

Автореферат
к. в. ч.

Н

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

УДК 621.396.6

К О Н О П Л Ь О В Олексій Ігорович

**РАЦІОНАЛЬНІ ЦИКЛИ, СХЕМИ І
ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗМАШИННИХ ПАРОВИЖЕК-
ТОРНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ХОЛОДУ ДЛЯ ТРАНСПОРТ-
НИХ УСТАНОВОК**


(Термодинамічний аналіз та експериментальне моделювання)

спеціальність 05.14.06 - технічна теплофізика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса 1997



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

УДК 621.396.6

К О Н О П Л Ь О В Олексій Ігорович

**РАЦІОНАЛЬНІ ЦИКЛИ, СХЕМИ І
ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗМАШИННИХ ПАРОЕЖЕК-
ТОРНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ХОЛОДУ ДЛЯ ТРАНСПОРТ-
НИХ УСТАНОВОК**

(Термодинамічний аналіз та експериментальне моделювання)

спеціальність 05.14.06 - технічна теплофізика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса 1997

xv 1200
ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

Дисертація є рукопис

Роботу виконано в Одеській державній академії холоду

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор СМІРНОВ Г.Ф.,
Одеська державна академія холоду, завідувач кафедри

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, член-кор. НАН України, лауреат державної премії СРСР Мацевітій Ю.М.,
Інститут проблем машинобудування НАН України, директор;

доктор технічних наук, професор Дорошенко А.В.,
Державна науково-виробнича фірма "Нові технології" Держхарчпрому України, директор.

Провідна установа:

Одеський державний політехнічний університет.

Захист відбудеться "22" 12 1997 року в 11.00 годин на засіданні спеціалізованої ради D.05.20.01 при Одеській державній академії холоду за адресою: 270057, м.Одеса, вул. Дворянська, 1/3, Одеська державна академія холоду.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеської державної академії холоду.

Автореферат розіслано "14" 11 1997 року.

Вчений секретар спеціалізованої ради
доктор технічних наук, професор

Р.К.Нікульшин

Актуальність теми. Один з найважливіших напрямків розвитку нової техніки в сучасному суспільстві, пов'язаний з розробкою і реалізацією ефективних енергозберігаючих технологій. Важливе місце в широкому спектрі різних варіантів енергозберігання посідають різноманітні теплонасосні системи, установки і пристрої, які використовують джерела низькопотенціального тепла для виробництва холодильного ефекту. Серед відомих принципів організації тепловикористовуючих теплонасосних установок найпростіші та надійні є пароежекторні пристрої для одержання холодильного ефекту. Відомий успішний досвід застосування цих пристроїв у суднових системах кондиціонування повітря. Однак цей досвід не набув подальшого розвитку при створенні систем і пристроїв кондиціонування в інших транспортних установках (автомобільний транспорт, бортові системи забезпечення теплових режимів та інш.).

У багатьох бортових системах містяться джерела тепловиділення, які мають робочі температури значно вищі за 0 С. Одночасно існують функціональні елементи, нормальний тепловий режим яких потребує термостабілізації при температурах істотно нижчих за 0 С, аж до -100 С, - 150 С (ТЧ - приймачі випромінювання). Використання пасивних систем термостабілізації при дуже низьких робочих температурах або виявляється неможливим, або зв'язане зі значним збільшенням розмірів радіаторів-випромінювачів. В таких умовах застосування пароежекторних охолодних систем з утилізацією тепла високотемпературних тепловидільних елементів, є особливо перспективним, якщо реалізувати безмашинний принцип їх роботи. Але досвід розробки і дослідження таких пристроїв відсутній, немає обґрунтованих рекомендацій щодо схемних рішень і термодинамічного аналізу таких пристроїв, включаючи вибір робочого тіла.

Таким чином, актуальність теми цієї дисертації повною мірою обґрунтовується викладеними вище твердженнями.

Мета роботи. Створити основи математичного і експериментального моделювання параметрів, схем, характеристик пароежекторних теплонасосних установок транспортного призначення і визначити на цій базі нові перспективні напрямки їх розвитку та практичного застосування.

Наукову новизну виконаної дисертаційної роботи склали такі основні результати:

- методи та математичні моделі термодинамічного аналізу тепловикористовуючих пароежекторних машинних і безмашинних генераторів холоду на основі узагальненого циклу та визначаючих термогазодинамічних співвідношень;

- нові цикли, схеми і принципи дії безмашинних пароежекторних генераторів холоду;

- дані експериментальних досліджень, які підтвердили принципову працездатність запропонованих способів роботи та нових типів безмашинних пароежекторних генераторів холоду;

- дані теоретичних досліджень, які обґрунтували вибір низькопотенціального джерела тепла робочого тіла, раціональних схемних рішень і термодинамічних параметрів для пароежекторних генераторів холоду транспортного призначення.

Результати досліджень і розробок за темою дисертації дозволили автору обґрунтувати таке наукове положення:

"Принципово можливо здійснення працездатних безмашинних пароежекторних генераторів холоду для теплонасосних установок транспортного призначення на основі роботи пристроїв періодичної дії з тепловим акумулятором енергії або пристроїв стаціонарної дії з використанням контурної теплової труби(капілярного насоса).

Такі генератори холоду можуть бути перспективними засобами для бортових систем терморегулювання, якщо робоча температура функціональних елементів, що термостатуються, не перевищує ефективну температуру теплосидку на 10... 20 К. Подібні генератори холоду можуть бути ефективними для транспортних установок наземного застосування при використанні їх як низькопотенціальне джерело енергії теплоти вихідних газів".

Прикладне значення мають такі результати досліджень та розробок за темою дисертації:

1. Комплекти програмного забезпечення, які реалізують у формі стандартних програм методи і математичні моделі термодинамічного аналізу та вибору режимних і конструктивних параметрів машинних та безмашинних пароежекторних генераторів холоду для транспортних тепловикористовуючих установок різного призначення.

2. Здобуті на основі експериментального моделювання практичні рекомендації щодо принципів схемних рішень, компоновки основних вузлів і елементів пароежекторних генераторів холоду, режимних параметрів, засобів регулювання і управління.

3. Дані ескізних проектів пілотних установок тепловикористовуючого транспортного кондиціонера для автомобіля і теплонасосної мініпароежекторної установки для бортової СТР космічного апарату.

Обґрунтованість висновків, пропозицій та рекомендацій за темою дисертації забезпечувалася систематичним і всебічним характером теоретичних досліджень і розробок. У цих дослідженнях термодинамічний аналіз циклів і схем пароежекторних теплонасосних установок

послужився з послідовними термогазодинамічними розрахунками режимів і характеристик генераторів холоду.

Апробація роботи. Результати досліджень за темою дисертації подано в 4-х публікаціях, що містять два патенти Росії на винаходи, про які повідомлялося на міжнародних семінарах: м.Мінськ, 1995 рік; м.Мінськ, 1997 рік; м.Штутгарт, Німеччина, 1997 рік, а також на наукових конференціях професорсько-викладацького складу Одеської державної академії холоду 1992, 1994рр.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків та рекомендацій, додатків, 43 рисунків, 3-х таблиць.

Список використаної літератури містить 109 назв наукових джерел.

У першому розділі зроблено аналіз проблеми та обґрунтовано задачі досліджень.

Спочатку розвиток ПЕХМ обмежувався розв'язанням практичних задач. Починаючи з 60-х років, розвиваються теоретичні та експериментальні дослідження процесів і характеристик ПЕХМ, істотний вклад в розвиток яких внесли роботи вітчизняних вчених та інженерів: Мартинівського В.С., Захарова Ю.В., Шумелишського М.Г., Зингера Н.М., Жадана С.З. та інших. В останні роки вивчаються можливості застосування ПЕХМ в теплоустановках для комбінованого виробництва тепла і холоду. Для транспортних систем гострий інтерес викликають безмашинні пароежекторні генератори холоду. Різні схемні рішення подібних пристроїв запропоновано та розглянуто в роботах професора Бурдо О.Г. та його співробітників, але відомостей про практичну реалізацію та експериментальне підтвердження працездатності цих пристроїв немає.

Отже, задачі цієї роботи формулюються таким чином:

- розробка перспективних схем і циклів безмашинних пароежекторних установок і автономних генераторів холоду для систем охолодження та термостабілізації приладів і обладнання на транспортних засобах різного призначення;

- тематичне моделювання схемних рішень безмашинних ПЕХМ з описом термодинамічних, газодинамічних та інших особливостей їх роботи;

- створення відповідних алгоритмів і програм термодинамічного аналізу та техніко-економічної оптимізації;

- розробка експериментальної моделі та методів експериментального моделювання режимів і характеристик безмашинних пароежекторних генераторів холоду;

- узагальнення здобутих результатів, визначення практичних рекомендацій і перспектив подальших досліджень.

У другому розділі дисертації викладаються та обґрунтовуються основи термогазодинамічного аналізу пароежекторних безмашинних генераторів холоду.

З нашого погляду, вважаються перспективними два типи схем ПЕБМГХ (рис. 1 і 2), що захищені патентами. Схеми на рис. 1 є варіантами схем з капілярним насосом-парогенератором (КНП). Їх можна реалізувати як у вигляді установок, так і у вигляді контурних теплових труб для СТР космічних апаратів.

Схема за рис.2, незважаючи на ряд недоліків (періодичність дії, клапанне розподілення перетоків рідини, інерційність підводу тепла в ПГ), все ж дозволяє забезпечити безмашинний принцип роботи пароежекторного генератора холоду найпростішим способом.

Для проведення термодинамічних досліджень запропоновано узагальнений цикл ПЕБМГХ. Конкретні цифри можна дістати з такого узагальненого циклу, як окремі випадки, при накладенні відповідних умов.

Мета термодинамічних досліджень є аналіз теплової економічності різних схем ПЕБМГХ і вивчення впливу на теплову економічність цих схем режимних параметрів холодоагенту. За основний критерій теплової економічності візьмемо "коефіцієнт теплового використання", що виражається, як відомо, відношенням $\xi = Q_0/Q_p$ (1).

При розробці моделей та алгоритмів термогазодинамічного розрахунку ежектора визнані такі допущення: а) течія потоків холодоагенту в елементах проточної частини Е – одновимірна; б) процеси в камері змішування близькі до ізобаричних; в) стрибок ущільнення, що виникає при певних умовах в циліндричній ділянці камери змішування, плоский, товщину якого можна знехтувати. На основі такої моделі визначаються середні за перетинами проточної частини Е параметри та швидкості потоків. Реальні незворотності процесів розширення та стиснення пари в Д, а також змішування потоків у камері змішування враховуються відповідними коефіцієнтами φ_p , φ_x , $\varphi_{кс}$, та η_d .

Така модель відрізняється від загальноживаних, тому що в загальноприйнятих моделях не розглядаються стрибки ущільнення в проточній частині Е.

У роботі при моделюванні характеристик ПЕХМ враховувалися реальні властивості пари.

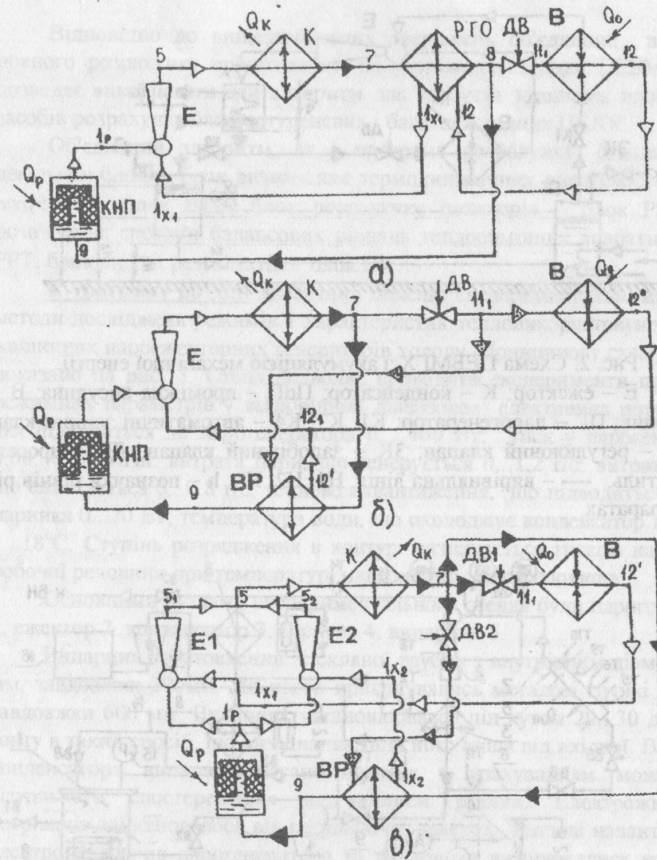


Рис. 1. Схеми ПЕБМГХ з капілярним насосом-парогенератором, а) схема з регенеративним теплообмінником "рідина – пара"; б) схема з випарником-регенератором; в) схема з випарником-регенератором і двома ежекторами.

КНП – капілярний насос-парогенератор; К – конденсатор; Е1 і Е2 – ежектори; В – випарник; РТО – регенеративний теплообмінник; ВР – випарник-регенератор; ДВ, ДВ1, ДВ2 – дросельні вентилі.

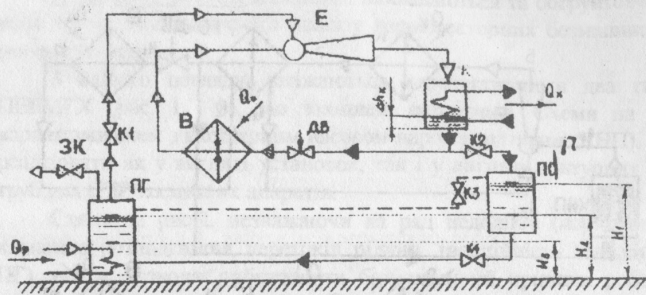


Рис. 2. Схема ПЕБМГХ з акумуляцією механічної енергії.

Е – ежектор; К – конденсатор; ПдП – проміжна посудина; В – випарник; ПГ – парогенератор; К1, К3, К4 – автоматичні запірні клапани; К2 – регулювальний клапан; 3К – запобіжний клапан; ДВ – дросельний вентиль. ---- – вирівняльна лінія. Н1, Н2, Н3, h – позначки рівнів рідини в апаратах.

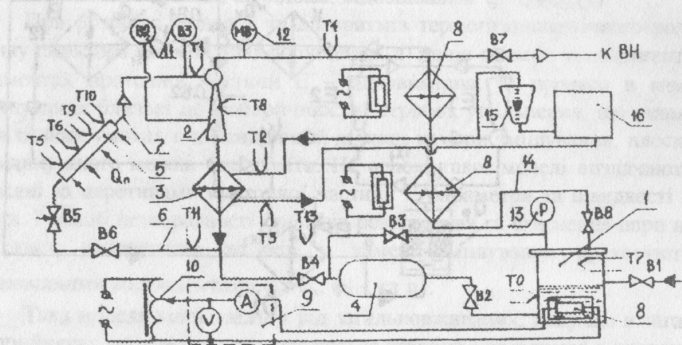


Рис. 3. Принципова схема експериментального стенда для дослідження режимів і характеристик ПЕХУ періодичної дії.

1 – парогенератор; 2 – ежектор; 3 – конденсатор; 4 – ресивер; 5 – випарник; 6, 7 – гнучкі трубопроводи; 8 – пароперегрівник; 9 – вимірювальний прилад; 10 – ЛАТР; 11 – вакуумметр; 12 – мановакуумметр; 13 – манометр; 14 – паропровід; 15 – водоохолодник; ВН – вакуумний насос; Т1 ... Т13 – термометри.

Відповідно до вищезазначених тверджень об'єднаний алгоритм повного розрахунку орієнтований на узагальнений цикл ПЕБМГХ. Це дозволяє використати цей алгоритм для здобуття загальних програмних засобів розрахунку багатоступневих і багатокаскадних ПЕХУ.

Об'єднаний алгоритм, як і програма розрахунку, складається з декількох блоків: блок визначення термодинамічних властивостей холодоагенту – блок ВТВ; блок розрахунку ежекторів – блок РЕ; блок розв'язання системи балансових рівнянь теплообмінних апаратів – блок РРТ; блок видачі результатів – блок ВР.

У третьому розділі дисертації описані експериментальні моделі та методи досліджень режимів і характеристик тепловикористовуючих безмашинних пароежекторних генераторів холоду. Принципову схему стенда показано на рис. 3. Стенд дозволяє проводити експерименти при зміні режимних параметрів у відповідних діапазонах: електрична потужність, яка підводиться до парогенератора 0... 400 Вт; тиск у парогенераторі 0,08...0,14 МПа; витрата пари, що генерується 0...1,2 г/с; витрата пари, що ежектуються 0...0,8 г/с; теплове навантаження, що підводиться до випарника 0...20 Вт; температура води, що охолоджує конденсатор на вході 3...18°C. Ступінь розрядження в контурі визначається тиском насичення робочої речовини при температурі навколишнього середовища.

Основними вузлами експериментального стенда були парогенератор 1, ежектор 2, конденсатор 3, ресивер 4, випарник 5.

Випарник виготовлений зі скляної трубки з внутрішнім діаметром 4 мм, завдовжки 290 мм. До нього приспінювались металеві гнучкі шланги завдовжки 600 мм. Випарник установлювався під кутом 20...30 до горизонту в такий спосіб, що вихідна частина його вища від входної. Відносно конденсатора випарник установлювався з урахуванням можливості візуального спостереження над рівнем рідини. Електроживлення нагрівачів здійснювалося від регулюючих джерел. Теплові навантаження електронагрівачів парогенератора та випарника вимірювалися комплектом К505.

Експериментальне моделювання процесів і характеристик проводилося у 2-х варіантах "організації безмашинної дії" ПЕХУ: з акумулятором енергії (ПЕХУ періодичної дії) і з капілярним насосом. Як теплоносій використовувався толуол. Вибір толуолу обґрунтований особливостями кривої пружності цієї речовини, яка дозволяє в області температур насичення -20... +20°C дістати найкращі енергетичні характеристики ПЕХУ, які відповідають максимальним коефіцієнтам тепловикористання.

У розділі описано методики експериментальних досліджень дано розрахункову оцінку максимальної відносної похибки, що склала 33%.

У четвертому розділі проведено аналіз результатів математичного та експериментального моделювання пароежекторних генераторів холоду.

Математичні моделі та розрахунково-теоретичні дослідження ПЕХУ реалізовано стосовно до умов роботи транспортних установок наземного та бортового застосування. Варійованими параметрами були: тип теплоносія, джерела низькопотенціального тепла, температурні напори у парогенераторі та конденсаторі. Вважається, що на даному етапі перспективна найпростіша схема пароежекторної теплонасосної установки без застосування генерації тепла (холоду).

На рис.4 показано залежності коефіцієнта теплового використання ξ і теплового навантаження парогенератора від початкової температури грійочої пари t_p . Аналіз їх показує, що при використанні двигуна ($t = 95^\circ\text{C}$) низькопотенціального джерела тепла системи охолодження тепловий коефіцієнт в 10 ... 30 разів менший, а потужність, що потребується, відповідно у стільки ж разів більша, ніж у випадку використання тепла вихідних газів. В останніх можна очікувати величини $\eta = 0,25...0,40$ і потужності, які потребуються, порядку 1...2 кВт, що слід вважати цілком визнаним. Цей висновок є перший принципово важливий прикладний результат.

Друга важлива задача - вибір теплоносія. Результати на рис.5 показують, що для реальних температурних обмежень і зазначених вище умов порівняння вода істотно переважає толуол і для цієї задачі є більш відоміше робоче тіло, якщо виключити з робочих режимів ПЕБМГХ такі, при яких температура навколишнього середовища менша за 0°C .

Наступний етап розрахунково-теоретичного аналізу був спрямований на визначення оптимальних температурних напорів у двох основних теплообмінних апаратах ПЕХУ - парогенераторі та конденсаторі. Результати наведено в дисертації.

При зміні вихідних даних, обмежень, призначень можуть змінитися кількісні результати. Основні принципіві висновки можуть змінитися тільки при сильних змінах вихідних умов. До таких належать умови застосування теплонасосних пароежекторних безмашинних генераторів холоду в системах терморегулювання бортової апаратури, що працює на космічних апаратах протягом тривалого часу (5...15 років і більше).

Принципово можливі два типи бортових СТР РЕА:

- пасивна система, коли $T_0 > T_{\infty}$ (2);

- система з штучними джерелами холоду, яку слід застосовувати, коли $T_{\infty} \geq T_0$ (3).

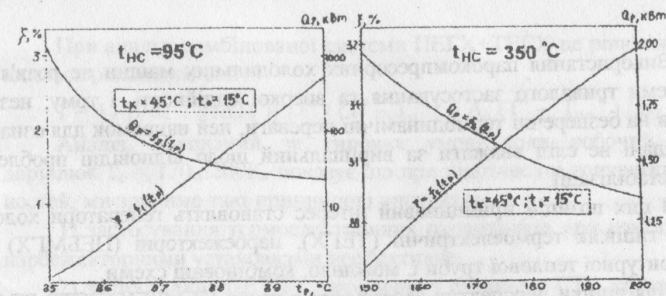


Рис. 4. Залежності теплового коефіцієнта і теплового навантаження парогенератора ρ від початкової температури робочої пари t .

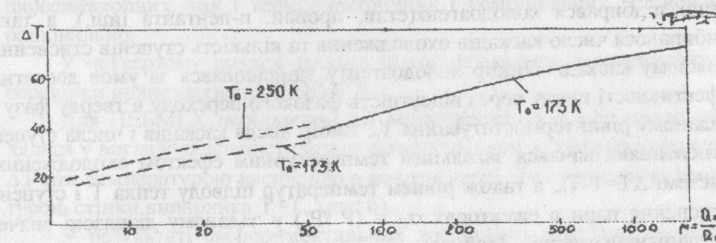


Рис. 5. Залежність холодильного ефекту T від відносної теплоти теплоскопи для ПЕБМГХ у складі СТР РЕА.

--- для однокаскадної схеми; -.-.-.- для двокаскадної схеми.

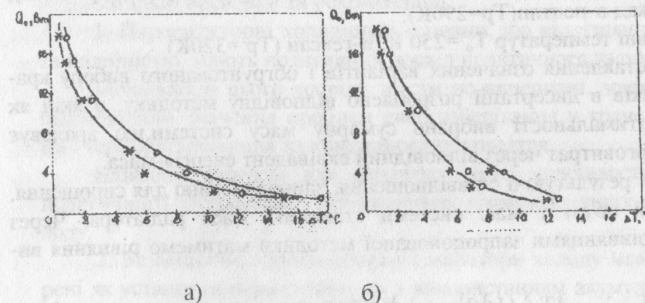


Рис. 6. Залежності холодопродуктивності ПЕБМГХ від температурного ефекту охолодження для різних витрат пари, що ежектуються а) $=0,74\text{г/с}$; б) $=0,52\text{г/с}$, - мінімальне та максимальне значення холодопродуктивності. (Дані експерименту).

Використання парокомпресорних холодильних машин не розв'язує проблеми тривалого застосування та високої надійності, і тому, незважаючи на безперечні термодинамічні переваги, цей напрямок для означеної задачі не слід вважати за вирішальний щодо відповідні проблеми термостабілізації.

З цих позицій принциповий інтерес становлять генератори холоду таких типів, як термоелектричні (ТЕГХ), пароежекторні (ПЕБМГХ) на базі контурної теплової труби і, можливо, комбіновані схеми.

Для оцінки перспектив застосування таких ПЕМБГХ у СТР РЕА в роботі зроблено термодинамічні дослідження їх циклів і схем на основі вищезазначених методів. Розрахунки проводилися поетапно. На першому етапі підбирався холодоагент (етан, пропан, п-пентан та інші), а також вибиралося число каскадів охолодження та кількість ступенів стиснення в кожному каскаді. Підбір холодоагенту здійснювався за умов достатньої ефективності циклу через відсутність фазового переходу в тверду фазу на заданому рівні термостатування T_o . Вибір числа каскадів і числа ступенів стиснення визначався загальним температурним ефектом охолодження в системі $\Delta T = T - T_o$, а також рівнем температур підводу тепла T і ступенем стиснення пари в ежекторах $\sigma_E = (P/P_o)$ у заданому діапазоні значень коефіцієнтів ежекції. Здобуто:

- збільшення числа ступенів стиснення в ежекторній групі та числа каскадів охолодження більше за два недоцільно, бо призводить до серйозних ускладнень у схемі при практично невідчутному ефекті;

- доцільно застосування таких холодоагентів:

- на рівні температур $T_o = 173\text{K}$: нижній каскад ізобутан ($T_p = 245\text{K}$), верхній каскад п-пентан ($T_p = 290\text{K}$);

- на рівні температур $T_o = 250\text{K}$: п-гексан ($T_p = 320\text{K}$).

Для зіставлення означених варіантів і обґрунтованого вибору кращих розв'язків в дисертації розроблено відповідну методику, в якій як критерій оптимальності вибрано сумарну масу системи, що враховує "вплив" енерговитрат через відповідний еквівалент енергія-маса.

Здобуті результуючі співвідношення, запропоновано для спрощення, бо основний об'єм у масі системи становить маса радіатора. Через підсумкові рівняння запропонованої методики матимемо рівняння вигляду:

$$T_p^4 - T_{o,c}^4 - 4T_p^3 / [\partial(\lg \mu_2) / \partial(\Delta T_2)] = 0 \quad (4)$$

Тут $T_p = T_{o,c} + \Delta T_2$, μ і ΔT_2 відповідні параметри пароежекторного варіанта.

При аналізі комбінованої системи ПЕГХ+ТЕГХ це рівняння доповнюється рівнянням виду:

$$1 - 4 / [\partial \mu_1 / \partial(\Delta T_1)] [T^3 / (T^4 - T_o^4) + A_o (T^4 - T_{o,c}^4)] / \mu_2 = 0 \quad (5)$$

Аналіз, виконаний за типових умов, коли робочий діапазон дорівнює $T_o = 170 \dots 200\text{K}$, показує що при підстановці конкретних залежностей, ми зробимо такі принципові висновки:

- 1) застосування термоелектричних охолоджувачів при комбінуванні з пароежекторними установками неефективне;

- 2) застосування ПЕТНУ, порівняно з пасивною СТР, ефективно, якщо температура елемента T_o нижча, або приблизно дорівнює температурі теплоскиду $T_{o,c}$. Якщо $T_o > T_{o,c}$ на $20 \dots 30\text{K}$ і вище, то застосування як пароежекторних, так і термоелектричних і комбінованих установок нерационально.

У четвертому розділі подано також результати експериментальної перевірки працездатності ПЕБМГХ.

Для ПЕБМГХ періодичної дії експериментальні результати оброблялися у вигляді залежності холодопродуктивності від різниці температур ΔT між температурою насичення в конденсаторі T_k і середньою температурою стінки випарника $T = T_o$ (рис.6).

У результаті експериментальних досліджень показано принципову працездатність ПЕБМГХ періодичної дії і міні-ПЕБМГХ постійної дії з використанням капілярного насоса.

У заключній частині розділу сформульовано принципові рекомендації з конструктивно-технологічних розв'язків та раціональних режимів для проектування дослідних зразків ПЕБМГХ.

Загальні висновки та рекомендації.

1. Пароежекторні холодильні машини, що відрізняються простотою та надійністю, мають позитивний досвід практичного застосування.

Можливості цього досвіду зовсім не вичерпані, зокрема у зв'язку з підвищенням значення проблем енергозберігання у транспортних системах терморегулювання та кондиціонування повітря.

Найменш вивчено для означеної мети можливість створення та практичного застосування безмашинних пароежекторних генераторів холоду.

2. Безмашинні пароежекторні генератори холоду можуть бути створені як установки періодичної дії з використанням акумуляторів енергії і як установки стаціонарної дії з застосуванням контурних теплових труб (капілярних насосів) на основі технічних рішень, запропонованих за результатами досліджень у дисертації. Новизна цих досліджень захищена двома патентами.

3. При створенні пароежекторних теплонасосних установок, призначених для виробництва холоду від 20°C і вище, необхідний перехід до дво- або триступеневих чи дво- або трикаскадних схем. Зростання числа ступенів і каскадів негативно відбивається на найважливішому показнику ефективності пароежекторних генераторів холоду - коефіцієнті теплового використання, і тому практичний інтерес обмежується двоступеневими і двокаскадними схемами.

4. Надійною теоретичною основою ефективних методів аналізу, вибору схемних рішень і визначення оптимальних параметрів пароежекторних генераторів холоду можуть служити розроблені у дисертації методики спряженого розрахунку термодинамічних параметрів узагальненого циклу пароежекторної тепловикористовуючої установки для виробництва холоду і газодинамічного розрахунку парового ежектора при використанні:

а) розрахунків термодинамічних циклів названих установок на основі розв'язаних рівнянь стану реальних газів, зокрема для двофазної області рівнянь стану;

б) обліку всіх основних форм незворотних втрат в елементах парового ежектора на основі відомого досвіду за кількісними оцінками відповідних коефіцієнтів цих втрат, включаючи втрати у стрибках ущільнення;

в) розрахунку основних газодинамічних процесів у парових ежекторах для реальних газів(пари).

Таку основу використано в теоретичному аналізі, що забезпечує вірогідність і обґрунтованість результатів цього аналізу, ефективність і практичну значущість створеного на цій базі програмного забезпечення.

5. Експериментально доведено здійснимість запропонованих засобів роботи пароежекторних безмашинних генераторів холоду. Для забезпечення конкурентноспроможності цих пристроїв необхідні подальші дослідження і розробки.

6. Тепловикористовуюча пароежекторна холодильна установка може стати основою конкурентноспроможного транспортного кондиціонера при орієнтації на теплоту вихідних газів двигуна як джерела низькопотенційного тепла, на водяну пару як ефективного робочого тіла і на режимні, схемні і конструктивно-технологічні параметри, що визначені в дисертації.

7. Мініпароежекторні теплонасосні безмашинні установки можуть виявитися найкращим технічним рішенням для створення на їх основі СТР для функціональних елементів бортової апаратури космічного застосування, якщо робоча температура елементів, що стабілізуються, перевищує ефективну температуру теплоскиду не більш, ніж на 20°C. При цьому

залежності від параметрів низькопотенційного джерела тепла, робочої температури елемента і температури теплоскиду можуть виявитися ефективними схеми з різними числами ступенів і каскадів з різними оптимальними теплоносіями в каскадах(толуол, ізобутан, етан та інш.).

8. Мініпароежекторні паронасосні низькотемпературні установки на робочий рівень температур від 0°C до 150°C є ефективними альтернативними пристроями у порівнянні з відповідними термоелектричними агрегатами.

9. Сукупність виконаних досліджень, здобутих теоретичних і експериментальних результатів є базою для створення ефективних конкурентноспроможних пароежекторних генераторів холоду для транспортних кондиціонерів і СТР різного призначення.

Основні положення дисертації надруковано в роботах:

1. Гарбуз І.І., Конопльов О.І., Смирнов Г.Ф. Застосування пароежекторних установок на основі контурних теплових труб для бортових низькотемпературних систем термостабілізації/Теплові режими і охолодження радіоелектронної апаратури: Науково-технічний зб. 1994, № 1-2, з. 25-31.

2. Смирнов Г.Ф., Гарбуз І.І., Конопльов О.І. Аналіз перспективності пароежекторних теплонасосних установок на основі контурних теплових труб для застосування в бортових низькотемпературних системах термостабілізації/Теплові режими і охолодження радіоелектронної апаратури: Науково-технічний зб. 1994, № 1-2, з. 31-36.

3. Патент Росії, РИ № 2053466, МПК F25 031/00; F-25 1/06, за заявою і 94-011785/13(011055), Пароежекторна холодильна установка і спосіб виробництва в ній холоду/Ботук Ю.С., Вуз В.Н., Конопльов О.І., Смирнов Г.Ф., Опубл. 03.96, БИ № 3.

4. Патент Росії, РИ(11)2081378(13)СІ; 6F-25031/00; F-25 ВІ/ 06 "Спосіб виробництва холоду пароежекторною холодильною установкою та пароежекторна холодильна установка(варіанти)/Смирнов Г.Ф., Ботук Ю.С., Конопльов О.І., Гончаров К.А. Зареєстровані 10 червня 1997 р.

5. K.A.Goncharov; Yu.S.Botuk; M.A.Bukraba; V.№.Buz; A.J.Konoplev; H.F.Smirnov "Investigations of The Vapour-Ejector Autonomous Refrigerator Characteristics"

The X-th Int. Heat Pipe Conference Proseedings. Stuttgart.

УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

A = KР/PP, K - масовий еквівалент потужності, кг/Вт, Q_p - теплове навантаження парогенератора, Вт; Q_o - холодопродуктивність, Вт; P_k, P_o - тиск конденсації та кипіння, відповідно, МПа; T_o, T_{oc}, T_{o.c.}, T_k, T_{oo}, T_p,

T – температури термостабілізації, середня ефективна температура теплоскиду, навколишнього середовища, насичення в конденсаторі об'єкта, що охолоджується, робочої пари, середня температура стінки випарника, відповідно, K ; t , t – температури: початкова грійочої пари, низькопотенційного джерела тепла, відповідно, $^{\circ}C$; ξ – коефіцієнт теплового використання; ϕ_{pe} , ϕ_{xc} , ϕ_{ke} – коефіцієнти втрат; η_d – К.К.Д. дифузора; μ_1 , μ_2 – відповідні відношення теплових навантажень (тепловиділення на гарячому spaї до холодопродуктивності, теплова потужність парогенератора до холодопродуктивності та інш.); стала Больцмана; σ_E – ступінь стиску пари в ежекторі; A_o – коефіцієнт, що враховує випромінюючі властивості поверхні радіатора, густину матеріалу, товщину стінки та "масову" вартість енергозатрат.

АНОТАЦІЯ

Конопльов О.І. Рациональні цикли, схеми та характеристики безмашинних пароежекторних генераторів холоду для транспортних установок (Термодинамічний аналіз і експериментальне моделювання). Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.14.06 – технічна теплофізика, Одеська державна академія холоду, Одеса, 1997.

В дисертації розроблено основи термодинамічного аналізу циклів та схем безмашинних пароежекторних генераторів холоду для установок транспортного призначення. В аналізі використовуються сумісні рівняння стану реальних газів, включаючи двофазну область, основні рівняння газодинамічних процесів в парових ежекторах, співвідношення, що визначають витрати механічної енергії в усіх елементах розглянутих пристроїв. Вперше вивчаються можливості реалізації безмашинних пароежекторних генераторів холоду в двох варіантах, використовуючи капілярні насоси як джерела механічної енергії та застосовуючи систему з тепловикористовуючим акумулятором механічної енергії періодичної дії. Новітність технічних розв'язань в обох варіантах захищена патентами, їх працездатність підтверджена даними експериментального моделювання.

На основі запропонованих в дисертації узагальнених циклів, методик теоретичного опису та розрахунків створено програмні методи, перспективні для практичного використання. За результатами аналітичних досліджень визначено форми та області раціонального застосування тепловикористовуючих безмашинних пароежекторних генераторів холоду.

Ключові слова: паровий ежектор, холодильна машина, термодинамічний аналіз, джерело механічної енергії, капілярний насос, акумулятор енергії.

SUMMARY

Konoplev A.I. The vaporejector cold generator without mechanical energy source, schemes and characteristics for transport devices. (The thermodynamic analysis and experimentation). The dissertation for scientific degree of technical sciences on the specialty: 05. 14. 06 - Technical Thermophysics.

The thermodynamic analysis of the vapor-ejector refrigerating machines was developed in this dissertation for transport devices. There were used in this analysis commonly the real gases state equations, including two-phase zone, the vapor-ejector gas dynamic processes equations and determined mechanical energy losses correlations for all vapor-ejector devices elements.

There were studied for the first time the vapor-ejector refrigerating machines without mechanical energy sources creation possibility in two main variants.

The first variant is grounded on the capillary pump application and the second variant is grounded on the periodic action mechanical energy accumulator application. The technical solutions novelty was defeated two patents and their workability was confirmed experimentally.

It was created for practical applications the soft-wear on the theoretical methods and generalized cycles base. There were determined the vaporejector refrigerating machines without mechanical energy sources rational application fields as analytical research results.

Key words: vapor-ejector, refrigerating machine, thermodynamic analysis, mechanical energy source, capillary pump, energy accumulator.

xv 1200

ІНСТІТУТ ХОЛОДУ
ОНАХТ
бібліотека