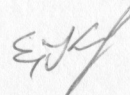


Автореферат М
К66

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ



КОРБА ЄВГЕН МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 621.564; 641.546.44

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН НА РОБОЧИХ ТІЛАХ НА
ОСНОВІ АМІАКУ І ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ**

05.05.14 – Холодильна, вакуумна та компресорна техніка,
системи кондиціонування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертація є рукописом.
Робота виконана в Одеській державній академії холоду Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор ХМЕЛЬНЮК МИХАЙЛО ГЕОРГІЙОВИЧ, завідувач кафедрою холодильних машин і установок Одеської державної академії холоду Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор МАЗУР ВІКТОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ, завідувач кафедрою технічної термодинаміки Одеської державної академії холоду Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Автореф
K66

xv1207
Корба Є.М.

Підвищення ефективності роботи
холодильних машин на робочих тілах
2011

0.00

их наук, доцент ІГОР НАУМОВИЧ, шько - випробувального о науково - дослідного ового машинобудування гва України з управління оративними правами та у о 14³⁰ годині у аудиторії і Д.041.087.01 в Одеській Академії холоду, 1/3, м. Одеса,

еської державної /країна, 65082.

В.І. Мілованов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ратифікація Україною міжнародних угод по запобіганню руйнування стратосферного озонного шару і зменшенню емісії парникових газів призвела до зростання альтернативних можливостей розвитку технологій кондиціонування повітря і штучного охолодження. Одним з основних сценаріїв переходу до екологічно безпечних робочих тіл є повернення до використання природних холодоагентів (аміаку, діоксиду вуглецю і вуглеводнів).

На жаль, перераховані речовини мають ряд негативних властивостей, які обмежують їх використання в техніці помірного холоду. Так для аміаку такими властивостями є токсичність, корозія при взаємодії з міддю, нерозчинність з традиційними змащувальними мастилами, висока температура газу після стискування в компресорі. Для використання чистого діоксиду вуглецю в холодильній техніці необхідно застосовувати устаткування, розраховане на експлуатацію з дуже високим тиском. Один з перспективних напрямів для усунення негативних якостей полягає в добавці компонентів, які б компенсували перераховані недоліки і підкреслили екологічні, енергетичні і економічні переваги природного холодоагенту. Також одним з напрямів використання діоксиду вуглецю є створення каскадних систем, де робота вуглекислоти з низьким тиском забезпечується зовнішньою холодильною машиною (ЗХМ). Робочим тілом ЗХМ може служити аміак.

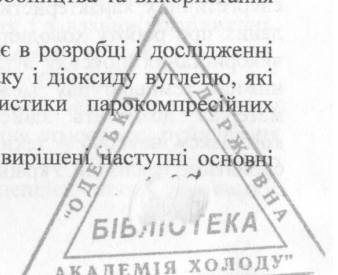
Науково-технічна програма стійкого розвитку виробництва складної побутової техніки в Україні ставить перед виробниками холодильної техніки завдання переходу до створення нової техніки, яка мала б максимально вигідні показники енергоспоживання, високу експлуатаційну безпеку і мінімальний негативний вплив на довкілля. Таким чином, пошук нових композицій сумішей на основі природних холодоагентів, що відповідають сучасним вимогам, робить актуальними дослідження в області пошуку нових композицій холодоагентів для холодильних машин, які б спрощували використання природних холодоагентів (аміак, діоксид вуглецю) і призводили до збільшення енергетичних показників машини в цілому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до програми фундаментальних і пошукових досліджень, що відповідають Постанові Верховної Ради України від 4.02.2004 р. про ратифікацію Кіотського Протоколу; Постанові Кабінету Міністрів України №624 від 16.05.2002 р. «Про посилення державного регулювання ввозу і вивозу з України озоноруйнуючих речовин»; Постанові Кабінету Міністрів України №256 від 04.03.2004 р., що затвердили «Програму припинення виробництва та використання озоноруйнуючих речовин до 2030р.».

Мета і завдання досліджень. Мета роботи полягає в розробці і дослідженні робочих тіл холодильних машин на основі сумішей аміаку і діоксиду вуглецю, які дозволяють отримувати високі енергетичні характеристики парокомпресійних циклів холодильних машин.

Для досягнення наміченої мети були поставлені і вирішені наступні основні завдання:

xv1207
ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ



1. пошук робочих тіл на базі аміаку і діоксиду вуглецю, які дозволяють отримувати високі енергетичні характеристики і при цьому екологічно безпечні;
2. створення математичних моделей термодинамічної і фазової поведінки сумішей аміаку з холодоагентами;
3. розробка і створення експериментального стенду для вивчення енергетичних характеристик роботи компресорів, що використовують в якості робочих тіл суміші на основі аміаку;
4. вивчення можливості вживання сумішей на основі діоксиду вуглецю в холодильних машинах при температурі нижче за температуру потрійної точки для діоксиду вуглецю.

Об'єктами дослідження є парокompresійні холодильні машини, що використовують в якості робочих тіл суміші природних холодильних агентів.

Предметом дослідження є показники енергетичної ефективності циклів холодильних машин на сумішах аміаку та діоксиду вуглецю.

Методи дослідження. Математичне моделювання термодинамічної і фазової поведінки систем аміак - вуглеводні, експерименти з визначення показників енергетичної ефективності холодильних машин, зіставлення результатів розрахунку з результатами експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що

- вперше експериментально отримані енергетичні характеристики роботи компресора на сумішах аміаку з вуглеводнями;
- показана можливість використання сумішей діоксиду вуглецю і вуглеводнів для досягнення температур нижче за температуру потрійної точки діоксиду вуглецю;
- розроблені математичні моделі термодинамічної і фазової поведінки систем аміак – вуглеводні на основі однорідних рівнянь стану Пенга – Робінсона для суміші і побудовані діаграми стану тиск – ентальпія.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і результатів визначаються:

- коректною постановкою завдань і перевіркою адекватності теоретичних моделей енергетичної ефективності холодильних машин і експериментальних даних;
- використанням сучасних математичних методів і програмних засобів вирішення завдань прогнозування термодинамічної і фазової поведінки сумішей.

Практичне значення одержаних результатів. В ході досліджень енергетичних характеристик компресорів і холодильних приладів отримано об'єм даних про роботу холодильної машини на нових холодоагентах; встановлено, що використання діоксиду вуглецю в композиції з вуглеводнями дозволяють знизити нижню температурну межу використання діоксиду вуглецю. Весь отриманий матеріал дозволить здійснити заходи щодо впровадження в промисловість комплексу науково - технічних пропозицій, розроблених за участю автора, що сприятиме реалізації Україною взятих зобов'язань по дотриманню Монреальського і

Київського Протоколів. Запропоновані в роботі рішення використовуються в розробках при проектуванні холодильної техніки в ДП НДІ «Шторм» (м. Одеса), Укр НДІ ПобутМаш (м. Донецьк).

Особистий внесок здобувача підтверджується науковими публікаціями, в яких відбито головні ідеї і положення теоретичних розробок та експериментальних результатів. Особисто автором був здійснений розрахунок термодинамічної ефективності циклів ХМ для сумішей на базі аміаку, проведено порівняльний аналіз експериментальних досліджень і розрахункових характеристик. В процесі роботи над дисертацією при безпосередній участі здобувача було створено експериментальний стенд для теплотехнічних випробувань компресорів; обґрунтовано вибір об'єктів дослідження і розроблено сучасні підходи до їх вивчення.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень були представлені і обговорювалися на 4-й міжнародній науково-технічній конференції „Сучасні проблеми холодильної техніки і технології”, Одеса, 2005; міжнародній науково-технічній конференції «Промисловий холод і аміак» Одеса, 28-30 серпня 2006; 5-й міжнародній науково-технічній конференції „Сучасні проблеми холодильної техніки і технології”, Одеса, 2007; міжнародній конференції MIX B2 спільно з B1 і D1 «Ammonia Refrigeration Technology for Today and Tomorrow», 19 - 21 квітня, 2007, Охрид (Республіка Македонія); III Міжнародній науково-технічній конференції «Низькотемпературні і харчові технології в XXI столітті», 13 - 15 листопада 2007, Санкт-Петербург (Російська Федерація); Всеукраїнському науково-технічному семінарі «Удосконалення малої холодо техніки і забезпечення нею технологічних процесів» 11 -12 вересня 2008, Донецьк; 7-й міжнародній конференції MIX B2 і B1 спільно з E1 і E2 «COPRESSORS 2009», 30 вересня – 2 жовтня 2009, Папірника (Словацька Республіка).

Публікації. Основний зміст дисертації представлений в 13 статтях, у тому числі 8 опублікованих в фахових наукових виданнях і збірках наукових праць, які відповідають вимогам ВАК України. У вигляді тез доповідей в збірниках наукових праць регіональних і міжнародних конференцій опубліковано 4 статті.

Об'єм і структура дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, основних висновків, списку використаної літератури, що включає 176 джерел. У ній містяться 127 сторінок основного тексту, 14 таблиць та 58 малюнків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертації, відображається зв'язок з державними програмами і темами, сформульовано мету і завдання дослідження. Наведено нові наукові результати, конкретний особистий внесок здобувача, відомості про апробацію результатів дисертації та основні публікації.

У **першому розділі** аналізуються основні фактори негативного впливу діяльності людства на екологію Землі, такі як забруднення атмосфери, руйнування озонового шару Землі, глобальне потепління. Проаналізовано розвиток сучасного холодильного обладнання та технологій згідно з концепцією сталого розвитку.

Досягнення сталого розвитку - завдання величезної складності, оскільки для досягнення компромісу між соціальними, економічними та екологічними показниками ефективності необхідно збалансоване взаємодію трьох показників ефективності, в нашому випадку, систем виробництва штучного холоду. Не існує «ідеального» рішення, яке б задовольнило всім показникам ефективності в повній мірі.

Показано, що на теперішній час можна виділити декілька основних напрямів підвищення ефективності холодильних машин, які тісно пов'язані з проблемою глобального потепління. До цих напрямів відносяться дослідження і розробки в області:

- зменшення прямої емісії холодоагентів;
- пошуку альтернативних холодоагентів;
- зниження споживаної енергії (зменшення непрямой емісії);
- розробка нових технологій одержання штучного холоду.

Прагнення виробників холодоагентів створити «ідеальне» робоче тіло, у якого одночасно поєднувалися б суперечливі показники, такі як екологічні (нульовий потенціал глобального потепління, нульовий потенціал руйнування озонового шару, низька токсичність, природне походження), економічні (низька ціна) і енергетичні (висока критична температура, добра розчинність з холодильним маслом, низька потрійна точка, прийнятні теплофізичні властивості та ін), призвело до розуміння того факту, що серед чистих речовин такого робочого тіла не існує. Найбільш перспективний підхід до пошуку компромісного рішення серед безлічі альтернатив базується на практично безмежних можливостях змішування вже відомих компонентів. Можливість реабілітації аміаку і діоксиду вуглецю як ефективних холодоагентів багато в чому залежить від усунення тих негативних якостей, які ускладнюють їх використання в технології отримання низьких температур.

У **другому розділі** основну увагу приділяється термодинамічним моделям сумішей аміаку з селективними добавками - холодоагентами четвертого покоління, що базується на екологічно чистих природних робочих тілах.

Для опису термодинамічної та фазової поведінки сумішей розглянута класична однорідна модель Пенга - Робінсона:

$$P = \frac{RT}{v-b} \frac{a}{b^2 + 2bv - v^2}, \quad (1)$$

$$a_{ij} = 0.45724 R^2 T_c^2 / P_c, \quad (2)$$

$$b_{ij} = 0.07780 R T_c / P_c, \quad (3)$$

Для систем аміак - вуглеводні проаналізовано можливість появи азеотропних станів і зроблено висновок про те, що системи з аміаком в переважній більшості випадків виявляють явище азеотропії. Загальна картина фазової поведінки сумішей аміаку з холодоагентами носить досить складний характер і охоплює практично всі відомі типи фазових рівноваг, які спостерігаються для бінарних систем. Для аналізу можливих типів фазової поведінки відповідно до класифікації Скотта - Ван Коніненбурга була розглянута база даних про критичні параметри холодоагентів, яка була ранжована відповідно до стандарту ASHRAE 34. Теоретично передбачено, що у сумішах аміаку з вуглеводнями повинна спостерігатися гетероазеотропія. Побудована діаграма ентальпія - тиск для суміші R717 - R290. Розроблено метод

оцінки термодинамічної ефективності парокompресійних циклів маловивчених холодоагентів за критичними параметрами і температурою нормального кипіння з метою визначення селективних добавок, що поліпшують характеристики малих холодильних машин на сумішах на основі аміаку.

Опис експериментальних даних по фазовим рівновагам для розглянутої суміші тільки на основі відомостей про енергетичний параметр бінарної взаємодії k_{12} виявився неможливим. Тому було введено додатковий геометричний параметр l_{12} . В якості мінімізуючої цільової функції $\Phi(k_{12}, l_{12})$ використовували вираз:

$$\Phi = \sum_i \left| \frac{P_{b,i}^{calc}}{P_{b,i}^{exp}} - 1 \right|, \quad (4)$$

де P_b^{calc} - розрахований тиск насичення, P_b^{exp} - експериментальний тиск насичення. В результаті мінімізації виразу (4) були знайдені відповідні значення енергетичного та геометричного факторів $k_{12} = 0.62$ і $l_{12} = -0.6$.

Отримані значення значно відхиляються від загальноприйнятих і свідчать про сильну неідеальність суміші. На рис. 1 наведені ізотерми -30, -20, -10, 0, 10, 20, 29.9, 40, 42.2, 50°C, які охоплюють весь діапазон параметрів стану, що представляє інтерес для холодильної техніки. Температури 0°C, 29.9°C, 42.2°C і 50°C наведені для того, щоб продемонструвати якість опису експериментальних даних, які були отримані при зазначених температурах. Оскільки рівняння стану безперервне, то воно описує всі стани, включаючи метастабільні.

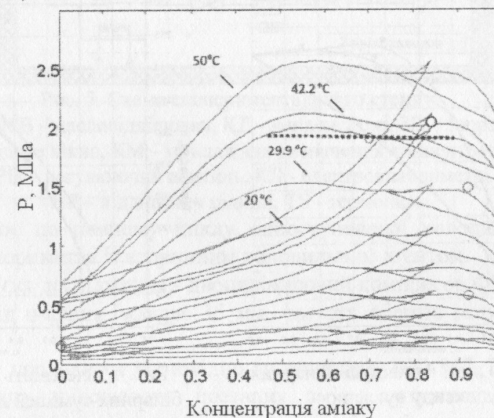


Рис. 1 - Зіставлення розрахованих та експериментальних даних на ізотермах для суміші аміак - пропан.

○ - експериментальні дані; — - розрахунок;
..... - трьохфазна лінія

Проведено дослідження фазових рівноваг в системі рідина-пар для бінарних сумішей діоксиду вуглецю з етаном, пропаном і ізобутаном. Результати експериментальних досліджень тиску насичених парів систем R744-R170, R744-R290, R744-R600a при температурі 221К наведені на рисунку 2. Суміші R744/R290, R744/R600a є зеотропними, а суміш R744/R170 має азеотроп. Обробка та аналіз

даних суміші діоксиду вуглецю - етан показали, що азеотропна концентрація при досліджених температурах становить $\sim 0.35/0.65$ моль/моль.

Дуже важливим є пошук тисків, температур і концентрацій вуглекислоти в сумішах, при яких вони зберігали рідкий стан. Результати проведених досліджень проілюстровані на рисунках 3 та 4.

Дослідження фазових рівноваг тверде тіло - рідина на початку затвердіння або в кінці плавлення бінарних сумішей діоксиду вуглецю з вуглеводнями має велике значення для забезпечення експлуатаційних характеристик холодильних машин, що працюють на цих сумішах. Використання сумішей вуглеводень - діоксид вуглецю в якості робочих тіл холодильних машин вимагає того, щоб в процесі циркуляції в магістралях низькотемпературних апаратів, холодоагенти перебували в рідкому стані.

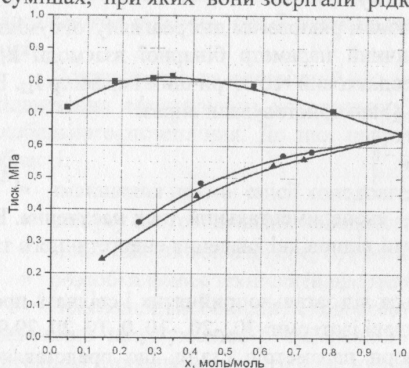


Рис. 2 Залежність тиску насичених парів від концентрації при $T = 221,0 \text{ K}$
 ■ – R744/R170; ● – R744/R290; ▲ – R744/R600a.

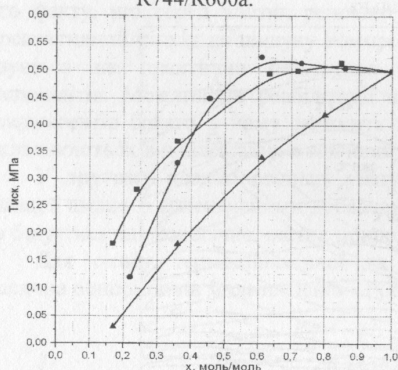


Рис. 3 Залежність лінії «ліквідус» бінарних сумішей діоксиду вуглецю з вуглеводнями від тиску
 ■ – R744/R170; ● – R744/R290; ▲ – R744/R600a.

Враховуючи той факт, що досліджувані суміші містять вуглекислоту, яка переходить у твердий стан при тисках нижче 0.5 МПа, виникає небезпека забивання частками твердої вуглекислоти магістралей апаратів при низькому тиску. Це може призвести не тільки до порушення режиму роботи холодильної машини, але і до виходу її з ладу.

У третьому розділі розглядаються практичні аспекти застосування

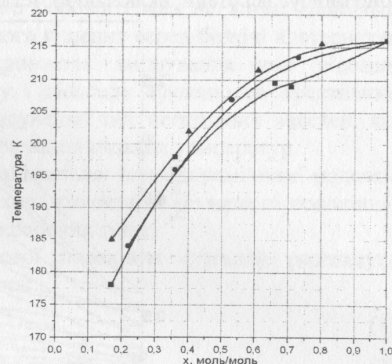


Рис. 4 Залежність лінії «ліквідус» бінарних сумішей діоксиду вуглецю з вуглеводнями від температури
 ■ – R744/R170; ● – R744/R290; ▲ – R744/R600a.

нової композиції сумішей на базі аміаку в холодильних машинах. Створено експериментальний стенд (рис. 5) для дослідження холодопродуктивності компресорів і проведено розрахунки основних показників енергетичної ефективності робочих тіл на основі аміаку.

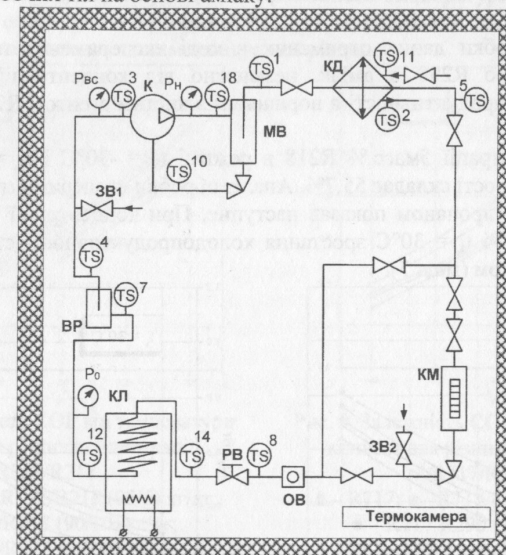


Рис. 5. Схема експериментального стенду:
 К - компресор, МВ - масловідділювач, КД - конденсатор, ЗВ – заправний вентиль,
 ОВ – оглядове вікно, КМ – прилад для визначення концентрації масла,
 РВ – регулюючий вентиль, КЛ - електрокалориметр,
 ВР – відділювач рідини, TS - термопари.

Стенд працює по повному циклу одноступеневої холодильної машини, з використанням калориметра із вторинним холодильним агентом.

Головний об'єкт дослідження - двоциліндровий компресор ФВ2А з діаметрами поршнів 40 мм, хід поршня складає 35 мм, частота обертів валу компресора 840 об/хв.

Експеримент проводився відповідно до стандарту ISO 917. Електрична схема живлення дозволяла здійснювати поетапну зміну потужності, підведеної до вторинного холодильного агента, а потужність електрокалориметра та електродвигуна компресора вимірювали за допомогою вимірювальних комплектів К-506. Температури холодильного агента і води вимірювали термопарами. Тиск агента в системі і вторинного агента вимірювали манометрами класу точності 0,6. Температуру навколишнього повітря - термометром з ціною шкали 0,5°C. У даній схемі стенду було використано водяний кожухотрубний конденсатор. Частоту обертів валу двигуна і компресора заміряли цифровим тахометром.

Максимальна доза заправки системи по аміаку склала 600г в температурному режимі $t_k = 30^\circ\text{C}$, $t_0 = -20^\circ\text{C}$. Експеримент проводився на чистому аміаку і сумішах з

різною масовою концентрацією R218 і R290, таких як 5, 10, 20, 30 мас.%. Дослідження проводили при постійній температурі конденсації $t_k = 30^\circ\text{C}$ і температурах кипіння $t_0 = -20^\circ\text{C}$; -30°C ; -40°C . Перегрів агенту на всмоктуванні в компресор становив 5°C . У ході експерименту в камері підтримувалась постійна температура 20°C .

Аналіз обробки даних отриманих в ході експерименту показав наступне. Додавля R218 або R290 в аміак, незалежно від концентрації, призводить до зростання холодопродуктивності в порівнянні з чистим агентом R717 (рисунок 6 і 7 відповідно).

При концентрації 5 мас. % R218 в режимі $t_0 = -30^\circ\text{C}$ і $t_k = 30^\circ\text{C}$ зростання холодопродуктивності складає 55,7%. Аналіз обробки експериментальних даних для сумішей аміаку з пропаном показав наступне. При концентрації 10 мас. % R290 в режимі $t_0 = -30^\circ\text{C}$ і $t_k = 30^\circ\text{C}$ зростання холодопродуктивності становить 62,8% в порівнянні з аміаком (мал. 7).

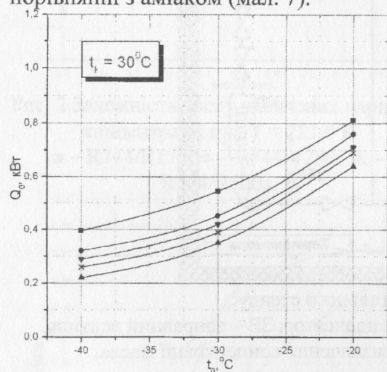


Рис. 6. Залежність холодопродуктивності від температури кипіння для різних концентрацій R717/R218
 ▲ – R717; ■ – R717/R218 (95/5) кг/кг;
 ● – R717/R218 (90/10) кг/кг;
 ▼ – R717/R218 (80/20) кг/кг;
 × – R717/R218 (70/30) кг/кг.

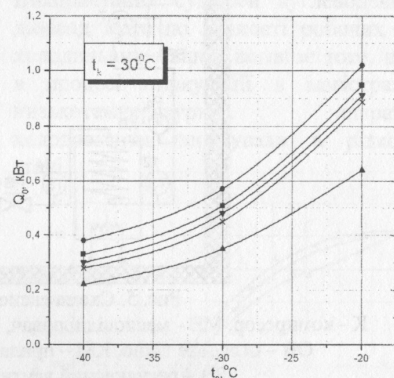


Рис. 7. Залежність холодопродуктивності від температури кипіння для різних концентрацій R717/R290
 ▲ – R717; ■ – R717/R290 (95/5) кг/кг;
 ● – R717/R290 (90/10) кг/кг;
 ▼ – R717/R290 (80/20) кг/кг;
 × – R717/R290 (70/30) кг/кг.

На рисунках 8 і 9 зображена залежність холодильного коефіцієнта від температури кипіння для сумішей R717/R218 і R717/R290 відповідно.

Оцінюючи холодильний коефіцієнт (COP) для суміші аміаку з октафторпропаном, можна зробити висновок про те, що суміш тільки з малими добавками R218 (~5 мас. % R218) має більше значення COP ніж для аміаку. Так, наприклад, в режимі $t_0 = -30^\circ\text{C}$ і $t_k = 30^\circ\text{C}$ холодильний коефіцієнт для суміші R717/R218 (95/5) кг/кг вище, ніж при роботі на чистому аміаку на 5,2%.

З рисунку 9 видно, що додавання пропану до аміаку в невеликих кількостях (у діапазоні 8-13 мас. %) призводить до збільшення холодильного коефіцієнта холодильної машини. Так, наприклад, в режимі $t_0 = -30^\circ\text{C}$ і $t_k = 30^\circ\text{C}$ холодильний коефіцієнт для суміші R717/R290 (90/10) кг/кг має максимальне значення для даного

температурного режиму і дорівнює 0,79, що на 23,4% вище, ніж при роботі на чистому аміаку.

Аналіз термонапруженості компресора показав, що компресор, який працює на аміаку, як і слід було очікувати, має найбільші температури кінця стиснення, масла, кришки циліндрів і т.д. (рис. 10 і 11). Добавки в аміак досліджуваних компонентів значно знижують температурний рівень.

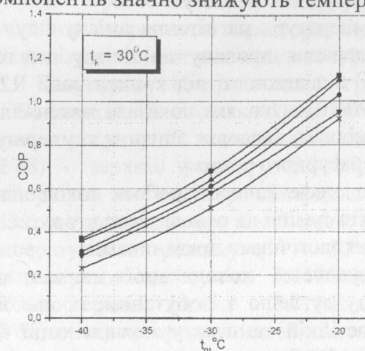


Рис. 8. Залежність COP від температури кипіння для різних концентрацій R717/R218
 ▲ – R717; ■ – R717/R218 (95/5) кг/кг;
 ● – R717/R218 (90/10) кг/кг;
 ▼ – R717/R218 (80/20) кг/кг;
 × – R717/R218 (70/30) кг/кг.

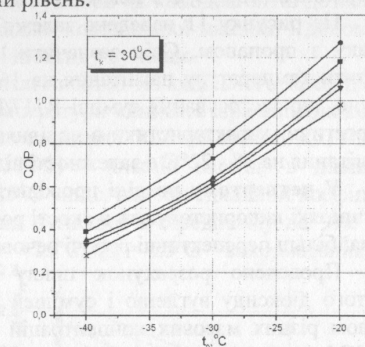


Рис. 9. Залежність COP від температури кипіння для різних концентрацій R717/R290
 ▲ – R717; ■ – R717/R290 (95/5) кг/кг;
 ● – R717/R290 (90/10) кг/кг;
 ▼ – R717/R290 (80/20) кг/кг;
 × – R717/R290 (70/30) кг/кг.

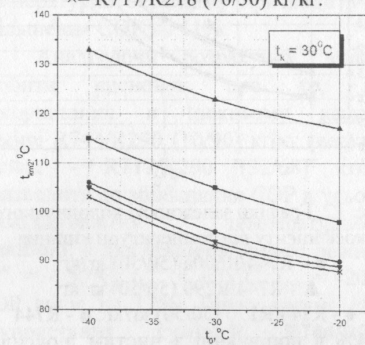


Рис. 10. Залежність температури нагнітання компресора від температури кипіння для різних концентрацій R717/R218
 ▲ – R717; ■ – R717/R218 (95/5) кг/кг;
 ● – R717/R218 (90/10) кг/кг;
 ▼ – R717/R218 (80/20) кг/кг;
 × – R717/R218 (70/30) кг/кг.

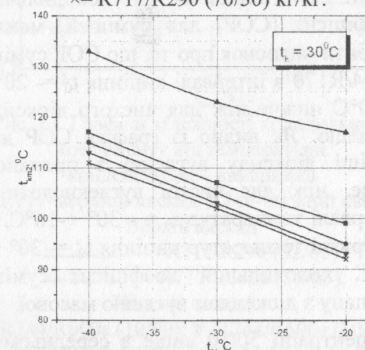


Рис. 11. Залежність температури нагнітання компресора від температури кипіння для різних концентрацій R717/R290
 ▲ – R717; ■ – R717/R290 (95/5) кг/кг;
 ● – R717/R290 (90/10) кг/кг;
 ▼ – R717/R290 (80/20) кг/кг;
 × – R717/R290 (70/30) кг/кг.

На рисунку 10 наведена залежність температури кінця стиснення аміаку і суміші аміаку з октафторпропаном, яка наочно демонструє зниження температури нагнітання на 18 - 30°C в залежності від концентрації R218. Видно, що застосування суміші R717/R218 (95/5) кг/кг, яка показала максимальні енергетичні характеристики в порівнянні з аміаком, дозволяє знизити температуру кінця стиснення на 18 - 19°C в залежності від температурного режиму.

На рисунку 11 наведена залежність температури нагнітання аміаку і суміші аміаку з пропаном. Слід зазначити, що додавання пропану до аміаку дозволяє знизити температуру нагнітання на 16 - 25°C в залежності від концентрації R290. Видно, що застосування суміші R717/R290 (90/10) кг/кг, яка показала максимальні енергетичні характеристики в порівнянні з аміаком, дозволяє знизити температуру нагнітання на 18 - 22°C в залежності від температурного режиму.

У четвертому розділі проводиться аналіз ефективності роботи холодильних машин, які використовують в якості робочих тіл суміші на основі діоксиду вуглецю, як найбільш перспективні робочі речовини за екологічними показниками.

Проведено розрахунок циклу одноступеневої холодильної машини для чистого діоксиду вуглецю і сумішей діоксиду вуглецю з ізобутаном, пропаном і етаном різних масових концентрацій при постійній температурі конденсації $t_k = +25^\circ\text{C}$ і температурах кипіння $t_0 = -10^\circ\text{C}$; -20°C ; -30°C .

На рисунку 12 зображено графіки залежностей холодильного коефіцієнта від температури кипіння для досліджуваних сумішей концентрації 50/50 (кг/кг) і чистого холодоагенту R744. Оцінюючи холодильний коефіцієнт (COP) для сумішей, можна зробити висновок про те, що COP суміші R744/R170 в інтервалі кипіння $t_0 = -20^\circ\text{C} \div -10^\circ\text{C}$ нижче ніж для чистого діоксиду вуглецю. Як видно із графіка COP для суміші діоксиду вуглецю з пропаном вище, ніж для чистої вуглекислоти в інтервалі температур $t_0 = -30^\circ\text{C} \div -16^\circ\text{C}$. В інтервалі температур кипіння $t_0 = -30^\circ\text{C} \div -20^\circ\text{C}$ холодильний коефіцієнт суміші пропану з діоксидом вуглецю масової

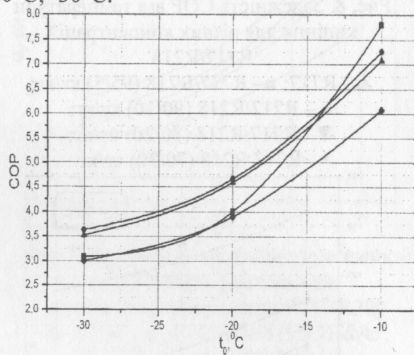


Рис. 12. Графіки залежності холодильного коефіцієнта від температури кипіння

- - R744/R600a (50/50) кг/кг;
- ▲ - R744/R290 (50/50) кг/кг
- ◆ - R744/R170 (50/50) кг/кг; ■ - R744

концентрації 50/50 вище в середньому на 14% в порівнянні з чистим діоксидом вуглецю. Аналізуючи дані розрахунків слід відзначити, що COP для суміші R744/R600a має максимальні показники. Так, наприклад, COP для суміші діоксиду вуглецю з ізобутаном вище, ніж для чистої вуглекислоти в інтервалі температур $t_0 = -30^\circ\text{C} \div -14^\circ\text{C}$. В інтервалі температур кипіння $t_0 = -30^\circ\text{C} \div -20^\circ\text{C}$ холодильний коефіцієнт суміші ізобутану з діоксидом вуглецю масової концентрації 50/50 вище в середньому на 17% в порівнянні з чистим діоксидом вуглецю.

Відомо, що діоксид вуглецю та аміак мають деякі властивості, які

ускладнюють їх використання в холодильній техніці, тому був зроблений розрахунок циклу каскадної холодильної машини, в якій використовувалися суміш аміаку з пропаном концентрації 32/68 (кг/кг) і суміш аміаку з ізобутаном концентрації 35/65 (кг/кг) у верхньому каскаді і суміші діоксиду вуглецю з ізобутанів, пропаном і етаном різних концентрацій в нижньому каскаді каскадної машини. Передбачалося, що застосування цих сумішей як холодоагентів дозволить поліпшити енергетичні характеристики каскадної холодильної машини і допоможе нейтралізувати негативні властивості аміаку і діоксиду вуглецю.

На рисунку 13 представлені графіки залежностей холодильного коефіцієнта (COP) каскадної холодильної машини від температури конденсатора-випарника. Як видно з рисунку 13 холодильний коефіцієнт каскадної ХМ на суміші R717/R290 (32/68) - верхній каскад і R744/R600a (10/90) - нижній каскад, в діапазоні температури конденсатора випарника $-20 \div -25^\circ\text{C}$ вище, ніж холодильний коефіцієнт КХМ, що використовує чисті аміак і діоксид вуглецю, в середньому на 9%. Для температурного режиму $t_0^{H,K} = -50^\circ\text{C}$, $t_k^{B,K} = +25^\circ\text{C}$, $t_{k-B} = -25^\circ\text{C}$ використання в нижньому каскаді суміші R744/R600a (10/90) (верхній каскад - R717/R600a (35/65) кг/кг) призводить до збільшення холодильного коефіцієнта на 8% в порівнянні з використанням чистих аміаку і діоксиду вуглецю, а використання R744/R600a (10/90) в нижньому каскаді (верхній каскад - R717/R290 (32/68) кг/кг) для того ж температурного режиму призводить до збільшення COP на 11%.

Аналізуючи розрахунок, можна зробити висновок про те, що використання в нижньому каскаді суміші R744/R290 (10/90) кг/кг (верхній каскад - R717/R290 (32/68) кг/кг) призводить до збільшення COP в усьому досліджуваному температурному діапазоні, а для температурного режиму $t_0^{H,K} = -50^\circ\text{C}$, $t_k^{B,K} = +25^\circ\text{C}$, $t_{k-B} = -20^\circ\text{C}$ COP вище на 17%. Також видно, що використання сумішей R744/R290 (10/90) кг/кг - нижній каскад, R717/R600a (35/65) кг/кг - верхній каскад, доцільно для досліджуваного температурного діапазону в інтервалі температур конденсатора - випарника рівному $-25 \div -10^\circ\text{C}$. Слід зазначити, що практично всі досліджувані суміші діоксиду вуглецю з пропаном - нижній каскад і досліджувані суміші аміаку з пропаном і ізобутану - верхній каскад, показали позитивну динаміку холодильного коефіцієнта КХМ для температурного режиму $t_0^{H,K} = -50^\circ\text{C}$, $t_k^{B,K} = +25^\circ\text{C}$ у діапазоні температури конденсатора - випарника $-25 \div -$

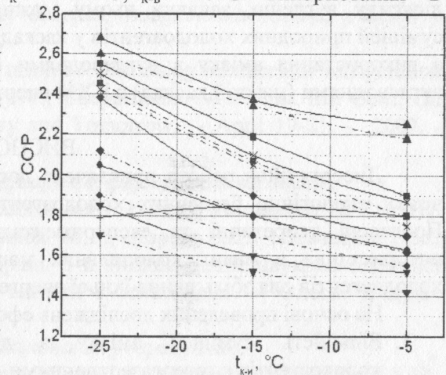


Рис. 13. Графіки залежності холодильного коефіцієнта від температури конденсатора - випарника

- +R717-верхній каскад, R744-нижній каскад
- Верхній каскад
- R717/R290 (32/68)
- R717/R600a (35/65).
- Нижній каскад
- - R744/R600a (10/90); ▼ - R744/R600a (30/70);
- - R744/R290 (10/90); ◆ - R744/R290 (30/70);
- ▲ - R744/R170 (10/90); × - R744/R170 (30/70).

20°C. Результати розрахунку показують, що холодильний коефіцієнт каскадної холодильної машини, яка використовує суміші діоксиду вуглецю з етаном в нижньому каскаді і суміші на основі аміаку у верхньому каскаді значно вище, ніж при використанні чистих аміаку і діоксиду вуглецю. Холодильний коефіцієнт каскадної холодильної машини, що використовує в якості робочих тіл R717/R290 (32/68) кг/кг і R717/R600a (35/65) кг/кг у верхньому каскаді і R744/R170 (10/90) кг/кг - у нижньому каскаді вище на 28-62% і 21-44% відповідно у всьому діапазоні температури конденсатора - випарника. Холодильний коефіцієнт каскадної холодильної машини на робочих тілах R717/R290 (32/68) кг/кг і R717/R600a (35/65) кг/кг у верхньому каскаді і R744/R170 (30/70) кг/кг - в нижньому каскаді вище на 8-35% і 6-29% відповідно у всьому діапазоні температури конденсатора - випарника.

У цілому, аналіз каскадної холодильної машини показує, що використання сумішей на основі аміаку (верхній каскад) і діоксиду вуглецю з вуглеводнями (нижній каскад) призводить до збільшення холодильного коефіцієнту КХМ. Відомо, що добавки вуглеводнів допомагають позбутися негативних властивостей аміаку і діоксиду вуглецю, завдяки цьому можна зробити висновок, що використання сумішей природних холодоагентів у каскадній холодильній техніці має перспективу, а використання аміаку з вуглеводнями (верхній каскад) і діоксиду вуглецю з вуглеводнями (нижній каскад) в КХМ енергетично ефективно і виправдано.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена дослідженню перспективності застосування нових екологічно безпечних холодоагентів на базі аміаку і діоксиду вуглецю. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали доцільність використання в малих холодильних машинах робочих тіл на базі природних холодоагентів для збільшення їхньої енергетичної ефективності.

На основі проведених досліджень сформульовані наступні головні висновки:

1. Більшість сумішей аміаку з добавками синтетичних і природних холодоагентів є гетероазетропними.
2. Однорідна модель двокомпонентної системи Пенга – Робінсона дозволяє описати широку різноманітність фазових рівноваг, спостережуваних в сумішах і побудувати діаграму тиск – ентальпія для оцінки термодинамічної ефективності циклів малих аміачних холодильних машин.
3. Добавки до аміаку природних і синтетичних холодоагентів призводять до підвищення холодильного коефіцієнта холодильної машини. Так для суміші R717/R290 (90/10) кг/кг холодильний коефіцієнт холодильної машини на 14,1 - 23,4 % вище, ніж при роботі на чистому аміаку в залежності від температурного режиму.
4. Добавки до аміаку природних і синтетичних холодоагентів дозволяють знизити термонапруженість компресора в порівнянні з аміаком. Додавання пропану до аміаку дозволяє знизити температуру нагнітання на 16 - 25°C залежно від концентрації добавки.
5. Використання досліджених гетероазетропних сумішей на базі аміаку дозволяють знизити робочі температури охолодження у випарнику на 5 - 9°C, без зменшення об'ємної холодопродуктивності холодильних машин.

6. Використання діоксиду вуглецю з вуглеводнями показало можливість істотного зниження нижньої температурної межі вживання вуглекислоти у випарниках холодильних машин. При використанні досліджуваних сумішей концентрації 30/70 (моль/моль) для сумішей R744/R290 і R744/R170 можливе досягнення температури - 82°C, а для R744/R600a - 78°C.
7. Вживання сумішей на базі аміаку у верхньому каскаді і діоксиду вуглецю в нижньому каскаді каскадної холодильної машини дозволяє збільшити холодильний коефіцієнт в середньому на 22 - 48% залежно від композицій в порівнянні з чистими холодоагентами.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ

1. Хмельнюк М.Г., Корба Е.Н., Лавренченко Г.К. Исследование перспектив применения смесей диоксида углерода с углеводородами как рабочих веществ холодильных машин. // Холодильная техника и технология. – 2006. №4 (102). - С. 23-28
Особистий внесок: аналіз літературних джерел, постановка задачі, участь у виконанні розрахунків.
2. Analysis of cycle of cascade refrigeration machine with using mixtures of refrigeration fluids. / Khmel'njuk M., Korba E., Vozny V., Chepurnenko V // Proc. Int. Conf. On Ammonia Refrigerant Technology for Today and Tomorrow. - April 19-21. - 2007. - Ohrid (Republic of Macedonia).
Особистий внесок: аналіз результатів розрахунків, формування висновків.
3. Фазовые равновесия и азеотропные состояния в смесях аммиака с НFC и НC хладоагентов / Артёменко С.В., Хмельнюк М.Г., Корба Е.Н., Шевченко В.О., Чепурненко В.А // Збірник наукових праць 5-й Міжнародній науково-технічній конф. «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса: Видавн. ОДАХ. 2007. – С. 26-27.
Особистий внесок: постановка завдання, виконання розрахунків.
4. Застосування сумішей аміаку в холодильній техніці / Шевченко В.О., Корба Е.Н., Хмельнюк М.Г., Чепурненко В.А // Тематичний збірник наукових праць "Обладнання та технології харчових виробництв": Донецьк. ДонНУЕТ, 2007.–Вип. 17, т. 1. - С.59 – 64.
Особистий внесок: аналіз результатів розрахунку, формування висновків.
5. Применение смесей природных холодильных агентов в холодильной технике / Хмельнюк М.Г., Корба Е.Н., Шевченко В.О., Чепурненко В.А // Материалы III Международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке»: Санкт-Петербург, 13-15 ноября 2007. – С. 205-213.
Особистий внесок: постановка завдання, виконання розрахунків.
6. Термодинамическая эффективность пароконденсационных циклов работающих на бинарной смеси R717(NH₃) – RC318(C₄F₈). / Артёменко С.В., Хмельнюк М.Г., Корба Е.Н., Чепурненко В.А. // Холодильная техника и технология. – 2008. №1 (111). - С.15 – 22
Особистий внесок: аналіз термодинамічної ефективності циклів холодильних машин, участь у виконанні розрахунків.

7. Хмельнюк М.Г., Корба Е.Н. Использование смесей природных холодильных агентов в холодильных машинах. // Збірник наукових праць I Міжнародної науково-технічної конференції. Частина 1. - Миколаїв: НУК, 2008.- С. 65-72

Особистий внесок: постановка завдання, виконання розрахунків.

8. Хмельнюк М.Г., Корба Е.Н. Природные хладагенты и их смеси как новые «старые» рабочие тела холодильных машин. // Холодильна техніка і технологія. – 2008. №4 (114). - С. 16 - 20.

Особистий внесок: аналіз і узагальнення отриманих результатів, формування висновків.

9. Хмельнюк М.Г., Корба Е.Н. Анализ каскадной холодильной машины на смесях аммиака и диоксида углерода // Тематичний збірник наукових праць “Обладнання та технології харчових виробництв”: Донецьк. ДонНУЕТ, 2009.–Вип. 21. - С.41 – 47.

Особистий внесок: висування ідей, виконання розрахунків, аналіз та обґрунтування результатів.

10. Хмельнюк М.Г., Корба Е.Н. Природные рабочие тела – новые возможности холодильных машин. // Известия СПбГУНиПТ. Санкт-Петербург, 2009. - №1. – С.80 – 83 (Россия).

Особистий внесок: аналіз і узагальнення отриманих результатів, формування висновків.

11. Хмельнюк М.Г., Корба Е.Н. Новые возможности использования диоксида углерода в холодильной технике // Збірник тез докладів 6-й Міжнародній науково-технічної конф. «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». – Одеса: Видавн. ОДАХ. 2009. – С. 82-84

Особистий внесок: постановка завдання, формування висновків.

12. Mixtures of carbon dioxide with hydrocarbons as working substances for refrigerators / Khmel'njuk M., Korba E., Zhyvutsya V., Shepurenko V. // Proc. Int. Conf. on Compressors and Coolants «Compressors 2009» Papiernicka (Slovak). – 2009. – P. 216-221

Особистий внесок: аналіз результатів розрахунків, формування висновків.

13. Хмельнюк М.Г., Корба Е.Н. Экспериментальные исследования холодильной машины на смесях на базе аммиака // Тематичний збірник наукових праць „Обладнання та технології харчових виробництв”: Донецьк. ДонНУЕТ, 2010. – Вип.24. – С.108 – 115.

Особистий внесок: аналіз літературних джерел, постановка задачі, участь у виконанні розрахунків.

АННОТАЦІЯ

Корба Е.Н. Повышение эффективности работы холодильных машин на рабочих телах на основе аммиака и диоксида углерода. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – Холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования. – Одесская государственная академия холода. Одесса, 2011г.

В работе представлены результаты исследований перспектив применения смесей на базе аммиака и диоксида углерода. Предложено использование смесей на

базе аммиака в одноступенчатых холодильных машинах и верхней ветви каскадной холодильной машины для увеличения энергетической эффективности машин, а также использование смесей диоксида углерода с углеводородами в нижней ветви каскадной холодильной машины.

Создан экспериментальный стенд для исследования холодопроизводительности компрессоров и проведены измерения основных показателей энергетической эффективности рабочих тел на основе аммиака. Проведены исследования работы компрессора и холодильной машины в целом на новых рабочих телах, основанных на базе аммиака. На основе полученных результатов эксперимента получены значения концентрации смеси аммиака с добавками, которые показали максимальные энергетические характеристики. Показано, что использование смесей на базе аммиака приводит к увеличению энергетических показателей работы холодильной машины, а также приводит к улучшению эксплуатационных характеристик компрессора.

Проведена серия расчетов одноступенчатого цикла холодильной машины на смесях диоксида углерода с углеводородами. Использование диоксида углерода с углеводородами показало возможность существенного понижения нижнего температурного предела применения углекислоты.

Произведена серия расчетов цикла каскадной холодильной машины, использующей в верхней ветви каскада смеси на базе аммиака различных концентраций, а в нижней – смеси диоксида углерода с углеводородами. Анализ каскадной холодильной машины показывает, что использование смесей аммиака (верхний каскад) и диоксида углерода (нижний каскад) с углеводородами приводит к увеличению холодильного коэффициента КХМ. Известно, что добавки углеводородов помогают избавиться от негативных свойств аммиака и диоксида углерода, благодаря этому можно сделать вывод, что использование смесей природных хладагентов в каскадной холодильной технике имеет перспективу, а использование аммиака с углеводородами (верхний каскад) и диоксида углерода (нижний каскад) в КХМ энергетически эффективно и оправдано.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали целесообразность использования в холодильных машинах рабочих тел на базе аммиака и диоксида углерода для увеличения их энергетической эффективности.

Ключевые слова: холодильные машины, компрессор, смеси хладагентов, аммиак, диоксид углерода, энергетическая эффективность.

АНОТАЦІЯ

Корба Є.М. Підвищення ефективності роботи холодильних машин на робочих тілах на основі аміаку та діоксиду вуглецю. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 – Холодильна, вакуумна і компресорна техніка, системи кондиціонування. – Одеська державна академія холоду. Одеса, 2011р.

У роботі наведено результати досліджень перспектив вживання сумішей природних холодоагентів. Запропоновано використання сумішей на базі аміаку в одноступінчатих холодильних машинах і у верхньому каскаді каскадної холодильної машини для збільшення енергетичної ефективності машин, а також

використання сумішей діоксиду вуглецю з вуглеводнями в нижньому каскаді каскадної холодильної машини.

Створено експериментальний стенд для дослідження холодопродуктивності компресора і проведено виміри основних показників енергетичної ефективності робочих тіл на основі аміаку.

Проведено серію розрахунків циклу каскадної холодильної машини, що використовує у верхньому каскаді суміші на базі аміаку, а у нижній – суміші діоксиду вуглецю з вуглеводнями. Показано, що вживання сумішей природних холодоагентів у каскадній холодильній машині дозволяє істотно збільшити енергетичну ефективність холодильної машини.

Проведені теоретичні і експериментальні дослідження показали доцільність використання в холодильних машинах робочих тіл на базі аміаку та діоксиду вуглецю для збільшення їх енергетичної ефективності.

Ключові слова: холодильні машини, компресор, суміші холодоагентів, аміак, діоксид вуглецю, енергетична ефективність.

THE SUMMARY

Korba Ie.M. Efficiency enhancement of work of refrigeration machines on working fluids based on ammonia and carbon dioxide. - Manuscript.

Thesis for a candidate of science (engineering) degree by specialty 05.05.14 – Refrigerating, Vacuum, and Compressor Techniques, Conditioning Systems. Odessa State Academy of Refrigeration. Odessa, 2011.

The results of researches of application of mixtures of natural refrigerants are in-process presented. The use of mixtures on the base of ammonia in single-stage refrigeration machines and high-temperature circuit of cascade refrigeration machine for the increase of power efficiency of machines and also the use of mixtures of carbon dioxide with hydrocarbons in the low-temperature circuit of cascade refrigeration machine is offered.

An experimental stand is created for research of power efficiency compressors and measuring of basic indexes of power efficiency of working fluids on the basis of ammonia are conducted.

The series of calculations of cycle of cascade refrigeration machine using in the high-temperature circuit of cascade of mixture on the base of ammonia of different concentrations, and in low-temperature circuit are mixtures of carbon dioxide with hydrocarbons are produced. Application of mixtures on the base of natural refrigerants in cascade refrigeration machine allows substantially to increase power efficiency of refrigeration machine are showed.

The conducted theoretical and experimental researches are showed expedience of the use in the refrigeration machines of workings fluids based of ammonia and carbon dioxide for the increase of their power efficiency.

Key words: refrigerating machines, compressor, refrigerant mixtures, ammonia, carbon dioxide, energy efficiency.

E.M.K.

XV1207

