та мокрий), встановлених на вході і виході із повітряної порожнини СК-Р. Одержані експериментальні дані надані у традиційному виді для СК у формі залежності ККД сонячного колектора від приведеної температури:

$$\eta_{СК} = f(T_{пр}), \quad \eta_{СК} = Q/IF_{СК} \quad (12),$$

де:  $\eta_{СК}$  це ККД сонячного колектора, який уявляє собою відсоток засвоєної енергії  $Q$ , відносно повної енергії сонячного випромінювання  $I$ , що падає

на поверхню сонячного колектора  $F_{СК}$ . Повний коефіцієнт теплових втрат СК визначається формулою:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1-2}^k + \alpha_{1-2}^p} + \frac{1}{\alpha_{2-0}^k + \alpha_{2-0}^p}} + \frac{\lambda_{us}}{\delta_{us}} \quad (13),$$

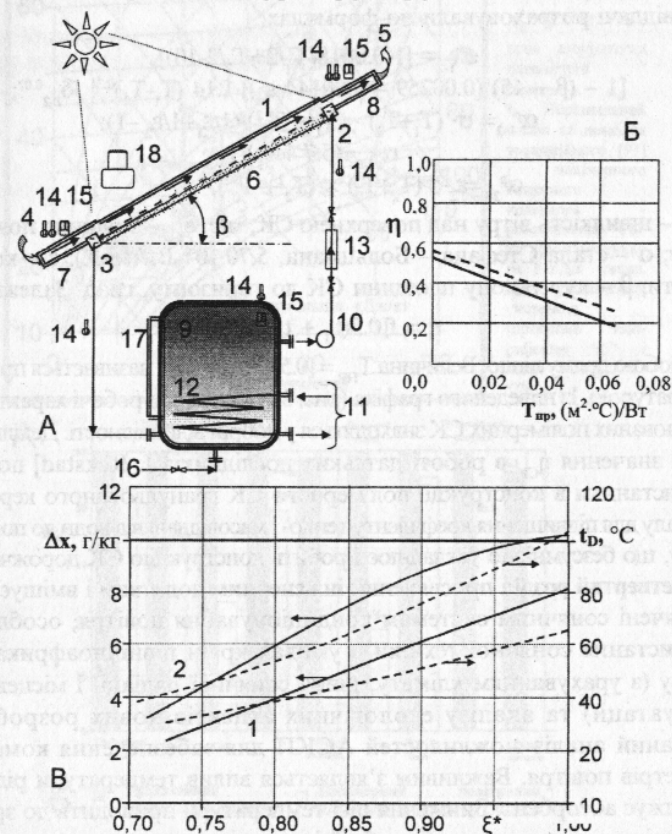


Рисунок 3. А - стенд для вивчення сонячної регенерації абсорбенту. Позначення: 1 - СК-Р2; 2,3 - вхід і вихід розчину; 4,5 - вхід і вихід повітряного потоку; 6 - вимірювальна дільниця; 7,8 - вимірювальні повітряні камери; 9 - водяний бак; 10 - насос; 11,12 - додатковий нагрівач; 13 - ротаметр; 14 - термометр; 15 - термометр опору; 16 - підживлення; 17 - вимірювач рівню; 18 - піранометр. Б - ККД традиційного повітряного СК з металевим абсорбером (пунктирна лінія - дані датських дослідників) і полімерного СК-Р2 (суцільна лінія, дані автора). В - залежність зміни вологовмісту повітря в абсорбері ( $Dx$ ) і температури десорбції ( $t_D$ ) від приведеної концентрації розчину LiBr++.

де:  $\alpha_{1-2}^p, \alpha_{2-0}^p$  – радіаційна складова теплових втрат у повітряному зазорі і з поверхні прозорої ізоляції у доквіллія (рисунок 1.В), відповідно, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\alpha_{1-2}^k$  і  $\alpha_{2-0}^k$  – конвективна складова у тих же елементах СК, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\frac{\lambda_{из}}{\delta_{из}}$  – коефіцієнт теплових втрат СК через нижню ізоляцію, Вт/(м<sup>2</sup>·К); індекс 1 відноситься до абсорбера, 2 – до прозорого покриття. Коефіцієнти тепловіддачі розраховували по формулах:

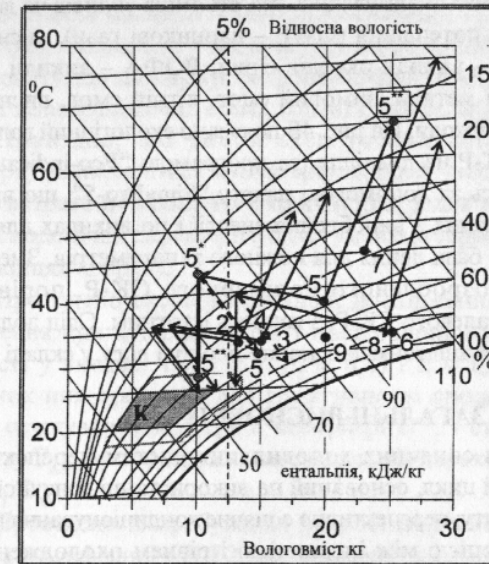
$$\begin{aligned} \alpha_{1-2}^k &= [1 - 0.0018(T_1/2 + T_2/2 - 10)] \\ &[1 - (\beta - 45)(0.00259 - 0.00144 \varepsilon_n)] \cdot 1.14 (T_1 - T_2)^{0.31} / \delta_{1-2}^{0.07}; \\ \alpha_{1-2}^p &= \sigma \cdot (T_1 + T_2) \cdot (T_1^2 + T_2^2) / (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1); \\ \alpha_{2-0}^k &= (5.7 + w_r); \\ \alpha_{2-0}^p &= \varepsilon_2 \cdot \sigma \cdot (T_2 + T_0) \times (T_2^2 + T_0^2), \end{aligned} \quad (14),$$

де:  $w_r$  – швидкість вітру над поверхнею СК, м/с;  $\delta_{1-2}$  – товщина повітряного зазору;  $\sigma$  – стала Стефана – Больцмана,  $5,70 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\varepsilon$  – коефіцієнт чорноти;  $\beta$  – кут уклону площини СК до горизонту, град. Залежність:

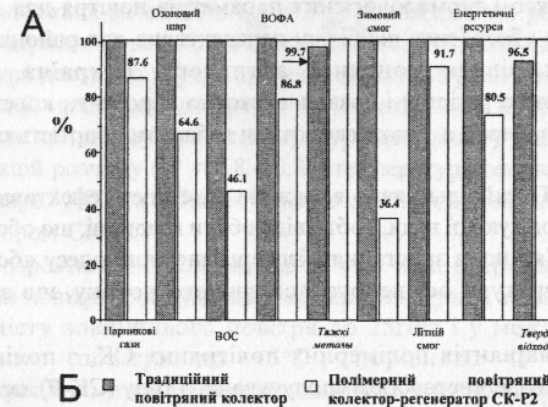
$$\eta = f[0.5(t_{r1} + t_{r2}) - t_0]/J$$

являє собою пряму лінію. Величина  $T_{пр} = [0.5(t_{r1} + t_{r2}) - t_0]/J$  називається приведеною температурою. Із наведеного графіка (рис. 3Б) видно, що робочі характеристики порівнюваних полімерних СК знаходяться у добрій відповідності. Декілька більш високі значення  $\eta_{СК}$  в роботі датських дослідників [J. Rektad] пов'язані з використанням в конструкції полімерного СК гранульованого керамічного матеріалу для підвищення коефіцієнту тепло- і масовіддачі від води до повітряного потоку, що безсумнівно ускладнює і робить конструкцію СК дорожчою.

**Четвертий розділ** присвячений інженерним додаткам і вміщує розділи, присвячені сонячним системам кондиціонування повітря, особливостям використання сонячної техніки в умовах країн північноафриканського регіону (з урахуванням клімату, рівня сонячної радіації і місцевих умов експлуатації) та аналізу екологічних аспектів нових розробок. Був виконаний аналіз можливостей АСКП для забезпечення комфортних параметрів повітря. Важливим з'являється вплив температури рідини, що охолоджує абсорбент. Зниження цієї температури приводить до зростання ізоtermічності процесу абсорбції і деякому зниженню температури регенерації. Зростання концентрації абсорбенту приводить до зростання ступеню осушування повітря, але одночасно і до зростання температури регенерації. На рис.4А видно, що розроблена АСКП може забезпечувати параметри комфортності у самому широкому діапазоні кліматичних умов земної кулі: в межах вологовмісту зовнішнього повітря до 25г/кг і в межах температури зовнішнього повітря до 45°C. На рис. 1Б показано просторово – компоновочне рішення АСКП у вигляді окремого блоку охолодження.



**Рисунок 4. А** – зображення робочих процесів в АСКП на H-X-діаграмі вологого повітря для різних міст земної кулі (для  $x_g^* > 13$  г/кг). **К** – зона комфортних параметрів повітря  
**Б** – Порівняльний вплив на довкілля традиційного [91] і полімерного сонячного колектора-регенератора СК-Р2 при розрахунку на 1 ГДж тепла, що виробляється системою (програма “Eco-indicator 95” і пакет “SimaPro-5”).



Виконано цикл розрахункових досліджень (сумісно із Австралійським дослідницьким центром Commonwealth Science and Industrial Research Organisation, 3072, Australia), яка оцінює вплив циклу життя традиційного і полімерного типів СК на довкілля (LCA “Life Cycle Assessment”- „Повний життєвий цикл”). Цикл життя СК-Р складається із наступних етапів: 1 – добуток корисних копалин, їх перевезення і обробка; 2 – виробництво і перевезення деталей, складання і перевезення колектора-регенератора; 3 – експлуатація; 4 – розбирання СК-Р по закінченню життєвого циклу і

знищення деталей. В роботі аналізувались дев'ять типів впливів на довкілля: потенціал глобального потепління (GWP – парникові гази), виснаження озонового шару, ВОС – викиди оксидів сірки, ВОФА – викиди оксидів фосфору і азоту, тяжкі метали, зимовий смог, літній смог, виснаження ресурсів енергії і тверді відходи. На рис. 4Б показано екологічний валив двох порівнюваних типів СК-Р на довкілля (за програмою “Eco-indicator 95”). Розрахунки проводились за допомогою пакету “SimaPro-5”, що враховує складнощі одержання даних з вироблення енергії і по викидах для різних країн, що вміщує в собі бази даних для кожного із параметрів. Зменшення шкідливих впливів розробленого полімерного СК-Р, порівняно з традиційним типом металевого СК-Р, з'явилося істотним. Слід додати, що система сонячної регенерації займає основну площу і вагу у складі АСКП.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Для створення сонячних холодильних систем перспективний відкритий абсорбційний цикл, оснований на використанні сонячної енергії для регенерації абсорбенту; перспективно сонячне кондиціонування повітря, що обумовлено кореляцією між інсоляцією і рівнем охолодження, що потрібно (комплексом термовологісних параметрів повітря для АСКП); пряма регенерація абсорбенту найбільш перспективна для районів земної кулі з високим рівнем сонячної активності (Україна, країни північноафриканського регіону) і дозволяє істотно спростити конструкцію регенератора (десорбера), а також скоротити габарити і вартість сонячної системи в цілому;

2. Для АСКП найбільш явно виражена залежність ефективності від температури охолоджуючої води, тобто від роботи градирні, що обслуговує абсорбер. Це пов'язано із зростанням ізотермічності процесу абсорбції і зниженням температури осушеного повітряного потоку, що залишає абсорбер;

3. Із двох варіантів полімерних повітряних СК, з полімерним повітряним СК і СК-регенератором сполучуваного типу (СК-Р), останній є більш перспективним, оскільки в першому випадку потрібна ще і організація руху регенераційного повітряного потоку через десорбер, що є достатньо проблематичним; із двох розроблених варіантів СК-Р перспективним є тип СК-Р2;

4. В АСКП доцільно використовувати розчин  $H_2O + LiBr + ZnCl_2 + CaBr_2$ , який є переважним з точки зору тепло- і масообмінних характеристик, а також надійності експлуатації (висока розчинність і відносно низька корозійна активність); орієнтовний робочий інтервал концентрацій складає 70-75%;

5. В якості насадки ТМА для основних процесів, – абсорбції і випарного охолодження, – використані полімерні багатоканальні плити із полікарбонату, що забезпечує безфорсуночний розподіл рідини; у всіх ТМА прийнята поперечноточна схема контактування газу і рідини;

6. Показано, що умови експлуатації випарного охолодника (абсорбера) визначаються характеристичним числом  $\Lambda = l/l_{ид}$ , де  $l$  і  $l_{ид}$  відносна витрата повітряного потоку ( $G_r/G_{ж}$ ), для реального ТМА і його ідеальної моделі, що характеризується умовами термодинамічної рівноваги на обох кінцях апарату;

7. Проведено експериментальні дослідження процесу випарного охолодження при адіабатичному і політропічному процесах і одержані залежності у вигляді  $E_{ж} = f(l)$ ,  $E_r = f(\Lambda)$  і  $E = f(\Lambda)$ , що забезпечують розрахунок цих процесів; для ефективності процесу абсорбції, тобто, ступеню осушування повітря в абсорбері  $E_{AB}^B$  і ступеню використання абсорбенту  $E_{AB}$ , були одержані залежності від характеристичного числа  $\Lambda$ , где  $l = G_r/G_{AB}$ ;

8. Проведено випробування розробленого повітряного сонячного колектора модифікації СК-Р2, які показали його працездатність у складі АСКП і одержана залежність  $\eta_{СК} = T_{пр}$ , що забезпечує розрахунок СК-Р;

9. Одержані залежності зміни вологовмісту повітря в абсорбері ( $\Delta x$ ) і температури десорбції ( $t_d$ ) від приведеної концентрації розчину; зростання концентрації приводить до зростання ефективності процесу осушування повітря, але при цьому росте температура десорбції; у робочому діапазоні концентрацій розчину ( $\xi^* = 0.8 - 0.85$ ) температура регенерації (десорбції) не перевищує  $80^\circ C$ , що забезпечується розробленим сонячним колектором-регенератором СК-Р2.

10. Розроблена АСКП здатна забезпечити одержання комфортних параметрів повітря для будь-яких кліматичних умов земної кулі (в межах вологовмісту зовнішнього повітря до  $25 \text{ г/кг}$  і у межах температури зовнішнього повітря до  $45^\circ C$ ); порівняно із традиційними парокомпресійними системами кондиціонування повітря альтернативна система АСКП забезпечує значне зниження енерговитрат (до  $40\%$ ), що підтверджується мало чисельними даними експлуатації аналогічних установок.

11. На основі методології “Повний життєвий цикл” (Life Cycle Assessment – LCA) показано, що час повернення енергії для різних типів СК-Р суттєво залежить від матеріалів, які використовуються в конструкції СК; полімерний сонячний колектор-регенератор СК-Р має суттєву перевагу у величині впливу на довкілля при перерахунку на  $1 \text{ ГДж}$  енергії, що виробляється, перед СК традиційного типу.

### ПУБЛІКАЦІ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Корейша О.В., Аль-Гарби Набиль Мусса. Солнечные холодильные системы с прямой регенерацией абсорбента. // Збірник наукових праць науково-технічної конференції „Холодильна техніка і продовольча безпека”. – 2004. – с. 47-52.

Особистий внесок здобувача: Розробка схемних рішень сонячних холодильних систем.

2. Шестопалов К.А., Аль-Гарби Набиль Мусса. Сонячні колектори-регенератори для відкритих абсорбційних систем. // Збірник наукових праць “Обладнання та технології харчових виробництв”, Донецьк, Донецький державний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Вип. 13. – т. 2. – 8-9 вересня 2005 року. – с. 103-110.

Особистий внесок здобувача: Розробка конструкції сонячного регенератора

3. Корейша О.В., Аль-Гарби Набиль Мусса. Перспективи використання полімерних матеріалів у сонячних холодильних системах. // Збірник наукових праць “Обладнання та технології харчових виробництв”, Донецьк, Донецький державний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Вип. 13. – т. 2, 8-9 вересня 2005 року. – с. 46-55.

Особистий внесок: Розробка схемних рішень сонячних холодильних систем та виконання расчётів

4. Дорошенко А.В., Аль-Гарби Набиль Муса. Горин А.Н., Солнечные СКВ с прямой регенерацией абсорбента. // Холодильна техніка і технологія. – №5 (97). – 2005. – с. 51-55 (перепечатано в журнале “Холодильная техника”, №2, 2006, стр. 52-56, Россия).

Особистий внесок здобувача: розробка схемних рішень для сонячного колектора та всієї системи, виконання расчётів сонячної СКП

### УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АСКП – альтернативна система кондиціонування повітря; СК-Р – сонячний колектор-регенератор; ГРД – градирня; АБР – абсорбер; ПВО, НВО – випарні охолодники прямого і непрямого типів; Т – температура, °С; h – ентальпія, кДж/кг; x – вологовміст, г/кг; c – питома теплоємність, Дж/(кг·К); ρ – щільність, кг/м³; λ – теплопровідність, Вт/(м·К); τ – час, с; J – сонячна інсоляція, Вт/м²; G – масова витрата, кг/с; ξ – концентрація розчину (ξ<sub>sc</sub>; ξ<sub>sk</sub>); U – коефіцієнт теплових втрат, Вт/м²; l (l<sub>ид</sub>) – відносний (G<sub>r</sub>/G<sub>ж</sub>) і відносний мінімальний витрати повітря в апараті; Λ – характеристичне число, Λ = l / l<sub>ид</sub>. **Індекси:** s – абсорбент; p – приймальна пластина; г, ж – рідина; ос – довкілля; о – межа протікання процесу; \* – відносна величина (витрата, концентрація...); вих., вх. – вихід і вхід потоку;

### АННОТАЦІЯ

*Аль Гарби Набиль.* “Альтернативные системы кондиционирования воздуха с прямой солнечной регенерацией абсорбента”. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – “Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования”. Одесская государственная академия холода, Одесса, 2006.

Диссертационная работа посвящена решению проблем, связанных с использованием солнечной энергии в системах кондиционирования воздуха.

Рассмотрено современное состояние в области солнечных систем охлаждения сред и кондиционирования воздуха, основанных на использовании открытого абсорбционного цикла, связанного с предварительным осушением воздуха и последующим использованием испарительного охлаждения. Определены факторы, отрицательно сказывающиеся на развитии АСКВ, в первую очередь высокие температуры регенерации абсорбентов, большое количество ТМА, входящих в системы (абсорберы-осушители, испарительные охладители, градирня, десорбер-регенератор, теплообменники) и значительные сопутствующие энергозатраты.

Схемы АСКВ построены на использовании прямой регенерации абсорбента и широком применении в конструкции всех ТМА полимерных материалов. Разработано конструктивное оформление пленочных поперечноточных ТМА на основе многоканальных поликарбонатных плит (выбранных на основе проведенного анализа полимерных материалов). Это решение унифицировано для всех ТМА и для солнечного коллектора-регенератора, где такая плита служит прозрачной изоляцией СК-Р.

Выполнено экспериментальное исследование ТМА в режимах испарительного охлаждения и осушения воздуха и получены расчетные зависимости степени испарительного охлаждения  $E_x = f(\Lambda)$ , и степени использования воздуха  $E_r = f(\Lambda)$ , а также степени осушения воздуха в абсорбере  $E_{AB} = f(\Lambda)$  и степени использования абсорбента  $E_{AB} f(\Lambda)$ , где  $l = G_r/G_{ж} (G_r/G_{AB})$ ,  $\Lambda = l/l_{ид}$ . Уточнены пределы протекания рассматриваемых процессов с учетом реальных значений относительного расхода воздуха:  $l = G_r/G_{ж}$ . Отдельный цикл испытаний проведен с солнечными коллекторами-регенераторами и получены зависимости стандартного вида  $\eta = f(0.5(t_{п1} + t_{п2}) - t_{п0})/J$ , то есть, КПД от приведенной температуры. Эти результаты находятся в хорошем соответствии с немногочисленными данными в работах зарубежных исследователей по полимерным воздушным СК.

Разработана АСКВ, включая основной блок охлаждения, и выполнен анализ ее возможностей. АСКВ способна обеспечить получение комфортных параметров воздуха для любых климатических условий

xv 708  
ІНСТИТУТ ХОЛОДА  
ОНАХТ  
Сіфінансово

земного шара (в пределах влагосодержаний наружного воздуха до 25г/кг и в пределах температуры наружного воздуха до 45°C), причем, в качестве испарительного охладителя, оптимально использование испарительного охладителя прямого типа ПИО. В сравнении с традиционными парокомпрессионными системами кондиционирования воздуха альтернативная система АСКВ обеспечивает значительное снижение энергозатрат (до 40%), что подтверждается немногочисленными данными эксплуатации аналогичных установок.

На основе методологии “Полный жизненный цикл” (Life Cycle Assessment – LCA) показано, что время возврата энергии для различных типов СК-Р существенно зависит от материалов, используемых в конструкции СК. Полимерный солнечный коллектор-регенератор СК-Р имеет существенное преимущество в величине воздействия на окружающую среду при пересчете на 1 ГДж вырабатываемой энергии перед воздушными СК традиционного типа.

**Ключевые слова:** Альтернативная система, кондиционирование воздуха, солнечный коллектор-регенератор, абсорбер, абсорбент, испарительный охладитель, градирня, полимерные материалы, полный жизненный цикл, экологическое влияние.

#### THE SUMMARY

*Al Gharbi Nabil* “Alternative systems of Air Conditioning with direct solar regeneration of an absorbent”. – the Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Cand. Tech. Sci. on a specialty 05.05.14 – “Refrigerating and cryogenic techniques and Air Conditioning systems”. – The Odessa State Academy of Refrigeration, Odessa, 2006.

The modern condition is considered in the field of solar systems of cooling of environments and an air conditioning, based on use open absorption a cycle. The factors which are having an adverse effect on development Alternative systems of Air Conditioning (ASAC), first of all high temperatures of regeneration of absorbents and plenty heat-mass-transfer apparatus (HMT), included in systems are determined. Circuits ASAC are constructed on use of direct regeneration of an absorbent. Constructive registration film type HMT is developed on the basis of multichannel plastic plates. This decision is unified for all HMT and for a solar collector – regenerator (SC-R), where such plate serves as transparent isolation SC-R.

Experimental research HMT in modes evaporative coolings and drainages of air is executed and settlement dependences of a degree evaporative coolings  $E_L = f(\Lambda)$ , and degrees of use of air  $E_G = f(\Lambda)$ , and also degrees of drainage of air in absorber  $E_{G}^{AB} = f(\Lambda)$  and degrees of use of absorbent  $E_{AB} = f(\Lambda)$ , where  $l = G_G/G_L$  ( $G_G/G_{AB}$ ),  $\Lambda = l/l_{DD}$  are received.

Limits of course of considered processes are specified in view of real values of the relative charge of air:  $l = G_G/G_L$ . For SC-R dependences of standard kind  $\eta = f[0.5(t_{r1} + t_{r2}) - t_0]/J$ , that is, efficiency from the resulted temperature are received. It is developed ASAC, including the mainframe of cooling, and the analysis of its opportunities is executed. ASAC it is capable to ensure comfortable parameters of air for any climatic conditions of globe (in limits water contents external air up to 25g/kg and temperature of external air up to 45°C). In comparison with traditional systems, ASAC provides significant decrease in power inputs (up to 40 %), that proves to be true not numerous data of operation of similar installations. On the basis of methodology LCA “Life Cycle Assessment” it is shown, that time of return of energy for various types SC-R essentially depends on the materials used in design SC. Polymeric solar collector – regenerator SC-R has essential advantage in size of influence before air SC traditional type.

**Key words:** Alternative system, an air conditioning, a solar collector – regenerator, an absorber, an absorbent, evaporative cooler, cooling tower, the polymeric materials, energy-saving, life cycle assessment, ecological influence.

#### АНОТАЦІЯ

*Аль Гарбі Набіль*. “Альтернативні системи кондиціонування повітря з прямою сонячною регенерацією абсорбенту”. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.05.14 – “Холодильна та криогенна техніка, системи кондиціонування”. Одеська державна академія холоду, Одеса, 2006.

Розглянуто сучасний стан в області сонячних систем охолодження середовищ і кондиціонування повітря, основаних на використанні відкритого абсорбційного циклу. Визначено фактори, які негативно відбиваються на розвитку АСКП, в першу чергу високі температури регенерації абсорбентів і велика кількість ТМА, що входять у системи (абсорбери-осушувачі, випарні охолодники, градирня, десорбер-регенератор, теплообмінники). Схеми АСКП побудовані на використанні прямої регенерації абсорбенту. Розроблено конструктивне оформлення плівкових поперечноточних ТМА на основі багатоканальних полікарбонатних плит. Це рішення уніфіковано для всіх ТМА і для сонячного колектора-регенератора, де така плита служить прозорою ізоляцією СК-Р.

Виконано експериментальне дослідження ТМА в режимах випарного охолодження і осушування повітря і одержані розрахункові залежності ступеню випарного охолодження  $E_L = f(\Lambda)$ , і ступеню використання повітря  $E_G = f(\Lambda)$ , а також ступеня осушування повітря в абсорбері  $E_{G}^{AB} = f(\Lambda)$  і

ступеню використання абсорбенту  $E_{AB} = f(\Lambda)$ , де  $l = G_r/G_{ж}$  ( $G_r/G_{AB}$ ),  $\Lambda = l/l_{ид}$ . Уточнено межі протікання процесів, що розглядаються, з урахуванням реальних значень відносної витрати повітря:  $l = G_r/G_{ж}$ . Для сонячних колекторів-регенераторів одержано залежності стандартного виду  $\eta = f[0.5(t_{r1} + t_{r2}) - t_0]/J$ , тобто, ККД від приведеної температури. Розроблена АСКП, включаючи основний блок охолодження, і виконано аналіз її можливостей. АСКП здатна забезпечити одержання комфортних параметрів повітря для будь-яких кліматичних умов земної кулі (у межах вологовмісту зовнішнього повітря до 25г/кг і температури зовнішнього повітря до 45°C). Порівняно із парокомпресійними системами, АСКП забезпечує значне зниження енерговитрат (до 40%), що підтверджується малочисленними даними експлуатації аналогічних установок. На основі методології “Повний життєвий цикл” показано, що час повернення енергії для різних типів СК-Р суттєво залежить від матеріалів, які використовуються в конструкції СК. Полімерний сонячний колектор-регенератор СК-Р має суттєву перевагу у величині впливу на довкілля при перерахунку на 1 ГДж енергії, що виробляється, перед повітряними СК традиційного типу.

**Ключові слова:** Альтернативна система, кондиціонування повітря, сонячний колектор-регенератор, абсорбер, абсорбент, випарний охолодник, градирня, полімерні матеріали, повний життєвий цикл, екологічний вплив.