

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

Тюхай Денис Станіславович

УДК 621.575.932:621.565.92

**ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В АПАРАТАХ З АБСОРБЦІЙНО-ДИФУЗІЙНИМИ  
ХОЛОДИЛЬНИМИ МАШИНАМИ ШЛЯХОМ ОРГАНІЗАЦІЇ РАЦІОНАЛЬНИХ  
ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ГЕНЕРАТОРНОГО ВУЗЛА**

Спеціальність 05.05.14 - холодильна і криогенна техніка, системи кондиціонування.

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса - 2000



Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії харчових технологій, Міністерство освіти і науки України.

- Науковий керівник – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
Тітлов О.С., Одеська державна академія харчових технологій.
- Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор Нікульшин Р.К., Одеська  
державна академія холоду.
- кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
Гліксон А.Л., “Інститут нових технологій”, м. Одеса, зам.  
директора по науковій роботі.
- Провідна установа - НДІ “Шторм”, м. Одеса, Міністерство промислової політики  
України.

Захист відбудеться 11 вересня 2000 р. о 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д41.087.01 при Одеській державній академії холоду (ОДАХ), за адресою: 65026, Україна, м. Одеса, вул. Дворянська, 1/3 – зал засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ОДАХ за адресою: 65026, Україна, м. Одеса, вул. Дворянська, 1/3.

Автореферат розісланий 21 липня 2000 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Лагутін А.Ю.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Перехід на озонобезпечні холодоагенти, здійснюваний в нинішній час в холодильній техніці, знов привернув увагу розробників до абсорбційно-дифузійних холодильних машин (АДХМ).

Робоче тіло АДХМ - водоаміачний розчин з додатком інертного газу – водню або гелію екологічно безпечно – має практично нульові значення озоноруйнівного потенціалу та потенціалу “парникового” ефекту.

Апарати з АДХМ мають і ряд таких унікальних якостей, як: а) безгучність, висока надійність та тривалий ресурс; б) можливість використання в одному апараті декількох різних джерел теплової енергії – як електричних, так і альтернативних (теплота згоряння органічного палива, сонячне випромінювання); в) можливість роботи з неякісними джерелами енергії, в тому числі і електричної в діапазоні напруги мережі 160...240 В. До достоїнства АДХМ слід віднести мінімальну вартість серед існуючих типів побутового холодильного обладнання.

Апарати з АДХМ забезпечують весь діапазон температур холодильного зберігання в побуті (від мінус 18 °С до 12 °С) як в стаціонарних, так і в транспортних умовах.

Разом з тим виробництво абсорбційних холодильних апаратів в різних країнах світу складає лише 5...10% від загального обсягу випуску побутових холодильних приладів. Така структура виробництва склалася із-за їх підвищеного (на 40...60 %) енергоспоживання у порівнянні з компресорними аналогами. Це призводить до додаткових експлуатаційних витрат та вносить відповідний вклад до формування парникового ефекту (непряма складова критерію TEWI).

Таке становище пов'язане як з недосконалістю циклу АДХМ, так і з недостатньою науковою та інженерною проробкою питань енергозбереження в сучасній побутовій абсорбційній холодильній техніці.

Цим і визначається актуальність нинішньої роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася у відповідності з планами бюджетних НДР Міністерства освіти України №0195U003455 “Розробити та дослідити апарати на основі абсорбційних холодильних машин для первинної термічної обробки та зберігання харчових продуктів в умовах фермерських та сільських господарств України”, і №0197U016061 “Наукові основи створення нових енергозберігаючих екологічно безпечних холодильних машин та установок для зберігання сільськогосподарської продукції” та “Науково-методологічні основи енергозбереження при холодильному зберіганні сільськогосподарських продуктів, напівфабрикатів та сировини”.

**Метою нинішньої роботи** є зниження енергоспоживання апаратів з АДХМ різного функціонального призначення.

Для досягнення вказаної мети були поставлені наступні задачі:

- Провести ексергетичний аналіз циклів АДХМ та визначити перспективні напрями розробок;
- Провести аналіз факторів, визначаючих енергетичну ефективність роботи апаратів з АДХМ абсорбційного типу у широкому діапазоні експлуатаційних параметрів;
- Виконати комплекс експериментальних досліджень АДХМ та апаратів на їхній основі з метою перевірки теоретичних положень та принципів оптимального управління;
- З урахуванням результатів теоретичних та експериментальних досліджень розробити електронну систему управління апаратами з АДХМ різного функціонального призначення.

**Наукову новизну** склали наступні результати:

- Методика ексергетичного розрахунку та аналізу циклів АДХМ різного функціонального призначення;
- Методика пошуку оптимальних режимів роботи термосифону АДХМ;
- Методика розрахунку теплових режимів рідинного теплообмінника АДХМ з урахуванням теплових втрат в навколишнє середовище в режимі природної конвекції та радіаційного теплообміну;
- Результати експериментальних досліджень АДХМ та апаратів на їхній основі в енергозберігаючих режимах роботи;
- Алгоритм управління роботою енергозберігаючих апаратів з АДХМ у широкому діапазоні параметрів експлуатації.

В роботі захищаються наступні **наукові положення**:

1. Максимальна питома продуктивність перекачувального термосифону АДХМ з пари холодильного агента (аміаку) досягається у режимах з мінімальною різницею температур по висоті його підйомної частини.
2. Максимальна енергетична ефективність універсального абсорбційного холодильного апарату досягається у режимі позиційного управління з розподілом теплового навантаження на термосифон в часі та по величині – максимальне навантаження у пусковий період, номінальне у робочий період та вимкнення при досягненні необхідної температури об'єкту охолодження, причому перехід від максимального навантаження до номінального здійснюється при досягненні температури насичення пару аміаку на вході до конденсатору АДХМ.

**Практична цінність досліджень.** Рекомендації щодо оптимізації енергетичних характеристик холодильних апаратів абсорбційного типу та алгоритми оптимального управління використовуються у відділі головного конструктора ОАО “Васильківський завод холодильників” при проектуванні нових моделей транспортних холодильників, мінібарів та низькотемпературних камер.

**Особистий внесок здобувача.** У роботах, що опублікувалися, надрукованих у співавторстві, здобувачу належать окремі теоретичні розробки, постановка та виконання експерименту, науковий аналіз результатів досліджень, формулювання висновків та пропозицій.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідалися на щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу та наукових співробітників ОГАПТ у період 1996-2000 р., обласній науково-технічній конференції “Шляхи підвищення ефективності переробки та зберігання сільськогосподарської продукції” (Одеса, листопад 1996 р.), обласній науково-практичній конференції “Розв'язування проблем раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, економіки та екології” (Одеса, липень 1997 р.), міжнародних науково-практичних конференціях “Перспективні напрями розвитку екології, економіки, енергетики” (Одеса, листопад 1997 і листопад 1998), міжнародній науково-практичній конференції “Вода та здоров'я – 98” (Одеса, вересень 1998 р.), науково-практичній конференції “Шляхи підвищення ефективності зберігання та переробки сільськогосподарської продукції (Одеса, лютий 1999 р.), міжнародному семінарі “Non-compression refrigeration and cooling” (Одеса, червень 1999 р.). Результати розробок демонструвалися на тематичних виставках Одеського центру науково-технічної та економічної інформації Міннауки України: “Раціональне використання та економія паливно-енергетичних ресурсів” (червень 1996 р.), “Шляхи підвищення ефективності переробки та зберігання сільськогосподарської продукції” (листопад 1996 р.), “Товари народного споживання” (червень 1998 р.), “Перспективні напрями розвитку екології, економіки, енергетики” (листопад 1998 р.), а також міжнародній виставці “Продовольчі товари, упаковка і тара” (Одеса, концертно-виставочний комплекс морського вокзалу, листопад 1999 р.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації опублікований у 15 статтях у наукових журналах та збірках наукових праць.

**Вірогідність наукових та практичних результатів.** Справедливість математичних моделей підтверджується порівняльним аналізом розрахункових та експериментальних результатів, при цьому граничними умовами є параметри реальних моделей. Результати експериментальних досліджень одержані з використанням сучасного вимірювального обладнання, що дозволяє забезпечити необхідну точність.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, бібліографії та двох додатків. Основний зміст викладений на 147 сторінках машинописного тексту, містить 23 малюнка на 23 сторінках, 7 таблиць на 8 сторінках, список використаних джерел з 171 найменування.

**Сучасний рівень розробок та постановка задач досліджень**

Аналіз сучасного виробництва і напрямів розробок апаратів побутової холодильної техніки абсорбційного типу, проведений з допомогою спеціалізованих літературно-патентних джерел, показав, що незважаючи на повну екологічну безпеку їхнього робочого тіла та ряду унікальних експлуатаційних характеристик (безгучність, тривалий ресурс, надійність, низька вартість, можливість роботи з різними енергоносіями), подальший їхній розвиток, у першу чергу, повинен бути пов'язаний з впровадженням таких енергозберігаючих технологій, що дозволяють їм наблизитися по енергоспоживанню до аналогів компресорного типу. При цьому, як показав аналіз сучасного виробництва, ці технології не повинні призводити до ускладнення конструкції, та бути, по можливості, універсальними для всіх типів холодильних апаратів абсорбційного типу.

Сучасні розробки питань енергозбереження у апаратах з АДХМ можна об'єднати в чотири напрями: а) підвищення термодинамічної ефективності циклу АДХМ; б) зниження теплових втрат від елементів генераторного вузла АДХМ у навколишнє середовище; в) раціональне використання виробленого холоду; г) оптимальне управління АДХМ у складі холодильного апарату.

Аналіз ефективності відомих технічних рішень дозволив визначити перспективні шляхи розробок та сформулювати задачі досліджень.

### **Аналіз та моделювання теплотехнічних характеристик побутових абсорбційних холодильних апаратів**

Для вибору найбільш перспективних напрямів вдосконалення енергетичних характеристик апаратів з АДХМ був використаний ексергетичний аналіз, що дозволяє найбільш ефективно виявляти неблагополучні елементи установки.

Відомі два підходи до ексергетичного аналізу. При першому - визначають ексергетичні к.к.д. окремих елементів установок, порівнюють їхні величини, з яких і судять про термодинамічну досконалість процесів. В подальшому - проводиться розрахунок ексергетичного к.к.д. всієї установки. При другому підході визначають відносні ексергетичні втрати у елементах:

$$\Omega_i = \frac{T_{o.c.} (\sum \Delta S)_i}{E_{ex}},$$

де  $(\sum \Delta S)_i$  - сума змінювань ентропії всіх тіл, що беруть участь у процесі;

$E_{ex}$  - енергія, підведена до установки;

по їхнім величинам судять про термодинамічну досконалість процесів, а після цього розраховується ексергетичний к.к.д. установки по універсальній формулі:

$$\eta_e = 1 - \sum \Omega_i.$$

Необхідною умовою у обох випадках є знання всіх термодинамічних параметрів у характерних точках циклу. Обидва підхода дають ідентичні результати. У подальшому перевагу віддане другому як менш трудомісткому та зручному при проведенні аналізу.

При проведенні ексергетичного розрахунку використовувались результати експериментальних досліджень НТК “Стугна-101”, проведені в ОГАПТ.

Аналіз одержаних результатів показав: а) енергетична ефективність абсорбційних апаратів з палинковими приладами вища, ніж у аналогів з електричними джерелами енергії, в 3 рази (для умов України); б) основні енергетичні втрати у АДХМ приходяться на процеси генерації пари та транспортування рідкої фази у термосифоні (при роботі на електроенергії – 72 %, з палинковими приладами – 64 %).

Подальші теоретичні дослідження у роботі були пов'язані з перекачувальним термосифоном - як найбільш неблагополучним, з точки зору енергозбереження, вузлом АДХМ.

Відомі теоретичні положення не дозволяють судити про ефективність того або іншого режиму роботи перекачувального термосифону АДХМ із-за відзнаки режимів роботи на чистих речовинах та сумішах, наприклад, ВАР. При постійному тиску збільшення теплового навантаження термосифону ( $Q_{TC}$ ) у випадку чистої речовини викликає додаткову генерацію пари, що призводить до зростання сили, що виштовхує, та збільшення витрати перекачуваної рідини. У випадку же ВАР додаткова генерація викликає зміну складу як парової, так і рідкої суміші. Така модифікація властивостей робочого тіла зумовлює і різницю в інтенсивності процесів теплообміну при кипінні. Так, наприклад, для ВАР зниження  $\xi$  від 0,35 до 0,15 призводить до зростання коефіцієнту тепловіддачі як мінімум на 37 %.

Для оцінки перспективності режимів роботи перекачувальних термосифонів був проведений аналіз результатів експериментальних досліджень серійних АДХМ виробництва ВЗХ з U-образним барботажним горизонтальним ректифікатором. При цьому використовувалася оригінальна методика розрахунку, що дозволяє визначити затрати енергії при генерації 1 кг пари аміаку на виході термосифону.

В результаті були виявлені оптимальні значення величини потужності теплопідводу та температури (рис. 1) на виході термосифону відповідні мінімуму енерговитрат. Наявність мінімуму енерговитрат можна пояснити тим, що у досліджуваному діапазоні параметрів термосифону досягається оптимальне співвідношення складу рідкої та парової фази на виході термосифону.

Відсутність у нинішній час належних теоретичних розробок в області перекачувальних термосифонів АДХМ не дозволяє провести детальне вивчення знайденого ефекту питань, пов'язаних з його практичним застосуванням. Такий стан обумовлює необхідність проведення

експериментальних досліджень, у яких повинні бути вивчені питання, пов'язані з ефектом енергозбереження, на реальних конструкціях АДХМ.

Для аналізу абсорбційних холодильних апаратів як об'єктів автоматичного управління був введений критерій оптимальності, становлячий мінімум енерговитрат при забезпеченні необхідних експлуатаційних режимів.

Апарат з АДХМ, з точки зору автоматичного управління, можна уявити як об'єкт з вхідним параметром - керуючим впливом (теплове навантаження термосифону), вихідними параметрами (температура у холодильній камері, мінімум енергоспоживання у заданому експлуатаційному режимі) та множиною обурюючих впливів.

Множина обурюючих впливів на роботу побутового абсорбційного холодильного апарату може бути призведена до трьох найбільш значущих факторів. Це вплив: а) температури довкілля ( $T_{o.c.}$ ); б) міри завантаження холодильної камери та типу продукції; в) особливостей конструкції та експлуатації холодильного апарату.

Показано, що весь комплекс обурюючих впливів може контролюватися по двом величинам температур -  $T_{o.c.}$  та  $t_{ХК}$ . Найбільш значущим фактором є  $T_{o.c.}$ , що не тільки визначає величину теплоприпливів до холодильної камери, але й умови теплоскидання з теплорозсіювачих елементів АДХМ. Так, наприклад, при низькій  $T_{o.c.}$  теплоприпливи до холодильної камери знижуються, а втрати тепла від генераторного вузла до навколишнього середовища зростають.

У нинішній час для експлуатації на території України та країн СНД розробляються побутові холодильні апарати класу SN, призначені для “жорстких” умов помірного клімату. При аналізі режимів робота абсорбційного холодильного апарату розглядалася на межах діапазону, встановленого для класу SN:  $T_{o.c.} = 10 \dots 32^\circ \text{C}$ .

Сучасні розробники абсорбційних холодильних апаратів орієнтуються на роботу при  $T_{o.c.} = 32^\circ \text{C}$ , що, як правило, пов'язане із збільшенням КРЧ. Разом з тим такий підхід обумовлює невиправдані затрати енергії при роботі біля нижнього діапазону класу SN ( $T_{o.c.} \rightarrow 10^\circ \text{C}$ ), що пов'язане з високою інерційністю генераторного вузла АДХМ у період запуску, коли вся підводима енергія іде лише на його розігрів та відтиснення інертного газу до контуру природного круговороту.

При аналізі різних способів автоматичного управління було показано, що максимальна ефективність систем автоматичного управління режимами абсорбційного апарату досягається при установці АДХМ у камери з високим термічним опором огорожувальних конструкцій, наприклад, у НТК з “суперізоляцією”. У відзнаку від однокамерних або двокамерних моделей з НТВ, у яких жорстко регламентоване співвідношення температур у камерах, НТК можуть застосовуватися

практично у всьому діапазоні температур, що використовується у побуті – від мінус 18 °С до 12 °С, і, таким чином, стати універсальним холодильним приладом. Реалізація таких режимів холодильної обробки та зберігання не пов'язана з принциповими обмеженнями і може бути досягнута за допомогою відомих способів управління у апаратах з АДХМ.

Енергозберігаючим елементом у складі АДХМ є теплообмінник розчинів (РТО), здійснюючий регенерацію тепла слабого розчину, що виходить з термосифону. РТО є типовим теплообмінником “труба у трубі”, при цьому роль його у АДХМ значна.

З одного боку, РТО повинен максимально регенерувати тепло слабого розчину, з іншого боку, підвищення температури міцного розчину знижує ефективність ректифікатора, що призводить до збільшення кількості пари води у дефлегматорі та зниженню енергетичної ефективності АДХМ. У свою чергу, максимально ефективна робота абсорберу досягається при температурі слабого розчину близької до  $T_{o.c.}$ , що вимагає збільшення габаритів теплообмінника. На практиці ці питання вирішуються частковою теплоізоляцією поверхні РТО та частковим розсіюванням тепла слабого розчину до навколишнього середовища.

Для вирішення задачі оптимізації РТО розроблена математична модель його теплових режимів з урахуванням теплових втрат до навколишнього середовища у режимі природної конвекції та випромінювання на нетеплоізолюваної ділянці.

Для перевірконого розрахунку РТО у режимі протитоку задана величина його поверхні  $F_0$  або довжина  $l_0$  та температури потоку на вході  $-T'_f = T'_{LH(f)}$  та  $T'_W = T'_{LH(W)}$ .

Для елементарної ділянки РТО  $dl$  рівняння теплопередачі:

а) слабкий ВАР – міцний ВАР:

$$dQ_{W-f} = K_1 \cdot (T_W - T_f) \cdot \pi \cdot d_f \cdot dl; \quad (1)$$

б) слабкий ВАР – навколишнє середовище:

$$dQ''_{LH} = K_2 \cdot (T_W - T_{O.C.}) \cdot \pi \cdot d_W \cdot dl. \quad (2)$$

При пошуку рішення приймаємо  $K_1 = const$  та  $K_2 = const$ .

З урахуванням балансу тепла система диференціальних рівнянь протитічного РТО з урахуванням теплових втрат до навколишнього середовища від слабого ВАР буде мати вид:

$$C_f dT_f = K_1 \cdot (T_w - T_f) \cdot \pi \cdot d_f \cdot dl, \quad (3)$$

$$-C_W \cdot dT_W = K_1 \cdot (T_W - T_f) \cdot \pi \cdot d_f \cdot dl + K_2 \cdot (T_W - T_{O.C.}) \cdot \pi \cdot d_W \cdot dl. \quad (4)$$

Знак “-” у рівнянні (4) враховує зменшення температури слабого ВАР при його русі з ЖТО.

Рішення системи рівнянь (3) - (4) було знайдене у виді різниці температур  $(T_f - T_{O.C.})$  та  $(T_W - T_{O.C.})$ :

$$T_f - T_{O.C.} = C_1 \cdot \exp(n_1 \cdot l) + C_2 \cdot \exp(n_2 \cdot l),$$

$$T_W - T_{O.C.} = C_3 \cdot \exp(n_1 \cdot l) + C_4 \cdot \exp(n_2 \cdot l),$$

де  $C_1, C_2, C_3, C_4$  – постійні інтегрування, що необхідно визначити з урахуванням граничних умов.

Система рівнянь у цьому випадку має вид:

$$T_f'' - T_{O.C.} = C_1 + C_2,$$

$$T_W' - T_{O.C.} = C_3 + C_4,$$

$$T_f' - T_{O.C.} = C_1 \cdot \exp(n_1 \cdot l_0) + C_2 \cdot \exp(n_2 \cdot l_0),$$

$$T_W'' - T_{O.C.} = C_3 \cdot \exp(n_1 \cdot l_0) + C_4 \cdot \exp(n_2 \cdot l_0),$$

$$\frac{K_1 \cdot \pi \cdot d_f}{C_f} \cdot (T_W' - T_f'') = n_1 \cdot C_1 + n_2 \cdot C_2,$$

$$-\frac{K_1 \cdot \pi \cdot d_f}{C_W} \cdot (T_W' - T_f'') - \frac{K_2 \cdot \pi \cdot d_W}{C_W} \cdot (T_W' - T_{O.C.}) = n_1 \cdot C_3 + n_2 \cdot C_4,$$

де  $T_f''$  та  $T_W''$  - невідомі температури потоку на виході.

Для зниження помилки розрахунку температурних полів РТО із-за наявності залежності  $K_2 = f(T_W - T_{O.C.})$  виконується ряд послідовних наближень.

### **Експериментальні дослідження АДХМ та холодильних апаратів на їхній основі**

У процесі проведення експериментальних досліджень вивчалися способи теплопідводу до термосифону, способи управління та вплив додаткової теплоізоляції на енергетичну ефективність АДХМ.

У зв'язку з нерівномірністю температурного поля випарника АДХМ при аналізі використовували середньоінтегральну температуру.

У якості об'єктів досліджень взяті два типу абсорбційних холодильних апаратів у “стандартному” та “низькотемпературному” виконанні, що відрізняються складом робочого тіла. З метою одержання найбільш загальних закономірностей дослідження способів теплопідводу до термосифону та впливу додаткової теплоізоляції проводилися на окремих АДХМ (без холодильної камери).

Дослідження термосифону у складі АДХМ показали значну (до 7 °С) нерівномірність температурного поля по довжині підйомної ділянки, що пов'язане з втратами тепла до навколишнього середовища. Така ситуація обумовлює часткову конденсацію пари, зростання

щільності парорідинного потоку, а у кінцевому рахунку, додаткові енерговитрати. Для усунення теплових втрат на підйомній ділянці був встановлений додатковий електричний нагрівач (рис. 2).

Теплопідвід до міцного розчину у цьому випадку здійснювався послідовно – спочатку у зоні основного нагрівача, а після цього - у зоні додаткового, і таким чином розчин минає немов би перший каскад, а після цього – другий. У зв'язку з відсутністю загальноприйнятої термінології такий спосіб теплопідводу до термосифону АДХМ був названий “каскадним”.

Величина теплопідводу на додатковий електронагрівач ( $Q''_{TC}$ ) не перевищувала 20 Вт, а сумарна величина  $Q_{TC}$  - 70 Вт.

Результати досліджень представлені на рис. 3, з якого видно, що одна й та ж величина холодопродуктивності може бути досягнута при тепловому навантаженні на основний нагрівач 67,5 Вт або розподіленим навантаженням на основний та додатковий нагрівачі в сумі 60 Вт. Таким чином можна одержати економію енергії порядку 10 %, якщо розподілити між основним та додатковим нагрівачами теплове навантаження 60 Вт, так, щоб на основному нагрівачі воно складало 45...50 Вт, а на додатковому – 10...15 Вт, при цьому аналіз температурних полів термосифону показує, що оптимум холодопродуктивності досягається у тому випадку, коли має місце найменший перепад температур по висоті його підйомної частини. Аналогічні результати одержані і при дослідженні АДХМ у “низькотемпературному” виконанні.

По результатах таких досліджень визначали оптимальний діапазон температур генерації для АДХМ у “стандартному” та “низькотемпературному” виконанні у різних умовах експлуатації (рис. 4).

Вивчення способів управління проводилося на моделях НТК типу “Стугна-101”. У камері підтримувалася середня температура згідно з вимогами ДГСТУ: а) мінус 18 °С; б) мінус 12 °С; в) мінус 6 °С; г) 5 °С; д) 12 °С, таким чином НТК є універсальним холодильним приладом. Дослідження проводилися при  $T_{o.c.}$  від 10 °С до 32 °С.

Найбільша ефективність була досягнута при режимах теплопідводу: а) “110-70-0”; б) “70-0”; в) “110-0”.

Результати досліджень при  $T_{o.c.}=25$  °С представлені на рис. 5.

Показане, що мінімальне енергоспоживання універсальної НТК досягнуте у режимі управління (“110-70-0”). Цей режим характеризується короткочасним періодом пуску ( $Q_{TC}=110$  Вт) з подальшим переходом на меншу потужність ( $Q_{TC}=70$  Вт) та повне вимкнення ( $Q_{TC}=0$  Вт) при досягненні заданої температури у камері. Зниження енергоспоживання при такому управлінні досягає 20 %, що виводить НТК з АДХМ на рівень енергоспоживання компресійних аналогів.

Вивчення впливу додаткової теплоізоляції на енергетичну ефективність абсорбційних апаратів досліджень проводилася на окремій АДХМ “стандартного” виконання. У дослідженнях

моделювались адіабатні умови роботи генераторного вузла. Первинна теплоізоляція генераторного вузла (набивка скловатою) була підсилена за допомогою додаткових пінопластових плит.

При порівнянні характеристик АДХМ з серійною теплоізоляцією і “адіабатной” можна говорити про зростання енергетичної ефективності АДХМ на 12,7 % у найбільш оптимальному діапазоні теплових навантажень на термосифоні (70 Вт) (рис. 6).

Найбільший ефект від установки “адіабатного” кожуха досягається при роботі АДХМ у режимі позиційного регулювання.

У цьому випадку температура елементів генераторного вузла змінюється незначно, і вихід на робочий режим у характерних режимах теплопідводу ( $Q_{TC}=110$  Вт та  $Q_{TC}=70$  Вт), здійснюється практично в один час.

У лабораторних умовах “адіабатний” режим роботи елементів генераторного вузла реалізовувався за рахунок зростання габаритів холодильного апарату. Така конструкція перспективна за відсутності масогабаритних обмежень або при наявності високоефективних теплоізоляційних матеріалів.

Для реалізації енергозберігаючих режимів у апаратах з АДХМ використовувалася спеціальна система автоматичного управління. У якості регулятора та системи збору і обробки інформації використано мікропроцесорний контролер.

Вжиття такого контролера дозволяє: а) виробляти збір інформації як про поточний стан управляемого апарату, так і про стан умов його експлуатації; б) ефективно перетворювати сигнали вимірального приладу; в) оснащувати побутові холодильні апарати зручним користувачевим інтерфейсом; г) не обмежувати на алгоритми регулювання.

У якості вхідного впливу залишається величина теплового навантаження на термосифон, контрольованим обурюючим впливом -  $T_{o.c.}$ , у якості вихідних параметрів контролюються дві температури:  $t_{ХК}$  та температура пару на вході до конденсатору ( $t'$ ).

Контроль параметрів системи та вироблення адекватного впливу на апарат виробляється модулем регулювання та оптимізації, для якого поточні означені температури є параметрами стану системи, з урахуванням яких виробляється керуючий вплив у виді величини та способу теплопідводу до термосифону.

Алгоритм управління абсорбційним холодильним апаратом представлений вигляді таблиці (табл. 1).

Таблиця 1 - Алгоритм управління абсорбційним холодильним апаратом

		Температура навколишнього середовища, °C			
		10...16	16...22	22...28	28...32
“Стандартна” АДХМ		“110- (42,5 +17,5)”	“110- (45+15)”	“110- (47,5 +12,5)”	“110- (50+10)”
“Низькотемпературна”	***	“110- (42,5 +17,5)”	“110- (42,5 +17,5)”	“110- (50+12, 5)”	“110- (52.5 +10)”
	**	“110- (45+17, 5)”	“110- (47,5 +15)”	“110- (50+12, 5)”	“110- (52.5 +10)”
	*	“110- (45+17, 5)”	“110- (47,5 +15)”	“110- (50+12, 5)”	“110- (52.5 +10)”
	+5 °C	“110- (45+17, 5)”	“110- (47,5 +15)”	“110- (50+12, 5)”	“110- (52.5 +10)”
	+12 °C	- -	“110-0”	“110-0”	“110-0”

## ВИСНОВКИ

1. У дисертації наведене теоретичне обґрунтування та нове рішення наукової проблеми, що полягає у тому, що при створенні енергозберігаючих апаратів з АДХМ різного функціонального призначення найбільший ефект досягається за рахунок заходів, спрямованих на організацію раціональних теплових режимів генераторного вузла та створення систем управління режимами теплопідводу.
2. Енергетична ефективність абсорбційних холодильних апаратів з пальниковими приладами вище, ніж у аналогічних з електричними джерелами енергії, у 3 рази, причому їх енергетичний к.к.д. вище, ніж у аналогів компресійного типу, в 1,7 рази.
3. Основні енергетичні втрати при реалізації циклу АДХМ приходяться на процеси парстворювання у термосифоні, їхня величина на порядок вище, ніж у інших елементах холодильного апарату.
4. Коефіцієнти подачі перекачувальних термосифонів при роботі на бінарних сумішах, у зокрема на ВАР, на відміну від чистих речовин, залежать від величини підведеного теплового навантаження.
5. Енергозберігаючий режим роботи термосифону характеризується мінімальною різницею температур по висоті підйомної частини (порядку 0,5° C) та реалізується в усіх моделях холодильних апаратів, що відрізняються між собою складом робочого тіла, при постійній для кожної моделі величині сумарного теплового навантаження.
6. Енергозберігаючі режими роботи АДХМ дозволяє забезпечити каскадний спосіб теплопідводу на термосифон, причому для типових конструкцій при оптимальному співвідношенні складу

робочого тіла, температури кипіння та теплового навантаження величина зниження енергоспоживання складає 10...16 %.

7. Величина сумарного теплового навантаження на термосифон при каскадному способі теплопідводу у оптимальному режимі не залежить від температури навколишнього середовища, однак при її збільшенні відповідним чином збільшується частка теплопідводу на основний нагрівач.

8. Величина зони теплоізоляції типового РТО у АДХМ з U-образним ректифікатором повинна обиратися з урахуванням режимів роботи термосифону, ректифікатора та абсорберу.

9. Множина обурюючих впливів на роботу холодильного апарату може контролюватися по температурам у холодильній камері та навколишнього середовища, причому для роботи у енергозберігаючих режимах необхідний додатковий контроль температури входу до конденсатору, яка не повинна перевищувати температуру насичення аміаку.

10. Мінімальне енергоспоживання при роботі універсальної НТК у широкому діапазоні експлуатаційних параметрів досягається у позиційному режимі теплопідводу "110-70-0", причому при реалізації режимів зберігання 5...12 °С можна використовувати традиційний спосіб теплопідводу "110-0", а при установці "адіабатної" теплоізоляції на генераторному вузлі, при реалізації режимів мінус 18 °С...мінус 6 °С – режим "70-0".

### Умовні позначення

TEWI - Total Equivalent Warming Impact (повний еквівалент глобального потеплення); НТК - низькотемпературна камера; ВАР - водоаміачний розчин; ВЗХ - Васильківський завод холодильників;  $\xi$  - масова концентрація холодоагента у суміші, кг/кг суміші; НТВ - низькотемпературне відділення холодильного апарату; РТО (LH) - рідинний теплообмінник;  $T_{o.c.}$  - температура навколишнього середовища;  $t_{ХК}$  - температура у холодильній камері; К – коефіцієнт теплопередачі; d – діаметр; c – повна теплоємність масової витрати;  $f(w)$  - відноситься до міцного (слабого) ВАР.

### Список опублікованих праць

1. Тюхай Д.С. Пошук енергозберігаючих режимів роботи абсорбційно-дифузійної техніки на базі уніфікованої АДХМ //Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій. – Одеса:1999. –Вип.20. –С. 229-234.
2. Титлов А.С., Васылив О.Б., Тюхай Д.С. Новые конструкции бытовых холодильников //Механизация и электрификация сельского хозяйства. -1997. -№ 8. -С. 17-19.
3. Ботук Ю.С., Титлов А.С., Васылив О.Б., Тюхай Д.С. Эксергетический анализ преобразования энергии при работе абсорбционно-диффузионных и компрессионных бытовых холодильных машин //Сб. науч. статей "Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов, экономика, экология". -Одесса: АОЗТ ИРЕНТТ. -1997. -С. 13-15.
4. Титлов А.С., Васылив О.Б., Мазур А.В., Тюхай Д.С. Разработка энергосберегающих систем управления аппаратов бытовой холодильной техники //Сб. науч. статей "Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов, экономика, экология". -Одесса: АОЗТ ИРЕНТТ. -1997. -С. 16-18.
5. Титлов А.С., Васылив О.Б., Тюхай Д.С. Новые конструкции аппаратов для фермерских и крестьянских хозяйств //Аграрная наука. -1998. -№ 2. -С. 24.
6. Титлов А.С., Васылив О.Б., Тюхай Д.С., Мазур А.В. Экспериментальные исследования абсорбционных холодильных аппаратов различного функционального назначения //Сб. науч. статей "Перспективные направления развития экологии, экономики и энергетики." -Одесса: АОЗТ ИРЕНТТ. -1997. -С. 272-277.
7. Титлов О.С., Василів О.Б., Тюхай Д.С. Нові апарати для первинної термічної переробки та зберігання харчових продуктів //Техніка АПК. -1998. -№ 1. -С.14.
8. Титлов А.С., Васылив О.Б., Тюхай Д.С. Разработка бытовых аппаратов комбинированного термического воздействия //Хранение и переработка сельхозсырья. -1998.-№ 5. -С. 37-38
9. Титлов А.С., Васылив О.Б., Тюхай Д.С. Разработка новых моделей низкотемпературных бытовых холодильных аппаратов //Хранение и переработка сельхозсырья. - 1998.-№ 7. -С.48-49
10. Титлов А.С., Васылив О.Б., Тюхай Д.С. Разработка альтернативных водоохлаждающих систем на базе безнасосных абсорбционных холодильных машин //Научные труды международной научно-практической конференции "Вода и здоровье - 98", 15-18 сент. 1998 г., - Одесса: Астропинт. -1998.-С. 182-183.
11. Захаров Н.Д., Титлов А.С., Васылив О.Б., Тюхай Д.С. Новые конструкции энергосберегающих бытовых абсорбционных холодильных аппаратов //Холодильная техника и технология. -1998. -Вып.1. -№ 58. -С.44-52.

12. Титлов А.С., Бабков Н.И., Васылив О.Б., Тюхай Д.С., Паламарчук А.С., Недобийчук Т.В. Разработка автономных теплоиспользующих холодильных аппаратов для замораживания продукции речного и прудового рыбоводства //Пути повышения эффективности хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: Сб. науч. ст. -Одесса: ОЦНТЭИ. -1999. -С.135-139.

13. Zakharov N.D., Titlov A.S., Vasyliv O.B., Tyukhai D.S. Development of Energy-Saving Household Absorption Refrigeration Equipment //International workshop "Non Compression Refrigeration and Cooling", june 7-11, 1999, Odessa , Ukraine, 1999. -P.100-105.

14. Захаров Н.Д., Тюхай Д.С., Титлов А.С., Васылив О.Б., Халайджи В.Н. Проблемы энергосбережения в бытовой абсорбционной холодильной технике //Холодильная техника и технология. –1999. №62. –С. 108-119.

15. Титлов А.С., Васылив О.Б., Тюхай Д.С., Безусов А.Т., Бабков Н.И., Паламарчук А.С. Разработка автономных мобильных аппаратов абсорбционного типа для первичной холодильной обработки продукции речного и прудового рыбоводства //Холодильная техника и технология. – 1999. -№ 64. -С. 61-64.

#### Анотація

Тюхай Д.С. Зниження енергоспоживання у апаратах з абсорбційно-дифузійними холодильними машинами шляхом організації раціональних теплових режимів генераторного вузла. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук з спеціальності 05.05.14 – холодильна і криогенна техніка, системи кондиціонування. – Одеська державна академія холоду, Одеса, 2000.

Дисертація присвячена питанням зниження енергоспоживання у апаратах з абсорбційно-дифузійними холодильними машинами (АДХМ). У роботі розглядаються питання: а) організація оптимальних, з позиції енергозбереження, режимів роботи перекачувального термосифону АДХМ шляхом розподілу (в часу та по поверхні) теплового навантаження; б) оптимізація теплових режимів теплообмінника розчинів АДХМ за рахунок модифікації теплоізоляційного покриття. Встановлено, що максимальний ефект енергозбереження (до 30 %) досягається за рахунок організації раціональних теплових режимів генераторного вузла та систем управління режимами теплопідводу.

Ключові слова: абсорбційно-дифузійна холодильна машина, перекачувальний термосифон, автоматичне управління, енергоспоживання.

### Summary

Tyukhai D.S. Reduction of Energy Consumption in Apparatus with Absorption-Diffusion Refrigerating Machines by Means of Organization Rational Heat Regimes of Generator Unit. – Manuscript.

Thesis for a candidate degree in technical sciences by speciality 05.05.14 – refrigerating and cryogenic technique, air-conditioning systems. – Odessa State Refrigerating Academy. Odessa, 2000.

Dissertation is devoted to problems connected with reduction of energy consumption in apparatus with absorption-diffusion refrigerating machines (ADRM). The following questions are considered: a) organization of optimum energy consuming work regimes of pumping ADRM thermosiphon in the way of time and surface distribution of heat load; b) optimization of heat regimes of solution heat exchanger of ADRM due to change of thermally insulating coating. It's settled that maximum energy-saving effect (to 30 %) is achieved due to organization of rational heat regimes of generator unit and heat supply regime automatic control systems.

Key words: absorption-diffusion refrigerating machine, pumping thermosiphon, automatic control, energy consumption.

### Аннотация

Тюхай Д.С. Снижение энергопотребления в аппаратах с абсорбционно-диффузионными холодильными машинами путем организации рациональных тепловых режимов генераторного узла. – 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, 2000.

Использование аппаратов с АДХМ в бытовой холодильной технике ограничено из-за их высокого энергопотребления.

Для выбора наиболее перспективных направлений совершенствования энергетических характеристик аппаратов с АДХМ был использован эксергетический анализ, который показал, что основные энергетические потери в АДХМ приходятся на процессы генерации пара и транспортировки жидкой фазы в перекачивающем термосифоне.

Для оценки перспективности режимов работы перекачивающих термосифонов был проведен анализ результатов экспериментальных исследований серийных АДХМ. Были обнаружены оптимальные значения величины мощности теплоподвода и температуры на выходе термосифона, соответствующие минимуму энергозатрат.

Для анализа абсорбционных холодильных аппаратов как объектов автоматического управления был введен критерий оптимальности, представляющий минимум энергозатрат при обеспечении требуемых эксплуатационных режимов. Показано, что весь комплекс возмущающих воздействий может контролироваться по двум величинам температур  $T_{o.c.}$  и  $t_{ХК}$ .

Энергосберегающим элементом в составе АДХМ является теплообменник растворов (ЖТО), осуществляющий регенерацию тепла слабого раствора, выходящего из термосифона. С одной стороны, ЖТО должен максимально регенерировать тепло слабого раствора, с другой стороны, значительное повышение температуры крепкого раствора снижает эффективность ректификатора, что приводит к увеличению количества паров воды в дефлегматоре и снижению энергетической эффективности аппарата.

При моделировании ЖТО записывалась система дифференциальных уравнений, состоящая из уравнений теплопередачи, теплоотдачи и баланса тепла.

В процессе проведения экспериментальных исследований изучались способы теплоподвода к термосифону, способы управления и влияние дополнительной теплоизоляции на энергетическую эффективность аппаратов с АДХМ.

Исследования термосифона в составе АДХМ показали значительную (до 7 °С) неравномерность температурного поля по длине подъемного участка, что связано с потерями тепла в окружающую среду. Такая ситуация предопределяет частичную конденсацию пара, рост плотности парожидкостного потока, а в конечном счете, дополнительные энергозатраты. Для устранения тепловых потерь на подъемном участке был установлен дополнительный электрический нагреватель.

Показано, что одна и та же величина холодопроизводительности может быть достигнута при тепловой нагрузке на основной нагреватель 67,5 Вт или распределенной нагрузкой на основной и дополнительный нагреватели в сумме 60 Вт. Анализ температурных полей термосифона показал, что оптимум достигается в случае, когда имеет место наименьший перепад температур по высоте подъемной его части.

Изучение способов управления проводилось на НТК типа “Стugna-101” при  $T_{o.c.} = 10...32$  °С.

Показано, что минимальное энергопотребление универсальной НТК достигнуто в режиме управления (“110-70-0”). Этот режим характеризуется кратковременным периодом пуска ( $Q_{тс} = 110$

Вт) с дальнейшим переходом на меньшую мощность ( $Q_{тс} = 70$  Вт) и полное отключение ( $Q_{тс} = 0$  Вт) при достижении заданной температуры в камере.

При сравнении характеристик АДХМ с серийной теплоизоляцией и “адиабатной” можно говорить о росте энергетической эффективности АДХМ на 12,7 % в наиболее оптимальном диапазоне тепловых нагрузок на термосифоне (70 Вт).

Наибольший эффект от установки “адиабатного” кожуха достигается при работе АДХМ в режиме позиционного регулирования. В этом случае температура элементов генераторного узла изменяется незначительно и выход на рабочий режим, в характерных режимах теплоподвода ( $Q_{тс} = 110$  Вт и  $Q_{тс} = 70$  Вт) осуществляется практически одновременно.

Для реализации энергосберегающих режимов в аппаратах с АДХМ использовалась специальная система автоматического управления. В качестве регулятора и системы сбора и обработки информации использован микропроцессорный контроллер.

В качестве входного воздействия остается величина тепловой нагрузки на термосифон, контролируемым возмущающим воздействием -  $T_{o.c.}$ , в качестве выходных параметров контролируются две температуры:  $t_{ХК}$  и температура пара на входе в конденсатор  $t'$ , с учетом которых вырабатывается управляющее воздействие в виде величины и способа теплоподвода к термосифону.

Ключевые слова: абсорбционно-диффузионная холодильная машина, перекачивающий термосифон, автоматическое управление, энергопотребление.