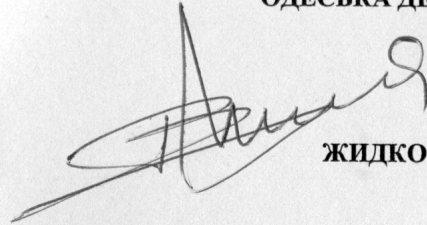


Автореферат  
ЖСВ9

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ



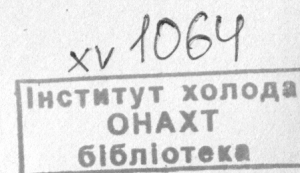
ЖИДКОВ ВІТАЛІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 621.564: 641.546.44

**ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ  
ПОБУТОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ  
НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ  
(ЕКСПЕРИМЕНТ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ)**

Спеціальність **05.14.05** – Теоретична теплотехніка

Автореферат дисертації на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук



Одеса - 1997

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Донецькому акціонерному товаристві "НОРД"

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент Железний Віталій Петрович, Одеська державна академія холоду, доцент

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор Наєр Вячеслав Андрійович, Одеська державна академія холоду, завідувач кафедри кріогенних машин;  
кандидат технічних наук, доцент Лапардін Микола Інокентійович, Одеська державна академія харчових технологій, доцент кафедри теплохолодотехніки.

Провідна установа – Донецький державний комерційний інститут,  
Міністерство освіти України, м. Донецьк

Захист відбудеться 27 жовтня 1997 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.05.20.01 в Одеській Державній Академії холоду за адресою: 270026, м.Одеса–26, вул. Дворянська, 1/3.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ОДАХ за адресою:  
270026, м. Одеса–26, вул. Дворянська, 1/3.

Автореферат розісланий 24 вересня 1997 року.

Кат.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

В.О.Календер'ян

183-74. Перерег.

Державна академія харчових технологій

Актуальність роботи. Серед заходів, що приймаються світовим співтовариством і спрямованих на регулювання виробництва та споживання озоноруйнівних речовин, головним є вимога повного відмовлення від використання хлорофторвуглеців (ХФВ) у багатьох типах холодильного устаткування. Монреальський Протокол та інші документи, прийняті в рамках UNEP (United Nations Environment Programme), регламентують поетапне скорочення виробництва та використання низки важливих для холодильної техніки речовин. Таким чином, крім технологічного вдосконалення самого устаткування, на перший план вийшла проблема упровадження нових екологічно безпечних робочих тіл.

На нараді UNEP у Копенгагені (Данія, 1992 р.) проблема переведення холодильного устаткування на альтернативні холодоагенти набула принципово нових відтінків. Підкреслювалось, що альтернативні (з точки зору впливу на озоновий шар Землі) холодоагенти повинні мати незначний вплив на парниковий ефект, а саме устаткування повинно мати максимальну енергетичну ефективність. У цих умовах стає очевидним, що вирішення завдань проектування й створення нового покоління холодильного устаткування повинно базуватися:

- по-перше, на достовірній інформації про властивості реальних робочих тіл, якими є розчинні холодоагенти з холодильними компресорними мастилами;
- по-друге, проведення натурних досліджень компресорів і холодильних агрегатів повинно бути забезпечено новою нормативною базою й виконуватись на устаткуванні, адаптованому до вирішення завдань, пов'язаних з вибором нових робочих тіл.

Значною перешкодою, що утруднює скорочення номенклатури альтернативних холодоагентів, які пропонуються ринком, є відсутність загальної методики еколого-енергетичної експертизи робочих тіл, яка б охоплювала всі аспекти впровадження нового робочого тіла в промисловість, від досліджень його властивостей до переобладнання підприємств, що випускають холодильну техніку. До цього часу накопичено достатньо багато інформації про теплофізичні властивості чистих альтернативних холодоагентів. Серед них найбільш вивченим є R134a. Його теплофізичні властивості достатньо близькі R12 і тому холодоагент R134a знайшов широке застосування при виробництві побутової холодильної техніки. Однак даних про термодинамічні властивості розчинів холодоагент/мастило (РХМ) у літературі практично немає. Обмежений обсяг інформації про фазові рівноваги холодоагента R134a з різними синтетичними мастилами та практично відсутність даних про калоричні властивості реальних робочих тіл утруднюють реалізацію заходів, спрямованих на підвищення енергетичної ефективності побутових холодильних приладів. Крім того, фірми-виробники холодильного устаткування зазнають труднощі з вибором марки холодильного мастила, яке забезпечило б кращі технологічні характеристики компресора та всього холодильника в цілому.

Проведені дослідження показують, що присутність мастила в холодоагенті може змінювати енергетичну ефективність холодильного циклу на десятки відсотків. Цю

обставину необхідно враховувати при виборі як холодоагента, так і сорту холодильного мастила.

Дисертаційна робота виконана в рамках Постанови Кабінету Міністрів України №1274 від 17 жовтня 1996 р., в якій затверджено «Програму припинення в Україні виробництва та використання озоноруйнуючих речовин».

Метою цієї роботи є підвищення надійності та ефективності побутової холодильної техніки, що переводиться на альтернативні холодоагенти за рахунок вивчення впливу властивостей компресорних мастил на холодильний коефіцієнт циклу та експлуатаційні характеристики компресора, а також розробка методики еколого-енергетичної оцінки перспектив застосування нових холодильних агентів.

Відповідно до мети роботи були сформульовані й вирішені такі основні завдання:

- досліджені технологічні та термодинамічні властивості сумішей R134a/Castrol Icematic SW 22 і R134a/Mobil EAL Arctic 22;
- виконана теоретична та експериментальна оцінка енергетичної ефективності робочих тіл R134a/Castrol Icematic SW 22 і R134a/Mobil EAL Arctic 22;
- запропонована методика оцінки перспектив застосування альтернативних холодоагентів у побутовій холодильній техніці;
- розроблені рекомендації по переведенню АТ «НОРД» на випуск побутової холодильної техніки, що використовує екологічно безпечні холодоагенти.

Наукову новизну й наукові результати виконаної роботи складають:

- дані по температурі розшарування сумішей R134a з мастилами Castrol Icematic SW 22 і Mobil EAL Arctic 22;
- дані по фазовій рівновазі та температурі нормального кипіння сумішей холодоагента R134a з компресорними мастилами Castrol Icematic SW 22 і Mobil EAL Arctic 22;
- результати дослідження гігроскопічності, густини та теплосмності компресорних мастил Castrol Icematic SW 22 і Mobil EAL Arctic 22;
- розрахункові значення калоричних властивостей і діаграм Меркеля (H-x) для робочих тіл R134a/Castrol Icematic SW 22 і R134a/Mobil EAL Arctic 22;
- результати аналізу впливу розчиненого в холодоагенті компресорного мастила та енергетичну ефективність холодильного циклу;
- подальший розвиток методики еколого-енергетичної оцінки та перспектив застосування холодоагентів, що враховує додаткові енергетичні витрати на створення та експлуатацію холодильного устаткування.

На підставі одержаних наукових результатів сформульовані та обґрунтовані наукові положення:

- оцінка перспектив застосування альтернативних робочих тіл при теоретичному аналізі енергетичної ефективності циклів холодильних установок повинна базуватися на даних про термодинамічні властивості розчинів холодоагентів із компресорними мастилами;
- при еколого-енергетичному аналізі перспективності застосування пожежонебезпечних холодоагентів в формулі для розрахунку Повного Еквіваленту Глобального Потепління – TEWI (Total Equivalent Warming Impact) повинні враховуватися додаткові енергетичні витрати на створення та обслуговування холодильного устаткування.

Достовірність наукових результатів, наукових положень і розроблених рекомендацій підтверджена проведенням тарирувальних дослідів, погодженням розрахункових значень теплофізичних властивостей із результатами експериментальних досліджень, виконаними експлуатаційними дослідженнями компресора ХКВ6.65-1-0.

Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що одержано великий матеріал із термодинамічних властивостей R134a/Castrol Icematic SW 22 і R134a/Mobil EAL Arctic 22; збудовані діаграми Меркеля, необхідні для вирішення конкретних завдань при проектуванні, проведенні експлуатаційних досліджень нового покоління побутової холодильної техніки.

Запропонована в дисертації методика еколого-енергетичної експертизи перспектив застосування нових холодоагентів буде сприяти проведенню об'єктивної політики, спрямованої на подальше підвищення екологічної безпеки альтернативних робочих тіл.

Впровадження рекомендацій по вибору холодильних мастил, модернізації та створенню нової апаратури АТ «ДХТ», комплекс заходів щодо технологічного контролю і зміни конструкції побутових холодильних приладів, що випускаються АТ «НОРД», буде сприяти підвищенню їх якості і конкурентоспроможності.

Особистий внесок здобувача. В окремих етапах роботи брали участь та здійснювали наукові консультації спеціалісти ОДАХ та АТ «НОРД».

Здобувач в рамках еколого-енергетичного аналізу провів оцінку перспективності застосування нових альтернативних холодоагентів для побутових холодильних приладів з урахуванням додаткових енергетичних витрат на створення устаткування. Здобувачем розраховані таблиці довідкових даних із фазової рівноваги та калоричних властивостей РХМ, складені діаграми Меркеля. Проведена теоретична та експериментальна оцінка впливу компресорного мастила на енергетичну ефективність компресора ХКВ6.65-1-0 та розроблено комплекс заходів щодо подальшого удосконалення побутових холодильних приладів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались на: VI Міжнародній конференції з екології «Екологія, продукти харчування, здоров'я» (м. Одеса, 1995 р.); I Міжнародній конференції по керуванню використанням енергії (м. Київ, 1995 р.); V Науково-методичній конференції «Людина та

навколишнє середовище – проблеми безперервної екологічної освіти в ВУЗах» (м. Одеса, 1996 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Холод і харчові виробництва» (м. Санкт-Петербург, 1996 р.); IX Міжнародній конференції «Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв» (м. Одеса, 1996 р.); VI Міжнародній конференції по холоду (Purdue, США, 1996 р.); Міжнародній конференції «Applications for Natural Refrigerants» (Aarhus, Данія, 1996 р.).

За темою дисертації опубліковано 10 друкованих робіт. Із них – одна монографія; чотири статті в матеріалах міжнародних конференцій і п'ять тез доповідей на міжнародних конференціях.

**Структура і обсяг дисертації:** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел, трьох додатків, і містить 199 сторінок, 56 рисунків, 37 таблиць. Список використаних джерел складається з 182 найменувань.

#### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульована мета й визначені основні завдання дослідження, викладені наукові положення, що захищаються, наведені дані про наукову новизну, практичну цінність і апробацію результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі аналізуються проблеми, пов'язані з переведенням холодильної техніки, що випускається в Україні, на альтернативні холодоагенти. Констатується, що недостатня оцінка вкладу фторованих вуглеводнів у збільшення парникового ефекту привела до того, що основними альтернативними робочими тілами холодильного устаткування почали розглядатись такі холодоагенти, як R134a, R125, R218, R143a, RC318 і т.і. Для цих озонобезпечних холодоагентів характерним є великий час життя в атмосфері, а, отже, і високе значення Потенціалу Глобального Потепління – GWP. Крім того, вони, як правило, програють за енергетичною ефективністю R12, R22, R502 і потребують для застосування в холодильних установках нових синтетичних компресорних мастил. Із цих причин у останні роки низка фірм у країнах Європейського Співтовариства все більше орієнтується на застосування пожежнебезпечних природних холодоагентів. У ситуації, що склалася, принциповим стає питання – наскільки пожежнебезпечність, із одного боку, й висока енергетична ефективність холодильної машини, з іншого боку, вплинуть на екологічні наслідки від впровадження холодоагента.

У даних умовах стає очевидним, що традиційна оцінка перспектив застосування того чи іншого холодоагента в холодильному устаткуванні за величиною холодовидатності або холодильного коефіцієнта  $\epsilon$ , з точки зору екології, неповною. Необхідно також враховувати всі додаткові енергетичні витрати на створення холодильного устаткування та виробництво штучного холоду.

Для об'єктивної оцінки можливостей впровадження у виробництво нових холодоагентів розглянуто п'ять факторів: термодинамічні властивості; фізико-хімічні характеристики; технологічні фактори; фактори безпеки та екології; економічні фактори. У роботі систематизовані довідкові дані по Потенціалу озонного руйнування, GWP, горючості й токсичності для більшості холодоагентів, що застосовуються. Відзначається, що численні вимоги, які ставляться до холодоагента, носять суперечливий характер, відсутні узагальнені критерії вибору «ідеального» робочого тіла. До того ж реальним робочим тілом слід розглядати не чистий холодоагент, а РХМ. У розділі вказується на значний вплив домішок мастил на зміну енергетичної ефективності холодильної установки, їх важлива роль у проблемах, пов'язаних як із теплообміном у випарнику, так і циркуляцією мастила по контуру холодильної системи. Розглянуті основні характеристики нових синтетичних мастил. Відзначається, що основним недоліком поліефірних і поліалкіленгліколевих мастил є їх підвищена гігроскопічність, яка ускладнює технологічне складання холодильного устаткування. Крім того, вказані мастила в присутності домішок вологи можуть розкладатись на жирні кислоти й спирти, що приводить до корозії, стирання пар у компресорі та закупорювання капілярних трубок металевим милом.

На підставі проведеного аналізу визначені методи вирішення поставлених в дисертації завдань, які спрямовані на поглиблене вивчення термодинамічних властивостей РХМ і встановлення об'єктивних еколого-енергетичних критеріїв вибору альтернативних робочих тіл.

У другому розділі дисертації викладаються методи експериментально-розрахункового дослідження термодинамічних властивостей і технологічних характеристик мастил і РХМ R134a/Castrol Icematic SW 22 і R134a/Mobil EAL Arctic 22.

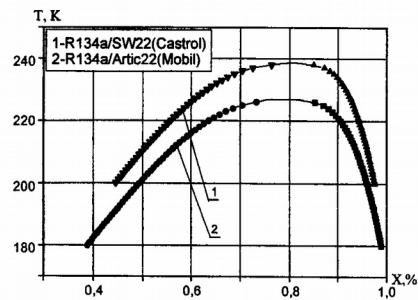


Рис. 1 Крива розширення РХМ

У рамках поставлених завдань на першому етапі вивчення фазових рівноваг РХМ були досліджені криві розширення. Виміри проводились у скляній комірці методом візуального спостереження за появою міжфазної межі в розчині. Показано, що крива розширення R134a/Castrol Icematic SW 22 має верхню критичну точку з пара-метрами  $T_c=237,25$  К і  $X_c=82$  %. Критичні параметри для суміші R134a/Mobil EAL Arctic 22

мають такі значення:  $T_c=226,6$  К,  $X_c=80,4$  %. Криві розширення вивчених сумішей показані на рис. 1. Для суміші R134a/Mobil EAL Arctic 22 характерні близькі значення температур початку помутніння розчину й температур появи межі розділення фаз, а також більш низькі параметри кривої розширення. Ця обставина вказує на певні переваги мастила Mobil EAL

Arctic 22 у порівнянні з компресорним мастилом Castrol Icematic SW 22. Запропонована в роботі апроксимаційна модель описує дослідні дані з похибками за концентрацією 0.5% і температурою  $\pm 1$  К.

Експериментальне дослідження фазових рівноваг  $P_s=f(T,X)$  РХМ було проведено на установці, що реалізує метод п'єзометра постійного об'єму. У роботі подано опис стенда, методика проведення дослідження. Відзначається, що основними проблемами при експериментальному вивченні фазових рівноваг РХМ є труднощі констатації факту встановлення рівноваги й великий вплив випадкових похибок. Навіть перемішування розчину при  $T=\text{const}$  приводить до порушення термодинамічної рівноваги. Вивчення фазових рівноваг РХМ провадилось у діапазоні температур  $280 \leq T \leq 362$  К на різних концентраціях:  $X=0.1305; 0.1786; 0.2560; 0.5056; 0.7496$  – для R134a/Castrol Icematic SW 22 і  $X=0.1196; 0.1721; 0.2547; 0.4011$  – для R134a/Mobil EAL Arctic 22. Проведений аналіз похибки показує, що довірчий інтервал визначення тиску насиченої пари складає 0.023 МПа.

Проведений аналіз існуючих теоретичних підходів до опису фазових рівноваг РХМ дозволяє прийти до висновку, що похибка апроксимації експериментальних даних рівняннями Вільсона, Хейла, Цубоки й Катаями, Вонга й Чао, Рено й Праусніца і т.і. достатньо висока –  $\approx 6-8\%$ . Для розрахунку треба мати великий масив дослідних даних, розв'язування екстраполяційних задач утруднено, часто потрібно мати дані про молекулярну масу компресорного мастила, інформація про яку, як правило, відсутня. Ті ж недоліки властиві й апроксимаційним моделям опису фазових рівноваг РХМ. Таким чином, досягнутий рівень якості опису фазових рівноваг не гарантує одержання задовільних результатів при розрахунку калоричних властивостей реальних робочих тіл холодильних установок.

Разом з тим, розгляд великої вибірки дослідних даних різних систем показує, що загальні закономірності зміни тиску насичених парів РХМ постійної концентрації подібні термодинамічній поведінці чистих речовин. Тому для цілей критичного аналізу отриманих експериментальних даних, апроксимації та прогнозування фазових рівноваг при невисоких тисках ( $P \leq 1.5$  МПа) можуть використовуватись добре розроблені для чистих речовин порівняльні методи розрахунку тиску насиченої пари Бадильєса, Дюринга. При більш високих тисках застосування цих методів не обґрунтовано. Тому в основу використаного методу розрахунку тиску насиченої пари РХМ було покладене рівняння, що добре зарекомендувало себе для опису тиску насиченої пари чистих холодоагентів:

$$\ln\left(\frac{P_C}{P_S}\right) = \alpha_R \cdot \tau + b \cdot \tau^{2.64}, \quad (1)$$

Надзвичайно важливим достоїнством рівняння (1) є слабка залежність коефіцієнтів від об'єму вибірки та його високі прогностичні можливості.

Для обробки експериментальних даних з фазової рівноваги РХМ рівняння (1) було перетворено до вигляду:

$$\ln P_S = \ln \overline{P_C}(X) - \overline{\alpha_R}(X) \cdot \tau - b \cdot \tau^{2.64}. \quad (2)$$

Псевдокритичні параметри  $\overline{T_C}, \overline{P_C}, \overline{\alpha_R}$  визначались у рамках припущення про термодинамічну подібність РХМ:  $\overline{T_C}$  – за модифікованим правилом Гульдберга;  $\overline{P_C}$  – за законом відповідних станів;  $\overline{\alpha_R}$  – за рівнянням Міллера.

Концентраційні залежності псевдокритичних параметрів мають вигляд:

– для суміші R134a/Castrol Icematic SW 22

$$\overline{T_C} = 374.08 + 0.8883 \ln X + 6.767 (\ln X)^2, \text{ К}; \quad (3)$$

$$\overline{P_C} = 4.057 + 0.303 \ln X - 0.06851 (\ln X)^2, \text{ МПа}; \quad (4)$$

$$\overline{\alpha_R} = 7.377 + 0.02961 \ln X - 0.0971 (\ln X)^2; \quad (5)$$

– для суміші R134a/Mobil EAL Arctic 22

$$\overline{T_C} = 354.14 + 20.3979/X^{0.5}, \text{ К}; \quad (6)$$

$$\overline{P_C} = 41.324 + 0.7188/X^{1.5}, \text{ МПа}; \quad (7)$$

$$\overline{\alpha_R}^{-1} = 0.13532 + 2.7762 \cdot 10^{-4}/X^2. \quad (8)$$

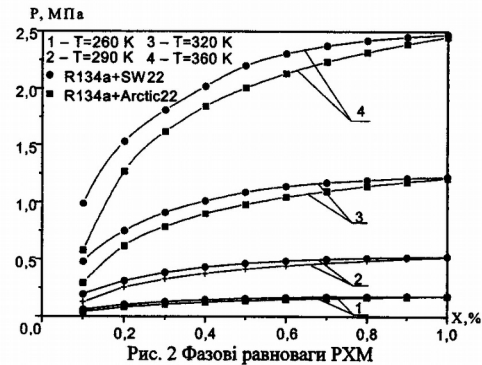


Рис. 2 Фазові рівноваги РХМ

Значення коефіцієнта "b" для двох вивчених сумішей приймалося рівним 6.3355, тобто величині відповідного коефіцієнта, одержаного при апроксимації тиску насиченої пари холодоагента R134a. Наведені рівняння адекватно описують дослідні дані й дозволяють розраховувати фазові рівноваги в інтервалі параметрів  $240 \leq T \leq 370$ ,  $0.2 \leq X \leq 1.0$ . Концентраційна залежність ізотерм у координатах P-X показана на рис.2.

Дослідження теплоємності холодильних мастил виконано на установці, що реалізує метод безпосереднього нагрівання з дискретним введенням тепла. Похибка одержаних даних не перевищує 2.5%. Теплоємність холодильних мастил може бути розрахована за апроксимаційними залежностями

$$\text{Castrol Icematic SW 22} \quad C_p = 0.79284 + 3.364 \cdot 10^{-3} \cdot T, \text{ кДж/кг}\cdot\text{К} \quad (9)$$

$$\text{Mobil EAL Arctic 22} \quad C_p = 0.77607 + 3.463 \cdot 10^{-3} \cdot T, \text{ кДж/кг}\cdot\text{К} \quad (10)$$

Доцільність проведення досліджень густини компресорних мастил –  $\rho$  і температури нормального кипіння  $T_{\text{нб}}$  РХМ продиктована двома обставинами. По-перше, для виконання коректної прогностичної оцінки тиску насиченої пари суміші холодоагента з мастилом необхідно мати по можливості більш точні дані про температуру нормального кипіння суміші, що вивчається. По-друге, дані про густину мастила та його розчину необхідні при обчисленні теплоти випаровування та ентальпії на правій суміжній кривій. Вимірювання густини й температури нормального кипіння об'єктів дослідження проведені на одній

установці, в якій пікнометр, що термостатується, був приєднаний до гідростатичного манометра.

Довірчий інтервал похибки вимірювання густини склав для мастила Castrol Icematic SW 22  $\Delta\rho=1.4 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup> і для мастила Mobil EAL Arctic 22  $\Delta\rho=8 \cdot 10^{-7}$  кг/м<sup>3</sup>. Довірчий інтервал похибки вимірювання  $T_{\text{об}}$  не перевищував 0.07 К.

Одержані експериментальні значення густини апроксимовані рівнянням

$$\rho = A_0 + A \cdot T, \text{ кг/м}^3. \quad (11)$$

Значення коефіцієнтів рівняння (11) для досліджених мастил дорівнюють: Castrol Icematic SW 22  $A_0=1214.49$ ;  $A=-0.74517$ ; Mobil EAL Arctic 22 –  $A_0=1203.91$ ;  $A=-0.73921$ .

Концентраційні залежності температур нормального кипіння РХМ були апроксимовані виразом

$$\ln T_{\text{nb}} = a + b/x^{0.5} \text{ при } x > 0.1 \quad (12)$$

де:  $a=5.458$ ,  $b=0.05077$  для R134a/Mobil EAL Arctic 22;

$a=5.458$ ,  $b=0.0510$  для R134a/Castrol Icematic SW 22.

Одержані в роботі дані про теплофізичні властивості компресорних мастил і РХМ дозволили розрахувати ентальпію рідкої фази

$$H'_{CM} = H_1 X_1 + H_2 X_2 + \Delta H_{CM}. \quad (13)$$

Ентальпія холодоагента R134a –  $H_1$  була взята з наявних у літературі даних, а ентальпія компресорних мастил –  $H_2$  розрахована з одержаних значень ізобарної теплоємності. Теплота змішування  $\Delta H_{CM}$  була обчислена в рамках підходу Кірхгофа з інформації про фазові рівноваги РХМ

$$\Delta H_{CM} = -(1 - X_M) \frac{RT^2}{2\mu_R} \left( \frac{\partial \ln \frac{P_0}{P_R}}{\partial T} \right)_{X_M}. \quad (14)$$

Із даних про фазові рівноваги РХМ була також обчислена теплота випаровування

$$r = T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_X (V'' - V'), \quad (15)$$

що дозволило обчислити ентальпію на правій суміжній кривій  $H'' = H'_{CM} + r$ .

Проведені дослідження показують, що властивості реального робочого тіла, що містить певну (причому різну в випарнику, конденсаторі та компресорі) кількість мастила, суттєво відрізняються від калоричних властивостей чистого холодоагента R134a. Причому вибір марки компресорного мастила в значній мірі впливає на величину термодинамічних функцій реального робочого тіла холодильної установки. Із використанням одержаних експериментальних даних про термодинамічні властивості робочих тіл R134a/Mobil EAL Arctic 22 і R134a/Castrol Icematic SW 22 побудовані діаграми Меркеля (див. рис.3 та рис. 4).

У третьому розділі наводяться результати порівняльних розрахункових термодинамічних і експлуатаційних характеристик компресорів ХКВ6.65-1-0 із застосуванням синтетичних мастил Castrol Icematic SW 22 і Mobil EAL Arctic 22.

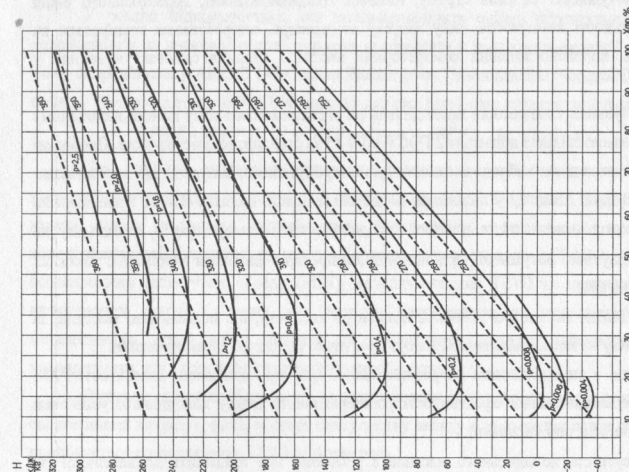


Рис. 4. Діаграма ентальпій-концентрації для розчину R134a з мастилом Castrol Icematic SW 22.

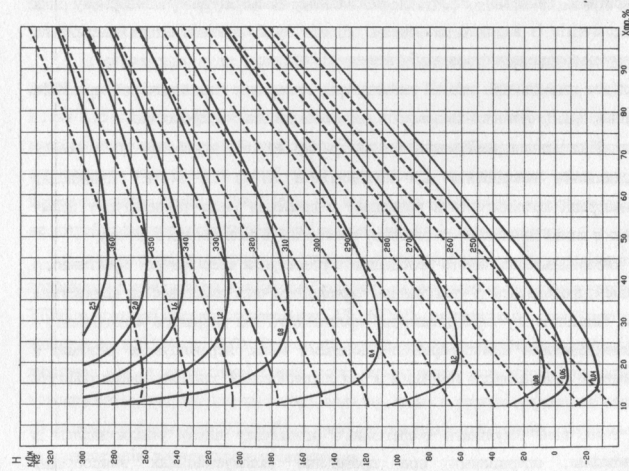


Рис. 3. Діаграма ентальпій-концентрації для розчину R134a з мастилом Mobil EAL Arctic 22.

У процесі експериментальних досліджень проводилось визначення холодовидатності, споживаної потужності та сили струму, питомої холодовидатності, коректованого рівня звукової потужності компресора, часу запуску компресора, випробування компресора на зносостійкість, вологопоглинання компресорних мастил і сушіння самовакуумуванням у компресорах.

Випробування компресорів проводились на експериментальному стенді, виконаному за типовою схемою згідно з додатком 2 ГОСТ 1700-85 за стандартною методикою. Проведені на партії з 10 випадково вибраних компресорів випробування показують, що застосування мастила Mobil EAL Arctic 22 у порівнянні з мастилом Castrol Icematic SW 22 приводить до збільшення холодовидатності та питомої холодовидатності компресорів у середньому на 5-6%. Рівень звукової потужності при заправці компресорів мастилом Mobil EAL Arctic 22 збільшується на 6%.

Дослідження інших параметрів дозволяє прийти до висновку, що порівнювані мастила, за винятком впливу на холодовидатність, мають практично ідентичні характеристики.

Виконані з використанням одержаних даних про термодинамічні властивості РХМ розрахунки термодинамічної ефективності регенеративного циклу холодильної установки дозволяють зробити такі висновки:

- присутність холодильного мастила в робочому тілі приводить до невеликої (за умовою значного регенеративного теплообміну) зміни питомої холодовидатності (близько 1%). Однак слід підкреслити, що цей висновок справедливий тільки для конкретних вивчених РХМ. Зі зниженням температури у випарнику для холодоагентів із високим значенням теплоти випаровування вплив мастила на питому холодовидатність може бути значно більшим;
- внаслідок того, що при заданій температурі у випарнику тиск насиченої пари РХМ менший, ніж  $P_s$  чистого холодоагента, адиабатна робота стиску зростає;
- збільшення концентрації мастила в випарнику до 16% приводить до зниження холодильного коефіцієнта для холодоагента R134a на 6-8%. Підвищення концентрації холодоагента в випарнику і зниження рівня температур у ньому посилює вплив мастила на енергетичну ефективність холодильного циклу;
- при виборі альтернативного холодоагента розрахунок енергетичної ефективності повинен проводитись із урахуванням термодинамічних властивостей конкретних РХМ. Відмінність у термодинамічній ефективності для вибраного холодоагента з рекомендованими компресорними мастилами може перевищувати різницю в значеннях холодильного коефіцієнта для порівнюваних альтернативних робочих тіл;
- для того, щоб результати теоретичного розрахунку циклу узгоджувались із висновками, одержаними при проведенні експлуатаційних випробувань компресора, необхідно в стенді контролювати концентрацію мастила в випарнику та конденсаторі, вимірювати витратні характеристики і враховувати різний рівень незворотності процесів.

Четвертий розділ дисертації присвячений подальшому розвитку методики TEWI-аналізу.

У розділі підкреслюється, що загальноприйнята оцінка перспектив застосування холодоагентів за величиною холодильного коефіцієнта з точки зору екології є неповною. Тому запропоновану AFEAS (Alternative Fluorocarbon Environmental Acceptability Study) на початку 90-х років концепцію TEWI-аналізу для цих цілей слід визнати своєчасною

$$TEWI = GWP \cdot L \cdot N + GWP \cdot m(1 - \alpha) + GWP_{BA} \cdot M + \beta \cdot E \cdot N. \quad (16)$$

При оцінці еколого-енергетичних перспектив застосування альтернативних холодоагентів необхідно виділити два ключових моменти. По-перше, порівнювати TEWI можна тільки в рамках одного типу холодильного устаткування при однаковій холодовидатності й параметрах циклу. По-друге, запропонована AFEAS і рекомендована Міжнародним інститутом холоду (IIR), методика оцінки TEWI не враховує цілу низку визначаючих факторів, таких як: вартість холодоагента та холодильного мастила, металосмієність устаткування, витрати на забезпечення пожежобезпечності як самого холодильника, так і устаткування для його виробництва і т.і.

Оскільки створення будь-якого елемента холодильного устаткування потребує певних енергетичних витрат, а, отже, містить певну частку вкладу в збільшення парникового ефекту, пропонується розраховувати TEWI за формулою

$$TEWI = GWP \cdot L \cdot N + GWP \cdot m(1 - \alpha) + GWP_{BA} \cdot M + \beta \cdot E \cdot N + \sum_{i=1}^n \beta E_i, \quad (17)$$

де  $E_i$  – додаткові енергетичні витрати на виробництво окремих елементів холодильного устаткування й технічне обслуговування холодильної установки.

Із викладених вище позицій розглянути можливості впровадження в виробництво деяких озонобезпечних холодоагентів: R134a, R600a, R290/R600a, R152a/R600a-C1, R134a/R152a і Suva MP39 (R401A). Показано, що результати енергетичного і TEWI-аналізу можуть приводити до різних висновків. Відзначається, що на сьогоднішній день найбільші перспективи застосування в побутовій холодильній техніці може мати квазіазеотропна, пожежобезпечна суміш R134a/R152a, що має більшу енергетичну ефективність, ніж R134a, і не потребує застосування поліефірних та поліалкіленгліколевих мастил.

Із метою оцінки впливу збільшення матеріальних витрат при виробництві побутових холодильних приладів на пожежонебезпечних холодоагентах на зміну структури величини TEWI розглянуті сценарії переведення АТ «НОРД» на випуск продукції, що використовує холодоагенти R134a і R600a. Результати виконаних розрахунків наведені на рис.5, із них випливає, що з екологічної точки зору застосування пожежонебезпечних природних холодоагентів доцільне тільки в тому випадку, якщо є реальні переваги в величині TEWI, обчисленій за формулою (15), тобто з урахуванням усіх енергетичних витрат на виробництво та експлуатацію холодильного устаткування.

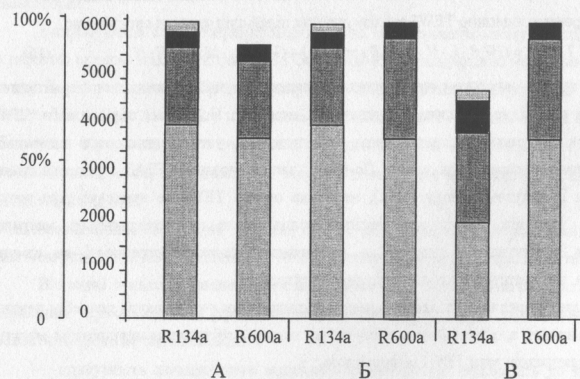


Рис. 5 Структура TEWI для холодильника «НОРД-233-6»

А – розрахунок TEWI за формулою AFEAS; Б – розрахунок TEWI з урахуванням 30% збільшення витрат на забезпечення пожежнебезпеки; В – розрахунок TEWI з урахуванням збільшення теплової ізоляції у два рази для холодильника, заправленого R134a.

- – прямий вклад від емісії R134a;
- – непрямий вклад від емісії R141b;
- – непрямий вклад від енергетичних витрат на створення устаткування;
- – непрямий вклад від енергоспоживання.

П'ятий розділ дисертації присвячений розгляду сучасних тенденцій у розвитку побутової холодильної техніки й розробці рекомендацій по переведенню АТ «НОРД» на випуск холодильників на озонобезпечних, енергетично ефективних робочих тілах.

У розділі розглянуті основні напрямки впровадження альтернативних холодоагентів у побутову холодильну техніку, методи підвищення енергетичної ефективності холодильних приладів, тенденції в зміні дизайну та зручності експлуатації домашніх холодильників. Підкреслюється, що основними показниками, які визначають конкурентоспроможність холодильних приладів, що випускаються АТ «НОРД», є: собівартість і вартість продукції, надійність і довговічність побутової холодильної техніки, клас енергоекономічності, дизайн і зручність при користуванні.

Із урахуванням економічної ситуації, що склалася в Україні, при виробленні рекомендацій перевага віддавалась тим заходам, які не потребують для своєї реалізації великих інвестицій. Серед них пріоритетними є заходи щодо поліпшення теплової ізоляції холодильників, щодо вдосконалення вхідного контролю за якістю компресорного мастила й

конструкційних матеріалів, подальшого розвитку лабораторної бази АТ «ДІХТ». У конструкцію стендів повинні бути внесені зміни: встановлено витратомір, додаткові датчики температури і тиску, оглядові вікна. Ці заходи дають можливість об'єктивно контролювати склад робочого тіла у кожному елементі стенду, що дозволить вносити зміни в конструкцію холодильного агрегату, спрямовані на підвищення енергетичної ефективності.

## ВИСНОВКИ

- В інтервалі можливих концентрацій термодинамічні властивості розчинів холодоагент/мастило значно відрізняються від властивостей чистого холодоагента, що може суттєво впливати на результати теоретичної оцінки енергетичної ефективності при виборі альтернативного R12 робочого тіла.
- Відмінність у значеннях питомої холодовидатності для будь-якого холодоагента з різними компресорними мастилами може досягати 5÷10%. Тому при оцінці енергетичної ефективності холодильного приладу, що розробляється, повинні враховуватись термодинамічні властивості реального робочого тіла.
- Проведені випробування компресора ХКВ6.65-1-0 на робочих тілах R134a/Castrol Icematic SW 22 і R134a/Mobil EAL Arctic 22 вказують на певні переваги мастила Mobil EAL Arctic 22 (кращі параметри кривої розшарування, більш висока питома холодовидатність компресора).
- Теоретична оцінка впливу компресорного мастила на термодинамічну ефективність холодильного циклу показує, що при відсутності обліку концентрації мастила в окремих вузлах виробного стенду якісні результати розрахунку можуть не співпасти з даними, одержаними в експлуатаційних випробуваннях.
- Виконаний за запропонованою в дисертації методикою розрахунок TEWI показує, що із екологічної точки зору доцільність застосування пожежнебезпечних природних холодоагентів, може бути обґрунтована тільки при повному обліку енергетичних витрат на створення холодильних приладів.
- При обліку матеріальних витрат на створення холодильного устаткування суттєво змінюються як структура, так і величина TEWI. Показано, що основним фактором, спрямованим на зменшення TEWI для побутових холодильних приладів АТ «НОРД», є використання ефективної теплової ізоляції (до 30% TEWI). Другим за значимістю фактором є енергетична ефективність компресора (до 10÷18% TEWI). Тільки третім за значимістю фактором в номенклатурі холодоагентів, що склалася, є оптимальний вибір енергетично ефективного робочого тіла (3÷7% TEWI). Тому надмірне значення, що надається вибору холодоагента, з екологічної точки зору є невиправданим.

Основний зміст дисертації викладено у роботах:

1. Железний В.П., Жидков В.В. Эколого-энергетические аспекты внедрения альтернативных хладагентов в холодильной технике. - Донецк: Донбасс, 1996. - 144 с.
2. Железний В.П., Жидков В.В., Бютнер А.Г., Рыбников М.В. Эколого-энергетические аспекты перевода холодильного оборудования АО "НОРД" на альтернативные хладагенты // Материалы 1-й Междунар. конф. по управлению использованием энергии – Киев. – 1995. – С. 122-126.
3. Zhidkov V.V., Zhelezny V.P., Butner A.G. Ecological and Energetical Aspects of Changing-over Refrigerant Equipment of Joint-Stock Company "NORD" to Alternative Refrigerants // Proc. 1996 Int. Refrig. Conf., Purdue Univ. – Purdue (U.S.A.). – 1996. – P.507-512.
4. Zhidkov V.V., Zhelezny P.V. Phase Equilibrium in Oil-Refrigerant Solution R134a/SW22 // Proc. 1996 Int. Refrig. Conf., Purdue Univ., – Purdue (U.S.A.). – 1996. – P. 447-451.
5. Zhidkov V.V., Zhelezny V.P., Butner A.G., Muravia E.S. Ecological and Energetical aspects of changing-over refrigerant Equipment in Ukraine to Alternative Refrigerants // Proc. Conf. "Applications for Natural Refrigerants". – Aarhus (Denmark). – 1996. – P. 421-427.
6. Жидков В.В., Железний П.В., Вороновский А.М. Экспериментально-расчетное исследование фазовых равновесий маслохладонового раствора R134a/ SW22 // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. "Холод и пищевые производства". - Санкт-Петербург: С-ПАХиПТ. – 1996. – С. 347.
7. Жидков В.В., Железний В.П., Бютнер А.Г. TEWI - анализ перспектив перевода холодильной техники АО "НОРД" на альтернативные хладагенты // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. "Холод и пищевые производства". - Санкт-Петербург: С-ПАХиПТ. – 1996. – С. 348.

#### УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

$P_s$  – тиск насиченої пари;  $T$  – температура;  $X$  – вагова концентрація;  $\alpha_R$  – критерій Ріделя;  $\rho$  – густина;  $C_p$  – теплоємність;  $H$  – ентальпія;  $R$  – універсальна газова постійна;  $\mu$  – молекулярна маса;  $v$  – питомий об'єм;  $g$  – теплота пароутворення; GWP – потенціал глобального потепління; TEWI – повний еквівалент потепління;  $L$  – витікання хладагента;  $N$  – час експлуатації устаткування;  $m$  – маса хладагента в одиниці продукції;  $\alpha$  – частка утилізованого хладагента;  $\beta$  – емісія CO<sub>2</sub> при виробництві 1 кВт·ч електроенергії;  $E$  – річні витрати електроенергії на експлуатацію устаткування;

#### Індекси

<sup>c</sup> – належність до лінії кипіння; <sup>s</sup> – належність до лінії насичення;  
<sup>\*</sup> – належність до лінії конденсації; <sup>c</sup> – належність до критичної точки;  
<sup>M</sup> – належність до компресорного масла; <sup>R</sup> – належність до хладагента.

#### АНОТАЦІЯ

Жидков В.В. Еколого-енергетичний аналіз побутових холодильних приладів на альтернативних хладагентах (експеримент та методи розрахунку). Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.05 – Теоретична теплотехніка. Одеська державна академія холоду, Одеса, 1997.

Розглядається проблема вибору хладагентів для побутової холодильної техніки з позицій екологічної безпеки і високої енергетичної ефективності робочих тіл. Досліджено термодинамічні властивості розчинів R134a з компресорними мастилами Castrol Icematic SW 22 і Mobil EAL Arctic 22 та побудовано діаграми Меркеля (H-x). Виконано аналіз впливу компресорного мастила на енергетичну ефективність холодильного циклу і проведено експлуатаційні випробування компресора ХКВ6.65-1-0 на озонобезпечному хладагенті R134a з різними мастилами. Розроблена методика еколого-енергетичної експертизи оцінки перспективності застосування альтернативних хладагентів і запропоновано комплекс заходів, націлений на підвищення конкурентоспроможності побутових холодильних приладів, що випускаються АТ "НОРД".

Ключові слова: озонобезпечні хладагенти; Повний Еквівалент Глобального Потепління – TEWI; термодинамічні властивості; розчин хладагент/мастило; енергетична ефективність; енергетичні витрати; конкурентоспроможність.

#### АННОТАЦІЯ

Жидков В.В. Эколого-энергетический анализ бытовых холодильных приборов на альтернативных хладагентах (эксперимент и методы расчета). Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.05 – Теоретическая теплотехника. Одесская государственная академия холода, Одесса, 1997.

Рассматривается проблема выбора хладагентов для бытовой холодильной техники с позиций экологической безопасности и высокой энергетической эффективности рабочих тел. Исследованы термодинамические свойства растворов R134a с компресорными маслами Castrol Icematic SW22 и Mobil EAL Arctic 22 и построены диаграммы Меркеля (H-x). Выполнен анализ влияния компресорного масла на энергетическую эффективность холодильного цикла и проведены эксплуатационные испытания компресора ХКВ6.65-1-0 на озонобезопасном хладагенте R134a с разными маслами. Разработана методика эколого-энергетической экспертизы оценки перспективности применения альтернативных хладагентов и предложен комплекс мероприятий, направленных на повышение конкурентоспособности бытовых холодильных приборов, выпускаемых АО "НОРД".

Ключевые слова: озонобезопасные хладагенты; Полный Эквивалент Глобального Потепления – TEWI; термодинамические свойства; раствор хладагент/масло; энергетическая эффективность; энергетические затраты; конкурентоспособность

## SUMMARY

Zhidkov V.V. Ecological-energetic analysis of domestic refrigerating apparatuses with alternative refrigerants (experimental study and calculating methods). Thesis for a candidate's degree by speciality 05.14.05 --Theoretical thermotechnics. Odessa State Academy of Refrigeration, Odessa, 1997.

The problem of choice of refrigerants for domestic refrigerating equipment is considered from the point of view of the ecological safety and high energetic efficiency of working substance. Thermodynamic properties of the solutions of the R134a with compressor's oils Castrol Icematic SW22 and Mobil EAL Arctic 22 have been studied, and Merkel's diagrams ( H - x ) have been built for them. The analysis of the compressor's oil influence on the energetical efficiency of the refrigerating cycle and exploitation tests of the compressor XKB6.65-1-0 working with the ozone-safe refrigerant R134a and different oils have been made. The methodology of ecological-energetical expertise for evaluating the perspectiveness of alternative refrigerants' using has been worked out, and the whole complex of actions directed to promoting the competitor ability of domestic refrigerating equipment produced by SC "NORD" has been suggested.

Key words: ozonesafety refrigerants; Full Equivalent of the Global Warming-TEWI; thermodynamic properties; solution refrigerant/oil; energetic effectiveness; energetic expenses; competitor ability.

