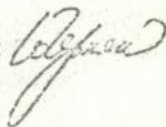


ОДЕСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ
ІМ. М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукопису

ЧЕРНЯК Єврія Олександрович



ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕЙ ОСНОВЕЗПЕЧЕЛИХ
ХОЛОДИЛЬНИХ АГЕНТІВ F221G-HFC134a, HFC152a-HFC134a

Спеціальність 01.04.14 - теплофізика і молекулярна фізика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса-1993

Дисертація є рукопис

Робота виконана в Одеському інституті низькотемпературної техніки та енергетики

- Науковий керівник - кандидат технічних наук,
доцент Мелезний В.П.
- Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Недоступ В.І.
кандидат технічних наук,
доцент Ланардін М.І.
- Ведуча організація - Термодинамічний Центр
Державного Комітету України
по нафті та газу, м. Київ

Захист дисертації відбудеться " 9 " лютого 1994 року
о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої ради К 068.35.04
при Одеському технологічному інституті харчової промисловості ім.
М.В.Ломоносова за адресою: 270039, м. Одеса, вул. Свердлова, 112

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Одеського техно-
логічного інституту харчової промисловості ім. М.В.Ломоносова.

Автореферат розіслано " 5 " січня 1994 г.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
к.т.н., доцент



В.М.Тищенко

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00753682 (V)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Серед заходів, що приймаються світовим співтовариством, направлених на регулювання виробництва й споживання озоноруйнуючих речовин, головним являється вимога повної відмови до 2000 року від використання хлорфторвуглеводнів (ХФВ) у всіх видах холодильного устаткування. Необхідність заміни цих речовин, які знайшли широке застосування як теплоносії, розчинники, робочі тіла холодильних установок, з'явилась причиною пошуку нових альтернативних з'єднань, близьких до ХФВ за своїми фізико-хімічними властивостями.

Проведення оцінки ефективності використання нових робочих тіл в існуючому і розробленому холодильному устаткуванні, а також освоєння нових технологій з використанням озонобезпечних холодоагентів можливо на основі інформації про термодинамічні властивості цих речовин, найбільш надійним засобом одержання якої залишається експеримент.

До цього часу накопичено достатньо великий матеріал з теплофізичних властивостей чистих альтернативних холодоагентів. Деякі з них вже знайшли практичне застосування в ряді холодильних установок, автомобільних кондиціонерів і т.д. Однак при цьому, в більшості випадків, має місце зниження енергетичної ефективності устаткування, яке використовує чисті озонобезпечні холодоагенти, як робочі тіла. Це дає додатковий внесок в збільшення загального еквівалента теплового діяння (TEWI), який зумовлює глобальне потепління клімату планети.

В зв'язку з цим, є плідним розширення групи альтернативних робочих тіл шляхом створення азеотропних композицій, дані з теплофізичних властивостей яких, як правило, відсутні. Тому задача пошуку нових замінників ХФВ, які являють собою суміші озонобезпечних холодоагентів, і проведення досліджень їх термічних властивостей стає сьогодні актуальною.

Дисертаційна робота виконана в відповідності з Програмою фундаментальних та пошукових досліджень Держкомітету з науки та техніки України від 07.08.92 р. № Держ. реєстрації 0193U017915.

Метод роботи являється комплексне експериментально-розрахункове дослідження фазових рівноваг, термічних властивостей та критичних параметрів бінарних сумішей FC218-HFC134a, HFC152a-HFC134a з

наступною розробкою таблиць термодинамічних властивостей цих холодоагентів, проведення теоретичної оцінки їх енергетичної ефективності.

Наукова новизна.

1. Одержані експериментальні дані про термічні властивості:

- на лінії рівноваги рідина-пар сумішей FC218-NFC134a, NFC152a-NFC134a в інтервалах температур 270,53...331,78 К, 270,53...353,12 К відповідно;

- в однофазних областях суміші FC218-NFC134a азеотропного складу в інтервалі температур 270,53...331,78 К і тисків до 5,6 МПа;

- в однофазних областях суміші NFC152a-NFC134a складів $X=0,353$ та $X=0,594$ в інтервалі температур 270,53...353,95 К і тисків до 5,6 МПа;

- в області розмитих фазових переходів поблизу лінії конденсації суміші FC218-NFC134a;

- в околі критичної точки досліджуваних сумішей.

2. Визначено значення азеотропного складу суміші FC218-NFC134a та встановлена незмінність концентрації азеотропу у вивченому інтервалі параметрів стану.

3. Підтверджено, що суміш NFC152a-NFC134a квазіазеотропна на всьому інтервалі концентрацій в діапазоні температур $230 \leq T \leq 360$ К.

4. Розроблена методика прогнозування тиску насиченого пару неасоційованих речовин, що не потребує залучення емпіричної інформації.

5. Розроблені таблиці термодинамічних властивостей сумішей FC218-NFC134a, NFC152a-NFC134a в стані фазової рівноваги.

6. Розроблені таблиці термодинамічних властивостей суміші FC218-NFC134a азеотропного складу та суміші NFC152a-NFC134a складу $X=0,8$ в інтервалі параметрів: $220 \leq T \leq 450$ К; $0,05 \leq p \leq 4,0$ МПа.

7. Проведена оцінка термодинамічної ефективності сумішей FC218-NFC134a, NFC152a-NFC134a як заміновачів холодоагента CFC12.

На захист вносяться:

1. Результати експериментального дослідження фазових рівноваг, термічних властивостей, критичних параметрів сумішей FC218-NFC134a, NFC152a-NFC134a.

2. Таблиці довідкових даних про термодинамічні властивості вивчених сумішей в стані фазової рівноваги.

3. Таблиці довідкових даних про термодинамічні властивості суміші FC218-HFC134a азеотропного складу та суміші HFC152a-HFC134a складу X=0,8.

4. Результати експериментального дослідження термічних властивостей суміші FC218-HFC134a в області розмитих фазових переходів поблизу лінії конденсації.

5. Методика прогнозування густини насиченого пару неасоційованих речовин.

Практична цінність роботи. Приведена в дисертації інформація за фазовими рівновагами та термодинамічними властивостями сумішей може бути використана при проектуванні холодильного устаткування на екологічно чистих та енергетично ефективних нових робочих тілах. Значний практичний інтерес викликають вивчені в роботі методичні аспекти експериментального дослідження фазових рівноваг в широкому інтервалі параметрів стану та запропонована методика прогнозування густини насиченого пару. Документи, що підтверджують використання добутих результатів, приведені в додатку дисертації.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались на: Всесоюзній науково-технічній конференції "Холод - народному господарству", м. Ленінград, 1991 р.; Республіканській науково-технічній конференції з теплофізичних властивостей речовин, м. Баку, 1992 р.; IX Теплофізичній конференції СНД, м. Махачкала, 1992 р.; Міжнародній нараді-семінарі молодих вчених "Теплофізичні проблеми промислового виробництва", м. Тамбов, 1992; XIII Європейській конференції з теплофізичних властивостей, м. Ліссабон, Португалія, 1993 р.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 7 друкованих робіт.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 2-х додатків. Основний текст складає 106 сторінок машинописного тексту, 01 рисунок, 12 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульована мета дослідження, викладені наукова новизна та практичне значення роботи.

В першому розділі викладені проблеми, пов'язані з заміною озоноруйнівних хлорфторвуглеводнів альтернативними речовинами та

намічені перспективи їх вирішення. Приведені результати аналізу стану озонового шару за останнє десятиріччя та наслідки його руйнування на земні екосистеми. Розглянута ефективність прийнятих Комісією ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) заходів по регулюванню виробництва та споживання ХФВ на основі аналізу змін загальної кількості хлору в стратосфері. Відзначені високі темпи переходу на використання альтернативних робочих тіл в різних видах холодильного устаткування. При цьому більша частина серед заміників ХФВ належить гідрохлорфторвуглеводням - речовинам з низьким коефіцієнтом руйнування озонового шару (до 0,05), дозволеним до обмеженого та короткочасного (до 2030 р.) застосування.

Підкреслено, що складність проблеми пов'язана з відсутністю на сьогоднішній день універсального заміника найбільш поширеного холодоагента CFC12. Відзначається, що експлуатаційні характеристики чистих озонобезпечних холодоагентів (в т.ч. HFC134a), використаних як заміники ХФВ, в цілому ряді випадків не відповідають вимозі максимальної ефективності холодильного устаткування. Особливу гостроту, в зв'язку з цим, набуває проблема впливу збільшення TEWI, при зникненні енергетичної ефективності машин, які використовують альтернативні холодоагенти, на глобальне потепління Землі.

Робиться висновок про необхідність пошуку азестропних композицій озонобезпечних холодоагентів з метою розширення групи альтернативних заміників ХФВ. З урахуванням поставлених в роботі цілей обґрунтовується вибір об'єктів дослідження.

В другому розділі проведено обґрунтування вибору методу експериментального дослідження фазових рівноваг та термічних властивостей сумішей. Приведено опис експериментальної установки, реалізуючої метод п'езометру змінного об'єму, принципова схема якої зображена на рис. 1. Викладена методика проведення досліджень і наведені результати вимірювання фазових рівноваг, термічних властивостей та критичних параметрів сумішей FC218-HFC134a, HFC152a-HFC134a. Проведена оцінка похибки вимірюваних вел. тн.

Як вимірювальна ячейка використовувався п'езометр 9, виготовлений з молібденяного скла, виконаний у вигляді товстостінної ампули довжиною 300 мм, яка складається з вузької верхньої ($d_{\text{вн}} = 3,4$ мм) та широкій нижньої ($d_{\text{шн}} = 9,6$ мм) частин. З метою скорочення часу устаткування стану термодинамічної рівноваги досліджуваною речовиною

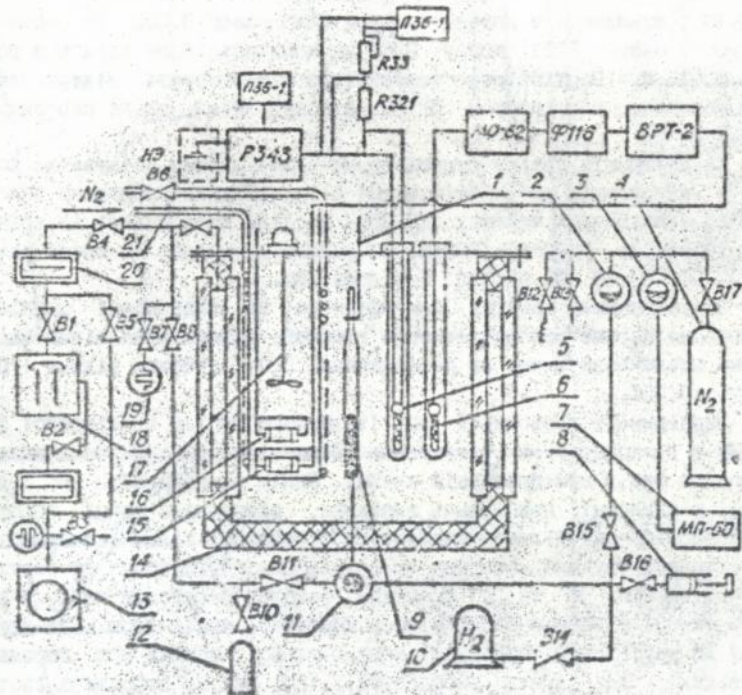


Рис. 1 Схема експериментальної установки

вимірвальна ячейка обладнана магнітною мішалкою 1.

Як середовище, що передає тиск, застосовується ртуть, рівень якої в п'езометрі вимірювався ниточним ІМ-В з похибкою 0,003 мм. При розрахунку об'єму речовини, зміщеної в вимірвальну ячейку, вводились поправки на термічну та беріжну деформації. Похибка визначення найменшого об'єму суміші в п'езометрі складала 0,04 %.

Абсолютний тиск в вимірвальній ячейці визначався як сума показань грузопоршневого манометра 7 МП-50 (або МП-С) класу 0,05, барометричного тиску, доправки на висоту гідростатичних стовпів ртуті та масла в розділниках 2, 3, а також капілярну депресію.

Температура вимірювалась платиновим термометром опору 5 типу

ПТС-10 в комплекті з потенціометром Р348 класу 0,002 та зразковою котушкою опору Р321 класу 0,01 за компенсаційною схемою з похибкою 0,015 К. Постійність температури в термостаті підтримувалась автоматичним регулятором ВРТ-2 з коливаннями, що не перевищували 0,005 К.

Концентрація зразку суміші визначалась шляхом зважування кожного з компонентів до їх змішування в спеціальних заправних балончиках на аналітичних терезах АЛВ-200. Досліди проводились із зразками холодоагентів НРС134а, РС218, НРС152а з кількістю основної речовини 99,90, 99,80, 99,90 мол. % відповідно.

З урахуванням внеску систематичної та випадкової похибок, в діапазоні параметрів дослідження сумішей, максимальна відносна похибка визначення тиску не перевищувала 0,3 %, густини рідини - 0,3 %, пару - 0,35%.

Експеримент проводився за ізотермами шляхом послідовної зміни тиску в п'єзометрі з візуальною фіксацією виникнення газової та рідинної фаз в вимірвальній ячeyці. Однак як параметри p'' і p'' на лінії конденсації приймалися значення, одержані в точці перетину екстрапольованих ділянок газової та двофазної гілок ізотерми.

Використовувана методика дозволила виключити вплив на результати вимірювання p'' та p'' розмитих фазових переходів першого роду, обумовлених фізичною адсорбцією з наступною капілярною конденсацією пару на внутрішній поверхні вимірвальної ячeyки при параметрах близьких до лінії конденсації. На рис.2 зображена ізотерма Т=321,54 К, побудована за дослідними даними в двофазній та однофазній областях поблизу лінії насичення холодоагента НРС134а. Точка 9 відповідає початку розмитого фазового переходу, тобто виникненню в вимірвальній ячeyці візуально спостережуваної рідинної фази при загальних параметрах гомофазного стану досліджуваної речовини. Відхилення значень параметрів p_{s0} і p'' на лінії конденсації, одержаних на основі візуального спостереження без урахування розмитого фазового переходу, від значень p_s та p'' складають для тиску $\delta p = [(p_{s0} - p_s) / p_s] 100 = -1,16\%$ та густини $\delta \rho = [(p'' - p'') / p''] 100 = -2,0\%$, що значно перевищує оцінку експериментальної похибки визначення цих величин.

В роботі підлягали аналізу результати експериментального дослідження розмитих фазових переходів, виконаного на чотирьох концентраціях суміші РС218-НРС134а при різних температурах. Встанов-

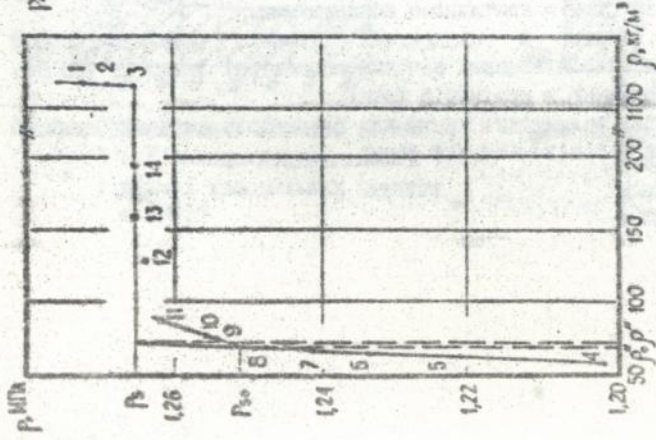


Рис.2. Изотерма $T=321,54$ К.
холодоагента $HC134a$ в
области розбитого
фазового переходу

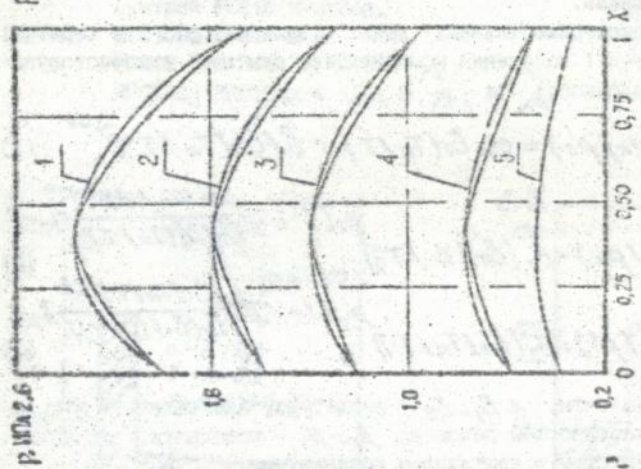


Рис.3. p-X; діаграма суміші
 $HC218-HC134a$
1-T=331,76 К; 2-320,77 К;
3-309,76 К; 4-285,73 К;
5-270,53 К

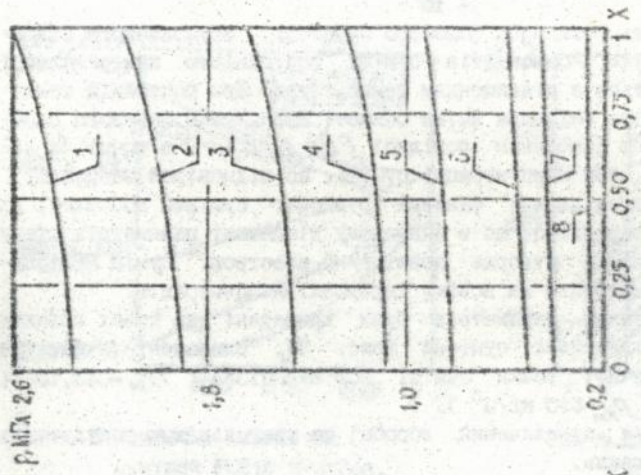


Рис.4. p-X; діаграма суміші
 $HC125a-HC134a$
1-T=353,12 К; 2-343,58 К;
3-331,76 К; 4-320,77 К;
5-309,76 К; 6-285,73 К;
7-265,73 К; 8-270,53 К

лено, що область розмитого фазового переходу, обумовленого селективною адсорбцією компонентів суміші поверхністю виміральної ячейки, зменшується з підвищенням температури. При постійній температурі характер та величина зміни області параметрів фазового переходу визначається значенням похідної $(\partial p / \partial x)_T$ в точці на лінії конденсації, при концентрації суміші, що відповідає заповненню.

Результати дослідження фазових рівноваг сумішей зображені на рис. 3, 4. Встановлено, що в вивченому діапазоні параметрів стану суміш FC218-NFC134a утворює позитивний азеотроп. Суміш NFC152a-NFC134a квазіазеотропна на всьому інтервалі концентрацій.

Виміри критичних параметрів були проведені на трьох складах кожної з досліджуваних сумішей (рис. 5). Визначені параметри подвійної критичної точки суміші FC218-NFC134a ($T_{K1} = 343,10$ K; $p_{K1} = 2,8312$ МПа; $\rho_{K1} = 610$ кг/м³).

Третій розділ присвячений обробці та узагальненню результатів виконаних вимірювань.

Для опису експериментальних даних різних авторів про термічні властивості на лінії насичення компонентів сумішей використовувались наступні залежності:

$$\ln(p_K/p_S) = \alpha_K \ln(T_K/T) + \beta (\ln(T_K/T))^{2,64} \quad (1)$$

$$\ln(p'/p_K) = \beta_1 (\ln(T_K/T))^{0,4} \beta_1 [1 - 1,115 \frac{(\ln(T_K/T))^{0,4}}{\ln(\ln(T_K/T))}] \quad (2)$$

$$\ln(p_K/p'') = \beta_2 (\ln(T_K/T))^{0,6} \beta_2 [1 + 4,86 \frac{(\ln(T_K/T))^{0,6}}{\ln(\ln(T_K/T))}] \quad (3)$$

де α_K, β - коефіцієнти, а β_1, β_2 - амплітуди, які залежать від індивідуальних властивостей речовин; β_1, β_2 - константи, що збігаються за своїм змістом з критичними показниками.

Вирази, які стоять в квадратних дужках, являють собою універсальні для неасоційованих речовин кросовітряні функції, що детернуються в одиницю в критичній точці.

Концентраційна залежність критичних параметрів вивчених сумішей описана виразами в поліноміальній формі

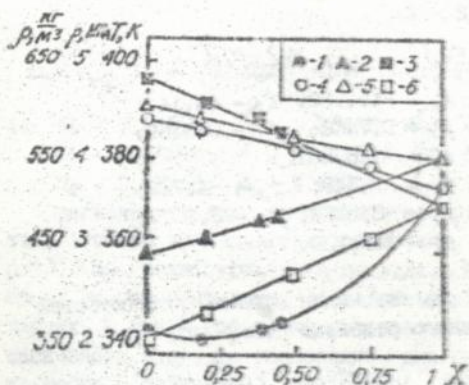


Рис. 5. Критичні параметри сумішей FC218-HFC134a, HFC152a-HFC134a
 FC218-HFC134a: 1 - T_k ; 2 - p_k ; 3 - ρ_k
 HFC152a-HFC134a: 4 - T_k ; 5 - p_k ; 6 - ρ_k

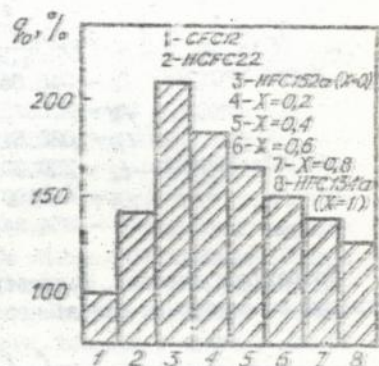


Рис. 6. Порівняння питомої масової холодопродуктивності різних холодильних агентів з CFC12

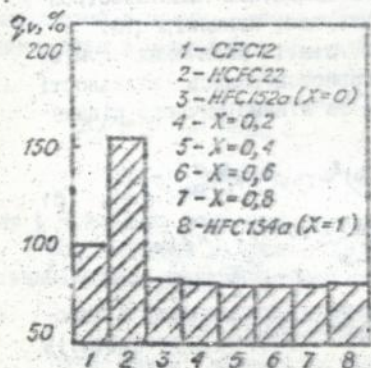


Рис. 7. Порівняння питомої об'ємної холодопродуктивності різних холодильних агентів з CFC12

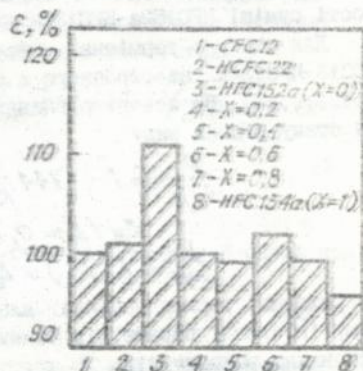


Рис. 8. Порівняння холодопідвищення коефіцієнту різних холодильних агентів з CFC12

$$T_K = \sum_{i=0}^2 t_i X^i ; \rho_K = \sum_{i=0}^2 \rho_i X^i ; \rho_K = \sum_{i=0}^1 v_i X^i \quad (4)$$

$$\text{FC218-NFC134a: } t_0 = 345,06; t_1 = -19,952; t_2 = -49,141;$$

$$\rho_0 = 2,6675; \rho_1 = 0,7463; \rho_2 = 0,6469;$$

$$v_0 = 632,51; v_1 = -116,257.$$

$$\text{NFC152a-NFC134a: } t_0 = 395,50; t_1 = -7,548; t_2 = -4,722;$$

$$\rho_0 = 4,5189; \rho_1 = -0,5279; \rho_2 = 0,0077;$$

$$v_0 = 364,24; v_1 = 145,730.$$

Розрахунок фазових рівноваг та термодинамічних властивостей сумішей проведено на основі кубічного рівняння стану виду

$$p = RT \left(\frac{1}{v-b} - \frac{a}{v(v+c)} \right), \quad (5)$$

де a, b, c - коефіцієнти, що визначаються з умов парорідинної рівноваги компонентів сумішей для кожної температури на лінії насичення.

В результаті виконаних розрахунків визначено склад азеотропа суміші FC218-NFC134a (0,405 моль/моль) і зроблено висновок про його незмінність у вивченій області параметрів стану. Експериментальні - розрахункові дослідження підтвердило наявність квазіазеотропності суміші NFC152a-NFC134a на всьому інтервалі концентрацій.

Для опису термічних параметрів на лінії насичення суміші FC218-NFC134a азеотропного складу використовувались залежності (1),..., (3). На основі рівняння стану (5) та півемпіричного рівняння стану рідини виду

$$\frac{p}{RT\rho} = 1 - 1,744 \frac{\epsilon_K}{RT} [(b_{ок} \rho)^2 - 0,4654 (b_{ок} \rho)^4], \quad (6)$$

$$\epsilon_K / k = 0,795 T_K \exp[c(1 - T/T_K)],$$

$$b_{ок} = (2/3) \pi N b_K^3; b_K^3 = a - bT.$$

розраховані термодинамічні властивості азеотропного складу в широкому інтервалі параметрів стану. Проведено порівняння результатів виконаних розрахунків.

Для обробки експериментальних даних з тиску насичених парів і густини на лінії кипіння суміші NFC152a-NFC134a використовувались двохконстантні кореляції (1), (2). Содержані значення $\alpha_K, b, \beta_1, \beta_2$ апроксимувались поліномами виду

$$\alpha_k = \sum_{i=0}^2 \alpha_i X^i; \quad b = \sum_{i=0}^2 b_i X^i; \quad \beta_1 = \sum_{i=0}^2 \beta_i X^i; \quad \beta_2 = \sum_{i=0}^2 m_i X^i, \quad (7)$$

де $\alpha_0 = 7,21593$; $b_0 = 5,35492$; $\beta_0 = 0,32457$; $m_0 = 1,72960$;

$\alpha_1 = -0,29890$; $b_1 = 2,54159$; $\beta_1 = 0,03181$; $m_1 = 0,02957$;

$\alpha_2 = 0,49956$; $b_2 = -1,62051$; $\beta_2 = -0,02701$; $m_2 = -0,03813$.

Одержання точних експериментальних даних про густину насиченого пару істотно ускладнюється розмитими фазовими переходами першого роду, що реалізуються в досліді. При цьому багаторазово зростає обсяг експериментальних досліджень в газовій та двофазній областях. В даній роботі запропонована методика прогнозування густини насиченого пару, що справедлива для неасоційованих речовин і яка не потребує залучення емпіричної інформації. Зазначена методика застосована для розрахунків значень ρ'' квазіізоетропної суміші HFC152a-HFC134a.

У відповідності до теорії критичних індексів значення показників β_i для густини насиченої рідини, пару та різниці ортобаричних густин однакові ($\beta_1 = \beta_2 = \beta$). Узагальнення амплітуд b_i і критичних показників β_i для неасоційованих речовин, проведених Железним В.П. в рамках використання основних принципів скейлінга в термодинамічно узгодженому методі прогнозування теплофізичних властивостей речовин, дозволило одержати вираз, що зв'язує критичні параметри з амплітудою b_0 для різниці ортобаричних густин

$$\Delta\rho = \rho' - \rho'' = b_0 t^{-\beta} \left[1 - 1,227617 \left(\frac{t^2}{T_c^2} \right) + 1,528263 \left(\frac{t^3}{T_c^3} \right) \right] \quad (8)$$

$$b_0 / \rho_c = 0,974 Z_c^{-1}, \quad (9)$$

де t - зведена температура, $t = 1 - T/T_c$.

Розкладанням рівнянь (2), (3), (8) до степеневого ряду в околі критичної точки одержимо співвідношення виду

$$b_0 / \rho_c = b_1 + b_2 \quad (10)$$

Таким чином, розрахунок значень амплітуди b_2 можливо здійснити, якщо обчислити значення коефіцієнтів β_1 і β_2 з експериментальних даних про густину киплячої рідини за допомогою виразу (2) і визначити b_0 з узагальною кореляцією (9).

Відхилення дослідних значень густини пару на лінії конденсації

суміші RFC152a-RFC134a від розрахованих за рівняннями (3) з використанням одержаних на основі запропонованої методики значень коефіцієнтів β_1 і β_2 (без залучення експериментальної інформації), складає не більше 2,5 %.

Мехі застосування методики прогнозування визначаються структурою рівняння (3), яка забезпечує опис густини ρ'' в широкому околі критичної точки, але не задовольняє умові плавного переходу до ідеально-газового стану речовини при $T/T_k < 0,65$ і $\rho < 20 \dots 30$ кг/м³. В роботі запропонована методика, що дозволяє прогнозувати густину насиченого пару з використанням залежності (3) та двокоординатної кореляції виду

$$\bar{z}'' = 1 + (z_k - 1) \bar{\pi} \exp[a_1 + a_2 \bar{c}_p (1 - \bar{\pi} \tau)] \quad (11)$$

де $\bar{\pi} = \pi / \tau$; $\bar{c}_p = c_p / c_{p,k}$; $\tau = T / T_k$

на всьому інтервалі температур існування двофазного стану речовини.

В четвертому розділі дисертації проведено порівняння основних характеристик теоретичних циклів з регенеративним і без регенеративного теплообміну при роботі парокомпресійної холодильної установки на традиційних робочих тілах CFC12, HCFC22 і на досліджуваних сумішах FC218-RFC134a, RFC152a-RFC134a, при температурах конденсації $T_k=315$ К та кипіння $T_0=233,15 \dots 253,15$ К. Результати порівняння розрахункових значень питомої масової q_0 та об'ємної q_v холодопродуктивностей, холодильного коефіцієнта ϵ з показниками для CFC12 при параметрах $T_k=315$ К і $T_0=243,15$ К показані на рис. 6, 7, 8.

В дисертації зроблено висновок про те, що суміш RFC152a-RFC134a (X=0,8) за розрахунковими характеристиками q_0 , q_v і ϵ найбільш близька до CFC12 та перевищує RFC134a. Крім того, вона відповідає вимозі пожежної безпеки і розчинена в мастилах, що серійно випускаються. Це дозволяє дивитись на неї, як на безумовно перспективний холодоагент при створенні нового холодильного устаткування, а також при заміні CFC12 у вже діючих установках.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведені експериментально-розрахункові дослідження фазових рівноваг, термічних властивостей, критичних параметрів сумішей озо-

небезпечних холодильних агентів FC218-HFC134a, HFC152a-HFC134a. Розроблені таблиці термодинамічних властивостей сумішей в стані фазової рівноваги.

2. Проведені експериментально-розрахункові дослідження термічних властивостей суміші FC218-HFC134a азеотропного складу та суміші HFC152a-HFC134a на двох концентраціях в однофазних областях. Розроблені таблиці термодинамічних властивостей азеотропного складу.

3. Вивчено характер та величина зміни параметрів фазового переходу поблизу лінії конденсації суміші FC218-HFC134a в залежності від концентрації та температури.

4. Запропонована методика прогнозування густини насиченого пару в широкому діапазоні температур на основі обмеженої інформації про термічні властивості на лінії кипіння.

5. Проведена оцінка термодинамічної ефективності сумішей FC218-HFC134a, HFC152a-HFC134a. Показані переваги суміші HFC152a-HFC134a складу X= 0,8 в порівнянні з холодоагентами CFC12, HFC134a. Розроблені таблиці термодинамічних властивостей суміші HFC152a-HFC134a цього складу.

Основні положення та результати праці відображені в наступних публікаціях:

1. Железный В.П., Владимиров Д.А., Поломарева О.П., Поталов М.Д., Семенов Ю.В., Черняк Ю.А. Комплексное экспериментально-расчетное исследование теплофизических свойств экологически чистых хладагентов R116, R122, R134a, R152a, R318, R329 //Холод - народному хозяйству: Тез. докл. Всесюзн. науч.-техн. конф.-Л., 1991.-С.5.

2. Железный В.П., Семенов Ю.В., Черняк Ю.А. Исследование фазовых равновесий и термических свойств бинарных смесей хладагентов R134a-R218, R134a-R152a //Теплофизическая конференция СНГ: Тез. докл.-Малачкада, 1992.-С.106.

3. Черняк Ю.А. Исследование фазового равновесия и термических свойств бинарной смеси хладагентов R134a-R218 //Теплофизические проблемы промышленного производства: Тез. докл. Международного совещания-семинара молодых ученых (Международная теплофизическая школа). - Тамбов, 1992.-С.44.

4. Железный В.П., Черняк Ю.А. Размытые фазовые переходы первого рода при исследовании тинии насыщения методом пьезометра переменного объема //Республ. науч.-техн. конф. по теплофизическим свойствам

веществ: Тез. докл. - Баку, 1993.-0

5. Zhelezny V.P., Mezenyuk Yu.V., Chernyak Yu.A. Investigation of thermodynamic properties and phase equilibria of refrigerants by binary mixtures R134a-R218 and R134a-R152a//13-th European Conference on Thermophysical Properties.-Lisboa, Portugal, 1993.-p.351-352.

6. Dobrokhotov A.V., Reutov B.F., Zhelezny V.P., Maslennikov A.V., Chernyak Yu.A. Application of ozone friendly mixtures in refrigeration cycles (HFC23/11C, 134a/152a) // 13-th European Conference on Thermophysical Properties.-Lisboa, Portugal, 1993.-p.337.

7. Железный В.П., Анисимов В.Н., Черняк Ю.А. Исследование фазовых равновесий и термических свойств бинарных смесей альтернативных хладагентов R218-R134a, R152a-R134a: Теплообменные процессы в системах холодильной техники и свойства рабочих тел/Между. сб. научн. трудов С.-П.Технолог. ин-та холод. промышл.-1993.-С.20-23.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

T - температура; p - тиск; ρ - густина; v - питомий об'єм; X - склад другого компоненту суміші, моль/моль; R - універсальна газова постійна; Z - фактор стискування; N - число Авогадро.

ІНДЕКСИ

' - належність до киплячої рідини; '' - належність до насиченого пару; S - належність до лінії насичення; K - належність до критичної точки.