

Автореферат
Т48

У
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

УДК 628 83/84

ТКАЧЕНКО ВОЛОДИМИР БОРИСОВИЧ

**Наукові основи створення та вдосконалення
систем терморегулювання транспортних комплексів
радіоелектронної апаратури**

05.05.14 – Холодильна та криогенна техніка, системи кондиціонування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

xv 10-16
ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

Одеса - 2002

Дисертація є рукописом

Роботу виконано в Одеській державній академії холоду та
ВАТ "Нептун" Міністерства промислової політики України

Науковий консультант - доктор технічних наук, професор **Смирнов Генріх Федорович**

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Круковський Павло Григорович**,
начальник відділу, Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

доктор технічних наук, професор **Горбенко Геннадій Олександрович**,
завідувач кафедри, Національний аерокосмічний університет "ХАІ",
МОН України м. Харків

доктор технічних наук, професор **Дорошенко Олександр Вікторович**,
професор кафедри, Одеська державна академія холоду, **МОН України**, м. Одеса

Провідна організація: **Інститут проблем машинобудування НАН України**, м.
Харків

Захист дисертації відбудеться "2" 10 2002 р. у 11³⁰ годині 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 бібліотеці ОДАХ.

Автореферат розіслано "1" 11 2002 р.

ЧЕНІЕ ВЫВОДОВ		НАЗН
ЛП	Логическая земля	адапти
2	Выводы питания вех	
2.3	Выводы подкл	
2.3	Выводы кан	сор
2.3	Выводы п	
1,2,3	Выв	
450		
п.с.		

В.І.Мілованов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Електронні засоби приймання, передачі та обробки інформації, засоби управління відіграють велику роль у технологічних та технічних системах різного призначення. Особливо важливого значення ці пристрої набувають у системах національної оборони, охорони навколишнього середовища, службах для подолання наслідків стихійних лих і т. д. У багатьох випадках спеціальні вимоги та умови визначають розташування електронної апаратури у пересувних обслуговуваних комплексах. Нестандартний характер розміщення радіоелектронної апаратури (РЕА) у транспортних комплексах (ТК) істотно ускладнює проблему забезпечення надійних теплових режимів її роботи.

Сучасні тенденції розвитку електронної апаратури, що пов'язані із зростанням густин тепловиділення, загальними масштабами розсіюваної потужності, посиленням температурних обмежень, що приводить до зросту навантаження на системи терморегулювання (СТР) та збільшенню їх частки в енергоспоживанні, масі та габаритах радіоелектронних комплексів. Застосування традиційних методів і засобів організації тепловідведення та термостабілізації, які орієнтовані на природну або вимушену повітряну конвекцію, не може забезпечити виконання належних вимог та необхідний рівень надійності. Слід переходити до використання таких форсованих засобів теплообміну як рідинне та рідинно-випарне охолодження, залучати нові перспективні методи тепловідведення, включаючи двофазні технології передачі теплоти та інш. Досвід застосування форсованих методів тепловідведення вельми обмежений, а наукові основи їх раціонального використання ще недостатньо розроблені.

Для пересувних обслуговуваних електронних комплексів системи забезпечення теплового режиму (СЗТР) повинні доповнюватися пристроями життєзабезпечення операторів, важливою складовою яких є системи кондиціонування повітря (СКП). Існуюча практика і наукові основи проектування СКП для ТК РЕА зорієнтовані на незалежне визначення навантажень для забезпечення нормальних умов роботи операторів і для систем термостабілізації апаратури. Аналіз існуючої технічної інформації, публікацій в науково-технічній літературі свідчить, що теоретичні основи раціонального проектування і вдосконалення таких перспективних технічних систем як СТР ТК РЕА практично відсутні, а конкретні інженерні розробки ґрунтуються на наявному досвіді, інтуїції та використанні опрацьованих технічних рішень із суміжних галузей техніки. При такому становищі складно розраховувати на створення високоефективних СТР для нових зразків ТК РЕА у короткі строки та з обмеженими витратами на НДЕКР. Вищевикладеним визначається **актуальність постановки і розв'язання важливої науково-технічної проблеми створення та вдосконалення систем терморегулювання транспортних комплексів радіоелектронної апаратури.**

Дисертація присвячена постановці та частковому вирішенню вищезазначеної важливої науково - технічної проблеми на основі передових досягнень двофазних технологій відведення теплоти від об'єктів з високої густини енергії із застосуванням теплових труб (ТТ).

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота виконувалась у рамках *Державної Програми реконверсії підприємств України*, затвердженої Міністерством промислової політики у 1997 р. та *Державної Програми розвитку озброєнь та військової техніки сухопутних військ України*

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка наукових основ створення нових і вдосконалення вже існуючих систем терморегулювання транспортних обслуговуваних комплексів радіоелектронної апаратури (СТР ТК РЕА) на підставі використання концепцій, методів і апаратурної реалізації сучасних двофазних теплопередаючих технологій при синтезі оптимальних структур розподілення потоків енергії та маси, що забезпечують заздалегідь задані тепловологісні поля у внутрішньому обсязі контейнерів. Досягнення зазначеної мети зумовило постановку і розв'язання *задач*:

- аналізу сучасних концепцій, методів, конструкцій СТР ТК РЕА і технологій, спрямованих на досягнення поставленої мети, за даними літературних джерел і патентного пошуку;
- моделювання і оптимізації теплових і тепловологісних режимів СТР ТК РЕА з урахуванням розподілу повітряних потоків, динаміки тепловологісних співвідношень, взаємодії потоків теплоти і вологи у системах "оператори + корпус контейнера", "РЕА + оператори + корпус", "РЕА + оператори";
- розробки та обґрунтування ієрархії схемних рішень СТР ТК РЕА та рівнів застосування технології ТТ у таких системах, на підставі яких визначаються природні пріоритети існуючих рішень і прогножуються нові перспективні схеми;
- синтезу оптимальних структур дистрибуції потоків для різних схемних рішень СТР ТК РЕА, що відповідає різним варіантам цільових функцій: мінімуму холодопродуктивності, мінімуму енергоспоживання, мінімуму масогабаритних показників та інш.;
- ефективного застосування двофазних технологій передачі теплоти на підставі теплових труб (ТТ) для вдосконалення показників СТР ТК РЕА на різних ієрархічних рівнях: на I-му рівні – елемента, II-му рівні – приладу, III-му рівні – стояків і шафи, на IV-му рівні – системи в цілому;
- пошуку найбільш перспективних технологічних форм застосування ТТ для вдосконалення СТР ТК РЕА на кожному рівні та порівняльного аналізу традиційних і запропонованих

технічних рішень для обґрунтування доцільних форм і напрямів вдосконалення СТР ТК РЕА.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертації захищаються *нові наукові положення*.

1. Підґрунтям створення та вдосконалення систем терморегулювання пересувних комплексів РЕА є сумісний розгляд і моделювання процесів тепло- і масопереносу в системі "РЕА/контейнер/оператор", які дозволили досягнути заздалегідь заданих комфортних параметрів повітряного середовища у внутрішньому обсязі контейнера при мінімальному енергоспоживанні і фіксованій холодопродуктивності кондиціонера, а також сформулювати проектні критерії оптимального вибору основного і допоміжного устаткування в умовах невизначеності інформації про тепловологісні характеристики навколишнього середовища.

2. Існують оптимальні структури розподілу потоків повітря між головними об'єктами системи терморегулювання (операторами, РЕА і корпусом контейнера), при яких досягаються мінімальні значення енергоспоживання або екстремальні значення компромісних критеріїв ефективності системи, в цілому. Визначення подібних оптимальних структур та конструювання на їх основі СТР ТК РЕА забезпечує істотний вигад при порівнянні з традиційними технічними рішеннями, орієнтованими на паралельний розподіл повітряних потоків. Пошук оптимальних структур дистрибуції потоків енергії та маси при значній кількості об'єктів терморегулювання можна здійснити на підставі запропонованих алгоритмів структурного синтезу.

3. Двофазні технології передачі енергії із застосуванням теплових труб як ефективний інструмент скорочення кількості та величин повних термічних опорів теплових зв'язків СТР, раціоналізації їх структури, включаючи байпасування системи зі штучними джерелами холоду, - є міцним засобом удосконалення СТР ТК РЕА. Систематизація, побудова ієрархії схемних рішень та досконалість СТР ТК РЕА базуються на принциповій ролі "якості" теплових зв'язків, що визначаються їх повними термічними опорами. Максимальний позитивний ефект від застосування двофазних технологій досягається при їх використанні на всіх чотирьох ієрархічних рівнях.

Обґрунтованість і достовірність основних висновків, рекомендацій, наукових положень і результатів визначаються:

- коректною постановкою задач та всебічним зіставленням з існуючим інженерним досвідом,
- використанням сучасних методів математичного моделювання і реалізацією їх у формі програмних засобів у багатофакторних комп'ютерних експериментах,
- використанням апробованих методів розрахунку параметрів і характеристик основного і допоміжного обладнання, які забезпечують добру погодженість розрахунків з результатами випробувань,

- всебічним експериментальним і конструкторсько-технологічним відпрацюванням нових технічних рішень з використанням перспективних двофазних технологій теплопередачі для вдосконалення СТР ТК РЕА на різних ієрархічних рівнях.
- новими конструкціями СТР ТК РЕА та окремими пристроями, новизна та корисність яких захищені патентами України.

Практичне значення одержаних результатів, положень і рекомендацій даної роботи визначається:

- розробкою конструктивно-технологічних рішень щодо застосування технології теплових труб для вдосконалення СТР РЕА на всіх рівнях;
- створенням комплексу машинно-орієнтованих методів, алгоритмів і програм розрахунку та оптимізації режимів і схемних рішень СТР ТК РЕА;
- визначенням для типових варіантів ТК РЕА оптимальних параметрів і схемних рішень СТР, що забезпечують надійні теплові режими РЕА;
- побудовою ефективних методів синтезу оптимальних структур дистрибуції потоків у ТК РЕА з багатьма енергогенеруючими джерелами;
- обґрунтуванням визначенням основних принципів, методів, форм і способів вдосконалення СТР ТК РЕА для нових перспективних завдань і розробок.

Особистий внесок здобувача підтверджують 7 самостійних наукових публікацій, в яких викладено головні ідеї і положення теоретичних розробок і практичних пропозицій. Особистий внесок автора в роботах, виконаних у співавторстві:

- [3,4,5] - Постановка задачі, аналіз та головні висновки
- [6 - 9] - Постановка експерименту, розробки методик, аналіз результатів
- [10, 11, 13, 16] - Постановка задач, аналіз і висновки
- [17,18,19, 21] - Постановка задач та аналіз
- [21 - 26] - Принципові ідеї

Апробація результатів дисертації. Основні положення, результати, висновки і рекомендації подано в 28 роботах, опублікованих у виданнях, що задовольняють вимогам ВАК України, а також оприлюднено на регіональних і міжнародних наукових семінарах, симпозіумах і конференціях.

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається зі: вступу, п'яти розділів і висновків. Зміст дисертації викладений на 312 сторінках машинописного тексту, містить 73 рисунки, 11 таблиць і 8 додатків, об'єднаних в окремий том. Список літератури складається зі 196 найменувань літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертації, відбитий зв'язок з державними програмами, сформульовані мета і задачі дослідження. Наведені нові наукові положення, конкретний особистий внесок автора, відомості про апробацію результатів дисертації та публікації.

Перший розділ присвячений аналітичному огляду інформації ймовірних тенденцій розвитку пересувних обслуговуваних комплексів радіоелектронної апаратури з аналізом вимог до систем, що забезпечують надійний тепловий режим. Оскільки на теперішній час об'єктами ТК РЕА є переважно спеціальні системи, незважаючи на велику кількість розглянутих джерел, конкретної інформації з вказаних питань у багатьох випадках не було або вона була вельми обмеженою. Перелік опублікованих праць, достатньо близьких до теми дисертації, виявився винятково скромним (близько десяти джерел), що відрізнялися в основному приватним характером об'єкта публікації. Подана інформація є підставою для таких висновків.

1. Проблема терморегулювання транспортних засобів ускладнюється обмеженими розмірами приміщення для розташування обладнання систем кондиціонування, суттєвим впливом коливань температури навколишнього середовища, постійною присутністю обслуговуючого персоналу.
2. Існуючі технічні рішення з кондиціонування транспортних засобів, що комплектуються обладнанням, яке випускають серійно, орієнтовані на певні "стереотипи". До таких належать:
 - використання систем повітряної вентиляції як основи для забезпечення теплових режимів у внутрішніх об'ємах кондиціонованих приміщень.
 - застосування парокомпресійних джерел штучного холоду, що складаються зі стандартних комплектувальних: компресорно-конденсаторних агрегатів, випарників-повітроохолоджувачів, засобів автоматичного управління та арматури.
 - відсутність диференційованого підходу до обрання конструктивних і схемних рішень кондиціонування залежно від фізичного складу джерел тепловиділення та їх призначення (прилади, апаратура, оператори і т. п.).
 - використання стандартних джерел живлення з напругою ~ 220...380 В.
 - типові температурні режими кондиціонерів орієнтовані на температури навколишнього середовища 30...40° С, температуру повітря у приміщенні 18...25° С.
3. Досвід, який є у конструюванні транспортних установок кондиціонування повітря, виробництва штучного холоду і СЗТР РЕА припускає їх незалежну розробку, що неминуче пов'язано з підвищеними матеріальними та енергетичними витратами.

Таким чином, аналіз сучасного стану винахідництва, технології, інженерного досвіду при створенні та вдосконаленні ефективних СЗТР для обслуговуваних ТК РЕА демонструє актуальність постановки і розв'язання комплексної науково-технічної проблеми створення та вдосконалення систем терморегулювання транспортних комплексів радіоелектронної апаратури на основі ефективних двофазних технологій тепловідведення.

Головними складовими елементами проблеми, включаючи обрання принципів організації тепловідведення (пасивна СТР, використання комбінованої СТР, вибір джерел холоду і т. д.), є:

- теплофізичні основи моделювання і вибору раціональних технічних рішень для СЗТР ТК РЕА, включаючи обрання принципів організації тепловідведення (активна, пасивна СТР, використання комбінованої СТР);
- узагальнені комп'ютерно-орієнтовані методи аналізу і синтезу СТР ТК РЕА та дослідження на їх основі оптимальних схем і режимів;
- експериментальне моделювання двофазних теплопередавальних технологій для вдосконалення СТР ТК РЕА;
- дослідження та дослідно-конструкторське пророблювання нових перспективних технологічних і схемних рішень для типових варіантів СЗТР.

У другому розділі розроблено та обґрунтовано: ієрархію схемних рішень СТР ТК РЕА, основні підходи до проблеми обрання та вдосконалення схемних рішень СТР, основи теплофізичного моделювання теплових режимів і характеристик СТР. На відміну від традиційних методів розрахунку теплових режимів РЕА (розроблених проф. Дульневим Г.Н. та його учнями), призначених для умов, коли параметри системи охолодження і структура поточкорозподілу задані, у цьому розділі розвиваються методи раціонального проектування СТР ТК РЕА, метою яких є визначення параметрів потоків і структури поточкорозподілів при відомих обмеженнях у температурних режимах і заданих (повних і питомих) теплових потоках.

В окремому підрозділі розроблюються теоретичні основи синтезу оптимальної структури аеродинамічної мережі СТР, розвиваються і обґрунтовуються методи розрахунку тепловологісних режимів у системах "РЕА + оператори", "оператори + корпус", "РЕА + оператори + корпус".

Вихідні положення і принципи таким чином визначають вихідний склад "активної" СТР:

- прилади, блоки, стояки, шафи РЕА – джерела тепловиділення.
- оператори як джерела тепло - і вологовиділення.
- корпус контейнера, в якому розміщується комплекс як тепловий зв'язок між навколишнім середовищем і внутрішнім об'ємом.
- холодильна машина (кондиціонер) як стік тепла.
- вентилятори як джерела тепловиділень і циркуляції.
- повітропроводи та пристрої для очищення повітря.

Такий склад СТР припускає, що тепловідведення від усіх об'єктів СТР здійснюється до повітря. Обдування повітрям, як відомо, обмежує інтенсивність тепловіддачі значеннями коефіцієнтів тепловіддачі порядку 30...50 Вт/м²·К. Застосування оребрення кардинально не вирішує проблеми терморегулювання для теплонавантажених поверхонь з густиною теплового потоку $[q_d] > 1$ Вт/см². Виникає необхідність застосування тепловідводних пристроїв з істотно більшою інтенсивністю теплообміну. До таких належать:

- системи (пристрої) рідинного охолодження (СРО),
- системи (пристрої) рідинно-випарного охолодження (СРВО), у тому числі двофазні теплопередавальні контури,
- кондуктивні та кондуктивно – випарні системи та пристрої (КС та КВС), у тому числі типу теплових труб та термосифонів,
- комбіновані системи і пристрої.

Обрання способу охолодження тепловідвідного пристрою визначає схемно-конструктивні та технологічні форми теплових зв'язків з такими параметрами, як $[t_d]$ та особливо $[q_d]$. З іншого боку, з фізіологічних причин формою відведення тепла і вологи від операторів є природне або вимушене обдування повітрям. Викладене визначає варіанти раціональних схемних рішень СТР, межі і масштаби цієї множини, тим самим формуючи класифікацію СТР ТК РЕА. Природно, що основу класифікації СТР складає система можливих теплових зв'язків і структура, що визначає можливі чи заборонені комбінації їх паралельного (послідовного) розташування.

Якщо прийняти, що чим менша кількість послідовних теплових зв'язків, тим вище їх рівень, тоді отримаємо, що теплові зв'язки між навколишнім середовищем і конденсатором холодильної машини, випарником холодильної машини і внутрішнім об'ємом повітря, корпусом контейнера і проміжними контурами до приладів РЕА утворюють I рівень теплових зв'язків. Теплові зв'язки між внутрішнім повітрям і операторами, приладами РЕА і корпусом контейнера, а також безпосередні теплові зв'язки між корпусом і ХМ утворюють II рівень. Врепті, теплові зв'язки від приладів РЕА до корпусу контейнера (включаючи і проміжні контури) утворюють III рівень зв'язків. Така природна класифікація визначає пріоритети в ієрархії складу окремих підзадач у розробці та проектуванні СТР. Було показано, що множина схемних рішень для "пасивних" СТР (ПСТР) складає дев'яносто варіантів схемних рішень. Подібний аналіз для "активних" СТР (АСТР) дає 105 схемних рішень. При цьому важливо зазначити, що розроблена узагальнена структура дає можливість виявити будь-яке з можливих раціональних схемних рішень СТР. Одне з можливих схемних рішень подано на рис. 1.

У загальному випадку синтез оптимальної структури аеродинамічної мережі системи терморегулювання для ТК РЕА складатиметься з:

- синтезу оптимальної структури централізованої аеродинамічної мережі ПСТР з орієнтацією на розрахункову температуру на вході $t_{в'}$, що дорівнює максимальній розрахунковій температурі навколишнього середовища. $(t_{nc})^{max}$.
- синтезу оптимальної структури централізованої аеродинамічної мережі АСТР з орієнтацією на розрахункову температуру на вході $t_{в'}$, яка дорівнює температурі на виході із системи кондиціонування повітря $[t_{в}]$ та відповідає вимогам стосовно температур повітря, яке подається на робочі місця операторів.

Для ПСТР, як цільової функції, природно брати сумарні енерговитрати. Тому для об'єктів ПСТР, які мають приблизно однакові обмеження з температури повітря на вході, оптимальною структурою аеродинамічної мережі буде паралельне розташування об'єктів. При істотних розбіжностях в обмеженнях з температури повітря на вході буде доцільним пошук оптимальної структури ПСТР. Дещо по-іншому складається ситуація для АСТР.

Енерговитрати для АСТР визначається не стільки втратами механічної енергії на обдування повітряними потоками об'єктів СТР, скільки витратою енергії на виробництво штучного холоду і пов'язаного з цим збільшенням маси

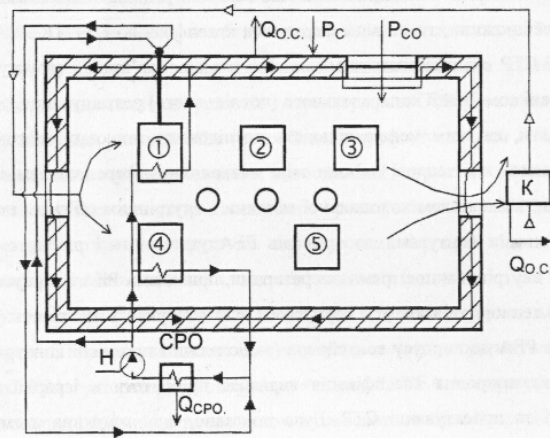


Рис. 1. Функціонально-технологічна схема АСТР з охолодженням корпусом і комбінованим тепловідведенням.

Звичайно, ці витрати безпосередньо залежать від витрати повітря, яке треба охолодити в кондиціонері до потрібної температури. Тому навіть для однакових за обмеженнями об'єктів СТР може стати доцільним перехід від паралельного розподілу повітря по об'єктах до паралельно-

последовного, що пов'язано зі зміною вигляду цільової функції, яка в цьому разі включатиме витрати енергії на охолодження повітряного потоку, на обдування об'єктів СТР і транспорт повітря, а також величини, які враховують вплив витрат енергії на загальну масу СТР. Різниця у функціоналах, мінімум яких визначатиме оптимальні структури АСТР, не змінить суті запропонованого ефективного методу побудови оптимальної структури аеродинамічної мережі.

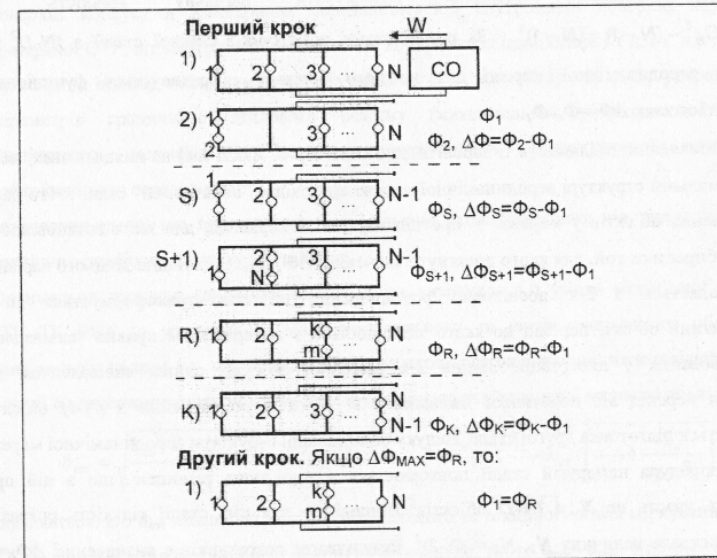


Рис. 2. Схема, що ілюструє метод визначення оптимальної структури аеродинамічної мережі, яка складається з N об'єктів. Φ – функціонал; 1), 2)...S), S+1), ...R)...K) – варіанти структур аеродинамічної мережі, для яких визначаються значення функціоналу на першому кроці; $\Phi_1 = \Phi_R$ вихідне значення функціоналу на другому кроці.

Отже, у будь-якому випадку "початковий" стан структури аеродинамічної мережі відповідає паралельному розподілу витрат повітря між об'єктами СТР (рис. 2). При цьому визначення для кожного окремого об'єкта мінімально припустимої витрати повітря за заданими обмеженнями, підсумовування усіх витрат та енерговитрат визначають у кінцевому підсумку мінімальне значення функціонала $(\Phi_o)_{min}$ для "початкового" стану. Після визначення $(\Phi_o)_{min}$ переходять до першої стадії пошуку оптимальної структури аеродинамічної мережі.

Суть першої стадії полягає у такому: розглядаються всі можливі варіанти організації в структурі аеродинамічної мережі єдиної гілки, що складається з двох послідовно розташованих

об'єктів. При цьому для кожного варіанта гілки з двох об'єктів визначається мінімальна загальна витрата повітря, при якій задовольняються обмеження для обох об'єктів у гілці.

Якщо кількість об'єктів N , а група операторів розглядається як єдиний об'єкт, тоді загальна кількість варіантів структур аеродинамічної мережі складе кількість сполучень з N об'єктів по 2, включаючи 2 перестановки для кожного сполучення за винятком $N-1$ сполучень з об'єктом "оператори", який завжди розташований першим за ходом повітря. Тобто на першій стадії у загальному випадку потрібно розрахувати загальну кількість варіантів $N_1 = 2 \cdot C_N^2 - (N-1) = (N-1)^2$. За результатами розрахунків першої стадії з $(N-1)^2$ варіантів структур аеродинамічної мережі для кожного варіанта розраховується функціонал Φ_i і визначається знак $\Delta\Phi_i = \Phi_{i-1} - \Phi_i$.

Зіставленню підлягають ті варіанти, для яких $\Phi_i > 0$. Якщо такі не виявляються, це означає, що оптимальній структурі аеродинамічної мережі відповідає "початковий" стан, тобто паралельне розташування об'єктів у мережі. У протилежному разі з варіантів, для яких встановлюється, що $\Phi_i > 0$, вибирається той, для якого досягнуто значення $(\Delta\Phi_i)_{\max}$. Відповідна до цього варіанта гілка, яка складається з 2-х послідовно розташованих об'єктів, трансформується як деякий еквівалентний об'єкт, перехід до якого здійснюється з додержанням правил "еквівалентності", сформульованих у дисертації. Заміна 2-х реальних об'єктів одним еквівалентом дозволяє здійснити перехід від початкової множини з N об'єктів до множини з $(N-1)$ об'єктів, чим здійснюється підготовка другої стадії пошуку оптимальної структури аеродинамічної мережі.

Процедура на другій стадії повторюється з тою лише різницею, що в цій процедурі братимуть участь не N , а $(N-1)$ об'єктів. Відповідно для цієї стадії кількість розрахункових варіантів складе величину N_2 . $N_2 = (N-2)^2$. Результатом розрахунків є визначення $\Delta\Phi_2 = \Phi_1 - \Phi_2$ і перевірка нерівності $\Delta\Phi_2 > 0$. Якщо ця нерівність виконується хоча б для одного з варіантів 2-ої стадії пошуку оптимальної структури, тоді той варіант гілки з двох елементів, для якого досягається найбільше значення $(\Delta\Phi_2)_{\max}$ трансформується в "еквівалентний", і розмірність множини об'єктів перед третьою стадією зменшується до $(N-2)$, а максимальна кількість варіантів розрахунку складе $N_3 = (N-3)^2$ і т. д.

Процедура побудови оптимальної структури аеродинамічної мережі зупиняється на тій стадії, для якої не знаходиться навіть єдиного варіанта, для якого $\Delta\Phi_i = \Phi_{i-1} - \Phi_i$ було б позитивним. При цьому оптимальною визнається структура аеродинамічної мережі, що знайдена на $(i-1)$ стадії.

У третьому розділі подано розроблені математичні моделі, алгоритми і програми розрахунку загальних і деяких важливих окремих задач розрахунку і обрання оптимальних параметрів і схемних рішень СТР ТК РЕА. Тут також наведені і обговорюються результати

великих числових досліджень оптимальних параметрів, структур розподілу потоків і схемних рішень СТР.

Серед розглянутих у третьому розділі важливих окремих задач:

- визначення оптимальної товщини теплоізоляції корпусу контейнера.
- визначення умов раціонального застосування внутрішнього охолодження корпусу контейнера, включаючи різні варіанти тепловідведення від корпусу (від зовнішньої поверхні корпусу в навколишнє середовище, від внутрішньої поверхні корпусу до повітряної СТР, від внутрішньої поверхні до випарника кондиціонера і т. д. і т. п.).
- визначення впливу теплоаккумуляційних властивостей контейнера на вибір розрахункових параметрів граничного теплового режиму (максимальної розрахункової густини зовнішнього променистого потоку, максимальної розрахункової температури навколишнього середовища).
- визначення умов, що припускають застосування тепловідведення від приладів РЕА на зовнішню поверхню корпусу контейнера.

Оптимальна товщина теплоізоляційного шару визначалася з умови мінімізації загальної маси СТР ТК РЕА (з урахуванням маси холодильного та енергогенеруючого обладнання, необхідних запасів палива і т. п.). Наведений вище вираз для визначення оптимальної товщини шару ізоляції δ_{ext} одержано шляхом мінімізації функціонала еквівалентної маси системи:

$$\delta_{\text{ext}} = \sqrt{\frac{\lambda_{\text{из}} \cdot S_H \cdot (K_3 \cdot B_1 + B_2) \cdot [q_H \cdot \varphi_H + \alpha_H \cdot (t_H - t_{\text{cp}})]}{\rho_{\text{из}} \cdot S_{\text{г}} \cdot \alpha_H}} - \lambda_{\text{из}} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_H} + \frac{S_H}{\alpha_{\text{г}} \cdot S_{\text{г}}} \right) \quad (1)$$

Якщо виявляється, що δ_{ext} менша від деякого мінімального за технологічними міркуваннями шару ізоляції δ_{min} , то нанесення ізоляційного покриття недоцільне, тобто $\delta_{\text{ext}} \leq \delta_{\text{min}}$. При $\delta_{\text{ext}} \geq \delta_{\text{min}}$ умова (1) визначає оптимальну товщину даного ізоляційного покриття.

Для різних варіантів конвективного охолодження корпусу встановлено:

1. Якщо немає теплової ізоляції і використання повітряних каналів охолодження корпусу пов'язане з умовою $\alpha_H (t_H - t_{\text{cp}}) < q_H \cdot \varphi_H$, тоді таке охолодження недоцільне.
2. За наявності внутрішньої теплоізоляції використання каналів повітряного охолодження дає позитивний ефект, і пов'язане з цим відносне зниження теплового навантаження

$\Delta Q_{\text{cp}} / Q_{\text{cp0}}$ визначається співвідношенням:

$$\frac{\Delta Q_{\text{cp}}}{Q_{\text{cp0}}} = \frac{E}{\frac{S_H}{S_{\text{ко}}} + E + \frac{S_H \cdot \alpha_H}{2 \cdot M \cdot c}} \quad (2)$$

де E – коефіцієнт ефективності тепловідведення в системі "стінка корпусу + канали охолодження".

3. Доцільність застосування рідинного охолодження визначається умовою:

$$E \cdot q_n \cdot \varphi_n \gg \alpha_n \cdot (t_1' - t_n) \quad (3)$$

де t_1' - температура теплоносія на вході.

4. Доцільність використання теплових труб для вдосконалення теплових режимів корпусу контейнера пов'язана з обмеженнями на повні термічні опори теплових труб у формі:

- при повздовжньому розташуванні теплових труб:

$$R_{от} \ll \frac{1}{\pi \cdot D_k^2 \cdot \sqrt{\alpha_n \cdot \lambda_k \cdot \delta_k}} \quad (4)$$

- при поперечному розташуванні труб:

$$R_{от} \ll \frac{1}{L_k \cdot \sqrt{\alpha_n \cdot \lambda_k \cdot \delta_k}}, \quad (5)$$

де D_k , L_k і δ_k - відповідно діаметр, довжина і товщина корпусу.

Оцінки показали, що застосування ТТ як теплопроводів від корпусу недоцільне при величинах повного термічного опору $R_{отт} < 10^{-2}$ град/Вт.

Розв'язання задачі про вплив теплоаккумуляційних властивостей корпусу на зниження середніх значень розрахункових теплових навантажень приводить до рекомендацій, які встановлюють зв'язок між середньодобовими значеннями питомого теплового навантаження q_0 і температури навколишнього середовища t_n та розрахунковими значеннями $q_{розр}$ і $t_{розр}$ у вигляді:

$$q_{розр} = \bar{q} \cdot \left\{ 1 + \left[\left(\frac{\delta_k \cdot \rho_k \cdot C_k \cdot K_0}{\alpha_n + \alpha_e} \right)^2 + 1 \right]^{-1} \right\}, \quad (6)$$

$$t_{розр} = \bar{t} + (t_n^{max} - \bar{t}_n) \cdot \left[1 + \left(\frac{\delta_k \cdot \rho_k \cdot C_k \cdot K_0}{\alpha_n + \alpha_e} \right) \right], \quad (7)$$

де K_0 - коефіцієнт, що враховує періодичність сонячної дії.

Таким чином, якщо теплоакуючі властивості стінки є визначаючими

$$\delta_k \cdot \rho_k \cdot C_k \cdot K_0 > (\alpha_n + \alpha_e) \quad (8)$$

то

$$q_{розр} = \bar{q}_0 \text{ і } t_{розр} = \bar{t}_n. \quad (9)$$

Тобто в цих випадках для об'єктивного обрання схемних і конструктивно-технологічних рішень СТР ТК РЕА слід орієнтуватися не на максимально досяжні значення q_0^{max} та t_n^{max} , а на середньодобові значення цих величин. Вплив теплоакуючих властивостей стінки можна не враховувати, якщо нерівність (8) не справджується.

Математична модель процесів, які відбуваються в СТР ТК РЕА, створена для визначення таких параметрів, як: загальний тепловий потік у корпус контейнера ΣQ_k ; масові витрати повітряних потоків M_i ; необхідна холодопродуктивність кондиціонера Q_0 ; ефективна потужність холодильної машини, а також для виявлення залежності цих величин від параметрів зовнішнього повітря (t_n , φ_n) і повітря, що надходить у контейнер.

Математична модель включає три послідовних блоки:

- системи рівнянь, які відбивають тепловолісні баланси повітря всередині корпусу контейнера;
- розрахунок параметрів циклу кондиціонування у I, d - діаграмі та визначення потрібної холодопродуктивності;
- розрахунок параметрів циклу парокомпресійної холодильної машини і визначення її основних енергетичних характеристик.

Перший блок включає шість взаємозв'язаних нелінійних рівнянь відносно змінних: Q_k - тепловий потік через корпус контейнера; M_c - масова витрата сухого повітря; M_e - масова витрата вологого повітря; t_{k1} - температура зовнішньої поверхні корпусу контейнера; t_{k2} - температура внутрішньої стінки корпусу; d_e - абсолютна вологість повітря на вході в контейнер.

Перше рівняння - тепловий потік через зовнішні огорожі, друге - те саме через ізоляцію, третє визначає тепловіддачу від внутрішньої поверхні контейнера до повітря, четверте - тепловий баланс всередині корпусу з урахуванням тепловолісного режиму, п'яте виражає взаємозв'язок сухого і вологого повітря, і шосте - баланс вологи в контейнері.

$$\begin{cases} Q_k = q_n \cdot \varphi_n \cdot S_n + \alpha_n \cdot S_n \cdot (t_n - t_{k1}) \\ Q_k = \frac{S_n \cdot \lambda_B}{\delta_B} \cdot (t_{k1} - t_{k2}) \\ Q_k = \alpha_B \cdot S_B \cdot (t_{k2} - t_B) \\ \sum Q_k = M_c \cdot (i_B'' - i_B') \\ M_c \cdot (d_B'' - d_B') = n_{оп} \cdot W_{оп} \\ M_c = \frac{M_B}{1 + d_B'} \end{cases} \quad (10)$$

де i_B'' , i_B' - питомі ентальпії повітря на виході і вході відповідно; $n_{оп}$, $W_{оп}$ - кількість операторів та їх питоме волого виділення, відповідно.

Вираз для α_n , що входить до першого рівняння, включає конвективну і радіаційну складові. Їх розрахунок, також як розрахунки ентальпії і абсолютної вологості повітря, складено у вигляді процедур і подано у Додатках до дисертації. Другий блок розрахунку характерних параметрів кондиціонування в I, d - діаграмі оформлений у вигляді процедури $qoko(t_n, \varphi_n, t_{ex}, n_{оп})$

математичній системі MathCad-2000 Pro, яку подано у Додатках до дисертації. У третьому блоці виконуються розрахунки характерних параметрів циклу парокомпресійної холодильної машини, що виконано мовою програмування Pascal –7.0. Саму програму, а також необхідні функції і процедури, які включають розрахунок теплофізичних властивостей екологічно чистого холодоагенту R134a, також подано у Додатках до дисертації.

За основні регламентуючі величини при моделюванні СТР ТК РЕА було взято:

- температуру повітря навколишнього середовища t_{oc} (варійовані значення $t_{oc} = 30, 40, 50^\circ\text{C}$).
- кількість операторів n_{on} (варійовані значення $n_{on}=1,2,3,4,5$).
- припустимі середньоповверхневі температури приладів РЕА $t_{доп}=30, 40, 60, 80, 120, 150^\circ\text{C}$.
- комфортні температура і вологість повітря $t_e=22...24^\circ\text{C}$; $\phi_e=0,5...0,6$.

Ці значення є верхньою межею температури повітря, охолоджуючого об'єкти за умови, коли ці параметри розглядаються як вимоги до температурно - вологісних умов на виході з контейнера. Ті ж самі умови розглядаються як обмеження за параметрами повітря "знизу", у тих випадках, коли вважається, що таких умов потрібно додержувати на виході з кондиціонера (на вході у контейнер). Відповідно, по-різному визначаються діапазони зміни основного варійованого параметра, який є незалежною змінною – температури повітря на об'єктах. У першому випадку – це температура повітря, яке входить до контейнера, у другому – температура повітря, яке "залишає" контейнер.

Діапазони варіювання характерних температур повітря обмежуються відомими санітарно-гігієнічними вимогами та складають значення порядку $10...22^\circ\text{C}$, чому відповідають варійовані значення температури на виході з кондиціонера (вхід у контейнер) t_n' від 8 до 20°C і варійовані значення температури на виході з контейнера t_n'' від 24 до 34°C . Крім того, варійованими змінними були структури потокорозподілів та об'єкти терморегулювання: оператори, корпус, прилади РЕА і структури типу: "оператори + корпус", "оператори + РЕА + корпус" (паралельний, послідовний і паралельно-послідовний розподіл) і т. д. і т. п.

Послідовність розрахунків енергетичних показників виглядає наступним чином:

Вихідні дані для ТК РЕА ► Вихідні дані для розрахунку холодильного циклу ► База даних холодоагентів ► Розв'язання системи рівнянь теплового балансу ► Розв'язання системи рівнянь вологісного балансу ► Визначення масових витрат повітря, вологості повітря, холодопродуктивності кондиціонера, температури кипіння і конденсації холодоагенту ► Розрахунок потужності повітряного підігрівника ► Розрахунок параметрів холодильного циклу ► Розрахунок внутрішніх втрат у компресорі ► Розрахунок теплофізичних властивостей холодоагенту ► Розрахунок потужності компресора кондиціонера ► Розрахунок сумарних енерговитрат.

За визначувані величини було вибрано: $Q_{хол}$ - холодопродуктивність кондиціонера; M_b , ΣM індивідуальні (оператори, РЕА, корпус) і сумарні витрати повітря відповідно; N_e , N_n - витрати потужності на привід компресора та на підігрівання повітря у кондиціонері.

Головні результати числових досліджень подано у формі графічних залежностей N_e , N_n , $Q_{хол}$, M_b , ΣM від характерних температур t_n' або t_n'' . Такі залежності будували для заданих значень регламентованих величин $t_{ис}$, $n_{оп}$, $t_{доп}$, $Q_{РЕА}$, різних варіантів структури і т. п.

Для кожної залежності визначалися значення $(t_n')_e$ або $(t_n'')_e$, відповідно до умов $(N_e+N_n)_{min}$ - мінімуму енерговитрат, які вважалися оптимальними. Паралельно аналізувався і характер залежностей $Q_{хол}$, M_b , ΣM від характерних температур, у тому числі в області оптимуму.

У розділі 3 подано залежності N_e , N_n , ΣM та (N_e+N_n) від t_n'' при різних значеннях $t_{ис}$ ($30, 40, 50^\circ\text{C}$). Як об'єкт розглядається система "оператори + корпус" при $n_{оп}=1$. Як бачимо, із зростанням t_n'' несприятливо збільшуються всі параметри, що визначає рекомендації з $(t_n')_e$ - оптимального значення температури на виході з кондиціонера (на вході до об'єктів), яке дорівнює обмеженню знизу $(t_n')_e=12^\circ\text{C}$ (при санітарно-гігієнічній вимозі до перепаду температур всередині корпусу Δt_k меншому за 12°C). З урахуванням цих обмежень умовному оптимуму відповідатиме більше значення температури повітря на виході з кондиціонера (наприклад, при $\Delta t_k=6^\circ\text{C}$ $(t_n')_e=16^\circ\text{C}$), хоча при цьому незначною мірою зростатимуть (погіршуватимуться) головні показники кондиціонера.

Такий характер дії температури t_n'' пов'язаний з фіксацією за даних умов максимального значення вихідної температури як відповідної до вимог, що ставляться до комфортних умов.

При завданні t_n'' для СТР з визначальним впливом на теплові навантаження операторів спостерігається трохи незвичайна для СКП тенденція покращення енергетичних показників із зменшенням температури на виході з кондиціонера.

Інший характер закономірностей спостерігається при переході до незалежної змінної t_n' , тобто до фіксації за температурою повітря "знизу" і до зміни варійованого діапазону температур t_n' від 24 до 34°C . В таких випадках для прийнятих умов розрахунків всі основні показники СТР (СКП) змінюються монотонно, зменшуючись із зростанням t_n' , що не є парадоксальним і свідчить про перевагу таких умов визначення рекомендацій за головними параметрами і схемними рішеннями СТР ТК РЕА. Зміни температури навколишнього середовища також є монотонними і відповідають природним фізичним уявленням (із зростанням $t_{ис}$ всі показники СТР погіршуються).

За деяких умов, коли вплив теплових навантажень від операторів відіграє провідну роль, виявляється немонотонний характер залежностей таких величин, як холодопродуктивність $Q_{хол}$, витрати енергії на підігрівання та охолодження і т.п. (рис. 3...6). Виникнення в заданих

температурних діапазонах немонотонного характеру залежностей головних енергетичних показників СТР (СКП) від t_n' визначається фізичними уявленнями.

Холодопродуктивність холодильної машини кондиціонера складає

$$Q_o = M_n \cdot \Delta i_n \quad (11)$$

де Δi_n - різниця ентальпій повітря до і після повітроохолоджувача.

При збільшенні t_n' витрата повітря M_n , як показано вище, зростає, а Δi - зменшується. Протилежний вплив M_n та Δi_n в (11) зумовлює оптимум (мінімум) холодопродуктивності Q_o за температурою t_n' . А проте, зважаючи на інтенсивніше падіння Δi (наприклад, не тільки через збільшення i_n , але й через зменшення i_c пов'язаного зі збільшенням M_n при $M_n = \text{const}$), мінімум переміщується у бік вищих значень температури t_n' та для ряду випадків може виявитися поза розглядуваним діапазоном її зміни.

Енерговитрати N_e на роботу холодильної машини кондиціонера складають

$$N_e = \frac{Q_o}{\varepsilon_e} \quad (12)$$

де ε_e - ефективний холодильний коефіцієнт машини, який при постійності температури зовнішнього повітря збільшується при підвищенні температури кипіння холодоагенту у випарнику

Остання визначається температурою насичення повітря на виході з випарника і зростає при її підвищенні. Отже, ε_e збільшується із зростанням t_n' . Через те, що холодопродуктивність Q_o у чисельнику (12) мінімальна за t_{ex} , то збільшення ε_e у знаменнику призводить до інтенсивнішого (порівняно з Q_o) падіння N_e при збільшенні t_n' . Це зсуває мінімум N_e у бік вищих значень t_n' , які можуть виходити за рамки розглядуваного діапазону. Якщо це електродігрів, то $\sum N_e = N_e + N_{под}$

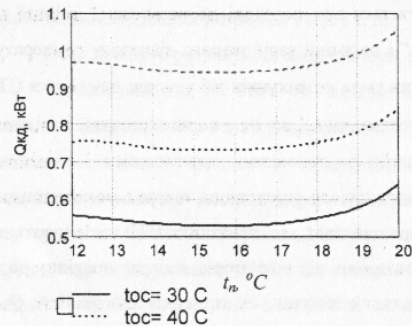


Рис. 3. Залежність холодопродуктивності кондиціонера Q_o для забезпечення комфортних умов одного оператора ($t = 22^\circ\text{C}$, $\varphi = 0,6$) від температур повітря t_n' та навколишнього

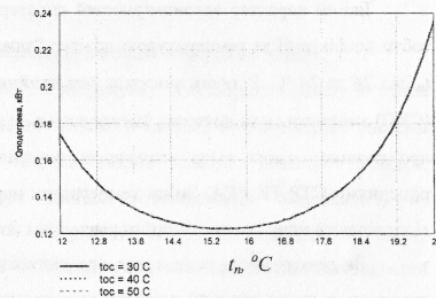


Рис. 4. Залежність витрати тепла на підігрівання повітря Q_{pod} для забезпечення комфортних умов одного оператора ($t = 22^\circ\text{C}$, $\varphi = 0,6$) від температур повітря t_n' і t_{oc} .

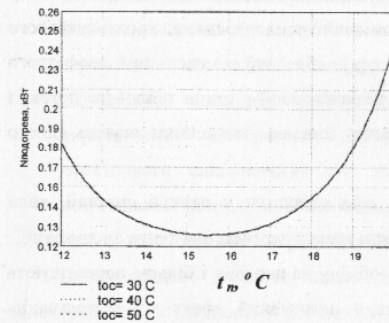


Рис. 5. Залежність потужності N_{pod} , яку витрачають на підігрівання повітря у контейнері для забезпечення комфортних умов одного оператора ($t = 22^\circ\text{C}$, $\varphi = 0,6$) від температур повітря t_n' і t_{oc} .

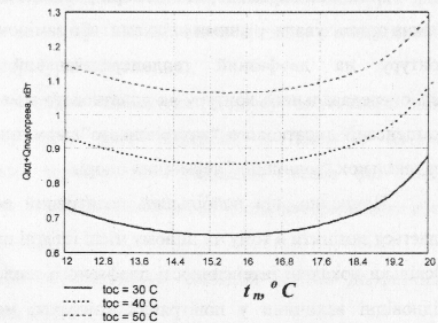


Рис. 6. Залежність сумарного теплового навантаження $Q_o + Q_{pod}$ для забезпечення комфортних умов одного оператора ($t = 22^\circ\text{C}$, $\varphi = 0,6$) від температур повітря t_n' і t_{oc} .

Якщо підігрівання здійснюється за рахунок відхідних газів двигуна ТК РЕА, то $\sum N_e = N_e$. Звідси вигляд залежностей $\sum N_e = f(t_n')$: величина $\sum N_e$ може або монотонно знижуватися або мати мінімум за t_n' (графіки на рис. 5, 6).

Зіставлення основних показників СТР ТК РЕА за оптимальних умов, знайдених на підставі розробленої теорії з даними, які можна встановити з використанням традиційного підходу, свідчать про те, що в багатьох випадках традиційні методи визначають потрібні показники СТР з більшими резервами, які навряд чи можна виправдати.

У розділі 4 запропоновано шляхи вдосконалення схемних і конструктивно-технологічних рішень СТР ТК РЕА на основі використання досягнень у технології ТТ. Фізичні підстави вдосконалення систем терморегулювання на основі двофазних теплопередавальних технологій пов'язані з "дією" на:

- величини окремих термічних опорів у теплопередавальних цілях (від об'єктів до "холодного" джерела (кондиціонера, холодильної машини і т. п.).
- структури теплопередавальних ланцюгів шляхом впровадження додаткових теплових зв'язків, заміни одних іншими і т. д.
- комбінування прийомів (способів), зумовлених заміною традиційних теплових зв'язків досконалішими типами ТТ.
- навантаження джерел штучного холоду шляхом їх часткової або повної заміни.

Вплив на окремі термічні опори у ланцюгах теплопередачі від об'єкта до джерела холоду можна організувати різними шляхами: або заміною проміжного теплопередавального повітряного контуру на двофазний теплопередавальний контур, або впровадженням двофазного теплопередавального контуру як додаткового з метою трансформації густини теплового потоку і компенсації додаткового "внутрішнього" термічного опору істотним зниженням значень одного чи декількох "зовнішніх" термічних опорів.

Природно, що найбільший позитивний ефект слід очікувати у першій ситуації, коли вдається замінити в тому чи іншому місці істотні повітряні тракти перенесення тепла на двофазні. Оскільки локальні інтенсивності двофазного тепломасообміну на порядок і більше перевищують відповідні величини у повітряних контурах, можливий позитивний ефект від застосування двофазної теплопередавальної технології буде максимальним у тих ситуаціях, коли вдається здійснити повну заміну повітряного контуру кондуктивно-випарними ТТ. Традиційні конструктивно-технологічні рішення РЕА, у тому числі і для пересувних обслуговуваних комплексів, свідчать про такі принципи можливості ефективного використання двофазних теплопередавальних технологій для вдосконалення схемних і конструктивно-технологічних рішень відповідних СТР, а також підвищення надійності забезпечення нормальних тепловолісних режимів РЕА:

- для окремих блоків і приладів РЕА застосування теплових труб як теплових зв'язків від окремих теплонавантажених елементів до зовнішніх, охолоджуваних повітрям, поверхням приладів, блоків РЕА дозволяє істотно знизити внутрішні термічні опори, тим самим підвищити припустимі температури поверхонь тепловідведення, і, як наслідок, знизити витрати повітря, необхідні для забезпечення нормальних теплових режимів, зменшити навантаження на пристрої тепловідведення СТР (кондиціонери, систему вентиляції і т. д.), і тим самим знизити витрати маси, енергії і т. п. Водночас можна досягнути суттєвого зниження робочих температур функціональних і силових елементів РЕА і за рахунок цього досягти значного збільшення надійності;
- відведення теплоти за допомогою теплових труб від окремих блоків, приладів РЕА можна організувати не на повітря внутрішнього об'єму ТК, а на корпус контейнера і далі безпосередньо у навколишнє середовище (якщо дозволять температурні обмеження) або на випарник холодильної машини і т. д.;
- використання теплових труб в окремих блоках, приладах РЕА, розташованих у шафах, стояках, пультах, дозволяє організувати відведення тепла у повітря найкращим чином і за рахунок цього зменшити необхідні витрати повітря при одночасному зниженні робочих температур елементів РЕА. Тобто при істотному підвищенні надійності досягається зниження навантаження на джерела штучного холоду і, як наслідок, зменшення витрат;

- перспективним виявляється використання двофазних теплопередавальних контурів для відведення тепла від стояків і шаф РЕА на корпус ТК або безпосередньо у навколишнє середовище (якщо дозволяють відомі температурні обмеження);
- застосування теплових труб у конструктивних елементах корпусу контейнера для вирівнювання температурних нерівномірностей його поверхні, а також з метою ефективного використання цієї поверхні корпусу для "збирання" тепла від РЕА, розташованої всередині, і безпосереднього тепловідведення в навколишнє середовище або прямої теплопередачі джерелу штучного холоду.

Вищевикладене дозволяє подати ієрархію перспективних схемних рішень двофазних теплопередавальних технологій для вдосконалення СТР ТК РЕА:

I рівень – елемента, вузла РЕА для блоків з корпусним виконанням і організацією тепловідведення на основі застосування теплових труб;

II рівень – (блока, приладу) з організацією тепловідведення на основі застосування кондуктивно - випарних тепловідводів, що сполучають охолоджувані прилади, блоки і тепловідвідну поверхню корпусу контейнера ТК;

III рівень – стояка, шафи, пульта. На цьому рівні застосування технології теплових труб можливо як для вдосконалення умов внутрішньої задачі – раціоналізації та інтенсифікації теплоперенесення від джерел тепловиділення до потоків повітря у внутрішніх об'ємах, так і для розв'язання зовнішньої задачі).

В межах одного "відсіку" шафи, стояка, пульта можливе об'єднання повітряно-конвективної системи з тепловідводами на основі ТТ. Разом з тим перехід до зовнішньої задачі відведення тепла на тепловідвідну поверхню корпусу контейнера навряд чи буде доцільним при збереженні повітряно-конвективного механізму. Тому є перспективними схемні рішення зовнішньої задачі на III-ому рівні у тих випадках, якщо вдається знайти конструктивно-технологічні рішення, які дозволяють "збирати" тепло від усіх відсіків і переносити його на корпус контейнера або в навколишнє середовище безпосередньо. Можливо, що один з варіантів таких конструктивно-технологічних рішень можна ґрунтувати на "трансформації" елементів несучих конструкцій у тепловідводи.

I рівень – пересувного охолоджуваного комплексу в цілому. На цьому рівні припускається застосування технології ТТ для:

- організації рівномірного розподілу зовнішніх теплових потоків.
- використання зовнішньої поверхні контейнера для ефективного відведення тепла в навколишнє середовище.

- забезпечення ефективних умов тепловідведення від окремих блоків, приладів, вузлів РЕА на тепловідвідну поверхню корпусу контейнера на основі технології ТТ.

Конструктивно-технологічний розробці та випробуванням були піддані колективні тепловідводи на рівні блока і на рівні стояка. Результати експериментальних досліджень показали, що з використанням таких пристроїв стає можливим на порядок збільшувати густину теплових потоків, істотно знижувати температурні перегрівання елементів РЕА, в 1,5 ...2 рази зменшувати енерговитрати на вентиляцію.

Застосування технології ТТ на 1-ому рівні (рівень СТР) пов'язане з двома основними завданнями:

- створити таку теплопередавальну систему на поверхні корпусу контейнера, яка дозволила б вирівнювати нерівномірності зовнішніх теплових потоків на корпусі контейнера, ефективніше (тобто з найменшими температурними перепадами) "збирати" теплові потоки і передавати їх стояку тепла (джерелу холоду).
- створити таку теплопередавальну систему на поверхні корпусу контейнера, яка не тільки "збирає" теплові потоки (як зовнішні, так і внутрішні), але й безпосередньо відводить їх у навколишнє середовище через поверхню деякого теплообмінника.

Дійсно, поверхня корпусу контейнера, навіть без заходів для її розвитку (наприклад, мініоребріння), складає десятки квадратних метрів. За умов вільної конвекції і скромного температурного напору близько 10°C така поверхня здатна забезпечити тепловідведення в навколишнє середовище теплових потоків близько 10 кВт, що для багатьох ТК РЕА відповідає сумарним тепловим потокам корпус + РЕА у найбільш напружених літніх режимах.

При цьому температура зовнішньої поверхні корпусу, не більша за 10°C , може перевищувати температуру навколишнього середовища. Якщо теплопередавальний ланцюг з двофазних теплопроводів забезпечить перепади температури поверхні контейнера до теплонавантажених елементів РЕА не більш за $10...15^{\circ}\text{C}$, це буде означати, що при екстремальних значеннях температури навколишнього середовища ($t_{\text{н}} = 50^{\circ}\text{C}$) на відповідних робочих поверхнях елементів РЕА температури будуть меншими за 80°C , чому відповідатимуть досить високі показники надійності.

Один з варіантів конструктивно-технологічної реалізації розв'язання цієї проблеми запропонований у дисертації і полягає в тому, що в системі стабілізації температури у приміщенні, яка містить зовнішню і внутрішню стінові оболонки з шаром теплоізоляції між ними згідно з винаходом, внутрішню оболонку виконано зі стінових панелей, периметр яких складається з контурних теплових труб. При цьому горизонтальні ділянки контурних теплових труб сполучені між собою рядом вертикальних теплових труб меншого діаметра, обладнаних радіаційно-

конвективними плавниками. Їх виконано з теплопередавальними контактними площадками, пристосованими для механічного сполучення з площадками випарника.

Система стабілізації температури (рис. 7) містить зовнішню оболонку 1 і внутрішню 2 з шаром теплоізоляції 3 між ними, а також компресорний агрегат 4 з контуром циркуляції холодоагенту, який містить конденсатор 5, дросельний пристрій 6 та випарник 7. Внутрішню оболонку виконано зі стінових панелей, периметр яких складається з контурних труб 8. При цьому горизонтальні ділянки контурних теплових труб 9 меншого діаметра, які обладнані радіаційно-конвективними плавниками 10. Крім того, горизонтальні ділянки контурних теплових труб обладнані теплопередавальними контактними площадками 11 і 11', пристосованими для механічного сполучення, наприклад, за допомогою болтів з відповідними площадками 12 випарника і площадками 12' електронагрівача.

Виконання внутрішньої оболонки зі стінових панелей, периметр яких складається з контурних теплових труб, дозволяє забезпечити рівномірність температурного поля такої панелі за рахунок використання фазового переходу теплоносія, що поглинає тепловий потік при випаровуванні в зоні випаровування, розташований вздовж поверхні стін приміщення, який віддає цей тепловий потік при конденсації в зону конденсації, яка прилегла до контактних теплопередавальних площадок, при постійній температурі, відповідній до тиску насичення теплоносія у порожнині теплової труби.

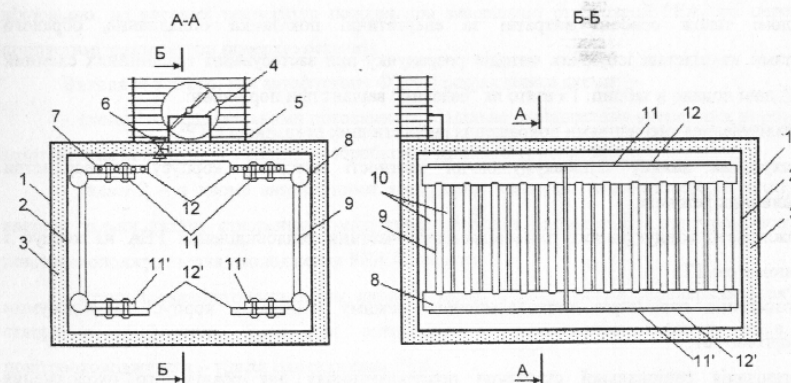


Рис. 7. Система стабілізації температури у внутрішньому відсіку контейнера (приміщення) на основі панельних теплових огорож з мережі двофазних теплопередавальних каналів: 1 - зовнішня оболонка; 2 - внутрішня оболонка з шаром теплоізоляції; 3 - шар теплоізоляції; 4 - компресорний агрегат; 5 - конденсатор; 6 - дросель; 7 - випарник; 8 - контурні теплові труби; 9 - горизонтальні ділянки контурних ТТ; 10 - радіаційно-кондуктивні плавники.

Виконання внутрішньої оболонки зі стінових панелей, периметр яких складається з контурних теплових труб, дозволяє забезпечити рівномірність температурного поля такої панелі за рахунок використання фазового переходу теплоносія, який поглинає тепловий потік при випаровуванні в зоні випаровування, розташованої вздовж поверхні стін приміщення, що віддає цей тепловий потік при конденсації в зоні конденсації, прилеглій до контактних теплопередавальних площадок, при постійній температурі, відповідній до тиску насичення теплоносія у порожнині теплової труби.

У п'ятому розділі проведений числовий аналіз шляхів удосконалення СТР реально розроблюваних ТК РЕА з метою покращення їх енергетичних характеристик.

Розглядалися два типи ТК РЕА – малої напруженості – шасі *МТЛБу* з сумарним тепловиділенням РЕА $Q_p = 1,2 \dots 1,4$ кВт і високої напруженості – автофургону Ф200С з $Q_p \approx 20$ кВт. Числовий аналіз проводився з допомогою моделей і методів, викладених у розділі 3.

З ТЗ на проектування СТР цих ТК РЕА були відомі експлуатаційні та геометричні характеристики елементів РЕА, їх розташування у корпусі комплексів, кількість операторів, а також параметри повітря навколишнього середовища, які визначили граничні режими термостатування, на яких розраховувались СТР при роботі комплексів у літній період:

I режим: $t_n = 50^\circ\text{C}$; $\phi_n = 24\%$

II режим $t_n = 35^\circ\text{C}$; $\phi_n = 85\%$

Відомі також основні витратні та енергетичні показники обладнання, обраного проєктантами на підставі існуючих методів розрахунку при застосуванні традиційних схемних рішень. Ці дані подано в таблиці 1 і взято як “базовий” варіант при порівнянні.

Аналізувалися такі напрями покращення енергетичних показників СТР:

- врахування впливу теплоакумуючої здатності матеріалу корпусу на параметри граничних режимів;
- можливість кондуктивного тепловідведення частини тепловиділення РЕА на корпус з допомогою ТТ;
- оптимізація параметрів тепловологісного режиму повітря у корпусі за мінімумом енерговитрат;
- організація раціональної структури повітророзподілу для роздільного охолодження окремих груп об'єктів термостатування.

Врахування акумуляції тепла металевим корпусом не призвів до скільки-небудь помітних позитивних результатів, бо при невеликій товщині корпусу $\delta_k = 7$ мм його теплоакумуючі властивості істотно поступаються теплопередавальним.

Кондуктивне тепловідведення на корпус з допомогою ТТ, розглянуте стосовно до шасі *МТЛБу*, призвело до зниження енерговитрат на виробництво холоду на 15...20%. Однак таке тепловідведення виявилось непридатним для застосування до автофургону Ф2000С, бо згідно з ТЗ, припущена температура поверхні встановлених у ньому елементів РЕА (плат із вмонтованими в них елементами РЕА) жорстко регламентована “зверху” значеннями 50...60°C, які виявилися нижчими за температуру корпусу 60 ...75°C.

Оптимізація параметрів тепловологісного режиму за мінімумом енерговитрат N_e проводилася сумісно з обранням раціональних схем повітророзподілу. При цьому фіксувалися температура і відносна вологість повітря на вході в корпус, значення яких бралися близькими до комфортних для операторів. Параметром оптимізації є температура повітря після термостатування.

Розглядалися такі схеми повітророзподілу.

Для шасі *МТЛБу*:

охолодження роздільними паралельними потоками операторів і групи (РЕА + корпус), далі їх змішування та обробка загального потоку в кондиціонері;

охолодження об'єктів загальним потоком у послідовності (оператори) → (РЕА + корпус).

Для автофургону Ф200С таке послідовне охолодження неприйнятне, бо тепловиділення операторів на порядок нижче від тепловиділення РЕА. Їх охолодження загальним потоком призвело б до малих значень витрати повітря, продиктованого тепловиділенням операторів, і відповідно, до високих температур повітря при завершенні стабілізації РЕА, які перевищують припустимі температури поверхні останніх.

Виходячи з цього, для автофургону Ф200С розглядалися схеми:

- схема 1 – з паралельними потоками на роздільне охолодження операторів, корпусу і РЕА, змішуванням їх на виході з корпусу і обробкою у загальному кондиціонері;

- схема 2 – з двома автономними контурами: контуром кондиціонера, в якому повітря виконує тільки задачу створення комфортних умов для операторів, і контуром, що включає повітроохолоджувач, для охолодження РЕА і корпусу;

- схема 3, яка відрізняється тим, що в автономному контурі кондиціонера повітря здійснює створення комфортних умов для операторів і охолодження корпусу, а в контурі повітроохолоджувача – тільки охолодження РЕА.

З табл. 1 видно, що розглянуті заходи і схемні рішення мають переваги перед традиційними; вигреш в енерговитратах N_e вельми істотний і складає 50...75%. У дисертації приведено докладний кількісний аналіз одержаних результатів.

З табл. 1 також випливає, що в результаті розглянутих заходів суттєво знижуються витрати енергії на підігрівання повітря N_{nd} . Підігрівання повітря у пересувному комплексі можна

Табл. 1. Основні енергетичні показники СТР автофургона Ф200С

Найменування		Позначення	Одиниця вимірюв.	Традиційна схема (розрахунок за збільшеними показниками)				Схема № 1 із загальним потоком повітря на вході і виході з корпусу				Схема № 2 з 2-ма контурами: на операторів, на (РЕА + корпус)				Схема № 3 з 2-ма контурами: на операторів + корпус, на РЕА			
				I режим	II режим	режим	режим	I режим	II режим	режим	режим	I режим	II режим	режим	режим	I режим	II режим	режим	режим
Температура повітря	Загального потоку на виході з корпусу	t_n''	°C	49,0	34,0	-	-	48,8	49,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Після кліматизації	°C	-	-	-	-	30	26	30	26	30	26	30	26	30	26	30	26
	Охолоджуючого РЕА або (РЕА + корпус)	t_n'	°C	35	20	-	-	24	20	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
		до після	°C	49,0	34,0	-	-	48,0	48,1	47,4	45,5	47,4	45,5	47,4	45,5	47,4	45,5	47,4	47,4
Витрата повітря	Загальний потік	M_n	кг/с	2,0	2,0	-	-	0,865	0,729	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		На кліматизацію	кг/с	-	-	-	-	0,035	0,036	0,035	0,036	0,035	0,036	0,035	0,036	0,137	0,098	0,137	0,098
	На охолодження або РЕА + корпус	M_p	кг/с	2,0	2,0	-	-	0,830	0,693	1,356	1,517	1,356	1,517	1,356	1,517	1,302	1,302	1,302	1,302
		Кондиціонера	кВт	-	-	-	-	29,72	28,61	1,90	2,86	1,90	2,86	1,90	2,86	3,72	4,06	3,72	4,06
Холодопродуктивність	Повітроохолоджувача	$(Q_0)_k$	кВт	28,2	28,2	-	-	-	-	23,40	24,09	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32
		Сумарна	кВт	28,2	28,2	-	-	29,72	28,61	25,30	26,95	25,30	26,95	26,04	26,38	26,04	26,38	26,04	26,38
	У хол. машині для кондиціонера	$(N_0)_k$	кВт	-	-	-	-	12,79	8,53	0,818	1,413	0,818	1,413	1,603	1,213	1,603	1,213	1,603	1,213
		У хол. машині для повітроохолоджувача	$(N_0)_n$	кВт	20,0	20,0	-	-	-	-	5,767	3,112	5,500	2,884	5,500	2,884	5,500	2,884	5,500
Витрати електроенергії	У вентилятори	N_{vent}	кВт	8,2	8,2	-	-	0,61	0,35	2,558	3,575	2,317	2,317	2,317	2,317	2,317	2,317	2,317	2,317
		Сумарні	кВт	28,2	28,2	-	-	13,40	8,88	9,143	8,100	9,143	8,100	9,420	6,414	9,420	6,414	9,420	6,414
	Відносний виграш у витратах на електроенергію	ΣN_e	%	-	-	-	-	52,5	68,5	67,6	71,3	66,6	77,3	66,6	77,3	66,6	77,3	66,6	77,3
		ϵ_{Ne}	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Витрати тепла на підігрівання		Q_{pod}	кВт	-	-	-	-	6,55	5,33	0,269	0,863	0,269	0,863	1,040	0,719	1,040	0,719	1,040	0,719

здійснити за рахунок утилізації теплоти відхідних газів або теплоти води, що охолоджує двигуни, в той час як для роботи парокомпресійної холодильної машини кондиціонера необхідна

електроенергія. Тому для цих двох статей енергоспоживання найбільш важливе зниження енерговитрат на виробництво холоду

У кінці розділу зроблено висновок про те, що існуючі методи проектування і використання традиційних схем термостабілізації СТР ТК РЕА високої і малої теплонапруженості призводять до невиправдано високих резервів за низкою важливих показників, у тому числі і за енергоспоживанням. Подано рекомендації стосовно обрання раціональних схемних рішень, які дозволяють ліквідувати ці недоліки і зменшити навантаження на холодильне обладнання СТР на 50 ...75% залежно від конкретних умов.

ВИСНОВКИ

- Традиційні шляхи розв'язання проблеми кондиціонування повітря обслуговуваних приміщень ТК РЕА і організації надійного терморегулювання приладів та пристроїв електронної апаратури ґрунтуються на незалежній розробці СКП і СТР та спрощеному "адитивному" підході до визначення навантажень і основних параметрів джерел штучного холоду та засобів вентиляції. Основні технічні рішення базувалися переважно на балансових співвідношеннях без належного врахування впливу локальних і загальних теплових провідностей, без аналізу шляхів раціоналізації структури потокорозподілу і синтезу оптимальних структур. Такий підхід призводить до невиправданого завищення матеріальних, енергетичних та вартісних витрат на створення СТР ТК РЕА і не сприяє підвищенню їх надійності та вдосконаленню. Залежно від повної потужності, яка виділяється при роботі електронної апаратури, густин поверхневих теплових потоків і температурних обмежень, у ТК РЕА можливі різні співвідношення між тепловими навантаженнями для "активних" і "пасивних" СТР. При "малому внеску" теплових потужностей "пасивних" СТР доцільно застосування єдиної АСТР. В інших випадках перспективні варіанти комбінування АСТР і ПСТР.
- Формування узагальненої структури та ієрархії теплових зв'язків у СТР для ТК РЕА, основою яких є ранжирування пріоритетів теплових зв'язків за I, II і III рівнями, за умови кращого вибору теплових зв'язків вищого рівня є ефективним засобом селекції множини найбільш перспективних можливих схемних рішень, які підлягають подальшому математичному та експериментальному моделюванню.

3. Форми і задачі теплофізичного моделювання СТР ТК РЕА істотно різні для умов, коли прилади та елементи РЕА розташовані у внутрішньому об'ємі контейнера і коли РЕА скомпонована у приладових шафах, стояках, пультах, для яких визначені обмеження за температурами і витратами повітря на охолодження та аеродинамічними характеристиками. При теплофізичному моделюванні СТР ТК РЕА, скомпонованих у приладових шафах і для яких сформульовано обмеження за тепловологісними режимами, доцільно сконцентруватися на розв'язанні задач синтезу оптимальних структур поточкорозподілів.
4. Математичне моделювання СТР ТК РЕА "малої теплонапруженості" ґрунтується на модифікованій концепції "узагальненої теплової провідності", в якій, на додаток до традиційного підходу, враховується вплив розподілу повітря. Витрати повітря для забезпечення теплових режимів РЕА не задаються, а визначаються з умов обмежень за температурним режимом РЕА, тепловологісним режимом операторів для відібраних ефективних структур поточкорозподілів.
5. Сукупність математичних моделей оптимальних конструктивно-технологічних рішень відведення тепла від корпусу контейнера базується на модифікованому методі узагальненої теплової провідності і дозволяє розв'язувати такі задачі, як:
 - обрання оптимальної товщини внутрішньої ізоляції корпусу контейнера ТК РЕА;
 - обрання раціональних схемних рішень організації індивідуального тепловідведення від корпусу контейнера, включаючи повітряне або рідинне охолодження корпусу, застосування двофазних тепловідводних контурів або теплових труб і т. д.
6. Суттєво нестаціонарний характер граничних теплових режимів корпусу контейнера припускає за необхідне при розрахунково-теоретичному аналізі теплових режимів СТР ТК РЕА орієнтуватися не на максимальне значення температури навколишнього середовища і максимальний тепловий потік, а на деякі розрахункові значення $(q_o^{max})_{розр.}$ та $(t_{nc}^{max})_{розр.}$, які при об'єктивному врахуванні акумуляційних властивостей стінки можуть виявитися суттєво нижчими від тих значень, що приймають у традиційних методах розрахунку. Таким чином можна суттєво знизити вимоги за граничними тепловими навантаженнями на СТР.
7. Вибір оптимальних структур поточкорозподілу визначається комбінуванням таких об'єктів та їх груп, як: "оператори", "корпус", "прилади", "оператори + корпус", "оператори + прилади" і т. п., у формі послідовно-паралельних мереж повітропроводів. Для кожної структури існує оптимальне значення температури повітря на виході з об'єкту t_n'' (або на вході в об'єкт t_n'), при якому досягаються мінімальні значення енерговитрат, холодопродуктивності або компромісного

- критерію оптимальності. На відміну від традиційного для СКП вибору як комфортних умов значень температури і вологості на виході із кондиційованого приміщення, у ТК РЕА об'єктивним буде регламентація умов для потоку повітря, що подається до об'єктів з кондиціонера. Відповідно змінною величиною у цьому випадку стане температура і вологість повітря на виході.
8. Числові дослідження загальних характеристик і параметрів СТР ТК РЕА показали:
 - а) прийняття як обмеження температурно - вологісних умов на виході з об'єму контейнера несприятливо відбивається на показниках СТР;
 - б) при завданні температурно - вологісних обмежень на вході у контейнер загальні тенденції впливу параметрів на показники СТР визначаються так: із зростанням t_n' знижуються питомі витрати енергії і тим сильніше, чим вище t_{oc} . Зростання t_{oc} збільшує витрати енергії, при допустимих для корпусів РЕА температур $[t_{ood}] \geq 60^\circ\text{C}$ і порівнюваних умовах тепловідведення між РЕА і підсистемою "корпус + оператори" визначальний внесок у показники СТР вносять підсистеми "оператори + корпус". При зниженні $[t_{ood}]$ до $30 \dots 40^\circ\text{C}$ і зростанні співвідношення Q_{PEA} / Q_{Op} ситуація змінюється, вплив РЕА на загальні показники СТР ТК РЕА стає визначальним. При цьому здійснюється перехід від монотонних залежностей для показників СТР ТК РЕА до немонотонних з існуванням екстремумів. Для таких показників як холодопродуктивність, енерговитрати для підсистем "оператори + корпус" точки екстремуму виникають у природних діапазонах визначальних температур t_n'' (або t_n') від 10 до 30°C .
 9. Зіставлення основних показників СТР ТК РЕА за оптимальних умов, здобутих на підставі розробленої теорії з даними, що можна встановити, використовуючи традиційний підхід, свідчать про те, що здебільшого традиційні методи визначають потрібні показники СТР з великими резервами, які навряд чи можна виправдати. Особливо істотне збереження цих резервів досягається:
 - при переході від традиційної схеми паралельного поточкорозподілу до оптимальних варіантів паралельно-послідовного поточкорозподілу;
 - при переході від температурно - вологісних обмежень на виході з контейнера до прийняття комфортних умов для повітря на вході у контейнер.
 10. Організація тепловідведення на основі кондуктивно - випарних пристроїв для СТР ТК РЕА перспективна за всіма схемними і конструктивно-технологічними рішеннями СТР РЕА від 1-го і до 4-го рівнів тепловідведення. На кожному рівні

раціональний “додаток” технології ТТ для вдосконалення СТР дозволяє за рахунок зниження температурних перепадів, зменшення величини повних термічних опорів досягати зниження робочих температур елементів РЕА, що веде до підвищення надійності, зниження енерговитрат та тепловідведення, зменшення маси і габаритів пристроїв тепловідведення.

11. Впровадження технології ТТ у конструктивно-технологічні рішення СТР РЕА на 1-му рівні підвищує ефективність тепловідведення від елементів РЕА при:

- відведенні тепла від герметичних блоків або вузлів;
- щільному компонуванні тепловидільних елементів, розташованих поблизу магістральних повітропроводів;

збільшенні теплорозсіювальної здатності тепловідводів за рахунок використання властивостей ТТ трансформації теплового потоку. Перехід від традиційних конструкцій з твердими теплостоками до тепловідводів на основі ТТ дозволяє в 1,5...3 рази знизити перегрівання і відповідно покращити головні характеристики СТР.

12. Застосування технології ТТ на 4-ому рівні СТР в цілому раціональне в двох основних формах:

- шляхом зміни структури теплопередавальної мережі в СТР ТК РЕА і організації повного або часткового тепловідведення від РЕА на корпус контейнера або безпосередньо в навколишнє середовище через ТТ;
- шляхом використання ТТ, НТС або автономних двофазних контурів як альтернативи традиційних теплових зв'язків (газова конвекція, металеві теплостоки та інш.).

Використання технології ТТ на 4-му рівні буде успішним, якщо на основі ТТ або НТС може бути розв'язана задача створення квазіізотермічного корпусу контейнера.

13. Аналіз розглянутих вище шляхів підвищення енергетичної ефективності СТР ТК РЕА з використанням кондуктивного тепловідведення і найновіших технологій ТТ, а також раціональної організації розподілу повітряних потоків всередині комплексу показав, що порівняно з існуючою практикою реально розроблених об'єктів є можливість істотного зниження енергоспоживання для комплексів малої теплонапруженості (до 2-х кВт) на 30...60% і для потужніших ТК РЕА (до 20...25кВт) – на 50...70%.

Прийняті позначення

α - коефіцієнт тепловіддачі; λ - коефіцієнт теплопровідності; S - поверхня; q - густина теплового потоку; ρ - густина; φ - коефіцієнт, що враховує частину зовнішньої поверхні

корпусу, яка зазнає дії сонячної радіації; c - питома теплоємність; d - абсолютна вологість повітря; Q - тепловий потік; M - масова витрата; B_1, B_2, K_e - коефіцієнти апроксимуючих виразів.

Індекси

e - припустиме значення параметра; $'$, $''$ - позначення параметра на вході і виході відповідно; iz - ізоляція; z - зовнішній; v - внутрішній; $сер.$ - середній; $ко$ - канали охолодження; c - сухий; n - повітря; $nc(oc)$ - навколишнє середовище.

Матеріали дисертації опубліковані у таких роботах автора:

1. Ткаченко В.Б. Расчет тепловых режимов естественно вентилируемых шкафов аппаратуры высокочастотной связи //Тепловые режимы и охлаждение радиоэлектронной аппаратуры. Научно-технический сборник. Одесса. –1995. №1. – с.3-8.
2. Ткаченко В.Б. Влияние размещения много блочной РЭА с естественной вентиляцией на её надёжность //Тепловые режимы и охлаждение радиоэлектронной аппаратуры. Научно-технический сборник. Одесса. – 1995. -№2. –с.9-11.
3. Ткаченко В.Б., Смирнова Е.Г. Влияние теплоаккумуляционных свойств корпуса аппаратной машины на определение параметров системы терморегулирования //Труды Одесского государственного политехнического университет. 2000. вып. 3 (12). с. 66-69.
4. Ткаченко В.Б., Смирнова Е.Г., Ботук Ю.С. Способ повышения энергетического эффективности системы терморегулирования передвижного обслуживаемого комплекса РЭА //Труды Одесского государственного политехнического университета –2001. – вып.1(13). –с.167-170.
5. Ефименко А.А., Ткаченко В.Б. Методика расчета линейных размерных цепей несущих конструкций РЭС //Технология и конструирование в электронной аппаратуре. –1198. №2. –с.23-28.
6. Гниличенко В.И., Смирнов Г.Ф., Ткаченко В.Б. Тепловые трубы в системах обеспечения тепловых режимов электронных средств //Технология и конструирование в электронной аппаратуре. –1999. №4. –с. 15-20.
7. Гниличенко В.И., Смирнов Г.Ф., Ткаченко В.Б. Исследование теплоотвода на основе тепловых труб для охлаждения транзисторных модулей //Технология и конструирование в электронной аппаратуре. –1999. №5-6. –с. 17-22.
8. Гниличенко В.И., Ткачев С.П., Ткаченко В.Б. Источники вторичного электропитания с охлаждением на основе тепловых труб и термоэлектрических

- устройств //Технология и конструирование в электронной аппаратуре. –2000. №4. – с. 14-19.
9. Гниличенко В.И., Ткачев С.П., Ткаченко В.Б. Обеспечение тепловых режимов унифицированных модулей вторичного электропитания с устройствами охлаждения на основе тепловых труб. //Технология и конструирование в электронной аппаратуре. –2001. №1. –с.22-24.
 10. Ткаченко В.Б., Горыкин С.Ф. К вопросу выбора рациональной системы терморегулирования передвижных обслуживаемых комплексов РЭА //Тепловые режимы и охлаждение радиоэлектронной аппаратуры. Научно-технический сб. НИИ «Штурм». –2000.
 11. Ботук Ю.С., Горикін С.Ф., Ткаченко В.Б. До питання про вибір теплової ізоляції корпусу апаратної машини //ОДАХТ, Наукові праці. 2001. –вип. 22. стор. 189-195.
 12. Ткаченко В.Б. Комбинированные системы кондиционирования воздуха и системы терморегулирования РЭА в передвижных комплексах //Холодильная техника и технология. –1999. №61. –с. 45-53.
 13. Смирнов Г.Ф., Ткаченко В.Б. Теплофизические модели теплонагруженных передвижных обслуживаемых комплексов РЭА (синтез оптимальных аэродинамических сетей) //Холодильная техника и технология. –2000. №66. – с. 36-45.
 14. Ткаченко В.Б. Обобщенная структура и иерархия схемных решений систем терморегулирования для передвижных охлаждаемых комплексов РЭА //Холодильная техника и технология. –2000. №67. –с. 69-79.
 15. Ткаченко В.Б. Усовершенствование схемных решений терморегулирования передвижных обслуживаемых комплексов РЭА //Холодильная техника и технология. –2000. №68. –с. 45-51.
 16. Ткаченко В.Б., Анисимов В.Н., Ботук Ю.С. Модели и алгоритмы расчета тепловлажностных режимов и энергетических показателей систем терморегулирования передвижных обслуживаемых комплексов РЭА (часть I) //Холодильная техника и технология. –2001. №69. –с. 36-42.
 17. Ткаченко В.Б., Ботук Ю.С., Варзар С.Ф. Повышение энергетической эффективности систем терморегулирования передвижных обслуживаемых комплексов РЭА (часть II) //Холодильная техника и технология. –2001. №2 (71). –с. 24-27.

18. Ткаченко В.Б., Смирнов Г.Ф. Эффективность теплосток на основе тепловых труб от элементов РЭА на корпус контейнера) //Холодильная техника и технология. – 2001. №1 (70) – с. 28-32.
19. Ткаченко В.Б., Смирнов Г.Ф. Принципы организации теплоотвода на основе кондуктивно - испарительных устройств в передвижных обслуживаемых комплексах РЭА //Холодильная техника и технология. –2001. №3 (72). – с. 6-11.
20. Ткаченко В.Б. Снижение энергопотребления в системах терморегулирования передвижных обслуживаемых комплексов РЭА. //Интегрированные технологии и энергосбережения. –Харьков. –2001. -№3. –с.22-29.
21. Смирнов Г.Ф., Ткаченко В.Б., Новицкая Т.И. Некоторые технические решения термостабилизации помещений на основе технологии тепловых труб. – Збірка наукових праць «Авіаційно – космічна техніка і технологія». – Харків. «ХАТ». Вип. 21. –стор.106-112.
22. Система стабілізації температури в приміщенні /Ткаченко В.Б., Смірнов Г.Ф., Денісов Ю.П. Деклараційний патент на винахід №38165 А від 28.02.2001. МКВ F25D15/00, 15.05.2001. Бюл. №4.
23. Пристрій заправки системи стабілізації температури в приміщенні /Ткаченко В.Б., Денісов Ю.П., Анісімов В.М. Деклараційний патент на винахід №38166 А від 28.02.2001, МКВ F25B45/00, 15.05.2001. Бюл. №4.
24. Система термостатування корпусу контейнера /Смірнов Г.Ф., Ткаченко В.Б., Денісов Ю.П.. Деклараційний патент на винахід №38167 А від 23.02.2001. МКВ F24 F5/00, 15.05.2001. Бюл. №4.
25. Система стабілізації температури в приміщенні /Денісов Ю.П., Ткаченко В.Б., Горикін С.Ф. Деклараційний патент на винахід №38169 А від 28.02.2001, МКВ F25D17/00, 15.05.2001. Бюл. №4.
26. Локальний теплопривід для блоків радіоелектронної апаратури /Ткаченко В.Б., Горикін С.Ф., Денісов Ю.П. Деклараційний патент на винахід №38170 А від 15.12.2000, МКВ NOK7/20, Бюл. №4.
27. Разработка методики расчета температуры РЭА в печатных узлах и блоках аппаратуры высокочастотной связи /Ткаченко В.Б. Одесский политехнический университет. – Одесса. 1995. – 21с.: ил. –1: Библиографий: 12 назв. – Рус. –Деп. В ГНТБ Украины №1462 –Ук95.
28. Smirnov H.F., Kosoy B.V., Tkachenko V.B. "Heat pipe Technology for Refrigeration and Cooling"/Int. Heat Pipe Conference, Preprint Key-Note Lecture №1, pp.1-12.

Матеріали дисертації доповідались на таких міжнародних конференціях і симпозиумах

- 6th International Symposium on Thermal Engineering and Sciences for Cold Regions, Darmstadt, Germany, August 22-25, 1999
- 1-й Міжнародна науково-практична конференція "Сучасні інформаційні та електронні технології", Одеса, Україна, травень 2000 р.
- XIII Школа – семінар вчених і спеціалістів під керівництвом академіка РАН А.І. Леонтьєва "Фізичні основи експериментального і математичного моделювання процесів газодинаміки і теплообміну в енергетичних установках", Санкт-Петербург, Росія, 20-25 травня 2001 р.
- 2-а Міжнародна конференція "Проблеми промислової теплотехніки", Київ, Україна, 28 травня - 2 червня 2001 р.
- 2-а Міжнародна науково-практична конференція "Сучасні інформаційні та електронні технології", Одеса, Україна, травень 2001 р.
- 7th International Symposium on Thermal Engineering and Sciences for Cold Regions, Korea, July 8 -11, 2001.
- 12-й Міжнародна конференція з теплових труб, Москва – Кострома - Москва, травень 19 – 24, 2002 р.
- 2-а Міжнародна науково-технічна конференція „Сучасні проблеми холодильної техніки і технології”, Одеса, 2002.

АННОТАЦІЯ

Ткаченко В. Б. Наукові основи створення та вдосконалення систем терморегулювання транспортних комплексів радіоелектронної апаратури. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. За спеціальністю 05.05.14 – Холодильна і криогенна техніка, системи кондиціонування. Одеська державна академія холоду, м. Одеса, 2002 р.

Цю роботу присвячено постановці і частковому розв'язанню проблеми створення наукових основ проектування і вдосконалення систем терморегулювання (СТР) для пересувних обслуговуваних комплексів (ТК) РЕА з використанням останніх в галузі теплових труб. Реалізація положень теорії здійснюється через систему запропонованих машинно-орієнтованих методів розрахунку, алгоритмів і програмних засобів, а також через експериментальне моделювання та дослідно-конструкторські розробки нових технічних рішень, що забезпечують вдосконалення СТР ТК РЕА. Показано, що використання здобутих результатів визначає технічні рішення, які забезпечують зниження

енергоспоживання СТР на 30...60%, а також стабільне підтримання температур поверхонь РЕА, не вищих за 65°C, що сприятливо позначається на надійності РЕА.

Ключові слова: транспортний комплекс, система терморегулювання, теплові труби, кондиціонування повітря.

АННОТАЦИЯ

Ткаченко В. Б. Научные основы создания и совершенствования систем терморегулирования транспортных комплексов радиоэлектронной аппаратуры. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.05.14 -Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования. Одесская государственная академия холода, г. Одесса, 2002 г.

Анализ существующей технической информации, публикаций в научно-технической литературе показывает, что теоретические основы рационального проектирования таких перспективных технических систем как терморегулирование передвижных обслуживаемых комплексов РЭА (СТР ТК РЭА), по существу, отсутствует, а конкретные инженерные разработки основываются на имеющемся опыте, интуиции и использовании отработанных технических решений из смежных областей техники. Настоящая работа посвящена постановке и частичному решению научно-технической проблемы создания научных основ проектирования и совершенствования систем терморегулирования передвижных комплексов радиоэлектронной аппаратуры.

В диссертации - разработаны и обоснованы иерархические структуры схемных решений СТР ТК РЭА и уровни применения технологии ТТ в этих системах, на основе которых определяются естественные приоритеты существующих системных решений и прогнозируются новые перспективные схемы; впервые поставлены и решены задачи теплофизического моделирования и оптимизации тепловых и тепловлажностных режимов СТР ТК РЭА с учётом распределения воздушных потоков, динамики тепловлажностных соотношений, взаимодействия тепловых и влажностных потоков в системах "операторы + корпус контейнера", "РЭА + операторы + корпус", "РЭА + операторы"; созданы машинно-ориентированные методы, алгоритмы и программы расчёта вышеперечисленных задач теплофизического моделирования; впервые поставлены и частично решены задачи синтеза оптимальных структур потокораспределений для различных схемных решений СТР ТК РЭА, соответствующих различным вариантам целевых функций: минимуму холодопроизводительности, минимуму энергопотребления, минимуму массогабаритных показателей и т.д.; впервые экспериментальными и расчётно-теоретическими методами исследованы возможности эффективного применения двухфазных теплопередающих

технологий на основе ТТ для совершенствования показателей СТР ТК РЭА на различных уровнях:

I-ом уровне - элемента, II-ом уровне - прибора, III-ем уровне - стойки, шкафа и IV-ом уровне - системы в целом; найдены наиболее перспективные технологические формы применения технологии ТТ для совершенствования СТР ТК РЭА на каждом уровне; предложены новые конструкции СТР ТК РЭА и отдельные устройства, новизна и полезность которых защищены патентами Украины; для ряда вариантов СТР ТК РЭА, с учётом конкретных требований ТЗ, на основе положений развитой теории, выполнен сопоставительный анализ традиционных и предлагаемых технических решений и обоснованы целесообразные формы и направления совершенствования СТР ТК РЭА.

Рассмотрен и решен ряд важных частных задач: 1) рационального использования и выбора оптимальной толщины теплоизоляции корпуса контейнера; 2) определения условий рационального применения внутреннего охлаждения корпуса контейнера, включая различные варианты теплоотвода от корпуса (от внешней поверхности в окружающую среду, от внутренней поверхности корпуса к воздушной СТР, от внутренней поверхности к испарителю кондиционера и др.); 3) определения влияния теплоаккумуляционных свойств корпуса контейнера на выбор расчетных параметров предельного теплового режима (максимальную расчетную плотность внешнего лучистого потока, максимальную расчетную температуру окружающей среды); 4) нахождения условий рационального использования кондуктивного теплоотвода от приборов РЭА на внешнюю поверхность корпуса контейнера.

Показано, что применение полученных результатов определяет технические решения, которые обеспечивают снижение энергопотребления СТР на 30...60% с соответствующим уменьшением массы основного и вспомогательного оборудования, а также стабильное поддержание температур поверхностей РЭА не выше 65°C, что благоприятно сказывается на их надежности.

Ключевые слова: транспортный комплекс, система терморегулирования, тепловые трубы, системы кондиционирования.

ABSTRACT

Tkachenko V.B. "Thermal control system for radio electronic equipment: creation and development fundamentals". – Manuscript

Thesis for doctor's degree by specialty 05.05.14-"Refrigeration, cryogenics and systems air- conditioning". State Academy of Refrigeration Odessa, 2002

The dissertation is devoted the scientific fundamentals of the transport electronic equipment thermal control systems design and development of the statement and the creation with respect the last achievements in the heat pipe technology field. The fundamentals positions are realized on the base of the algorithms, programming soft are and computational methods which were based, created and developed and allowed to find the transport electronic equipment thermal control systems the best technological and design solutions. It was shown, that the obtained theoretical positions application allowed the thermal control systems characteristics considerable improvement to reach including the energy consumption reducing on 30... 60%, also the electronic equipment surfaces thermostabilization not more than 65°C. It had the positive influence on the electronic devices reliability.

The key words: transport system, thermal control system, heat pipe, air conditioning.