

Автореферат
ПЧ

Н

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

УДК 536.248.2.532.529.5

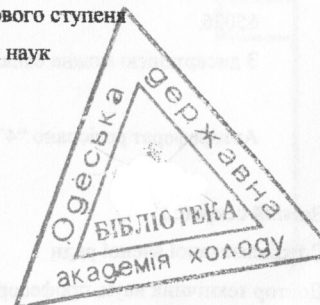
ПОБЕРЕЗКІН Олександр Анатолійович

**РОЗРОБКА СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ
ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ АБСОРБЦІЙНИХ ЦИКЛІВ
ВІДКРИТОГО ТИПУ І СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

05.05.14 – Холодильна та криогенна техніка, системи кондиціонування

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Одеса - 2002

Дисертація є рукописом.

Роботу виконано в Одеській державній академії холоду і Науково-виробничій фірмі "Нові технології"

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор **Дорошенко Олександр Вікторович**, Одеська державна академія холоду, кафедра технічної термодинаміки.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор кафедри термодинаміки **Національного морського університету Загоруйко Василь Онисимович**

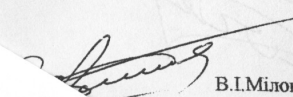
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедру холодильного та торговельного обладнання **Донецького державного університету економіки і торгівлі ім. М.Туган - Барановського Осокін Володимир Васильович**

Провідна організація: **Одеська національна академія харчових технологій ім. М.В.Ломоносова МОН України**

Захист дисертації відбудеться "9" січня 2002 р. у 11³⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.041.087.01 в Одеській державній академії холоду (ОДАХ) за адресою: м. Одеса, вул. Дворянська, 1/3, Україна, 65026.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотечі ОДАХ.

розіслано "4" грудня 2002 р.


В.І.Мілованов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Різке загострення взаємозв'язаних енергетичних і екологічних проблем викликали значний інтерес до можливостей відкритих абсорбційних систем, альтернативних традиційній парокompресійній техніці. Ці системи працездатні при малих перепадах температур і використовують як гріюче джерело низько потенційне тепло, природний газ або сонячну енергію, наприклад, геліосистеми з плоскими сонячними колекторами. Відкритий абсорбційний цикл може стати основою нового покоління холодильних і кондиціонуючих систем, які цілком або частково використовують поновлювані джерела енергії. Для практичної реалізації цих систем особливу увагу слід приділити створенню компактних тепломасообмінних апаратів, підбиранню і аналізу робочих речовин, розробці пристроїв для сонячної регенерації абсорбентів.

Зв'язок теми роботи з науковими планами програмами. Робота виконана відповідно з проектом INTAS 96- 1730 "Альтернативні холодильні, тепло насосні і кондиціонуючі системи на основі абсорбційного циклу і сонячної енергії, як гріючого джерела"; програмами енергозбереження Міністерства аграрної політики України, Державного департаменту продовольства України і Одеської області.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є створення екологічно чистих, енергозберігаючих холодильних і кондиціонуючих систем на основі абсорбційного циклу відкритого типу і сонячної енергії як основного гріючого джерела. Відповідно з поставленою метою сформульовані і вирішені задачі: розробка нових схемних рішень для альтернативних систем; вибір гріючого і охолоджуючого джерел; мінімізація кількості апаратів; аналіз і вибір абсорбентів; моделювання основних робочих процесів; розробка і уніфікація абсорбера, десорбера, випарного охолоджувача; створення методики інженерного розрахунку і розробка пілотної установки.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Розроблені схемні рішення альтернативних систем з урахуванням мінімізації енерговитрат і екологічно шкідливих наслідків; показано, що, як зовнішнє гріюче джерело для таких систем оптимальна сонячна енергія, повністю або частково забезпечуючи регенерацію абсорбенту і безперервність циклу;
- Як оптимальні для альтернативних систем рекомендовані тепло - масообмінні апарати (ТМА) плівкового типу з регулярно шорсткістю поверхні (РШ) при поперечно точній схемі взаємодії робочих потоків;
- Показано, що як джерело тепла для регенерації абсорбенту у відкритих абсорбційних системах прийнятна система з плоскими сонячними колекторами; наведені експериментальні характеристики такої системи;
- Розроблені математичні моделі основних робочих процесів в альтернативних системах: осушування повітря і сонячної регенерації абсорбенту; випарувального охолодження;

накопичування тепла для регенерації абсорбенту в геліосистемі з плоскими сонячними колекторами;

- Проведено вибір робочих речовин для альтернативних систем з урахуванням їх теплофізичних властивостей, вартості і впливу на повітряне середовище і конструкційні матеріали;
- Виконано аналіз можливостей альтернативних систем в режимі кондиціонування повітря (АСКП) при використанні абсорбентів: $\text{H}_2\text{O}+\text{LiBr} - \text{LiBr}$; $\text{H}_2\text{O}+\text{LiBr}+\text{LiNO}_3 - \text{LiBr}+$; $\text{H}_2\text{O}+\text{LiBr}+\text{ZnCl}_2+\text{CaBr}_2 - \text{LiBr}++$ і показано переваги використання в цих системах розчину $\text{LiBr}++$;
- Встановлено, що відкритий абсорбційний цикл здатний вирішити задачі охолодження середовищ і їх термовологісної обробки для будь-яких параметрів зовнішнього повітря, не удаючись до штучного охолодження. При цьому зниження енерговитрат порівняно з пароконденсаторними охолоджувачами складає до 30-40%.
- На основі одержаних теоретичних і інженерних результатів розроблена повномасштабна пілотна установка АСКП.

Наукові положення, сформульовані на основі виконаних досліджень:

1. Принципові можливості відкритого абсорбційного циклу, який працює при атмосферному тиску і малих рушійних силах процесів, обумовлені раціональним сполученням типу абсорбенту (висока розчинність, мала корозійна активність), внутрішніх енерговитрат (типу ТМА) і гріючого джерела в діапазоні температур 6–120°C (Оптимально використання сонячної енергії).
2. Для розчину $\text{LiBr}++$ ($\text{H}_2\text{O}+\text{LiBr}+\text{ZnCl}_2+\text{CaBr}_2$) одержання комфортних параметрів повітря в АСКП цілком забезпечується використанням геліосистем з плоскими сонячними колекторами із алюмінієвого стону, тільки при вологовмісті більш 20г/кг потребує використання більш коштовних типів сонячних колекторів із селективним покриттям або вакуумованих.

Достовірність наукових положень и результатів підтверджується експериментально - розрахунковими дослідженнями і якісним та кількісним погодженням одержаних результатів з літературними даними інших авторів.

Практичне значення одержаних результатів.

Одержані результати передані Держхарчпрому міністерства аграрної політики України для практичного використання у харчовій і переробній промисловості.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана при консультаціях наукового керівника. На окремих етапах роботи в ній брали участь співробітники ОДАХ – співавтори основних публікацій, а також учасники міжнародного проекту INTAS 96 –1730 “Альтернативні

холодильні, тепло насосні і кондиціонуючі системи на основі абсорбційного циклу і сонячної енергії, як гріючого джерела”. Особисто автором виконано: моделювання робочих процесів в альтернативних системах [1] і цикл експериментально - розрахункових досліджень [1,2]; аналіз і вибір робочих тіл для альтернативних систем [4]; аналіз одержаних результатів; розробка пілотної установки АСКП.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: 20-му Міжнародному конгресі з холодильної техніки (Сідней, 1999).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 5 робіт.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Загальний об'єм роботи – 136 сторінок, 35 рисунків, 6 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми з урахуванням сучасних проблем енергетики і екології, розглянута зростаюча роль альтернативних джерел енергії в нових технологіях и, зокрема, в холодильній и кондиціонувальній техніці, сформульована мета, основні задачі дослідження і наукові положення, які захищаються автором, викладена наукова новизна, практична цінність і результати апробації роботи, визначений особистий внесок здобувача.

У першому розділі розглянуто сучасний стан проблеми і виявлено основні тенденції використання сонячної енергії в холодильній і кондиціонувальній техніці, в тому числі у відкритих абсорбційних циклах. Ідея сонячного охолодження відома і практично використовується з 90-х років XIX сторіччя. Вона особливо перспективна з-за відомої кореляції між інсоляцією, необхідним рівнем охолодження і піком денного споживання енергії. Вже в XX сторіччі варіанти подібних систем реалізовані в 1958 році у Брисбені (Австралія), у 60-і роки у Ташкенті (Узбекистан), у 1966 р. у Куїнсланді (Австралія). Тільки у 1976 році у США було встановлено понад 500 сонячних колекторів повітря. З 1977 року і по цей час діє програма сонячного нагрівання і охолодження міжнародного Енергетичного Агентства ІЕА. Останнє десятиріччя відмічено особливо активністю в цьому напрямку в Японії, США і ЄС. Розробляються нові типи сонячних колекторів і різноманітні варіанти закритих і відкритих сорбційних систем, вивчаються можливості цих систем, а також їх найможливіших комбінацій, працездатних при малих температурних градієнтах і температурі гріючого джерела 60-120 °С.

Класичною для відкритих систем схемою є відомий Пеннінгтон – цикл. Свіже повітря, що надходить у систему, осушується у абсорбері, потім попередньо охолоджується холодним і вологим повітрям, яке виходить з приміщення і далі остаточно охолоджується в процесі безпосереднього (прямого) випарювання рідини. За основні елементи подібні схеми, як правило, включають абсорбер для осушування повітряного потоку, випарний охолоджувач і десорбер

(регенератор) прямого або непрямого типу, а також системи теплообмінників. В процесі осушування повітря знижується його волого вміст і температури мокрого термометру і точки роси, що збільшує можливості випарувального охолодження. Використання в Пеннінгтон-циклі рідких сорбентів визначає необхідність рішення проблеми впливу робочих речовин на характеристики мікроклімату і стійкість конструкційних матеріалів. Сонячна регенерація абсорбенту у відкритих системах може бути прямою і протікати у повітряному сонячному колекторі при безпосередньому контакті плівки абсорбенту і повітряного потоку. Непряма регенерація передбачає наявність десорберу із зовнішнім або вмонтованим теплообмінником, куди подається нагріта в геліосистемі вода. Для охолодження в процесі абсорбції частіше всього використовують градирню. Як охолоджувачі перспективне використання апаратів непрямого випарувального охолодження, у яких досягається безконтактне охолодження основного повітряного потоку при незмінному волого вмісті, що сприятливо для АСКП.

Майбутні сонячних холодильних систем визначається створенням високоєфективної тепломасообмінної апаратури (абсорбери, десорбери, випарні охолоджувачі, теплообмінники). Враховуючи характерні для відкритих абсорбційних систем малі рушійні вили процесів, доцільно використання теплообмінних апаратів з низьким гідравлічним опором, наприклад, плівкового типу з роздільною течією потоків газу і рідини у багатоканальній упорядкованій насадці. Для регенерації абсорбенту перспективні геліосистеми (ГС) з термічними сонячними колекторами, ефективність яких знижується із зростанням температури. Ситуація покращується для АСКП з температурою регенерації 60-100°C. Найбільш дешевий і розповсюджений сьогодні плоский сонячний колектор (СК) спроможний забезпечити тільки 50-65°C, що робить проблематичним функціонування навіть самої невимогливої відкритої сонячної системи на розчині LiBr/H₂O. Крім того, для сонячних альтернативних систем необхідно створення компенсаційного механізму, зв'язаного з природними коливаннями сонячної активності. Тому перспективні комбіновані системи, які використовують як енергію сонця, так і інші джерела низько потенційного тепла.

У другому розділі вироблені основні вимоги до АСКП і принципи їх побудовання (рис. 1). Схеми включають два блоки: осушування повітря і наступного випарувального охолодження. В осушувальній частині тепло, необхідне для регенерації абсорбенту, забезпечується геліосистемою (ГС) з плоскими сонячними колекторами, а охолодження абсорбенту здійснюється градирнею. Як основні елементи схеми включають абсорбер (осушувач повітря), десорбер (для сонячної регенерації абсорбенту), комбінований випарний охолоджувач і систему регенеративних теплообмінників. При осушуванні в абсорбері волого вміст і температура точки роси повітря знижуються, що забезпечує значний потенціал охолодження в випарному охолоджувачі. Для охолодження абсорбенту на входу до абсорбера передбачена вентиляторна градирня. Як випарник використовується розроблений в ОДАХ поперечноточний насадковий апарат непрямого

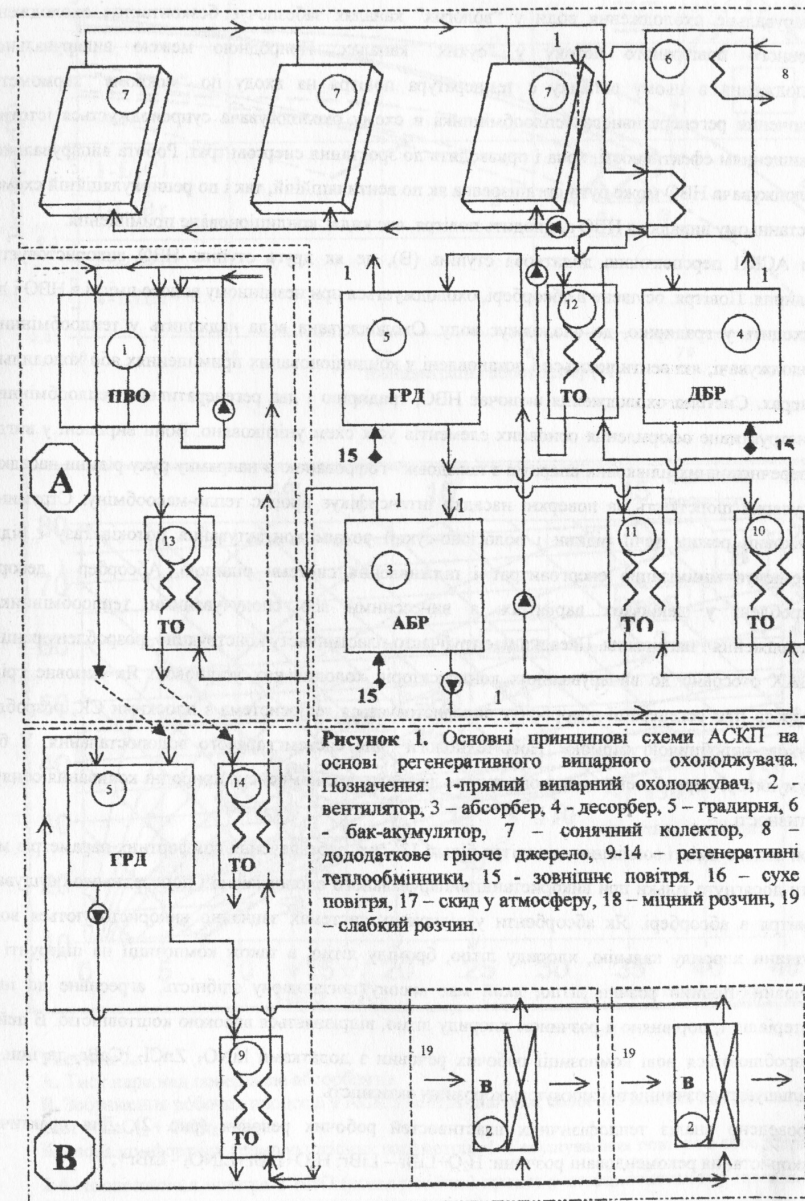


Рисунок 1. Основні принципові схеми АСКП на основі регенеративного випарного охолоджувача. Позначення: 1-прямий випарний охолоджувач, 2 - вентилятор, 3 - абсорбер, 4 - десорбер, 5 - градирня, 6 - бак-акумулятор, 7 - сонячний колектор, 8 - додаткове гріюче джерело, 9-14 - регенеративні теплообмінники, 15 - зовнішнє повітря, 16 - сухе повітря, 17 - склад у атмосферу, 18 - міцний розчин, 19 - слабкий розчин.

• випарувального охолодження (НВО) з 2 вологими" і "сухими" каналами, які чергуються. Випарувальне охолодження води у "вологіх" каналах забезпечує безконтактне охолодження основного повітряного потоку у "сухих" каналах. Природною межею випарувального охолодження в цьому випадку є температура повітря на входу по "мокрому" термометру. Включення регенеративного теплообмінника в схему охолоджувача супроводжується істотним підвищенням ефективності, хоча і призводить до зростання енерговитрат. Робота випарувального охолоджувача НВО може бути організована як по вентиляційній, так і по рециркуляційній схемам. В останньому випадку в НВО надходить повітря, яке кидас кондиціоноване приміщення.

Для АСКП перспективна додаткова ступінь (В), де як друга ступінь НВО використовується градирня. Повітря, осушене в абсорбері, охолоджується при незмінному волого вмісті в НВО і далі надходить у градирню, де охолоджує воду. Охолоджувана вода надходить у теплообмінники-охолоджувачі, які вентилюються і встановлені у кондиціонованих приміщеннях або холодильних камерах. Система охолодження включає НВО, градирню і два регенеративних теплообмінники. Конструктивне оформлення основних елементів усіх схем уніфіковано. Вони вирішені у вигляді поперечноточних плівкових апаратів з повздож –гофрованою в напрямку руху рідини насадкою. Регулярна шорсткість на поверхні насадки інтенсифікує процес тепло-масообміну. Струминно-плівковий режим течії рідини і вологісно-сухий режим контактування потоків газу і рідини забезпечує мінімізацію енерговитрат і підживлення системи рідиною. Абсорбер і десорбер розроблені у декількох варіантах: з винесеними або сполучуваними теплообмінниками охолодження і нагрівання. Насадка має трубчасто-пластинчасту конструкцію, розроблена раніше в ОДАХ стосовно до випарувальних конденсаторів холодильних установок. Як основне гріюче джерело при регенерації абсорбенту використовується геліосистема з плоскими СК, розроблена науково-виробничою фірмою "Нові технології" для систем гарячого водопостачання. У баці-аккумуляторі передбачено додаткове гріюче джерело, яке компенсує природні коливання сонячної активності.

При волого вмісті зовнішнього повітря більш 13,-г/кг, забезпечення комфортних параметрів може біти досягнуте тільки при використанні випарувального охолодження і попереднього осушування повітря в абсорбері. Як абсорбенти у відкритих системах звичайно використовуються водні розчини хлориду кальцію, хлориду літію, броміду літію, а також композиції на підґрунті цих речовин. Водний розчин літію, який має високу поглинаючу здібність, агресивне до інших матеріалів і, порівняно з розчином хлориду літію, відрізняється високою коштовністю. В цей час розроблюються нові композиції робочих речовин з додатками LiNO_3 , ZnCl_2 , CaBr_2 та інш., які збільшують розчинність і знижують корозійну активність.

Проведено аналіз теплофізичних властивостей робочих речовин (рис. 2). Для практичного використання рекомендовані розчини: $\text{H}_2\text{O}+\text{LiBr}-\text{LiBr}$; $\text{H}_2\text{O}+\text{LiBr}+\text{LiNO}_3-\text{LiBr}+$;

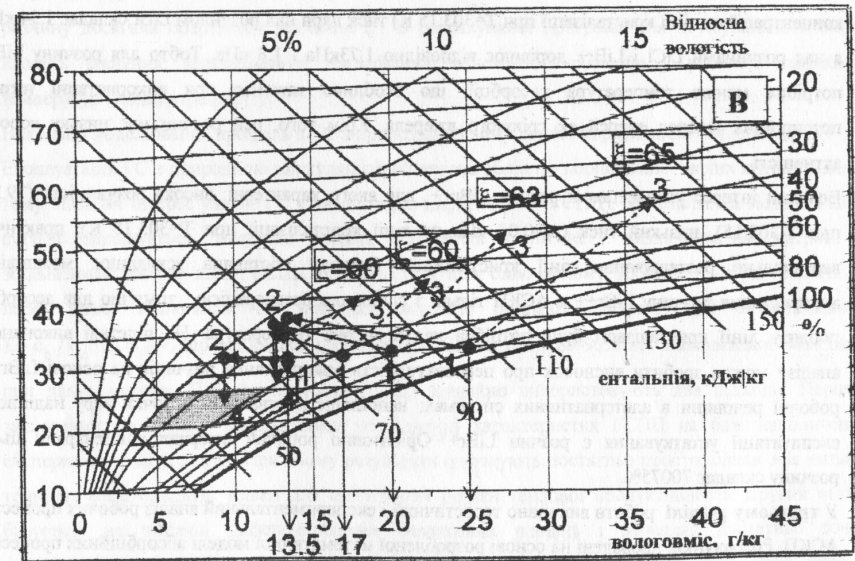
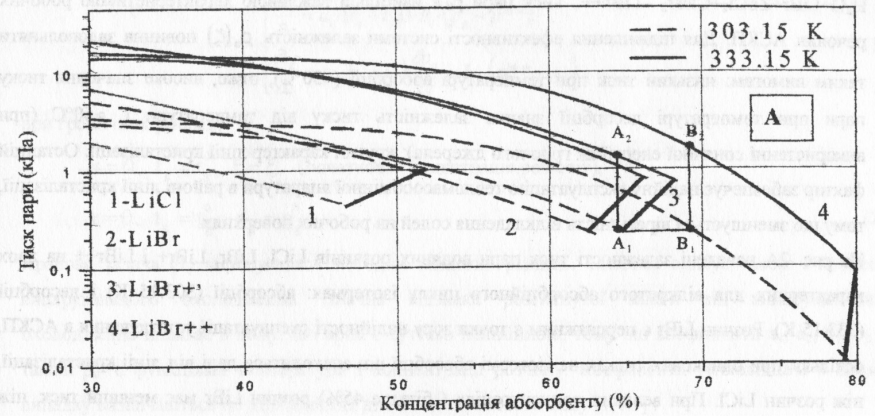


Рисунок 2.

А. Тиск пари над поверхнею абсорбентів.

В. Зображення робочих процесів у АСКП на H,X-діаграмі вологого повітря для розчину $\text{LiBr} + \text{ZnCl}_2 + \text{CaBr}_2 + \text{H}_2\text{O}$

К – зона комфортних термовологісних параметрів; 1-2 осушування повітря в абсорбері; 2-4 охолодження повітря в НВО (асиміляційний процес у кондиціонованому приміщенні не показано); 1-3 зміна стану повітряного потоку при регенерації абсорбенту у десорбері.

$H_2O+LiBr+ZnCl_2+CaBr_2 -LiBr^{++}$. Тиск пари p_s є найбільш важливою характеристикою робочих речовин АСКП. Для підвищення ефективності системи залежність $p_s(\zeta)$ повинна задовольняти таким вимогам: низький тиск при температурі абсорбції ($\approx 30^\circ C$), отже, високе значення тиску пари при температурі десорбції значна залежність тиску від температури i , $\approx 60^\circ C$ (при використанні сонячної енергії як гріючого джерела); крутий характер лінії кристалізації. Останній фактор забезпечує надійну експлуатацію тепломасообмінної апаратури в районі лінії кристалізації, тому що зменшується вірогідність відкладення солей на робочих поверхнях.

На рис. 2А наведені залежності тиск пари водяних розчинів LiCl, LiBr, LiBr+ і LiBr++ на двох характерних для відкритого абсорбційного циклу ізотермах: абсорбції (303.15 K) і десорбції (333.15 K). Розчин LiBr є переважним з точки зору надійності експлуатації устаткування в АСКП, оскільки при однакових тисках на ізотермі абсорбції він знаходиться далі від лінії кристалізації, ніж розчин LiCl. При великих концентраціях (більше 45%) розчин LiBr має менший тиск, ніж розчин LiBr+ (різниця складає близько 0.1 кПа в районі лінії кристалізації), тобто має крашу абсорбційну здібність. Однак при температурі десорбції і концентрації 47% (відповідній концентрації на лінії кристалізації при $T=303.15$ K) тиск пари над розчином LiBr складає 1.34 кПа, а над розчинами LiCl і LiBr+ дорівнює відповідно 1.73 кПа і 1.8 кПа. Тобто для розчину LiBr+ потрібна менша температура десорбції, що особливо важливо при використанні низькопотенційних джерел енергії як гріючого джерела. Крім того, цей розчин має низьку корозійну активність.

Великий інтерес уявляє також розчин LiBr++, для якого характерні: висока розчинність (79.2% при $T=303.15$), низький тиск ($p_s=0.01$ кПа на лінії кристалізації при $T=303.15$ K), практично вертикальне розташування лінії кристалізації. Остання обставина ускладнює можливість використання розчину LiBr++ в АСКП тільки з сонячною регенерацією, тому що для десорбції поблизу лінії кристалізації буде потрібна надто висока температура. На підставі виконаного аналізу можна зробити висновок про перспективність використання розчинів на основі LiBr як робочої речовини в альтернативних системах; найбільше переважним з точки зору надійності експлуатації устаткування є розчин LiBr++. Орієнтовно робочий інтервал концентрації цього розчину складає 70075%.

У третьому розділі роботи виконано теоретичний і експериментальний аналіз робочих процесів в АСКП. Розрахунки, проведені на основі розробленої математичної моделі абсорбційних процесів в умовах перехресного контакту потоків, подаються системою рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial z} = a_1 \cdot (t_g - t_s) + b_1 \cdot (p_g - p^{**}) \\ \frac{\partial z}{\partial z} = a_2 \cdot (t_s - t_g) + b_2 \cdot (p^{**} - p_g) \end{cases} \quad (1)$$

при граничних умовах:

$$\begin{cases} -x = 0, \quad t_s = t_s^0, \quad \xi = \xi^0 \quad (\text{початкова концентрація розчину}), \\ z = 0, \quad t_g = t_g^0, \quad p_g = p_g^0. \end{cases} \quad (2)$$

Крайова задача (1) вирішувалась методом кінцевих різниць. Система описує також і процеси випарувального охолодження. Значна відзнака розглянутої задачі від випарувального охолодження полягає в тому, що вона є суттєво нелінійною, тому що коефіцієнти a_1 , a_2 , b_1 , b_2 а також p_s є функціями температури і концентрації розчину. Коефіцієнти тепловіддачі в цьому випадку визначаються по залежностях для ТМА плівкового типу [1,4,5].

При розрахунку десорбера використовуються ті ж рівняння, однак температура розчину на входу в апарат підбирається за методом ітерацій таким чином, щоб на виході з апарату концентрація розчину досягала потрібного значення ξ^0 . В розрахункові програми для осушувального блоку входять рівняння, апроксимуючі теплофізичні властивості розчинів у робочих діапазонах температур і концентрацій.

Виконано моделювання процесів в ГС з природною і вимушеною циркуляцією теплоносія.

Експлуатація ГС з природною циркуляцією обмежена областю порівняльно малих витрат рідини; тому більший інтерес уявляє ГС з вимушеною циркуляцією (ГСПЦ). Математична модель ГСПЦ суттєво спрощується, тому що витрата теплоносія у ній не є визначним параметром. Із збільшенням витрат к.к.д. ГСПЦ підвищується при одночасному зростанні витрат енергії на переміщення теплоносія. На практиці звичайно обирають витрату при співвідношенні $G \cdot c_p / F_{sc} \cdot U = 2-4$, що відповідає ефективності СК на рівні 86-90% від максимально можливої при даних умовах. При моделюванні ГСПЦ звичайно використовують два підходи. Перший заснований на крупно масштабному усередненні характеристик ГСПЦ на базі накопичених експериментальних даних. При цьому результати одержують достатньо просто, однак з-за низької точності вони придатні тільки для орієнтовної оцінки теплової продуктивності. Другий підхід базується на рішенні диференціальних балансових рівнянь і дозволяє достатньо точно пророкувати залежності теплових характеристик з урахуванням зміни природних умов і конструктивних особливостей ГСПЦ. При виведенні рівнянь, які описують теплообмінні процеси в ГС, прийняті такі припущення:

- Процеси в теплі системі мають квазістаціонарний характер. Це дозволяє використовувати в розрахунках характеристики, одержані в стаціонарних умовах. Правомірність такого припущення зумовлена повільною зміною у часу інтенсивності сонячної радіації і температури навколишнього середовища;
- Не враховуються теплові витрати в навколишнє середовище через стінки труб теплоприймача СК. Як показують розрахунки і досвід експлуатації ГС, ці витрати незначні завдяки малій поверхні труб і наявності теплоізоляції;
- Не враховується температурне розшарування (стратифікація) теплоносія у баші – теплоаккумуляторі (БТА). При вимушеній циркуляції швидкість теплоносія більше, ніж при природній, що призводить до перемішування рідини. Припущення про повне перемішування призводить до занижених значень теплопродуктивності і забезпечує розрахунковий запас виробленої теплової енергії.

Рівняння теплового балансу для ГС має вигляд

$$J \cdot \eta \cdot F_{sc} dt = M_{TA} \cdot c_p dt + k_{TA} \cdot F_{TA} \cdot (t - t_0) dt, \quad (3)$$

де t – поточна температура теплоносія. Вирішити рівняння (3) відносно невідомої температури не можна, тому що η залежить від t . Скористуємося відомим виразом

$$\eta = 0.8 \cdot \left[\theta - U \cdot \frac{0.5 \cdot (t^{out} - t) - t_0}{J} \right], \quad (4)$$

З рівняння теплового балансу ГС

$$J \cdot \eta \cdot F_{sc} = G \cdot c_p \cdot (t^{out} - t) \quad (5)$$

визначаємо температуру t^{out} , приймаючи $g = G/F_{sc}$

$$t^{out} = t + \frac{J \cdot \eta}{g \cdot c_p}. \quad (6)$$

Із виразів (4) і (6) одержуємо

$$t^{out} = t \cdot \left(\frac{g \cdot c_p - 0.4 \cdot U}{g \cdot c_p + 0.4 \cdot U} \right) + 0.8 \cdot \left(\frac{J \cdot \theta + U \cdot t_0}{g \cdot c_p + 0.4 \cdot U} \right). \quad (7)$$

Таким чином, задача визначення часової залежності температури у БТА зводиться до рішення нелінійного диференціального рівняння першого порядку

$$\frac{dt}{dt} = \frac{J(n, \tau) \cdot \eta \cdot F_{sc}}{M_{TA} \cdot c_p} - \frac{k_{TA} \cdot F_{TA} \cdot [t - t_0(n, \tau)]}{M_{TA} \cdot c_p}$$

з урахуванням виразів (4) і (7) В рівнянні (8) n зазначає номер місяця, для якого виконується розрахунок. Рівняння методом Рунге-Кутта з часовим кроком 1 година. Розрахунки, проведені з кроком 2 години, показали незначне відхилення результатів. При реалізації моделі були враховані такі фактори:

- залежність коефіцієнту теплових витрат від температури. Звичайно припускається, що $U = \text{const}$. Однак, як показують розрахунки, при збільшенні температури поглинаючої пластини від 50°C до 100°C коефіцієнт теплових витрат збільшується на 30%;
- вплив швидкості вітру на коефіцієнт теплових витрат. Оскільки збільшення швидкості вітру від 0 до 5 м/с підвищує коефіцієнт теплових витрат на 15-20%, розрахунки проводилися з урахуванням реального вітрового навантаження на місцевості, у якій розташована АСКП;
- залежність перепускної здібності прозорої ізоляції від кута падіння сонячних променів на площину СК. Цей фактор необхідно враховувати тому що у випадках, коли кут падіння сонячних променів перевищує 60°, скло практично повністю відбиває усе випромінювання, яке поступає.

Аналіз можливостей АСКП дозволяють встановити відповідність між рівнем охолодження (рівнем термовологісних параметрів), який досягнуто, і необхідними для цього температурами гріючого джерела і охолоджуючого середовища. Вивчався вплив початкових параметрів на можливості і робочі характеристики АСКП; кліматичних умов (волого вмісту і температури зовнішнього повітря); типу і концентрації абсорбенту; співвідношення витрат потоків газу і рідини через апарати; температур гріючого джерела і охолоджуючого середовища; необхідного рівня охолодження. Основний обсяг розрахунків виконано стосовно до LiBr++.

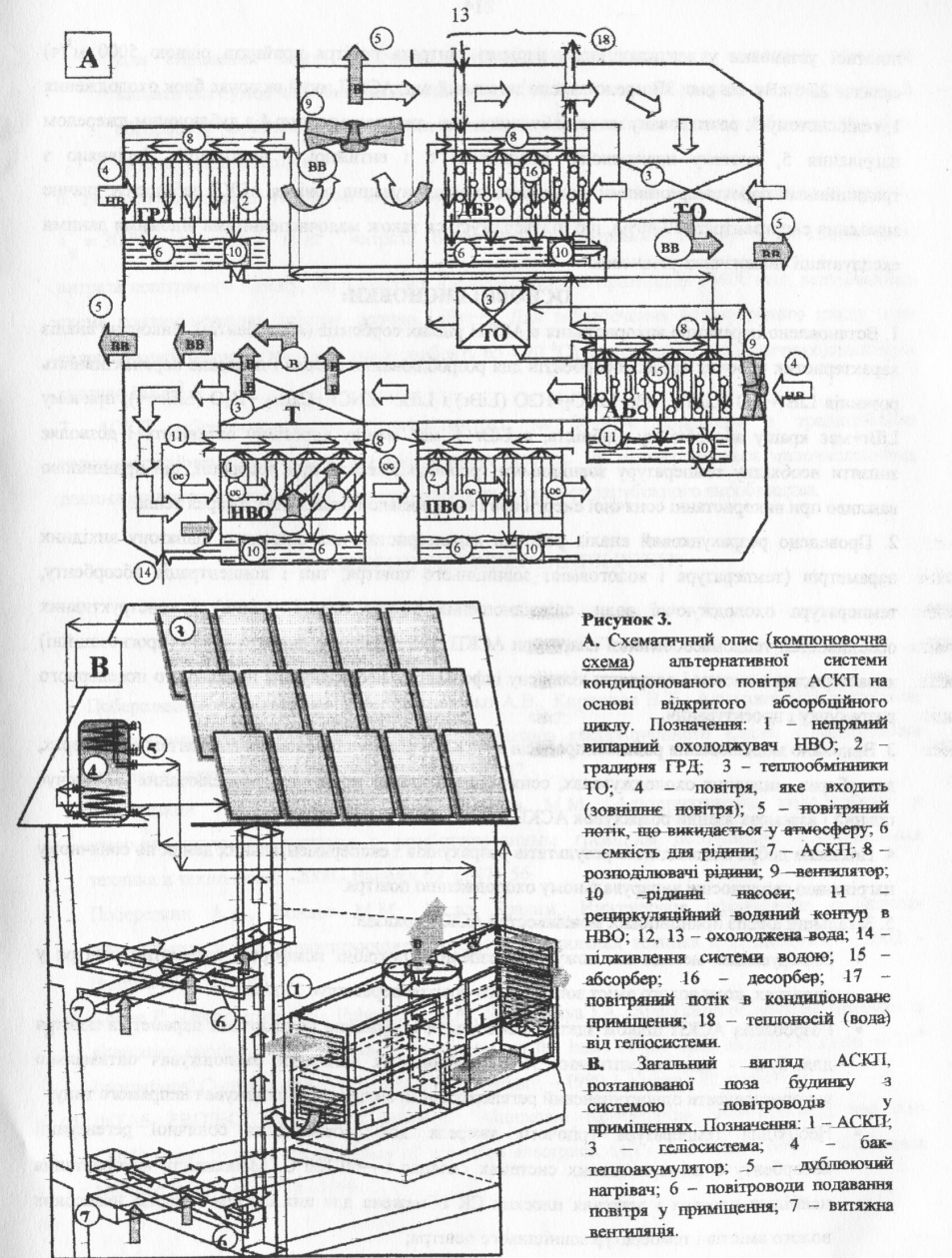
Розрахунки АСКП були проведені для широкого діапазону можливих кліматичних умов і робочих параметрів: $X^1_r = 13-25$ г/кг сухого повітря; $t^1_r = 20 - 45$ °C; $\xi_{LiBr++} = 60-75\%$. Основні робочі процеси в АСКП для вентиляційної схеми при подачі всього охолоджуваного повітряного потоку у кондиціоноване приміщення надані на рис. 2А: осушування повітря в абсорбері (яке супроводжується підвищенням температури); охолодження повітря в НВО (показано тільки процес охолодження основного повітряного потоку при незмінному волого вмісті); зміна стану повітряного потоку в десорбері (умовно прямою лінією відображено процес регенерації абсорбенту). Із діаграми випливає, що АСКП забезпечує одержання комфортних параметрів без використання парокompресійного охолодження навіть при самих високих значеннях волого вмісту зовнішнього повітря ($X^1_r = 25$ г/кг). Із зростанням волого вмісту зростає температура гріючого джерела, який забезпечує регенерацію абсорбенту. Зростання температури води, яка охолоджує абсорбер, призводить до зниження ефективності процесу осушування повітря і зростання температури гріючого джерела. При цьому знижуються енерговитрати на організацію процесу охолодження води і забезпечується можливість оптимізації процесу у градирні. Для охолодження

абсорбенту у теплообміннику можливо використання допоміжного повітряного потоку, який кидає НВО.

Надані експериментальні дані, одержані автором при дослідженні процесів сонячного нагрівання води для забезпечення регенерації абсорбенту у альтернативній. Експеримент проводився на досвідчому полігоні НВФ «Нові технології» з використанням плоских сонячних колекторів модифікації СК-А з трубним регістром з алюмінієвого сплаву. Експеримент відповідав умовам роботи геліосистеми в складі АСКВ і підтвердив можливість забезпечення температури теплоносія, що надходить у десорбер альтернативної системи на рівні 65-70 °С (липень, м.Одеса). Експериментальні і теоретичні результати знаходяться в гарній відповідності. Як джерело тепла для регенерації абсорбенту сонячна система має потребу в додатковому нагрівачі для компенсації природних (добових і сезонних) коливань сонячної активності. Результати розрахунків для непрямого випарного охолоджувача були зіставлені з раніше проведеними в ОДАХ натурними іспитами НВО (перерахованими для умов попереднього осушення повітря в абсорбері) і також показали гарну відповідність.

У четвертому розділі роботи надана інженерна методика розрахунку АСКП і виконано аналіз перспектив їх практичного використання. Схематично АСКП на основі відкритого абсорбційного циклу і сонячного регенерації абсорбенту наведена на рис. 3. Описані вище основні варіанти випарних охолоджувачів входять як випарувальна частина до АСКП. На компоновочній схемі показано теплообмінник попереднього підігріву повітря, який поступає до десорбера, і теплообмінник на потоках міцного (гарячого) і слабкого (холодного) розчинів абсорбенту. В схемі є два вентилятори, які забезпечують рух повітряних потоків. Наданий варіант вентиляційної схеми, у якій увесь охолоджений потік поступає в приміщення

Продуктивність пілотної установки визначена, як приклад, у літній період для забезпечення комфортних параметрів повітря у приміщенні офісного типу площею 200м² у місті Одеса. При цьому розрахункові параметри (СНИП 2.04.05 -91) складають: $t = 28.6$ °С; $h = 62$ кДж/кг; $\phi = 52$ %; оптимальні показники мікроклімату (комфортні параметри повітря) для офісного приміщення складають: $t = 25$ °С; $\phi = 50$ %; температура повітря, яке подається в приміщення після повітроохолоджувача АСКП (при різниці температур між повітрям в приміщенні і тим, що поступає із повітроохолоджувача 4 °С) складе: $t = 21$ °С; $h = 46$ кДж/кг; $x = 10.5$ г/кг. Ці параметри, як показують одержані нами результати, цілком забезпечуються АСКП. При цьому повітря, яке залишає абсорбер, буде мати параметри $t = 29$ °С; $x = 10.5$ г/кг. Необхідне охолодження повітря при його постійному вологовмісті $x = 10.5$ г/кг досягається у одноступеневому НВО; продуктивність припливно-витяжної вентиляції при кратності повітрообміну у приміщенні $k=4-7$ (СНИП 2.04.05 091) складе 4950м³/г; холодопродуктивність



пілотної установки у вентиляційному варіанті (витрата повітря прийнята рівною 5000 м³/ч) складає 28.6 кВт. На рис. 3В представлено загальний вид АСКП, який включає блок охолодження 1, геліосистему 3, розташовану на даху будинку, бак –теплоакумулятор 4 з дублюючим джерелом нагрівання 5, систему повітроводів припливної 6 і витяжної 7 вентиляції. Порівняно з традиційними парокompресійними системами кондиціонування повітря АСКП забезпечує значне зниження енерговитрат (30-40%), що підтверджується також малочисленними відомими даними експлуатації аналогічних установок.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ:

1. Встановлено переважне використання в АСКП рідких сорбентів (абсорбентів). Виконано аналіз характеристик робочих тіл як абсорбентів для розроблених систем і показана перспективність розчинів LiBr+H₂O (LiBr), LiBr+LiNO₂+H₂O (LiBr) і LiBr+ ZNCl₂+CaBr₂ +H₂O (LiBr++); причому LiBr+ має кращу абсорбційну здібність, а LiBr++ має меншу корозійну активність і дозволяє знизити необхідну температуру зовнішнього гріючого джерела при десорбції, що принципово важливо при використанні сонячної енергії або інших низько потенційних джерел тепла.
2. Проведено розрахунковий аналіз робочих характеристик для широкого діапазону вихідних параметрів (температура і вологовміст зовнішнього повітря, тип і концентрація абсорбенту, температура охолоджуючої води, співвідношення витрат газу і рідини) і конструктивних особливостей тепломасообмінної апаратури АСКП, яка дозволила виявити якісні (прогнозоційні) характеристики систем і одержати кількісну інформацію, необхідну для подальшого інженерного розрахунку і проєктування.
3. Виконано моделювання робочих процесів в АСКП в цілому і її основних елементах: абсорберах, десорберах, випарних охолоджувачах, сонячних нагрівачах води і т.п. Моделювання забезпечує повний і взаємозв'язаний розрахунок АСКП.
4. Показана добра відповідність результатів розрахунків і експериментальних даних по сонячному нагріванню теплоносія і випарувальному охолодженню повітря.
5. Загальний аналіз принципових можливостей АСКП показав:
 - Випарувальні методи не можуть забезпечити потрібні комфортні параметри повітря у випадках, коли волого вміст зовнішнього повітря перевищує 13 г/кг;
 - Розроблена АСКП цілком здатна забезпечити одержання комфортних параметрів повітря для будь - яких кліматичних умов, причому як випарний охолоджувач оптимально використовувати одноступеневий регенеративний випарний охолоджувач непрямого типу.
 - Необхідна температура гріючого джерела для забезпечення сонячної регенерації абсорбенту в альтернативних системах складає $t_{17}=60-120^{\circ}\text{C}$. Можливість використання найбільш простих і дешевих плоских СК обмежена для цих систем областю невисоких волого вмістів і температур зовнішнього повітря;

- Для вирішення задачі сонячного кондиціонування повітря в широкому діапазоні кліматичних умов потрібно використання комбінованої системи нагрівання для регенерації абсорбенту (можливо також використання СК із селективним покриттям або вакуумованих трубчастих колекторів).
6. Розроблена пілотна установка для розрахункових умов м. Одеси (літній період – липень; $t_g^1 = 30^{\circ}\text{C}$, $x_g^1 = 13.3$ г/кг; витрата осушуваного повітряного потоку $G_g = 10000$ кг/г, витрата повітряного потоку, що подається в кондиціоноване приміщення 5000 кг/г, вентиляційна схема кондиціонування повітря, розчин LiBr++). Для забезпечення безперервного циклу (при розрахунковій температурі регенерації сорбенту 65 – 70 °С) необхідна площа сонячних колекторів складає 150 м².
 7. АСКП забезпечує зниження енерговитрат на 30-40% порівняно з традиційними парокompресійними системами кондиціонування повітря. Це підтверджується малочисленними даними експлуатації експериментальних сонячних установок зарубіжного виробництва.

СПИСОК ОПУБЛКОВАНИХ РОБІТ:

1. Поберезкин А.А., Смоляная И.А., Дорошенко А.В., Кириллов В.Х., Альтернативные системы кондиционирования воздуха на основе открытого абсорбционного цикла. //Холодильная техника и технология. -1999. -Выпуск 64; с. 34 - 47.
2. Поберезкин А.А., Дорошенко А.В., Концов М.М., Альтернативные холодильные и кондиционирующие системы с комбинированным греющим источником. //Холодильная техника и технология. -2000.- Выпуск 69; с. 47 - 56.
3. Поберезкин А.А., Концов М.М., Белал Брахим, Инженерное оформление солнечных холодильных и кондиционирующих систем. //Холодильная техника и технология. – 2002. - Выпуск 75; с. 39 - 42.
4. Koltun P., Doroshenko A.V., Poberezkin A.A., Smolyanaya I.A., Simulation of working processes in alternative cooling and air-conditioning systems on the basis of the open absorption cycle. // 20th International Congress of Refrigeration IIR/IF. Sydney. – 1999. - Volume III; paper 470.
5. INTAS PROJECT. Отчет по проекту. "Alternative Refrigerating, Heat-Pumping and Air-Conditioning Systems on the basis of the open absorption cycle and Solar Energy". //Reference Number: INTAS-96-1730. -1998.

Умовні позначення:

x_g - вологовміст, г/кг; t_{dp} - температура точки роси, К; p_s - тиск пари, Па; ξ - концентрація розчину, %; t_g - температура повітря, К; p_g - тиск насичених парів, Па; t_r - температура розчину, К; G - витрата рідини у геліосистемі, кг/с; c_p - теплоємність теплоносія в геліосистемі, Дж/(кг*К); M_{TA} - маса теплоносія в БТА, кг; t - температура теплоносія, К; η - к.к.д. сонячного колектора; ϕ - відносна вологість, %; U - коефіцієнт теплових втрат; h - ентальпія повітря, кДж/кг.

АНОТАЦІЯ

Поберезкін О.А. Розробка систем охолодження і кондиціонування повітря на основі абсорбційних циклів відкритого типу і сонячної енергії. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 – «Холодильна та криогенна техніка, системи кондиціонування». Одеська державна академія холоду, м. Одеса, 2002 р.

Погіршення взаємозалежних енергетичних і екологічних проблем визначає доцільність заміни парокompресійної техніки в холодильних і кондиціонувальних установках альтернативними системами на базі відкритого абсорбційного циклу. Визначено основні вимоги до альтернативних систем і розроблені схеми з плоскими сонячними колекторами як гріючого джерела. Проведено аналіз і рекомендовані абсорбенти для альтернативних систем. Виконано моделювання основних робочих процесів. Показано, що використання відкритого абсорбційного циклу приводить до зниження енерговитрат у порівнянні з парокompресійними охолоджувачами на 30-60%. Розроблена пілотна установка.

Ключові слова: сонячна енергетика, холодильні і кондиціонуючі системи, відкритий абсорбційний цикл, сонячний колектор, абсорбція, десорбція, випарувальне охолодження.

АННОТАЦІЯ

Поберезкин А.А. Разработка систем охлаждения и кондиционирования воздуха на основе абсорбционных циклов открытого типа и солнечной энергии. 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, 2002.

Рассмотрено современное состояние и выявлены основные тенденции использования солнечной энергии в холодильной и кондиционирующей технике, что связано с общим

XV 1138
 ИНСТИТУТ ХОЛОДА
 ОНАХТ

ухудшением взаимосвязанных энергетических и экологических проблем. В мире непрерывно возрастает интерес к открытому абсорбционному циклу применительно к холодильным (АСХЛ) и кондиционирующим (АСКВ) системам. Это направление рассматривается как важнейшая альтернатива традиционной парокompрессионной технике, что обусловлено экологической чистотой и возможностью значительного снижения энергозатрат.

Выработаны основные требования к альтернативным системам и принципы их построения. Разработаны схемные решения с учетом минимизации энергозатрат и экологически вредных последствий и показано, что в качестве внешнего греющего источника для таких систем оптимальна солнечная энергия, полностью либо частично обеспечивающая регенерацию абсорбента и непрерывность цикла. Для блока испарительного охлаждения использованы испарительные охладители непрямого типа НИО, что особенно перспективно для АСКВ. Применительно к АСКВ разработаны решения с воздушным и водяным контурами охлаждения. В качестве оптимальных для альтернативных систем определены теплообменные аппараты (ТМА) пленочного типа с регулярной шероховатостью поверхности при поперечноточной схеме взаимодействия рабочих потоков, унифицированные по всему ряду ТМА и обеспечивающие высокую эффективность рабочих процессов при минимизации энергозатрат на транспорт рабочих сред.

Выполнен анализ и выбор абсорбентов для альтернативных систем с учетом их теплофизических свойств, стоимости и влияния на состав воздушной среды и конструкционные материалы. Проведен анализ возможностей АСКВ при использовании в качестве абсорбентов $H_2O+LiBr - LiBr$, $H_2O+LiBr+LiNO_3 - LiBr+$, $H_2O+LiBr+ZnCl_2+CaBr_2 - LiBr++$ и показаны преимущества использования раствора $LiBr++$. В качестве основного источника тепла для регенерации абсорбента в открытых абсорбционных системах вполне приемлема гелиосистема с плоскими солнечными коллекторами, полностью либо частично обеспечивающая требуемый нагрев. Приведены экспериментальные характеристики такой системы. Выполнено моделирование рабочих процессов в АСКВ в целом и её основных элементах: абсорберах, десорберах, испарительных охладителях, солнечных нагревателях воды и т.д. Моделирование обеспечивает полный и взаимосвязанный расчет АСКВ. Экспериментально-расчетные исследования показали, что открытый абсорбционный цикл, работоспособный при атмосферном давлении, способен решить задачи охлаждения сред и их термовлажностной обработки для любых параметров наружного воздуха (влажностерождений и температур), не прибегая к искусственному охлаждению. При этом снижение энергозатрат, сравнительно с парокompрессионными охладителями, достигает 30-40%. На основе полученных теоретических и инженерных результатов разработана полномасштабная пилотная установка АСКВ. Работа выполнялась в соответствии с отраслевой программой энергосбережения Госпищепрома Министерства Аграрной

политики Украины, региональными программами энергосбережения и международным проектом INTAS 96 – 1730 "Альтернативные холодильные, теплонасосные и кондиционирующие системы на основе абсорбционного цикла и солнечной энергии, в качестве греющего источника".

Ключевые слова: солнечная энергетика, холодильные и кондиционирующие системы, открытый абсорбционный цикл, солнечный коллектор, абсорбция, десорбция, испарительное охлаждение, пилотная установка.

THE SUMMERY

Poberezkin A.A. Engineering of refrigerating and conditioning systems on the base of absorption cycles of an open type and solar energy. Manuscript.

A thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05. 05.14. - « Refrigerating and cryogenic engineering, system of conditioning ». The Odessa State Academy of Refrigeration, Odessa, 2002/

The aggravation of interdependent energy and ecological problems defines expediency of substitution vapourcompressional engineering in refrigerating and conditioning systems by alternate systems on the basis of an open absorption cycle. The base requirements to alternate systems are defined and the scheme with flat solar collectors designed as a heating radiant. The assaying is carried out and the absorbents for alternate systems are recommended. The simulation of the base working processes is lead. Is shown, that use of an open absorption cycle reduces in a drop of power inputs as contrasted to vapourcompressional by the coolants on 30-60 of %. The pilot plant designed.

Keywords: a solar power engineering, refrigerating and conditioning systems, open absorbtion cycle, solar collector, absorption, desorption, steam cooling, pilot plant.

Підписано до друку 02.12.2002.

Обсяг 1.0 друк. Арк. Формат 60х90/16.

Наклад 70 прим. Папір офсетний. Зам. № 528.

Надруковано у видавничому центрі ОДАХ

м. Одесса, вул. Дворянська, 1/3, к. 208

тел./факс (0482) 209163, 238931