

Автореферат
4-49

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

На правах рукопису

ЧЕРНИЙ Крїя Євген Андрович

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕЙ ОСНОВЕЗВ'ЯЗНИХ
КОЛОДЦЬКИХ АГЕНТІВ FCS10-NFC134a, NFC132a-NFC134a

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 Делезний В.П.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Недоступ В.І.
кандидат технічних наук,
доцент Лепардін М.І.

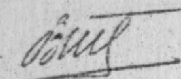
Ведуча організація - Термодинамічний Центр
Державного Комітету України
по нафті та газу, м. Київ

Захист дисертації відбудеться " 9 " лютого 1994 року
о 14³⁰ години 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

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 хлорфторуглеводнів (ХФВ) у всіх видах холодильного устаткування. Неообхідність 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 способом 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 теплого діїння (ТЄМД), який зумовлює глобальне потепління клімату планети.

В зв'язку з цим, є шкідливим 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 з відповідності з Програмою фундаментальних та прикладних досліджень Держкомітету з науки та техніки України від 07.08.92 р. № Держ. реєстрації 01930017915.

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

ОНАХТ 08.06.12
Термодинамічні власт



v017083

№ 0.17083
Одеський технологічний
інститут харчової промис-
ловості ім. М. В. Ломоносова

12

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-HFC134a, HFC152a-HFC134a в інтервалах температур 270,53...331,78 К, 270,53...353,12 К відповідно;

- в однофазних областях суміші FC218-HFC134a азеотропного складу в інтервалі температур 270,53...331,78 К і тисків до 5,6 МПа;

- в однофазних областях суміші HFC152a-HFC134a 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-HFC134a;

- в околі критичної точки досліджуваних сумішей.

2. Визначено значення азеотропного складу суміші FC218-HFC134a та встановлена незмінність концентрації азеотропу у вивченому інтервалі параметрів стану.

3. Підтверджено, що суміш HFC152a-HFC134a квазіазеотропна на всьому інтервалі концентрацій в діапазоні температур 230 ≤ T ≤ 350 К.

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

5. Розроблені таблиці термодинамічних властивостей сумішей FC218-HFC134a, HFC152a-HFC134a в стані фазової рівноваги.

6. Розроблені таблиці термодинамічних властивостей суміші FC218-HFC134a азеотропного складу та суміші HFC152a-HFC134a складу X=0,8 в інтервалі параметрів: 220 ≤ T ≤ 450 К; 0,05 ≤ p ≤ 4,0 МПа.

7. Проведена оцінка термодинамічної ефективності сумішей FC218-HFC134a, HFC152a-HFC134a як замінювачів холодоагента CFC12.

На захист виносяться:

1. Результати експериментального дослідження фазових рівноваг, термічних властивостей, критичних параметрів сумішей FC218-HFC134a, HFC152a-HFC134a.

2. Таблиці довідкових даних про термодинамічні властивості вивчених сумішей з 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 даних результатів, приведені в додатку дисертації.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались на: Всеосвітній 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, 51 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 хлорфторуглеводнів альтернативними речовинами та

намічені перспективи їх вирішення. Приведені результати аналізу стану озонного шару за останнє десятиріччя та наслідки його руйнування на земні екосистеми. Розглянута ефективність прийнятих Комісією ООН з навколишнього середовища (КНЕСП) 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 озонного 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 раді випадків не відповідають вимозі максимальної ефективності холодильного устаткування. Особливу гостроту, в зв'язку з цим, набуває проблема впливу збільшення ТЕМІ, при зниженні енергетичної ефективності машин, які використовують альтернативні холодоагенти, на глобальне потепління Землі.

Робиться висновок про необхідність пошуку азеотропних 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 пієометру змінного об'єму, приліпова схема якої зображена на рис. 1. Висладена методика проведення досліджень і наведені результати вимірювання фазових рівноваг, термічних властивостей та критичних параметрів сумішей FC218-HFC134a, HFC152a-HFC134a. Проведена оцінка похибки вимірюваних вел. тил.

Як вимірвальна ячейка використовувалась пієометр В, виготовлений з молібденового скла, встановлений у вигляді товстостінної ампули довжиною 300 мм, яка складається з вузької верхньої ($d_{\text{в}} = 3,4 \text{ мм}$) та широкі нижньої ($d_{\text{н}} = 9,6 \text{ мм}$) частин. З метою скорочення часу усталеження стану термодинамічної рівноваги досліджуваного речовини,

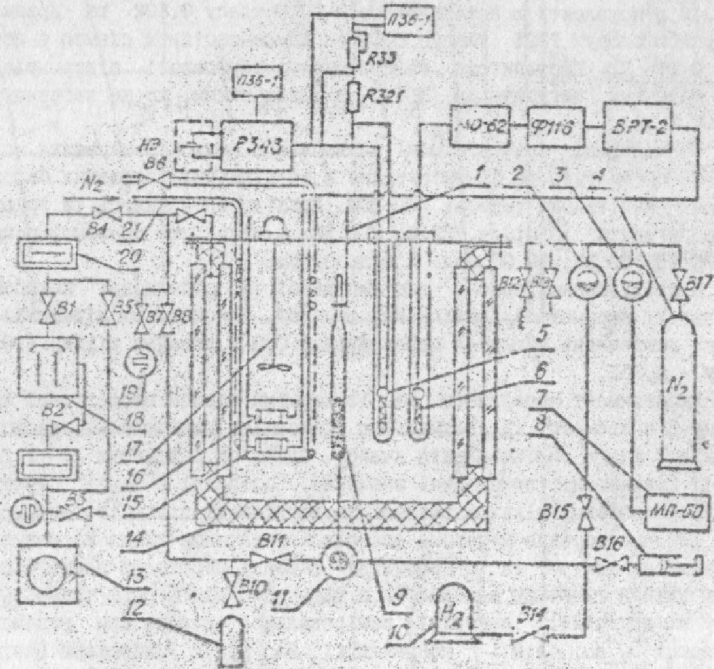


Рис. 1 Схема експериментальної установки

вимірвальна ячейка обладана магнітною мішалкою 1. Як середовище, що передає тиск, застосовується ртуть, рівень якої в пієометрі вимірювався катетометром ІМ-В з похибкою 0,003 мм. При розрахунку об'єму речовини, зміщеної в вимірвальну ячейку, уводились поправки на термічну та баричку деформації. Похибка визначення найменшого об'єму суміші в пієометрі складала 0,04%. Абсолютний тиск в вимірвальній ячейці визначався як сума показань трузспортивного манометра 7 МП-60 (або МП-6) класу 0,05, барометричного тиску, поправки 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 АДВ-200. Досліди проводились із зразками холодоагентів НРС134а, FC218, НРС152а в кількості 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 ячійці. Однак як параметри ρ'' і ρ' на лінії конденсації приймалися значення, одержані в точці перетину екстрапольованих ділянок газової та двофазної гілок ізотерми.

Використовувана методика дозволила виключити вплив на результати вимірювання ρ'' та ρ' розмитих фазових переходів першого роду, обумовлених фізичною адсорбцією з наступною капілярною конденсацією пару на внутрішній поверхні вимірвальної ячійки 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 холодоагенту НРС134а. Точка 9 відповідає початку розмитого фазового переходу, тобто виникненню в вимірвальній ячійці візуально спостережуваної рідкої фази при загальних параметрах гомофазного стану досліджуваної речовини. Відхилення значень параметрів ρ_{s0} і ρ'_0 на лінії конденсації, одержаних на основі візуального спостереження без урахування розмитого фазового переходу, від значень ρ_s та ρ'' складають для тиску $\delta\rho = [(\rho_{s0} - \rho_s) / \rho_s] 100 = -1,16\%$ та густини $\delta\rho' = [(\rho'_0 - \rho'') / \rho''] 100 = -2,0\%$, що значно перевищує оцінку експериментальної похибки визначення цих величин.

В роботі підлягли аналізу результати експериментального дослідження розмитих фазових переходів, виконаного на чотирьох концентраціях суміші FC218-НРС134а при різних температурах. Встанов-

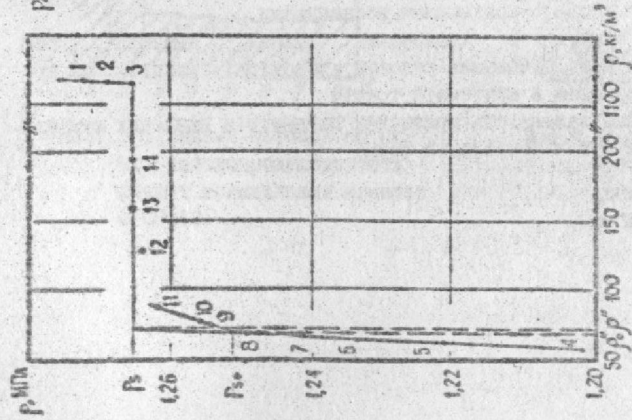


Рис.2. Ізотерма Т=321,54 К холодоагенту НРС134а в області розмитого фазового переходу

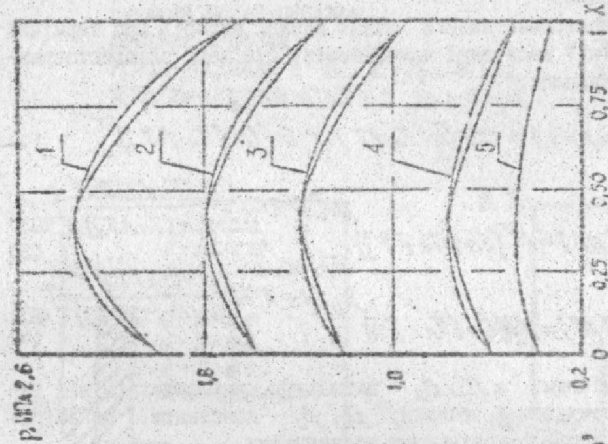


Рис.3. P-X діаграма суміші FC218-НРС134а
1-Т=331,76 К; 2-320,77 К;
3-309,76 К; 4-265,73 К;
5-270,53 К

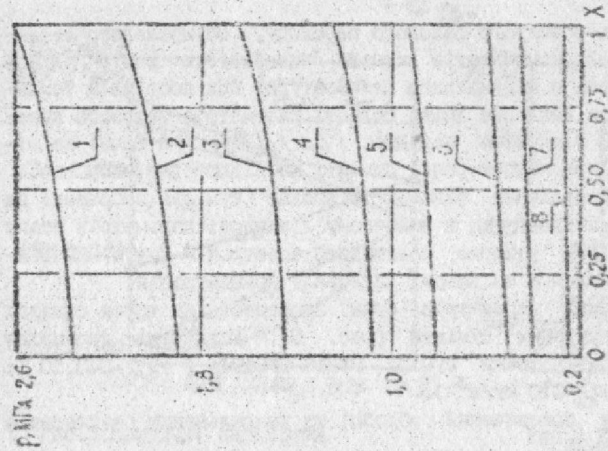


Рис.4. P-X діаграма суміші НРС152а-НРС134а
1-Т=353,72 К; 2-319,59 К;
3-303,76 К; 4-320,77 К;
5-309,76 К; 6-293,17 К;
7-265,73 К; 8-270,53 К

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 заправці.

Результати дослідження фазових рівноваг сумішей зображені на рис. 3, 4. Встановлено, що в вивченому діапазоні параметрів стали суміш FC218-HFC134a утворює позитивний азеотроп. Суміш HFC152a-HFC134a 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-HFC134a ($T_{Km} = 343,10$ К; $p_{Km} = 2,8312$ МПа; $\rho_{Km} = 510$ кг/м³).

Третій розділ присвячений обробці та узагальненню результатів виконаних вимірювань.

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

$$\ln(p_k/p_s) = \alpha_k \ln(T_k/T) + \beta(\ln(T_k/T))^{2,64} \quad (1)$$

$$\ln(p'/p_k) = \beta_1 \left[\frac{\ln(T_k/T)^{0,4}}{\ln(\ln(T_k/T))} \right] \quad (2)$$

$$\ln(p_k/p'') = \beta_2 \left[\frac{\ln(T_k/T)^{0,6}}{\ln(\ln(T_k/T))} \right] \quad (3)$$

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 кросовірні функції, що перетворюються в одиницю в критичній точці.

Концентраційна залежність критичних параметрів вивчених сумішей описана виразами в поліноміальній формі.

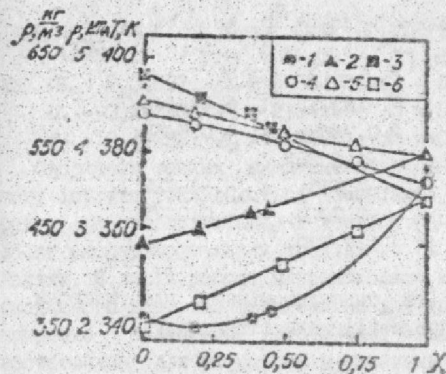


Рис. 5. Критичні параметри сумішей FC218-HFC134a, HFC152a-HFC134a
FC218-HFC134a: 1 - T_c ; 2 - p_c ; 3 - f_c
HFC152a-HFC134a: 4 - T_c ; 5 - f_c ; 6 - p_c

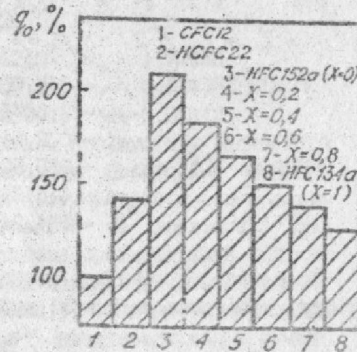


Рис. 6. Порівняння питомої масової холодопродуктивності різних холодильних агентів з CFC12

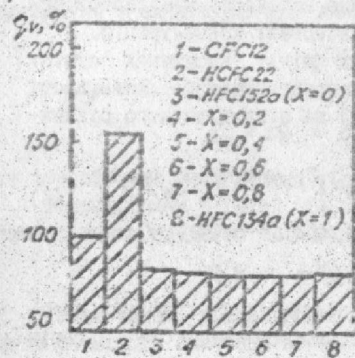


Рис. 7. Порівняння питомої об'ємної холодопродуктивності різних холодильних агентів з CFC12

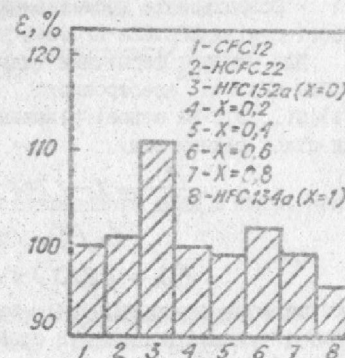


Рис. 8. Порівняння холодильного коефіцієнту різних холодильних агентів з CFC12

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

$$\text{FC218-NFC134a: } t_0 = 345,06; \quad t_1 = -19,952; \quad t_2 = 40,141;$$

$$p_0 = 2,6675; \quad p_1 = 0,7463; \quad p_2 = 0,6469;$$

$$t_0 = 632,51; \quad t_1 = -116,257.$$

$$\text{NFC152a-NFC134a: } t_0 = 366,50; \quad t_1 = -7,540; \quad t_2 = -4,722;$$

$$p_0 = 4,5189; \quad p_1 = -0,5279; \quad p_2 = 0,0077;$$

$$t_0 = 364,24; \quad t_1 = 145,730.$$

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 паровидинної 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. Експериментально - розрахункове 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

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

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

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

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 двоюконстантні кореляції (1),(2). Одержані значення $\alpha_K, b, \beta_1, \beta_2$ апроксимувались поліномами виду

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

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

$$\alpha_1 = -0,29860; \quad b_1 = 2,54159; \quad \beta_1 = 0,03181; \quad m_1 = 0,02957;$$

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

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. Визначена методика застосована для розрахунків значень ρ'' квазіазеотропної суміші NFC152a-NFC134a.

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

$$\Delta\rho = \rho' - \rho'' = b_0 t^{\beta} [1 - 1,227617 \left(\frac{t}{t_c}\right)^2 + 1,526263 \left(\frac{t}{t_c}\right)^4] \quad (8)$$

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

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

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

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

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

Відхилення дослідних значень густини пару на лінії конденсації

суміші HFC152a-HFC134a від розрахованих за рівнянням (3) з використанням одержаних на основі запропонованої методики значень коефіцієнтів β_1 і β_2 (без залучення експериментальної інформації), складає не більше 2,5 %.

Межі 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 $\rho < 20...30$ кг/м³. В роботі запропонована методика, що дозволяє прогнозувати густину насиченого пару з використанням залежності (3) та двохконстантної кореляції виду

$$\bar{z}'' = 1 + (\bar{z}_k - 1) \gamma_r \exp[\alpha_1 + \alpha_2 \bar{z}_k (1 - \gamma_r)] \quad (11)$$

де $\gamma_r = \gamma / \tau$; $\gamma = \rho_s / \rho_k$; $\tau = T / T_k$

на всьому інтервалі температур існування двофазового стану речовини.

В четвертому розділі дисертації проведено порівняння основних характеристик теоретичних циклів з регенеративним і без регенеративного теплообміну при роботі парокompресійної холодильної установи на традиційних робочих тілах CFC12, HCFC22 і на досліджуваних сумішах FC218-HFC134a, HFC152a-HFC134a, при температурах конденсації $T_k=315$ К та кипіння $T_0=233,15...253,15$ 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 HFC152a-HFC134a (Х-0,8) за розрахунковими характеристиками q_0 , q_v і ϵ найбільш близька до CFC12 та перевищує HFC134a. Крім того, вона відповідає вимозі пожежної безпеки і розчинена в мастилах, що серйозно 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 озон

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 Х= 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., Пономарева О.П., Потапов 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. Всесоюз. 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. - Махачкала, 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 линии насыщения методом пьезометра переменного объема // Республ. науч.-техн. конф. по теплофизическим свойствам

К. 0. 17083
Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова
Б И Б Л И О Т Е К А

ведств: Тез. докл. - Баку, 1992.-С.16.

5. Zhelezny V.P., Semenyuk Yu.V., Chernyak Yu.A. Investigations of thermodynamic properties and phase equilibria of refrigerants binary mixtures R134a-R218 and R134a-R152a//13-th European Conference on Thermophysical Properties.-Lisboa, Portugal, 1993.-p.361-362.

6. Dobrokhotov A.V., Reutov B.F., Zhelezny V.P., Maslennicov A.V., Chernyak Yu.A. Application of ozone friendly mixtures in refrigeration cycles (HFC23/116, 134a/152a) // 13-th European Conference on Thermophysical Properties.-Lisboa, Portugal, 1993.-p.237.

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. промыш.-1993.-С.20-29.

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.