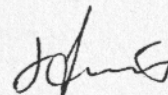


Автореферат
А58

Л

Одеська державна академія холоду

АЛЬТМАН ЕЛЛА ІЛІВНА



УДК 532.542 : 621.565

**КОЛЕКТОРНІ СИСТЕМИ ТЕРМОРЕГУЛЮВАННЯ
ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ НА ОСНОВІ ХОЛОДИЛЬНИХ
МАШИН ТА ДВОФАЗНИХ КОНТУРІВ**

Спеціальність 05.05.14 – холодильна та кріогенна
техніка, системи кондиціювання

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

XV 871

ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

Одеса -2000

Дисертація є рукописом

Роботу виконано в Одеській державній академії холоду Міністерства освіти України

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор Смірнов Генріх Федорович, Одеська державна академія холоду, завідувач кафедри систем терморегулювання.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Дорошенко Олександр Вікторович, Одеська державна академія холоду, професор кафедри термодинамики.

кандидат технічних наук, академік Старчевський Ігор Петрович, Інженерно - технологічний інститут «Біотехніка», директор.

Провідна установа - Науково – промислове об'єднання «Шторм», м.Одеса.

Захист відбудеться "___" _____ 2000 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 41.087.01 при Одеській державній академії холоду за адресою: 65026, м.Одеса, вул.Дворянська 1/3

... можна ознайомитись у бібліотеці Одеської державної академії холоду за адресою: 65026, м.Одеса, вул.Дворянська 1/3

... слано "___" _____ 2000 р.

1) на якому: 1 — теле...
Конструкція маніпуляцій...
... груп станків...
... автоматично...
... операцій...
... транспортування...
... автоматично...
... А.Ю Лагутін.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Теплообмінні апарати колекторного типу широко застосовуються в холодильній техніці, системах охолодження радіоелектронної апаратури (РЕА), енергетиці та в інших галузях техніки. Головні проблеми, що виникають при створенні та експлуатації колекторних теплообмінних апаратів, пов'язані з необхідністю забезпечення рівномірного (або заданого за визначеним законом) розподілу потоку теплоносія між паралельними каналами. Гідравлічна нерівномірність порушує температурний режим, знижує теплову ефективність апарата, а в ряді випадків, може призвести до аварійних ситуацій. Зростання густини тепловиділення, зокрема при збільшенні щільності компонування елементів РЕА, приводить до необхідності переходу від рідинних систем охолодження до двофазних, які забезпечують збільшення потужності, що розсіюється найбільш ефективним способом. Проте задача розподілу витрат у колекторних системах значно ускладнюється. Гідродинамічні та теплообмінні характеристики двофазних потоків з фазовим переходом залежать від густини теплового потоку і розподілу витрати теплоносія по каналах, що, у свою чергу, залежить від розподілу тиску вздовж колекторів і від інтенсивності процесів пароутворення або конденсації в каналах. Раціональне проектування таких систем неможливо без прип'ягнення методів математичного моделювання як окремих елементів двофазних контурів, так і систем у цілому. Тому, створення методики, що дозволяє як на стадії проектування, так і в процесі експлуатації розрахувати характеристики теплообмінного устаткування, оцінити ступінь ефективності і діапазон стійкої роботи системи, є актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до координаційного плану АН України за проблемою «Теплофізика і теплоенергетика», координаційним планом АН СРСР за проблемою «ЕОМ і мережі машин», в рамках державної науково-технічної програми Міністерства науки і промислової політики (П.5. 513 «Методи і способи практичної реалізації пріоритетних напрямків енергозбереження в економіці України»).

Мета роботи і задача наукових досліджень. Розробити математичні моделі й алгоритми розрахунку теплообмінних колекторних апаратів із двофазними теплоносіями, що враховують виникаючі гідравлічні і теплові нерівномірності, які пов'язані з «колекторними» ефектами і застосувати їх до розв'язання конкретних задач організації поточкорозподілу в двофазних системах охолодження РЕА.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Створення математичних моделей, методик і алгоритми розрахунку різноманітних типів двофазних колекторних теплообмінників:
 - випарників прямої хладонової системи охолодження процесора ЕОМ, що являють собою систему паралельних модулів і каналів;

- конденсаторів, використовуваних у двофазних контурах (ДФК) з капілярними насосами (КН), що являють собою трубчасту колекторну систему;
 - компактних пластинчасто-ребристих теплообмінників, що виконують функції випарників, конденсаторів або конденсаторів-випарників.
2. Проведення експериментальних досліджень термогідродинамічних нерівномірностей у колекторних двофазних теплообмінниках.
 3. Узагальнення експериментальних даних і результати чисельних досліджень з гідравліки парорідинних потоків у системі паралельних каналів.

Наукове положення, що захищається в роботі.

У парорідинних теплообмінниках і двофазних системах терморегулювання з паралельними каналами найбільш ефективна організація теплового режиму може бути забезпечена при роботі розподільних колекторів на однофазному потоці. Таке технічне рішення може бути реалізовано або за рахунок забезпечення необхідного однофазного стану на вході (недогріву рідини для випарних систем, перегріву пари для конденсаторних систем), або за рахунок надійного байпасування нової фази, що утвориться на вході в розподільний колектор. У тих випадках, коли в розподільний колектор надходить двофазна суміш, максимальні масштаби термогідродинамічної нерівномірності визначаються за моделлю «роздільної» течії.

Наукова новизна. У роботі отримані такі результати:

1. Математична модель і методика розрахунку колекторного випарника пароконденсаторної системи охолодження ЕОМ, що дозволяє визначити умови стійкої роботи системи при істотній тешловій нерівномірності між паралельними модулями і блоками процесора.
2. Схемні рішення, що дозволяють організувати поточкорозподіл відповідно до теплових навантажень як при номінальному режимі роботи, так і при зміні зовнішніх умов.
3. Математична модель і методика розрахунку ДФК із колекторним конденсатором і капілярним насосом, що дозволяє визначити ступінь гідравлічної і температурної нерівномірності, її вплив на ефективність теплообмінника при різноманітній масі заправки контуру теплоносія і діапазон маси заправки, у межах якого ДФК з колекторним конденсатором зберігають працездатність і вплив термогідродинамічної нерівномірності зводиться до мінімуму.
4. Результати експериментальних досліджень термогідродинамічних нерівномірностей у ДФК з КН і колекторним конденсатором.
5. Математична модель і методика розрахунку двофазного пластинчасто-ребристого теплообмінника, що дозволяє визначити розподіл параметрів теплоносіїв і кількість переданого тепла здовж каналів теплообмінника для двох граничних ситуацій, які відповідають ідеальному змішуванню та ідеальному поділу фаз у розподільному колекторі. Методика розрахунку дозволила оцінити максимальний вплив нерівномірності, умовленої поділом фаз у колекторах, на теплову потужність, передану теплообмінником.

Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблені алгоритми і програми дозволяють оперативню розв'язувати такі проектні задачі при створенні двофазних систем термостатування РЕА з колекторними теплообмінниками: вибрати раціональну схему гідравлічного розведення і обґрунтувати заходи для організації поточкорозподілу в паралельних парогенеруючих каналах системи охолодження процесора ЕОМ; визначити необхідну масу заправки і діапазон режимних параметрів стійкої роботи двофазного контуру з капілярним насосом і колекторним конденсатором; визначити характеристики систем на нерозрахованих режимах.

Методики і програми були використані при розробці системи охолодження ЕОМ у НДІ «Дельта» (м.Москва) і при аналізі і виборі схемних рішень двофазних модулів у НПО «Прикладна механіка» (м.Красноярськ).

Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Системи терморегулювання» Одеської державної академії холоду.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці математичних моделей і алгоритмів розрахунку двофазних колекторних теплообмінних апаратів, здійсненні досліджень на експериментальних стендах з колекторним конденсатором і пластинчасто-ребристим теплообмінником, в опрацюванні, аналізі і публікації отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації.

Головні результати роботи викладено у доповідях на щорічних науково-технічних конференціях професорсько - викладацького складу ОДАХ у 1989-1994 р., на науково-практичних конференціях «Искусственный холод в отраслях агропромышленного комплекса» (Кишинів, 1987 р., Одеса, 1989 р.), науково-технічних конференціях «Холод – народному хозяйству» (Ленінград, 1991 р.) та «Двухфазный поток в энергетических машинах и аппаратах» (Ленінград, 1990 р.), на міжнародних школах-семінарах «Тепловые трубы: теория и практика» (Мінськ, 1991 р.), «Тепловые трубы» (Свердловськ, 1992 р.), на науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми космічних досліджень» (Житомир, 1993 р.), на міжнародній науково-технічній конференції «Повышение эффективности теплообменных процессов и систем» (Вологда, 2000).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано в 13 працях, у тому числі 5 - у наукових журналах.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури і додатків. Роботу викладено на 179 сторінках машинописного тексту, вона містить 48 рисунків, 3 таблиці, 3 додатки. Список літератури складається з 67 найменувань.

ГОЛОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, показані наукова новизна і практичне значення результатів дослідження.

У першому розділі наведено класифікацію колекторних систем, виконаний аналіз робіт, присвячених теоретичним і експериментальним дослідженням гідродинамічних характеристик однофазних і двофазних колектор-

них теплообмінних апаратів з перемінною витратою потоку. Аналіз публікацій, присвячених дослідженням гідродинаміки потоку в однофазних колекторних системах, показує, що в літературі відсутній єдиний метод розрахунку колекторних систем. У разі двофазної течії теплоносія великий вплив на закономірності «колекторних» ефектів робить структура двофазної течії і концентраційні параметри в колекторах. При надходженні парорідинної суміші в розподільному колекторі виникає нерівномірне поле паровмісту на вході в систему паралельних каналів, що посилює «колекторний» ефект і температурну нерівномірність. Залежно від характеру теплообмінних процесів (кипіння, конденсація) і зміни теплового навантаження можливий перерозподіл витрат між каналами, запарювання або блокування каналів рідиною. Число робіт, присвячених проблемам гідравлічної і теплової нерівномірності в колекторних теплообмінниках з двофазними теплоносіями, також як і досвід застосування компактних пластинчастих теплообмінних апаратів як конденсаторів і випарників дуже обмежені. На підставі аналізу літературних даних сформульовані цілі і задачі дослідження.

В другому розділі проводиться математичне моделювання двофазних колекторних теплообмінних апаратів. Приводяться загальні принципи побудови і обґрунтовуються допущення для математичних моделей. Формулюється індивідуальна математична модель для різноманітних типів колекторних теплообмінників: випарників прямоточної системи охолодження процесора ЕОМ; конденсаторів-випромінювачів, використовуваних у ДФК з КН; двофазних компактних пластинчато-ребристих теплообмінників. Для всіх типів теплообмінників при побудові математичної моделі прийняті загальні принципи і загальні допущення. Проте існуючі специфічні особливості, пов'язані з конструкцією, режимами роботи, призначенням апаратів, не дозволяють розробити єдину математичну модель. У зв'язку з цим будуються індивідуальні математичні моделі для вищевказаних типів двофазних колекторних теплообмінних апаратів. Умови роботи колекторних випарників пароконденсійних систем охолодження РЕА характеризуються такими особливостями: недопустимість перегріву діючих тепловиділяючих елементів; необхідність підтримання стабільної робочої температури; можливість вмикання і вимикання довольного числа блоків у різноманітних сполученнях. Математична модель системи охолодження ЕОМ включає умови спільної роботи компресора і ТРВ у складі холодильної машини і враховує можливість коливань навантаження по окремих блоках і модулях від 0% до 100%. У системі охолодження процесора ЕОМ на базі пароконденсійної холодильної машини (ХМ), функцію дроселя в якій виконує теплорегулюючий вен-тиль (ТРВ), можливі такі схемні рішення (Рис. 1):

- а - декілька компресорно-конденсаторних агрегатів + 1 ТРВ + m-модулів;
- б - один компресорно-конденсаторний агрегат + 1 ТРВ + m/k - модулів;
- в - один компресорно-конденсаторний агрегат + m/k ТРВ + m/k - модулів;
- г - один компресорно-конденсаторний агрегат + n*m/k ТРВ.

де: k - максимальне число компресорно-конденсаторних агрегатів;
m - число модулів; n - число блоків у модулі.

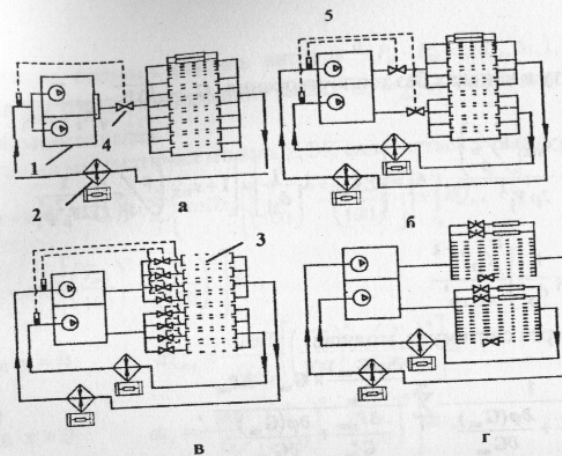


Рис. 1 Схемні рішення гідравлічного розведення системи охолодження
1 - компресорно-конденсаторний агрегат, 2 - підігрівник, 3 - випарник,
4 - ТРВ

Математична модель спільної роботи компресора і ТРВ основана на розгляді характеристик компресора у вигляді $G_k = f(P_k/P_0)$ і ТРВ у вигляді $G_{ТРВ} = f(F, P_k/P_0)$. У результаті здобуто значення витрати холодоагенту через кожний i-тий ТРВ і сталого ступеня стиску P_k/P_0 .

$$G_i = A_i \sqrt{\left(\frac{a}{b} - 1\right) + 0,25 \left(n \frac{A_i}{b}\right)^2} - 0,5 A_i \left(n \frac{A_i}{b}\right) \quad (1)$$

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{a}{b} + 0,5 \left(n \frac{A_i}{b}\right)^2 \pm \left(n \frac{A_i}{b}\right) \sqrt{\left(\frac{a}{b} - 1\right) + 0,25 \left(n \frac{A_i}{b}\right)^2} \quad (2)$$

Коефіцієнти A_i , a і b є характеристиками ТРВ і компресора.

Задача поточкорозподілу в системі паралельних парогенеруючих каналів розв'язувалась шляхом визначення місцевих опорів на вході в канал, виходячи з таких вимог: забезпечення витрати холодоагенту, необхідного для відведення теплового навантаження, різноманітного для кожного блока і модуля, при можливому вмиканні ряду блоків і модулів; безкризове протікання процесу кипіння; підтримання заданого тиску кипіння. Система рівнянь для паралельних модулів, що мають один регулятор тиску, що мають n паралельних каналів, у k з яких подається теплове навантаження, має вигляд:

$$G_0 = \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\rho}} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{A_i + \Delta A_i}} - \sum_{i=1}^k \frac{Q_i B_i}{2(A_i - \Delta A_i)} + \sum_{i=1}^k \frac{Q_i B_i}{2(A_i + \Delta A_i)} + \frac{\Delta P_0}{A_i + \Delta A_i} \quad (3)$$

витрата холодоагенту в кожному з k «увімкнутих» каналів:

$$G_i = \sqrt{\frac{Q_i B_i}{2(A_i + \Delta A_i)}} + \frac{\Delta P_0}{A_i + \Delta A_i} - \frac{Q_i B_i}{2(A_i + \Delta A_i)} \quad (4)$$

витрата холодоагенту в каналах без теплоутворення $G_i = \sqrt{\Delta P_0} \frac{1}{\sqrt{A_i + \Delta A_i}}$, (5)

$$\text{де } \Delta A_i = \zeta_i^A \frac{1 + X_{\text{вх}} \left(\frac{\rho'}{\rho} \right)}{2\rho F_i^2}, \quad A_i = \left[\sum \zeta_{\text{мі}} + \lambda_i \frac{l_i}{d_{\text{зі}}} \right] \times \left[1 + X_{\text{вх}} \left(\frac{\rho'}{\rho} \right) \right] \frac{1}{2F_i^2 \rho}$$

$$B_i = \left[\sum \zeta_{\text{мі}} + \lambda_i \frac{l_i}{d_{\text{зі}}} \right] \frac{\rho'}{\rho} - 1$$

Повна витрата через систему m модулів:

$$G_z = \Delta P_c \sum_1^m \frac{1}{\frac{\Delta P_{\text{пер}}}{G_{\text{ок}}} + \frac{\partial \varphi(G_{\text{ок}})}{\partial G_{\text{ок}}}} - \sum_1^m \frac{\frac{\partial \varphi(G_{\text{ок}})}{\partial G_{\text{ок}}} \times G_{\text{ок}} - \Delta P_{\text{ок}}}{\frac{\Delta P_{\text{пер}}}{G_{\text{ок}}} + \frac{\partial \varphi(G_{\text{ок}})}{\partial G_{\text{ок}}}}, \quad (6)$$

де $G_{\text{ок}}$ і $\Delta P_{\text{ок}}$ - середня витрата через модуль і відповідний середній перепад тиску; $\Delta P_{\text{пер}}$ - втрати тиску на регуляторі тиску; $\varphi(G_{\text{ок}})$ - залежність перепаду тиску на модулі від витрати холодоагенту.

Проблема потокорозподілу в конденсаторах ДФК пов'язана з виникненням «колекторного ефекту», зумовленого впливом відтоку і припливу маси на розподіл статичного тиску вздовж колекторів і витрат по паралельних каналах теплообмінника. Якщо причиною циркуляції в ДФК є КН, то режим роботи контура залежить від параметрів рідини, що надходить у нього, які, у свою чергу, залежать від ступеня заповнення конденсатора і температурної нерівномірності. Математична модель двофазного контура з колекторним конденсатором - випромінювачем основана: на одномірному рівнянні зберігання кількості руху в каналах із відбором і підведенням маси, що описує процеси в колекторах; системі диференціальних рівнянь, що описують процеси теплообміну і гідродинаміки в паралельних каналах; на рівняннях матеріального і теплового балансів. Рівняння зберігання кількості руху для потоку змінної маси перетворене для Z-образної схеми сполучення каналів, має вид:

Для розподільного колектора

$$P_{11} = P_{10} + \rho_1 \frac{V_{10}^2 - V_{11}^2}{2} + \rho_1 \sum_1^i \frac{V_{11}^2 G_i}{\sum_1^n G_i - \sum_1^i G_i} - \frac{P_1}{2} \sum_1^i \frac{\lambda_i \Delta l_i}{d_{1i}} V_{1i-1}^2, \quad (7)$$

для збірної колектора

$$P_{21} = P_{20} + \rho_{20} \frac{V_{20}^2}{2} - \rho_{21} \frac{V_{21}^2}{2} + \sum_1^i \frac{\rho_{21} V_{21}^2 G_{i-1}}{\sum_1^n G_i - \sum_1^i G_i} + \sum_1^i \frac{\lambda_i \Delta l_i \rho_{21}}{2d_{2i}} V_{21}^2, \quad (8)$$

де V_{10} , V_{20} , P_{10} , P_{20} - швидкість і тиск теплоносія на вході в розподільний і на виході з збірної колектора; P_{1i} , P_{2i} , V_{2i} , V_{2i} - статичний тиск і швидкість в i -тому перерізі відповідних колекторів; ρ_1 - густина потоку в розподільному колекторі. Різниця статичних тисків на вході і виході з кожного i -го каналу

зводиться до системи рівнянь вигляду $P_{1i} - P_{2i} = f(G_i, \Delta x_i)$, що дозволяє з урахуванням рівняння зберігання маси $G_0 = \sum G_i$ визначити розподіл витрат у паралельних каналах.

Статична математична модель ДФК складається з таких рівнянь:

$$G_0 [r + c_p (T_1 - T_2)] = \sum_1^n \left(\varepsilon \sigma \Pi z_{ki} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] + \int_{z_{ki}}^{z_{ki}'} dQ_i \right), \quad (9)$$

$$dQ_i = \varepsilon \sigma \Pi \left[\left(\frac{T_{\text{жк}i}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] dz, \quad (10)$$

$$\text{при } x = 0 \quad dT_{\text{жк}i} = - \frac{\varepsilon \sigma \Pi}{G_i c_p} \left[\left(\frac{T_{\text{жк}i}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] dz, \quad (11)$$

$$\text{при } x > 0 \quad dx_i = - \frac{\varepsilon \sigma \Pi}{G_i r} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] dz, \quad (12)$$

$$m_3 = L_n s_n \rho' + L_{\text{жк}} s_{\text{жк}} \rho' + V_{\text{жк}} \rho' + \sum_1^n \left[(L_k - z_{ki}) s_k \rho' + \int_0^{z_{ki}} s_k \rho_{\text{см}} dz \right], \quad (13)$$

де Π , S_k , L_k , $S_{\text{ж}}$, S_n , $L_{\text{ж}}$, L_n - периметр, площа поперечного перерізу і довжина каналу конденсатора, рідинного і парового трубопроводу; z_{ki} - довжина ділянки конденсації i -го каналу; $\rho_{\text{см}}$ - густина двофазного потоку.

Математична модель компактного двофазного пластинчасто-ребристого теплообмінника сформульована для двох граничних випадків - «ідеального змішання» (парорідинна суміш рівномірно розподіляється по паралельних каналах теплообмінника і розрахунок течії в каналах проводиться за гомогенній моделі) та «ідеального поділу» (у розподільному колекторі відбувається повне розділення парорідинної суміші). Гідравлічний і тепловий розрахунок засновані на чисельному розв'язанні системи диференціальних рівнянь теплообміну і гідравліки для кожного теплоносія, записаних для елементарної чарунки, що складається з трьох пластин, які утворюють два суміжних канали. У першому випадку теплова потужність теплообмінника визначається як $Q_{\Sigma} = n Q_i$, де n - число каналів. В другому випадку - $Q_{\Sigma} = n_{\text{п}} Q_{\text{п}} + n_{\text{ж}} Q_{\text{ж}}$, де $n_{\text{п}}$ і $n_{\text{ж}}$ - число парових і рідинних каналів. Значення $n_{\text{п}}$ і $n_{\text{ж}}$ визначаються за умови рівності втрат тиску $\Delta P_{\text{п}} = \Delta P_{\text{ж}}$, записаного для конкретного типу теплообмінника.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням колекторних теплообмінників, проведеним з метою перевірки коректності математичних моделей. На рис.2 подано схему експериментального стенда ДФК з КН і конденсатором (колекторний теплообмінник з шести паралельних каналів, зібраний за Z-образною схемою). Діаметри трубок конденсатора і колекторів однакові і складають 4 мм. При постійній дозі заправки теплове навантаження на КН змінювалося від 20 до 80 Вт зі змінним кроком при повітряному і водяному охолодженні конденсатора. Нерівномірність у розподілі витрат визначалася візуально за станом менісків у скляних трубках конденсатора. Результати досліджень (рис.3) показують зменшення довжини парової

ділянки в каналах за напрямком роздачі потоку, що відповідає зменшенню витрати в каналах. Наведено результати натурних іспитів макетного зразка ДФК з конденсатором - випромінювачем, розробленим і випробуваним в НПО «Прикладна механіка» (м. Красноярськ), які показали, що між ділянками поверхні радіатора є велика різниця температур. У «віддалені» канали надходить теплоносії з меншою витратою і відбувається швидка конденсація пари. Система дуже чутлива до маси заправки.

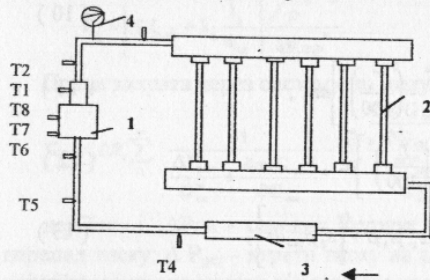


Рис.2. Схема експериментального стенда ДФК із КН
1 - КН, 2 - колекторний конденсатор, 3 - переохолоджувач, 4 - вакууметр, - місця розташування термопар.

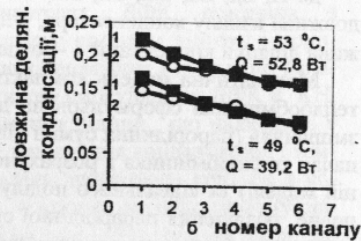
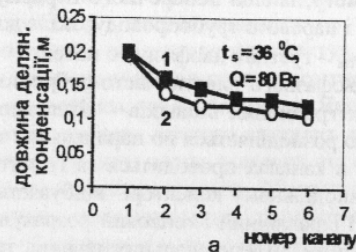


Рис.3. Гідравлічна нерівномірність у конденсаторі експериментальної установки.
а - водяне охол., б - повітряне охол.; 1-розрахунок, 2-експеримент.

Дослідження теплогідродинамічної нерівномірності в макетному зразку пластинчато - ребристого теплообмінника проводилися на експериментальному стенді разом із Ю.Д.Кожелупенко. Отримано інтегральні характеристики на однофазному теплоносії.

У четвертому розділі наведено результати чисельних досліджень показаних раніше типів колекторних двофазних теплообмінників, їх аналіз і порівняння з експериментальними даними. Розрахунково-теоретичний аналіз випарної колекторної системи проводився для реальної системи охолодження процесора ЕОМ, випарник якої складається з восьми паралельних модулів, що мають сім паралельних каналів. Аналіз системи охолодження проведений у два етапи: на першому етапі становлений діапазон стійкої роботи компресора і ТРВ при збільшенні числа паралельно працюючих ТРВ; на другому етапі для обраної схеми розроблені алгоритм і розв'язана задача поточкорозподілу між модулями і усередині модуля через установлення додаткових опорів на вході в кожний канал. Алгоритм (рис.4) реалізує: 1) визначення

додаткових місцевих опорів при заданому законі розподілу і відключення теплового навантаження між модулями і паралельними каналами в межах модуля; 2) розрахунок поточкорозподілу в системі охолодження; 3) визначення паровмісту на виході з випарних каналів і температурного режиму стінки каналу. Розрахунки показали, що пропускна спроможність ТРВ падає зі збільшенням числа паралельно підключених вентилів, при цьому встановлюється менший ступінь стиску. Можлива ситуація, коли, при заданому тепловому навантаженні й умовах охолодження, у системі встановлюється такий ступінь стиску і, відповідно, така витрата холодоагенту через компресор, що не вистачає для забезпечення необхідного теплового режиму роботи блоків. Результати розрахунку розподілу витрат (рис.5) показали, що встановлення додаткових опорів на вході в кожний канал гарантують необхідний рівень експлуатаційної надійності. Це дає можливість застосувати схемне рішення, що відповідає рис.1 г, в котрому можливо об'єднати в одній регулюючій обладнанні дві головні функції - дроселювання з виробництвом холодильного ефекту і настроювання гідравлічного опору каналу для забезпечення заданої витрати, що узгоджується з тепловим навантаженням. Розрахунковий аналіз ДФК з колекторним конденсатором проведений для експериментального стенда з КН і ряду макетних зразків ДФК із різноманітним числом паралельних каналів у конденсаторі-випромінювачі для двох теплоносіїв - аміаку і R-11. Розроблено алгоритм розрахунку статичних характеристик ДФК, що реалізує визначення температури насичення, що встановилася у системі, відповідно до потужності, що підводиться до КН і масою заправки. Конденсатор розглядається як окремий елемент внутрішнім ітераційним циклом. Наведені на рис.6 епюри статичного тиску по довжині колектора показують, що для аналізованих параметрів колекторної системи падіння тиску внаслідок опору тертя в розподільному колекторі переважає над інерційними ефектами у разі рівноваги діаметрів колекторів. Витрата в каналах уз-довж розподільного колектора спочатку зменшується, а потім збільшується. Збільшення діаметра тільки розподільного колектора змінює характер розподілу витрати - відбувається поступове збільшення витрати. Ступінь гідравлічної і теплової нерівномірності залежить від рівня підведеної потужності і тиску в системі, які, у свою чергу, залежать від маси заправки теплоносія. Як розрахунковий аналіз, так і результати іспитів експериментального зразка ДФК показали велику чутливість контура до маси заправки й існування обмежень щодо кількості теплоносія, який направляють, як «поверх», так і «знизу». На рис.7 наведена залежність теплової потужності Q від дози заправки m_3 і температури насичення t_s для ДФК з десятьма каналами в конденсаторі - випромінювачі, що працює на NH_3 . Аналізувався вплив маси заправки на ступінь гідравлічної і теплової нерівномірності в каналах (рис.8). Контроль математичного моделювання здійснювався через зіставлення результатів розрахунку з експериментальними даними. Порівняння розрахункової й експериментальної заправних кривих (рис.9) і температурних залежностей для каналів конденсатора - випромінювача (рис.10) показують якісну збіжність

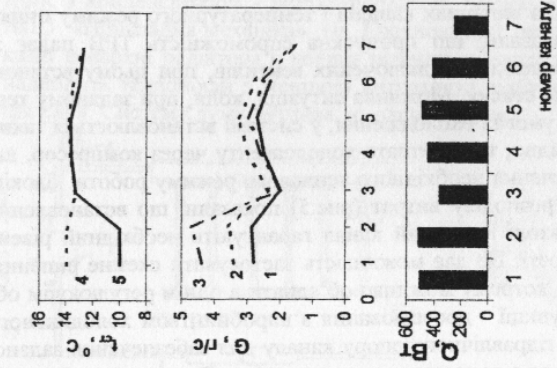


Рис.5. Розрахунковий розподіл витрат холодоагенту, температури стінки і гістограма теплових навантажень для одного модуля.

- 1 – розподіл витрат при номінальному режимі;
- 2 – розподіл витрат при $k=1,2$ - усі канали вклучені, ($Q_1=Q_2=0$);
- 3 – розподіл витрат при $k=1,2$ - два канали вклучені;
- 4 – температура стінки при усіх вклучених каналах;
- 5 – температура стінки при двох вклучених каналах.

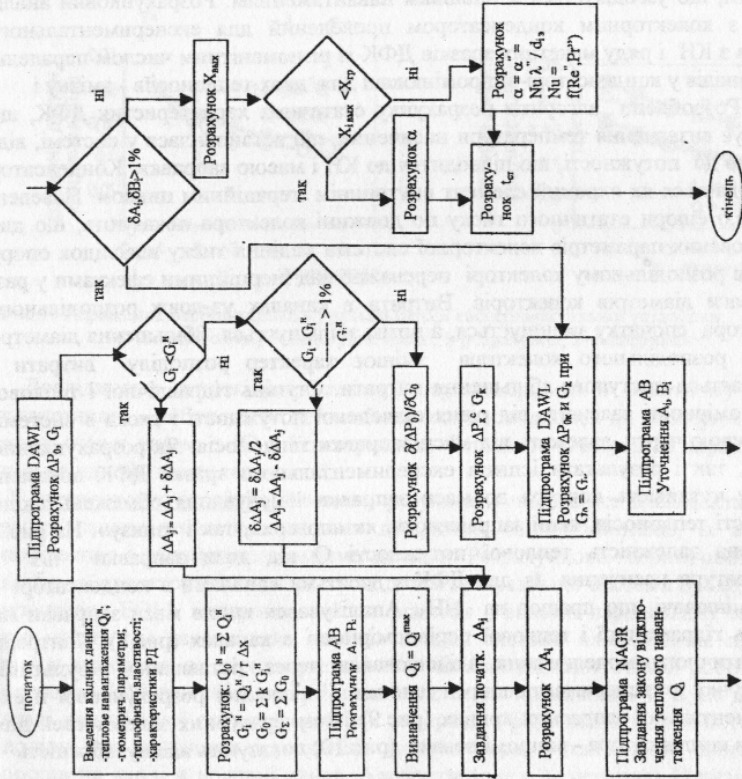


Рис.4. Блок – схема розрахунку витратних каналів системи охолодження

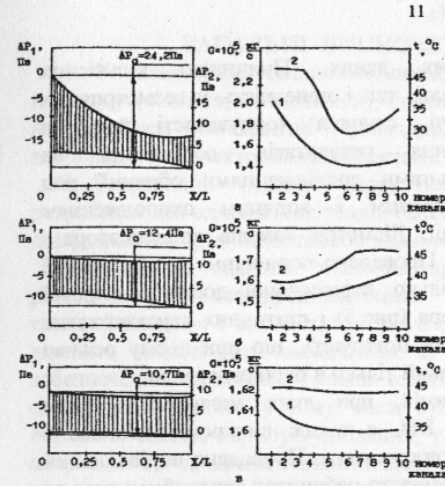


Рис.6. Екюри статичного тиску по довжині колекторів, розподіл витрат і температур теплоносія на виході з каналів при різноманітних співвідношеннях діаметрів колекторів (розрахунок).
а) $d_p=d_c=d_e=4$ мм; б) $d_p=8$ мм, $d_c=d_e=4$ мм; в) $d_p=d_c=8$ мм, $d_e=4$ мм; 1 - розподіл витрат; 2 - розподіл температури.

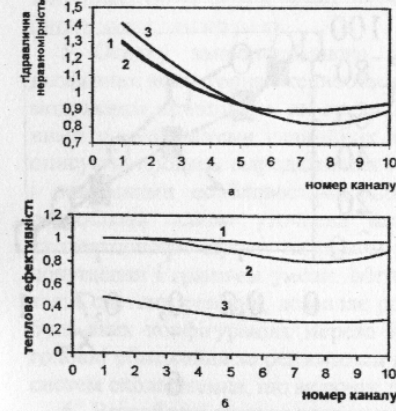


Рис.8. Гідравлічна нерівномірність (а) і теплова ефективність (б) у каналах конденсатора-випромінювача в залежності від маси заправки (розрахунок).
теплоносії - NH₃,
 $t_c = 47^\circ\text{C}$; 1 - $m_s = 91,5$ г; 2 - $m_s = 97$ г; 3 - $m_s = 127,5$

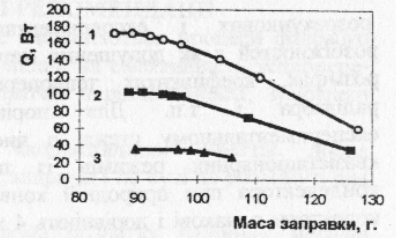


Рис.7. Залежність теплової потужності від маси заправки і температури насичення (розрахунок), теплоносіть - NH₃ - $t_c = 47^\circ\text{C}$, 2 - $t_c = 36,7^\circ\text{C}$, 3 - $t_c = 27,5^\circ\text{C}$.

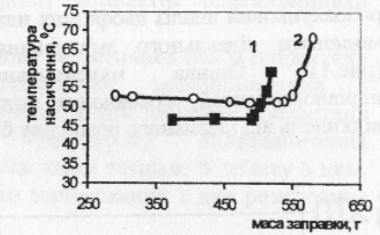


Рис.9. Заправна крива, теплоносії - R-11, $Q = 120$ Вт.
1 - розрахунок; 2 - експеримент.

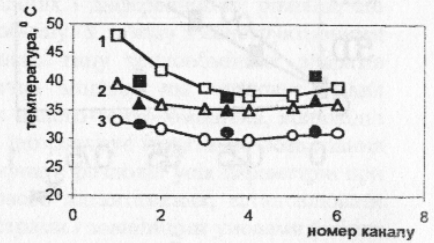


Рис.10. Розподіл температур теплоносія в конденсаторі-випромінювачі R-11; природна конвекція; $m_s = 492$ г.
1,2,3 – розрахунок; ■, ●, ▲ - експеримент
1, $t_c = 48^\circ\text{C}$; 2, $t_c = 41^\circ\text{C}$; 3, $t_c = 33^\circ\text{C}$

розрахункових і експериментальних даних. Причиною кількісних розбіжностей є як допущення методики, так і непевність у геометричних розмірах, коефіцієнтах теплопередачі, ступеня чорнотності поверхні радіатора і т.п. Для порівняння результатів досліджень на експериментальному стенді з чисельними дослідженнями обраний ряд квазістаціонарних режимів із повітряним і водяним охолодженням конденсатора при природній конвекції. Діаметри каналів конденсатора і колектори однакові і дорівнюють 4 мм. Проведено порівняння розрахункової довжини ділянки конденсації і візуально зафіксованої довжини парової ділянки в скляних трубках конденсатора (рис.3) і статичних характеристик при постійній масі заправки. Результати показують, що при цьому режимі пробій пари в рідинний колектор можливий тільки в першому каналі.

Спостерігався ряд аномальних режимів, при яких мали місце різке підвищення температури на вході в КН, а також синхронні коливання температур і рівнів рідини в каналах конденсатора. Проведено порівняльний розрахунковий аналіз двофазних пластинчасто-ребристих теплообмінників за моделями «ідеального змішування» (гомогенної) і «ідеального поділу» (рис.11). Оцінка максимального впливу термогідродинамічних нерівномірностей, зумовлених поділом фаз у колекторах, дає зростання відхилень від ідеального розподілу більш, ніж у 1,5 рази.

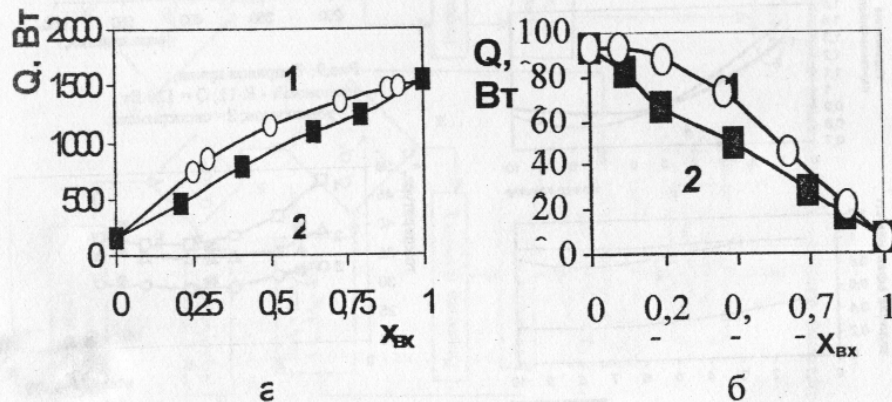


Рис. 11. Залежність Q пластинчасто-ребристого теплообмінника від паровмісту, а- конденсатор, б- випарник; 1- гомогенна модель, 2- модель «повного поділу».

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. У колекторних теплообмінниках, де здійснюються процеси фазового переходу (кипіння, конденсація), сильний вплив на ефективність теплопереносу роблять різноманітні термогідродинамічні нерівномірності, зумовлені здебільшого «колекторними» ефектами.

2. Теоретичні основи розрахунку «колекторних» ефектів добре розроблені для однофазних теплообмінних апаратів і по суті не розвинуті для двофазних парорідинних теплообмінників.

3. Особливо важливе значення проблема розвитку надійних методів розрахунку теплогідродинамічних нерівномірностей у двофазних теплообмінниках і системах одержує при створенні виробів нової техніки, якими в останні роки вважаються: а) двофазні теплообмінники в системах забезпечення теплових режимів теплонавантажених приладів і обладнання електронної техніки, у тому числі суперкомп'ютерів; б) двофазні контури бортових систем терморегулювання, у тому числі для космічних літальних апаратів; в) двофазні пластинчасто-ребристі компактні теплообмінники різноманітного застосування.

4. Розвинутий у роботі підхід до побудови теоретичних основ розрахунку стаціонарних теплових режимів колекторних теплообмінників і теплообмінних систем дав позитивні результати при побудові конкретних моделей, алгоритмів і програм розрахунку вищезазначених тепломасообмінних апаратів і систем-виробів нової техніки. У зв'язку з цим, запропонований підхід може бути успішно застосований і для розв'язання інших задач такого роду.

5. Основу запропонованого підходу складають математичні моделі двофазних колекторних теплообмінних апаратів, розроблені у відповідності з модульним принципом, як сукупність окремих елементів і умов зв'язку між ними у виді системи нелінійних алгебраїчних і диференціальних рівнянь, що описують процеси гідродинаміки і теплообміну. У зв'язку з конструктивними і режимними особливостями для кожного типу теплообмінних апаратів розроблена «своя» уточнена математична модель, що враховує вплив «колекторного» ефекту на режим роботи даного теплообмінника, відповідні допущення і граничні умови. Методика, що реалізує ітеративне розв'язання такої системи рівнянь, дозволяє розраховувати розподіл усіх параметрів при будь-яких конфігураціях мережі і теплового навантаження, встановлювати головні обмеження за режимними параметрами і зовнішніми умовами роботи систем охолодження, що включає ці теплообмінники.

6. Розроблені методи розрахунку стаціонарних теплових режимів двофазних колекторних теплообмінних систем дозволили визначити обґрунтовані рекомендації щодо конструювання та експлуатації відповідних виробів нової техніки.

6.1. Для суперкомп'ютерів з прямоточним хладоновим охолодженням:

- найбільш раціональною є гідравлічна мережа, в якій один компресор і один ТРВ забезпечують теплові режими чотирьох модулів, що включають 28 блоків; - змійовик кожного каналу повинний бути сполучений з розподіль-

ником рідини через вентиль, що виконує функції підстроїчного додаткового місцевого опору. Цим досягається стійка робота системи охолодження при істотній нерівномірності тепловиділень між блоками в номінальному режимі, а також при вимиканні ряду елементів, що виділяють тепло, у нерозрахованих режимах;

- можливо сполучення в одному регулюючому обладнанні двох головних функцій - дроселювання з виробництвом холодильного ефекту і настроювання гідравлічного опору каналу для забезпечення заданої витрати, що узгоджується з тепловим навантаженням.

- необхідно планування 10 - 30%-вого запасу для витрати холодоагенту і байпасування потоку пари після дроселя у вихідний колектор.

6.2. Для двофазних СТР на основі контурних теплових труб (ДФК):

- у зв'язку з великою чутливістю ДФК з КН до розміру заправки контуру теплоносієм необхідно визначити діапазон заправки, у межах якого ДФК з колекторним конденсатором і КН зберігає працездатність і вплив термодинамічної нерівномірності зведено до мінімуму;

- для зменшення впливу «колекторного» ефекту на ефективність роботи конденсатора-випромінювача необхідно зменшити число паралельних каналів і збільшити діаметр розподільного колектора.

6.3. Для двофазних пластинчасто-ребристих колекторних теплообмінників термодинамічні нерівномірності, зумовлені поділом фаз у колекторах і розподільних каналах, істотно зменшують теплове навантаження. Для ефективної роботи пластинчасто-ребристого теплообмінника при надходженні в розподільний колектор двофазного потоку необхідно передбачити байпасування однієї з фаз (залежно від призначення теплообмінника) у вихідний колектор.

7. Наступне вдосконалення і розвиток запропонованих методів, моделей і програмного забезпечення на їхній основі, доцільно організувати шляхом послідовного усунення ряду припущень: ідентичності настройки і температурного впливу на паралельно працюючі ТРВ для випарників паракомпресійних систем охолодження ЕОМ; відсутності впливу капілярних ефектів і гравітаційних сил; ідеальної гомогенності потоку в колекторах і каналах теплообмінників; однакової геометричної характеристики каналів і сталості діаметрів по довжині колекторів; - стаціонарності режиму роботи.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Резников Г.В., Альтман Э.И., Морковкин А.И., Смирнов Г.Ф. Выбор схемы и основных параметров холодильной установки для охлаждения быстродействующих ЭВМ // Холодильная техника и технология.-1986.-№47.-С.21-27.
2. Смирнов Г.Ф., Альтман Э.И., Семерханов З.Ш. Расчет гидравлических коллекторных радиационных конденсаторов // Изв. вузов. Энергетика -1991.- № 3.- С.93-98.
3. Альтман Э.И. Анализ схемных решений и моделирование парогенерирующих устройств с разветвленными каналами в паракомпрессионных холодильных установках // Холодильная техника и технология.-1999.-№60.- С.61-69.

4. Альтман Э.И. Моделирование коллекторных радиационных конденсаторов и двухфазных контуров на их основе // Холодильная техника и технология.-1999.- № 62.- С.48-53.

5. Альтман Э.И. Моделирование системы охлаждения радиоэлектронной аппаратуры с параллельными парогенерирующими каналами //Перспективы.- 1999.-№3-4 (7-8).- С.137-142.

6. Резников Г.В., Смирнов Г.Ф., Альтман Э.И., Лобачев С.С. Некоторые подходы к исследованию статических характеристик хладоновых систем охлаждения методом численного экспериментирования. // Одес. технол. ин-т холод. пром-ти.- Одесса, 1989. - 22 с. Деп. в УкрНИИТИ 22.08.89. № 1932 - Ук 89.

7. Загар О.В., Альтман Э.И., Буз В.Н. Анализ температурных характеристик двухфазного контура с капиллярным насосом. // Материалы Международной школы-семинара «Тепловые трубы: теория и практика». - Часть 2. - Минск,1991.-С.152-159.

8. Альтман Э.И., Лобачев С.С., Резников Г.В., Смирнов Г.Ф. Математическое моделирование на ЭВМ и исследование статических характеристик холодильной установки // Тезисы докладов Всесоюз. научн.-практической конф. «Искусственный холод в отраслях агропромышленного комплекса». - М., 1987. - С.78.

9. Лобачев С.С., Резников Г.В., Смирнов Г.Ф., Альтман Э.И. Моделирование статических характеристик холодильной установки с параллельными парогенерирующими каналами // Тезисы докладов Всесоюз.научн.-практической конф. «Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговле и на транспорте».- Одесса,1989.-С.17.

10. Смирнов Г.Ф., Альтман Э.И., Бирюков О.К., Ломонов А.Ф. Тепловые расчетно-теоретические модели компактных теплообменников с парожидкостными потоками // Тезисы докладов VІІІ Всесоюз. конф. «Двухфазный поток в энергетических машинах и аппаратах». -Том 3. -Ленинград, 1990. -С. 83-85.

11. Смирнов Г.Ф., Альтман Э.И., Лобачев С.С., Резников Г.В. Математическое моделирование статических характеристик паракомпрессионных холодильных установок // Тезисы докладов Всесоюз. научно-технической конф. «Холод - народному хозяйству». - Ленинград, 1991. - С.97-98.

12. Смирнов Г.Ф., Буз В.Н., Альтман Э.И. Расчетный анализ двухфазных систем терморегулирования и их отдельных узлов // Тези доповідей науково-технічної конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми космічних досліджень». - Житомир, 1993. - С. 42 - 43.

13. Альтман Э.И. Математическое моделирование коллекторных систем терморегулирования электронной аппаратуры на основе холодильных машин и двухфазных контуров // Тезисы докладов II Международной научно-технической конф. «Повышение эффективности теплообменных процессов и систем». - Вологда, 2000. - С.42-44.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

d - діаметр, м; l - довжина, м; m - маса, кг; G - масова витрата, кг/с; P - тиск, Па; Q - тепловий потік, Вт; F - площа, м²; g - теплота утворення пари, Дж/кг; x - паровміст, кг/кг; V - швидкість, м/с; T - температура, °C; ε - міра чорноти; σ - постійна Стефана - Больцмана, Вт/м²К⁴; ρ - густина, кг/м³; ξ - коефіцієнт місцевого опору; λ - коефіцієнт тертя; α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м² К.

ІНДЕКСИ

вх - на вході; вих - на виході; до - конденсація; про - кипіння; д - додатковий; ж - рідина; w - вода; s - насичення; см - суміш; р - що роздає; із - що збирає; з - заправка; ' - насичена рідина; '' - насичена пара.

АННОТАЦІЯ

Альтман Э.И. Коллекторные системы терморегулирования электронной аппаратуры на основе холодильных машин и двухфазных контуров. - 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.

Диссертация посвящена вопросам математического моделирования теплообменных коллекторных аппаратов с двухфазными теплоносителями. Разработаны математические модели и методики расчета различных типов двухфазных теплообменников (испарители прямоточной хладоновой системы охлаждения ЭВМ, конденсаторов, компактных пластинчато-ребристых теплообменников), учитывающие гидравлические и тепловые неравномерности, связанные с «коллекторными» эффектами. Математические модели двухфазных коллекторных теплообменных аппаратов разработаны в соответствии с модульным принципом как совокупность отдельных элементов и условий связи между ними в виде системы нелинейных алгебраических и дифференциальных уравнений, описывающих процессы гидродинамики и теплообмена. Методика, реализующая итеративное решение такой системы уравнений позволяет рассчитывать распределение всех параметров при любых конфигурациях сети и тепловой нагрузки. Установлено, что в двухфазных коллекторных системах наиболее эффективная организация теплового режима может быть обеспечена при работе раздающих коллекторов на однофазном потоке. Определены схемные решения, позволяющие организовать распределение потоков в параллельных парогенерирующих каналах системы охлаждения ЭВМ. Установлено, что змеевик каждого канала должен быть соединен с распределителем жидкости через вентиль, выполняющий функции подстроечного дополнительного местного сопротивления. Возможно совмещение в одном регулирующем устройстве двух основных функций - дросселирования с производством холодильного эффекта и настройки гидравлического сопротивления канала для обеспечения заданного расхода, согласующегося с тепловой нагрузкой. Необходимо байпасирование парового потока после дросселя в выходной коллектор. Проведен расчетный и экспериментальный анализ влияния теплогидродинамической неравномерности на эффективность

работы коллекторного конденсатора. Разработан алгоритм расчета статических характеристик ДФК, который реализует определение температуры насыщения, установившейся в системе, в соответствии с мощностью, подводимой на КН и массой заправки. Установлена большая чувствительность ДФК к КН к величине заправки контура теплоносителем. Для уменьшения влияния «коллекторного» эффекта на эффективность работы конденсатора-излучателя необходимо уменьшить число параллельных каналов и увеличить диаметр раздающего коллектора. Для эффективной работы пластинчато-ребристого теплообменника при поступлении в раздающий коллектор двухфазного потока необходимо предусмотреть байпасирование одной из фаз в выходной коллектор.

Основные результаты работы возможно применить при проектировании парожидкостных коллекторных теплообменников и двухфазных систем терморегулирования с параллельными каналами.
Ключевые слова: математическое моделирование; двухфазный контур; коллекторный эффект; тепловая и гидродинамическая неравномерность; потоко-распределение.

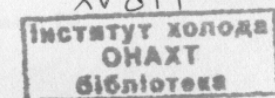
АНОТАЦІЯ

Альтман Е.И. Коллекторні системи терморегулювання електронної апаратури на основі холодильних машин та двофазних контурів. - Рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.14 - холодильна та криогенна техніка, системи кондиціювання. - Одеська державна академія холоду, Одеса, 2000.

Дисертація присвячена питанням математичного моделювання теплообмінних колекторних апаратів із двофазними теплоносіями. Розроблено математичні моделі і методики розрахунку різноманітних типів двофазних теплообмінників, що враховують гідравлічні і теплові нерівномірності, пов'язані з «колекторними» ефектами. Проведено розрахунковий і експериментальний аналіз впливу теплогидродинамічної нерівномірності на ефективність роботи колекторного конденсатора. Визначено схемні рішення, що дозволяють організувати розподіл потоків у паралельних випарювальних каналах системи охолодження ЕОМ. Головні результати роботи можливо застосувати при проектуванні парорідинних колекторних теплообмінників і двофазних систем терморегулювання з паралельних каналами.
Ключові слова: математичне моделювання; двофазний контур; колекторний ефект; теплова і гідродинамічна нерівномірність; потоко-розподіл.

THE SUMMARY

Altman E.I. - Collectors systems for thermoregulation the electronic apparatus in the base of refrigerator machine and two-phase counters. Manuscript. Thesis on teaching degrees of candidate of technical sciences on profession 05.05.14 - refrigerate and cryogenic technique, condition systems. - Odessa state academy of refrigeration, Odessa, 2000.



This thesis is devoted to questions of mathematical modelling of collectors heat exchangers with the two-phase heat-carrying agent. Designed mathematical models and strategies of calculation of different types two-phase heat exchangers, taking into account hydraulic and heat unevenness, connected with «collectors» effects. Conducted computing and experimental analysis of influence of a heat and hydrodynamics unevenness on efficiency of functioning of a collector capacitor. Determined circuits, allowing to organize a sharing of the flows in parallel evaporative channels of cooling system of PC. Main results of work possible to use when designing steam and liquid collectors and two-phase systems of thermo-control heat exchanger with parallel channels.

Keywords: mathematical modelling; two-phase sidebar; collector effect; heat and hydrodynamic unevenness; flow distribute.

РИЗЛӘТ

THE SUMMARY

