

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ІВЧЕНКО ДМИТРО ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 621.564.25:551.510.534

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
РОЗЧИНІВ ДИМЕТИЛОВОГО ЕТЕРУ У ТРИЕТИЛЕНГЛІКОЛІ
(експеримент, методи моделювання)

Спеціальність **05.14.06** – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України (м. Одеса).

Науковий керівник –

доктор технічних наук, професор
Желєзний Віталій Петрович,
професор кафедри теплофізики та прикладної екології Одеської національної академії харчових технологій МОН України.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Цейтлін Мусій Абрамович,
професор кафедри хімічної техніки та промислової екології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

кандидат фізико-математичних наук
Рудніков Євгеній Григорович,
старший науковий співробітник кафедри молекулярної фізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Захист дисертації відбудеться *9 грудня 2019 року о 13:00* в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.03 в Одеській національній академії харчових технологій за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ОНАХТ за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна.

Автореферат розісланий *8 листопада 2019 року*.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 41.088.03

доктор технічних наук, професор



В. І. Мілованов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Реальним робочим тілом (РРТ) в парокомпресійних холодильних системах є розчин, що складається з холодоагенту і компресорного мастила (РХМ). Тому при розробці заходів, спрямованих на підвищення енергетичної ефективності холодильного обладнання, необхідно мати інформацію про термодинамічні властивості не чистого холодоагенту, а РРТ. Виконаний аналіз опублікованих даних про властивості РХМ показує, що більшість досліджень присвячено вивченню фазових рівноваг і в'язкості, в той час як дані про густину, капілярну постійну, поверхневий натяг РХМ в літературі практично відсутні.

Слід підкреслити, що розчини холодоагентів в мастилах відносяться до складних термодинамічних систем, оскільки складаються з невизначеної кількості компонентів, що значно відрізняються за своїми фізико-хімічними властивостями. Труднощі експериментального вивчення властивостей розчинів холодоагент / мастило пов'язані з тривалістю встановлення термодинамічної рівноваги, значним відхиленням термодинамічних функцій від поведінки ідеальних розчинів, наявністю градієнта концентрації холодоагенту в поверхневому шарі рідкої фази.

Створення теоретичних моделей для опису теплофізичних властивостей РХМ ускладнюється декількома факторами. По-перше, це відсутність інформації про склад компресорного мастила, яка є комерційною таємницею фірм-виробників. По-друге, в літературі практично відсутня інформація про критичні (псевдокритичні) параметри термічно нестабільних компресорних мастил. Цих труднощів можна уникнути, розглядаючи в якості об'єкта дослідження термодинамічні системи, що моделюють властивості РХМ. З урахуванням викладених складнощів вивчення властивостей розчинів холодоагент / мастило, а також велику практичну значущість даних про вплив домішок компресорного мастила на параметри ефективності холодильної компресорної системи, комплексні дослідження термодинамічних властивостей реальних робочих тіл є актуальними.

Серед вчених, які плідно працювали в рамках даних наукових напрямків, і на публікації яких автор спирався при вирішенні розглянутих у дисертації задач, слід назвати такі імена як: Бадилькіс І.С., Вамлінг Л. (Vamling L.), Геллер В.З., Юбі-Ідрісі М. (Youbi-Idrissi M.), Барбоса Дж.Р. (Barbosa J. R.) Спаушус Х.О. (Spauschus H. O.), Йокозекі А. (Yokozeki A.), Лавренченко Г.К., Мазур В.О., Мельцер Л.З., Железний В.П. та ін.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до: Постанови Кабінету Міністрів України №256 від 04.03.2004 р., яка затвердила програму призупинення виробництва та використання озоноруйнівних речовин на 2004-2030 рр. Також дисертаційна робота є складовою частиною досліджень, проведених в рамках виконання науково-дослідної роботи МК 09/04, № держ. реєстр. 0109U000412 «Структура і термодинаміка інтелектуальних нанофлюїдів - нового покоління робочих середовищ з заданими властивостями» і кафедральної тематики «Комплексні дослідження теплофізичних властивостей речовин, перспективних для використання в промисловості».

Метою роботи є створення науково обґрунтованої бази даних по

термодинамічним властивостям розчинів холодоагенту RE-170 (диметилового етеру - DME) у триетиленгліколі (TEG); розробка методик моделювання термодинамічних властивостей розчинів холодоагент / компресорне мастило.

Основні задачі дослідження:

- виконати експериментально-розрахункове дослідження фазових рівноваг рідина-рідина, рідина-пар, густини, теплоємності і поверхневого натягу розчинів DME / TEG;
- розробити методику прогнозування поверхневого натягу холодоагентів і їх розчинів;
- розробити таблиці довідкових даних по термодинамічним властивостям розчинів DME / TEG;
- провести оцінку впливу домішок компресорного мастила в РРТ на показники енергетичної ефективності компресорної системи і розробити практичні рекомендації для забезпечення нормальної циркуляції домішок мастила в холодоагенті по контуру холодильної установки.

Об'єктами дослідження є розчини холодоагенту RE-170 (диметилового етеру - DME) у триетиленгліколі (TEG).

Предметом дослідження є закономірності зміни властивостей розчинів холодоагентів з компресорними мастилами з урахуванням модельних уявлень Гуггенгейма у поверхневому шарі розчинів.

Рішення сформульованих завдань досягнуто в рамках наступних **методів дослідження**:

експериментальних досліджень: дослідження фазових рівноваг рідина-рідина і рідина-пар, густини, теплоємності і поверхневого натягу розчинів DME / TEG;

теоретичних досліджень:

- моделювання термодинамічних властивостей РХМ;
- розрахунок таблиць довідкових даних по термодинамічним властивостям робочого тіла DME / TEG;
- оцінка показників ефективності компресорної системи з урахуванням впливу домішок мастила в холодоагенті на термодинамічні властивості робочого тіла DME / TEG.

Наукова новизна виконаної роботи полягає в тому, що:

- вперше отримано інформацію про параметри фазових рівноваг, густину, теплоємності, поверхневому натягу розчинів DME / TEG;
- вперше вивчено вплив модельного компресорного мастила TEG на ентальпію і ентропію холодоагенту DME (при концентрації 0,6 кг/кг і температурі 333,15 К максимальний внесок домішок мастила в величини надлишкової ентальпії 6,69 кДж/кг, надлишкової ентропії 0,0222 кДж/(кг·К));
- розроблені таблиці довідкових даних по термодинамічним (включаючи ентальпію і ентропію) властивостям розчинів DME / TEG;
- вперше виконано вивчення впливу домішок TEG на показники еколого-енергетичної ефективності компресорної системи, в якій використовується холодоагент DME (показано, що при параметрах циклу $T_0 = 258$ К, $T_K = 303$ К та перегріві робочого тілу 6-7 К відносний внесок домішок TEG в зміну питомої

холодопродуктивності складає 2,2% на 1% концентрації мастила у холодоагенті перед дросельним пристроєм);

- розроблені рекомендації та формули щодо розрахунку калоричних властивостей розчинів DME / TEG);
- вперше запропонована методика прогнозування поверхневого натягу нанофлюїдів, холодоагентів і розчинів холодоагент / мастило з використанням інформації про тиск насиченої пари (максимальне відхилення від даних для поверхневого натягу чистих речовин складає 0,15 мН/м, а для РХМ - 1,5 мН/м).

Обґрунтованість та достовірність отриманих наукових результатів підтверджується коректною постановкою виконаних досліджень, проведенням тарувальних експериментів і виконаним аналізом невизначеності експериментальних даних.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в тому, що отримані дані по фазовій рівновазі рідина-рідина, поверхневому натягу, густині, тиску насиченої пари, ентальпії, ентропії та теплоємності на лінії кипіння розчинів DME / TEG можуть бути використані при проектуванні холодильного обладнання, моделюванні процесів кипіння у випарнику, розробці заходів, спрямованих на підвищення показників ефективності компресорної системи за рахунок контролю за циркуляцією мастила в апаратах холодильної машини.

Запропоновані методи прогнозування поверхневого натягу дозволяють істотно зменшити обсяг дорогих експериментальних досліджень.

Особистий внесок автора. Дисертація виконана при консультаціях наукового керівника. На окремих етапах в роботі брали участь співробітники лабораторії кафедри теплофізики та прикладної екології ОНАХТ - співавтори публікацій. Особисто здобувачем виконано основний обсяг експериментальних досліджень фазових рівноваг, густини, поверхневого натягу розчинів DME / TEG, розроблені таблиці довідкових даних по термодинамічним властивостям розчинів DME / TEG.

Апробація роботи. Основні результати виконаних досліджень доповідалися автором на 14 конференціях, у тому числі: IV Міжнародна науково-технічна конференція "Низькотемпературні і харчові технології в XXI столітті" Санкт – Петербург. 25-27 листопада 2009; International Conference «Physics Liquid Matter: Modern problems» May 21 -24, 2010; 23rd IIR International Congress of Refrigeration, August 21-26, 2011, Prague, Czech Republic; VII міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», 14-16 вересня 2011; XVI Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні проблеми енергетики та екології», Одеська національна академія харчових технологій, 5–8 жовтня 2016 р ; 5th IIR International Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants. - 23 - 26 April 2017, Seoul, Republic of Korea; 6th International Conference on Cryogenics and Refrigeration Shanghai, China, April 12-14, 2018; 13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants. Valencia, Spain. June 18 to 20, 2018.

Публікації. Основний зміст дисертації викладено у 9 статтях, опублікованих у фахових періодичних журналах (2 з яких входять до БД Scopus); 7 друкованих

праць, опублікованих у формі доповідей і тез у збірниках наукових праць міжнародних конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків. Робота містить 153 сторінок тексту, включаючи 60 рисунків, 16 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, відображено її зв'язок з існуючими державними програмами і держбюджетної наукової тематики ОНАХТ, сформульована мета і визначені задачі дослідження, а також викладені основні наукові результати, зазначено особистий внесок здобувача, відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи і публікації.

У **першому розділі** наведено огляд виконаних експериментальних і теоретичних робіт, присвячених дослідженням фазових рівноваг (рідина-рідина, рідина-пар), густини і калоричних властивостей розчинів ознобезпечних холодоагентів з компресорними мастилами. Проведений аналіз виконаних експериментальних досліджень термодинамічних властивостей РХМ дозволяє прийти до висновку, що в літературі міститься вельми обмежена інформація про термічні властивості для розчинів ознобезпечних холодоагентів з компресорними мастилами. Практично відсутні дані по густині, калоричним властивостям і поверхневому натягу РХМ. Інформація по термодинамічних властивостях розчинів DME / TEG відсутня. На підставі проведеного аналізу визначено методи вирішення поставлених в дисертації завдань, які спрямовані на вивчення термодинамічних властивостей розчинів DME / TEG і подальший розвиток існуючих методів прогнозування термодинамічних властивостей таких складних термодинамічних систем, до яких відносяться розчини холодоагентів з мастилами.

DME є перспективним екологічно безпечним холодоагентом, що дозволяє продовжувати експлуатацію існуючого холодильного обладнання без значних матеріальних витрат на його модернізацію і зниження якості його роботи.

Другий розділ присвячений комплексному експериментальному дослідженню тиску насичених парів, густини, капілярної постійної, теплоємності розчинів DME / TEG і аналізу невизначеності вимірюваних величин.

Експериментальні дослідження фазових рівноваг і капілярної постійної розчинів DME / TEG були проведені на експериментальній установці, що добре зарекомендувала себе і яка призначена для комплексного дослідження термодинамічних властивостей РХМ [3]. Схема експериментальної установки наведена на рисунку 1. В даній установці реалізується статичний метод вимірювання тиску насичених парів і модифікований диференційний метод капілярного підняття для вимірювання поверхневого натягу. Результати проведеного дослідження демонструють рисунки 2-3.

У проведених дослідженнях використовувалися зразки DME і TEG з вмістом основного продукту 99,95% і 96,4%, відповідно.

Виконаний аналіз показує, що повна невизначеність вимірювання тиску насичених парів знаходиться в межах $\delta P_s = (0,3 \dots 2,7) \%$, капілярної постійної $\delta a^2 = (0,8 \dots 3,62) \%$, концентрації $(0,01 \dots 0,15) \%$.

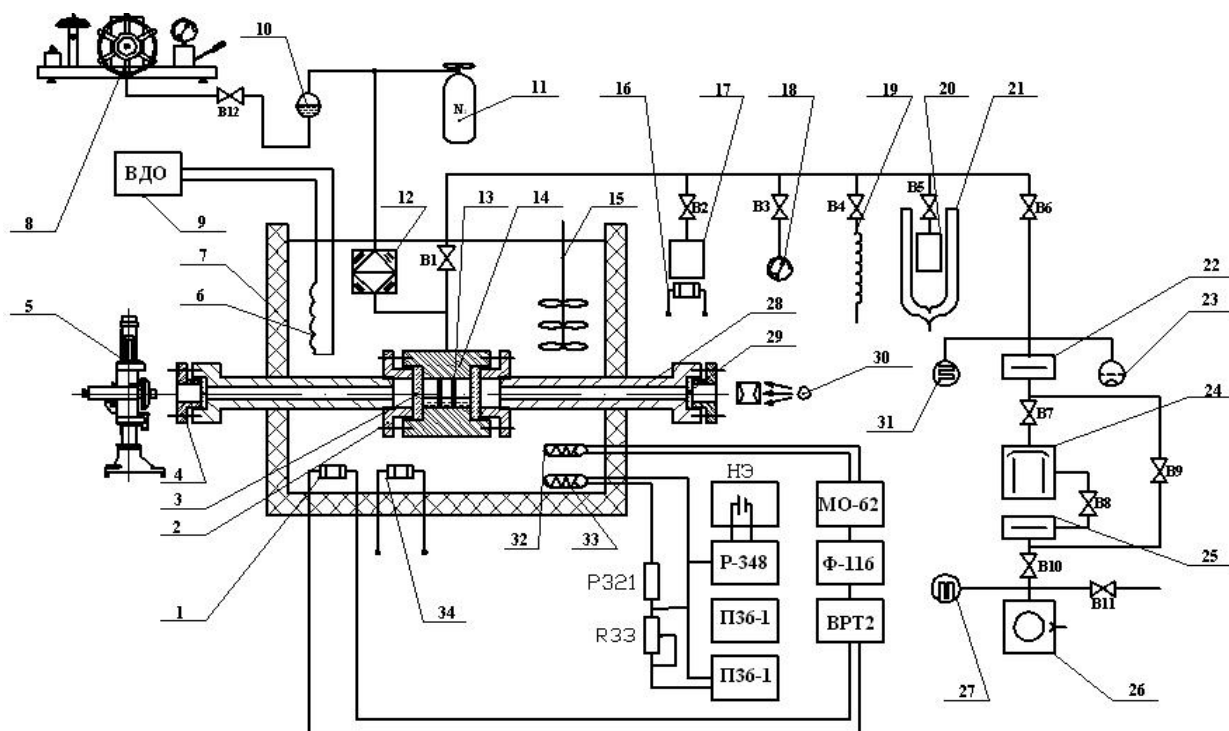


Рисунок 1 - Принципова схема експериментальної установки для дослідження тиску насиченої пари і каплярної постійної холодоагентів і RXM:

1 - регулюючий нагрівач; 2, 4 - фланці; 3, 29 - кварцові вікна; 5 - катетометр; 6 - теплообмінник; 7 - термостат; 8 - грузопоршневий манометр МП-60; 9 - водоохолоджувач; 10 – роздільник мастила; 11 - балон із газом; 12 - мембранний нуль-індикатор; 13 - касета з капілярами; 14 - вимірювальний осередок; 15 - насос-мішалка; 16 - нагрівач; 17, 20 - балончики для заправки і випуску холодоагенту; 18 - зразковий манометр; 19 – натікач; 21 - посудина Дьюара; 22, 25 - криогенна пастка; 23 - іонізаційний вакуумметр; 24 - дифузійний насос; 26 - форвакуумний насос; 27, 31 - термопарний манометр; 28 - оглядові тубуси; 30 - лампа розжарювання; 32 - термометр системи регулювання температури; 33 - платиновий термометр опору ПТС-10; 34 - розгінний нагрівач; В1 ... В12 - вентиля.

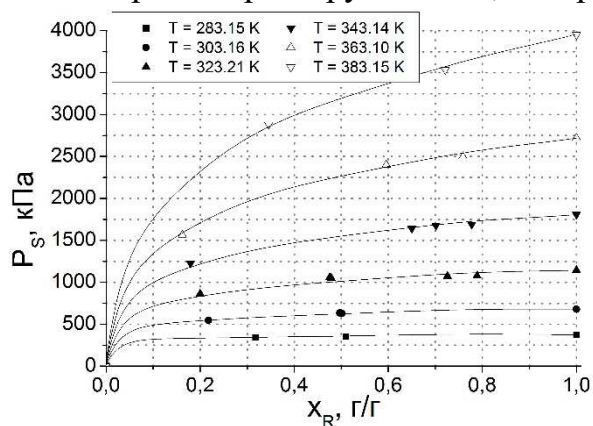


Рисунок 2 – Концентраційна залежність тиску насиченої пари розчинів DME / TEG при різних температурах

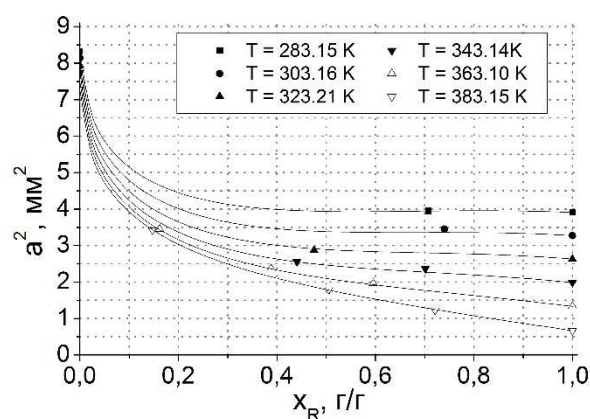


Рисунок 3 – Концентраційна залежність каплярної постійної розчинів DME / TEG при різних температурах

На рисунку 4 показана схема експериментальної установки, яка використовувалася для дослідження кривої розшарування і густини рідкої фази

розчинів DME / TEG.

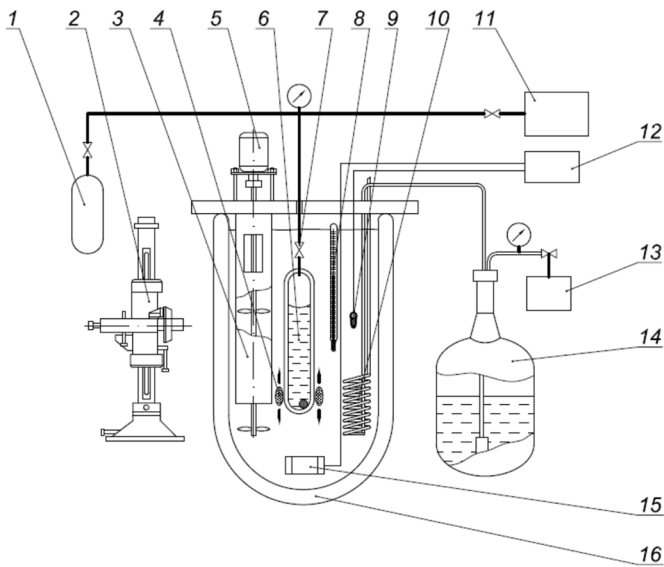


Рисунок 4 – Схема експериментальної установки для дослідження фазових рівноваг рідина-рідина і густини РХМ: 1 - заправний балончик; 2 - катетометри; 3 - мішалка; 4 - магнітна мішалка; 5 - двигун мішалки; 6 - скляний вимірювальний осередок; 7 - гарячий вентиль; 8 - термометр; 9 - датчик автоматичної системи регулювання температури; 10 - теплообмінник; 11 - вакуумна система; 12 - автоматична система регулювання температури; 13 - регулятор тиску; 14 - посудина Дьюара; 15 - регулювальний нагрівач; 16 - скляний термостат.

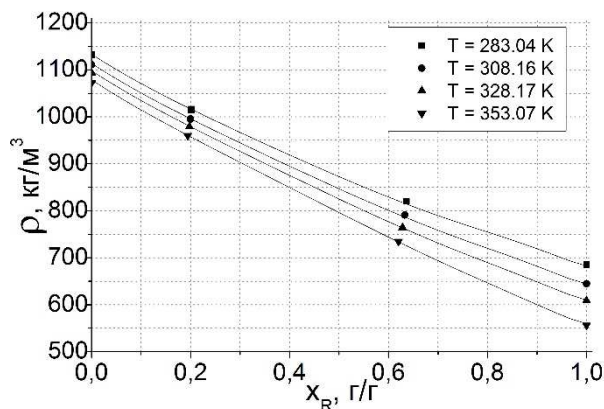


Рисунок 5 – Концентраційна залежність густини розчинів DME / TEG при різних температурах

Концентраційна залежність густини розчинів DME / TEG при різних температурах демонструє рисунок 5.

Проведений аналіз отриманих експериментальних даних показує, що розширена невизначеність вимірювання густини не перевищує 0.2%.

Експериментальні дослідження ізохорної теплоємності у двофазній області розчинів DME / TEG були проведені методом монотонного нагріву на низькотемпературній адіабатичній калориметричній установці, схема якої зображена на рисунку 6.

Кріостат поглинутого типу являє собою вакуумну камеру 2, яка знаходиться в посудині Дьюара з рідким азотом 1. Усередині вакуумної камери змонтовані елементи калориметричної системи і контейнер 4 із зразком досліджуваної речовини 3. Радіаційний теплообмін мінімізується за рахунок електролітичного

Проведене дослідження підтверджує зроблений раніше висновок про те, що тиск насичених парів, капілярна постійна і поверхневий натяг РХМ визначаються не тільки концентрацією холодоагенту в обсязі рідкої фази розчину, але і складом його поверхневого шару, на склад якого істотний вплив роблять процеси адсорбції холодоагенту на міжфазній межі.

Експериментальні дослідження густини розчинів DME / TEG були проведені пікнометричним методом.

сріблення внутрішньої поверхні адіабатичної оболонки 6, а також покриття полірованою алюмінієвою фольгою зовнішньої поверхні контейнера 4.

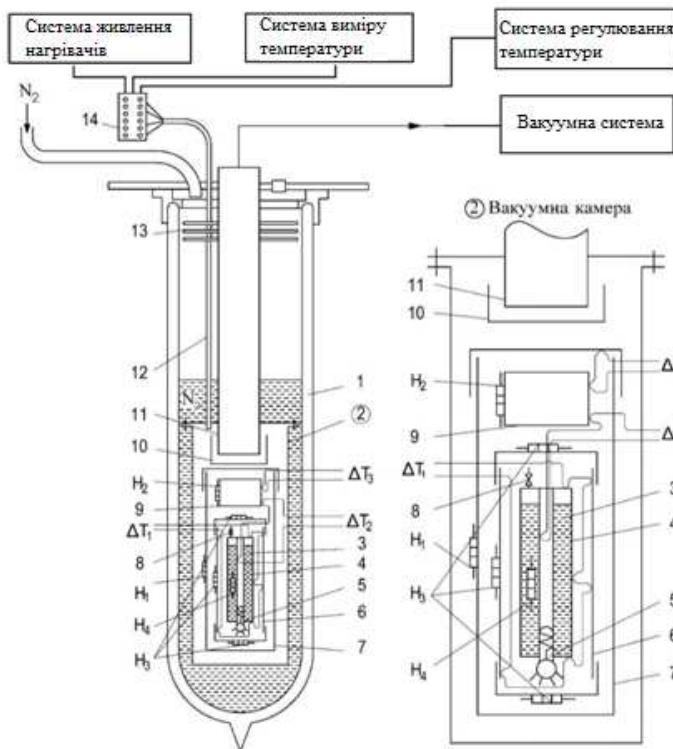


Рисунок 6 – Принципова схема низькотемпературної адіабатичної калориметричної установки:
 1 - посудина Дьюара з рідким азотом;
 2 - вакуумна камера; 3 - досліджуваний зразок; 4 - контейнер; 5 - платиновий термометр опору; 6 - внутрішній адіабатичний екран; 7 - зовнішній термостатуючий екран; 8 - заправний мікровентиль; 9 - терморегулююче кільце; 10, 13 - екрани;
 11 - вакуумопроводи; 12 - електроввод;
 14 - вакуумний електророз'єм; H_1 , H_2 , H_3 і H_4 - нагрівачі термостатуючого екрану, кільця, адіабатичного екрану і контейнера зі зразком, відповідно; ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 – диференційні термопари.

Зразки для досліджень калоричних властивостей завантажувалися у герметичний контейнер об'ємом 72 мл, всередині якого розташований калориметричний нагрівач H_4 і термометр опору 5.

Зменшення конвективного теплообміну між контейнером і калориметричною оболонкою досягається за рахунок створення у вакуумній камері тиску 0.0013 Па.

Контроль за теплообміном між елементами адіабатичної системи здійснюється за допомогою мідь-константових диференційних термопар $-\Delta T_1$, ΔT_2 і ΔT_3 (рисунок 6), що мають високу чутливість ($dE/dT = 20-40$ мкВ/К).

Для вимірювання температури контейнера використовується платиновий термометр опору 5. Вимірювання падінь напруги і часу виконуються за допомогою цифрового мультиметру Rigol DM3064.

Для визначення питомих теплових втрат і термічних величин калориметра при різних температурах було проведено спеціальні тарувальні експерименти.

При реалізації методу монотонного нагріву швидкості нагріву досліджуваних зразків в калориметрі не перевищували $dT/dt < 10^{-3}$ град/сек. При цьому потужність, що безперервно подається на калориметричний нагрівач, не перевищувала 0,5 Вт. При реалізації режиму безперервного нагріву попередньо встановлюється нульова різниця температур між контейнером зі зразком і адіабатичною оболонкою. У цьому випадку енергія, що виділяється калориметричним нагрівачем і теплоти фазових переходів, визначають характер зміни температури досліджуваного зразка.

У методі монотонного нагріву теплоємність досліджуваних зразків розраховувалася зі співвідношення

$$c_V^{(2)} = \frac{P_{sh} - P_{hl}}{m \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}} - \frac{A(T)}{m}, \quad (1)$$

де P_{sh} – середня потужність, що підводиться до калориметру, Вт; P_{hl} – потужність теплових втрат при середній температурі дослідів T_{av} , Вт; ΔT – зміна температури калориметра за час Δt ; m – маса досліджуваного зразка, кг; $A(T)$ – теплове значення калориметра при середній температурі дослідів T_{av} , Дж/К.

Оскільки зразок РХМ в контейнері 6 знаходиться у двофазному стані, частина підведеної до зразка енергії витрачалася на нагрів насиченої пари. Тому з використанням отриманої раніше інформації про термічні властивості розчинів DME / TEG вводилася поправка на кількість енергії на нагрів парової фази двофазного зразка.

У **третьому розділі** приведена обробка отриманих експериментальних даних.

Запропонована кореляція для апроксимації експериментальних даних по густині модельної системи DME / TEG наведена нижче

$$\ln \rho = \ln \bar{\rho}_c(x_R) + B(x_R) \cdot \theta^{\beta \cdot f(\theta)}, \quad (2)$$

де ρ – густина досліджуваних розчинів; B – коефіцієнт, який визначається з експериментальних даних; x_R – масова концентрація DME в досліджуваних розчинах; $\theta = \ln(T_C/T)$ – приведена температура; T_C і ρ_C – псевдокритичні параметри; β – показник ступеня, значення якого збігається з величиною критичного індексу, що фігурує в масштабній теорії, $\beta = 0,3245$; $f(\theta)$ – універсальна для нормальних рідин кросоверна функція.

Запропонована в цій роботі кореляція для апроксимації експериментальних даних по тиску насичених парів модельної системи DME / TEG наведена нижче

$$\ln P_S = \ln \bar{P}_C(x_R) - \bar{\alpha}_R(x_R) \cdot \theta - b \cdot \theta^{2,64}, \quad (3)$$

де P_S – тиск насичених парів досліджуваних розчинів; α_R – критерій Ріделя; b – коефіцієнт, який визначається з експериментальних даних; x_R – масова концентрація DME в досліджуваних розчинах; $\theta = \ln(T_C/T)$ – приведена температура; P_C , T_C – псевдокритичні параметри.

Запропоновані для апроксимації експериментальних даних кореляції (2), (3) містять невелику кількість коефіцієнтів. Ці рівняння мають високі екстраполяційні можливості і добре зарекомендували себе при вирішенні завдань прогнозування термодинамічних властивостей як чистих речовин, так і РХМ*.

* Medvedev O.O., Zhelezny P.V., Zhelezny V.P. Prediction of phase equilibria and thermodynamic properties of refrigerant/oil solutions // Fluid Phase Equil. – 2004. – № 215. – P. 29-38.

Експериментальні дані по капілярній постійній розчинів DME / TEG були апроксимовані поліномом виду

$$\bar{a}^2 = A(x_R) + B(x_R) \cdot T + C(x_R) \cdot T^2, \quad (4)$$

де $A(x_R)$, $B(x_R)$, $C(x_R)$ – коефіцієнти, значення яких залежать від концентрації холодоагенту в РХМ.

Коефіцієнт поверхневого натягу розраховувався за відомим співвідношенням, теоретичною основою якого є рівняння Лапласа.

Відхилення експериментальних даних по густині, тиску насичених парів і капілярній постійній розчинів DME / TEG від розрахованих за запропонованим рівнянням демонструють рисунки 7 - 9.

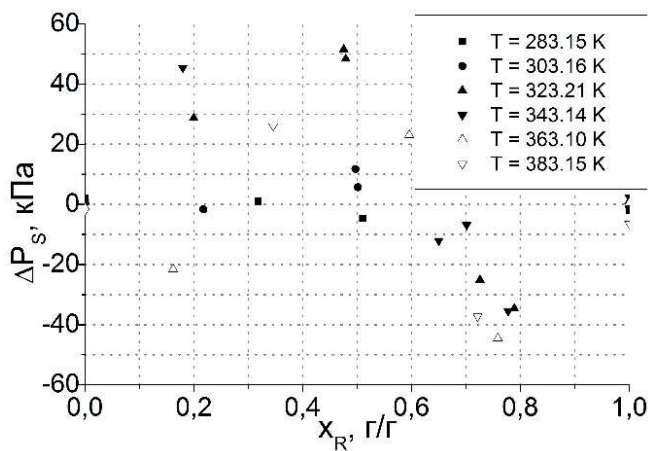


Рисунок 7 – Відхилення експериментальних даних по тиску насичених парів розчинів DME / TEG від розрахованих за рівнянням (3)

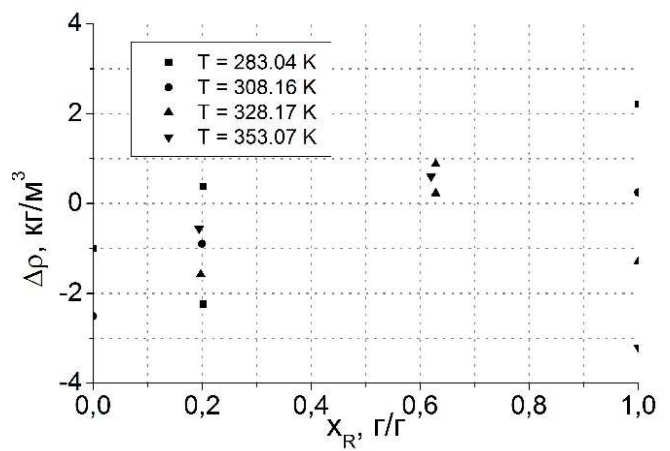


Рисунок 8 – Абсолютні відхилення експериментальних даних по густині розчинів DME / TEG від розрахованих за рівнянням (2)

На основі інформації про ізохорну теплоємність в двофазній області отримані значення ізохорної теплоємності на лінії насичення, теплоємності уздовж пограничної кривої, ізобарної теплоємності на лінії насичення, ентальпії і ентропії для чистих компонентів і розчинів.

Дані про теплоємність уздовж лінії кипіння на всіх концентраціях описані рівняннями виду:

$$Y_1 = A(x_R) + B(x_R) \cdot \left(\frac{T}{100}\right) + C(x_R) \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^3, \quad (5)$$

$$Y_2 = D(x_R) + E(x_R) \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^3 + F(x_R) \cdot \ln\left(\frac{T}{100}\right) \cdot \sqrt{\frac{T}{100}}, \quad (6)$$

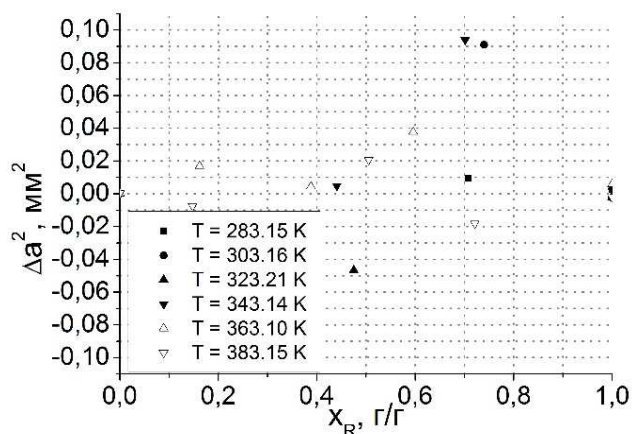


Рисунок 9 – Відхилення експериментальних даних по капілярній постійній розчинів DME / TEG від розрахованих за рівнянням (4)

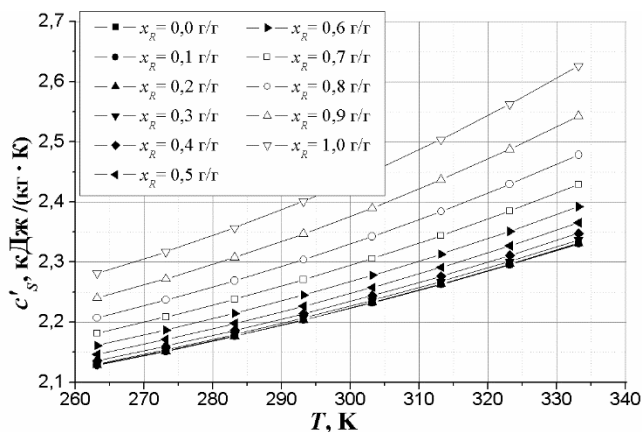


Рисунок 10 – Температурна залежність теплоємності уздовж пограничної кривої розчинів DME/TEG

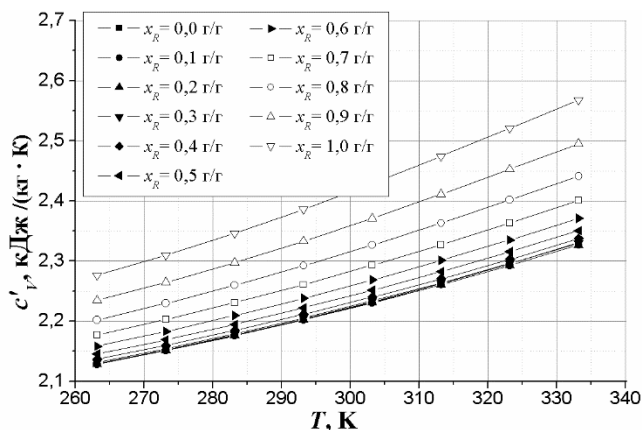


Рисунок 12 – Температурна залежність ізохорної теплоємності на лінії кипіння розчинів DME/TEG

де Y_1 - питома теплоємність уздовж лінії кипіння $c'_{s'}$ або питома ізобарна теплоємність на лінії кипіння $c'_{p'}$ в кДж/(кг·К); Y_2 - ентальпія h' в кДж/кг або ентропія s' в кДж/(кг·К); A, B, C, D, E і F – індивідуальні коефіцієнти залежать від масової концентрації DME в розчині; x_R – масова концентрація DME в розчині в кг/кг.

Температурні і концентраційні залежності калоричних властивостей на лінії кипіння для розчинів DME / TEG на рисунках 10-19.

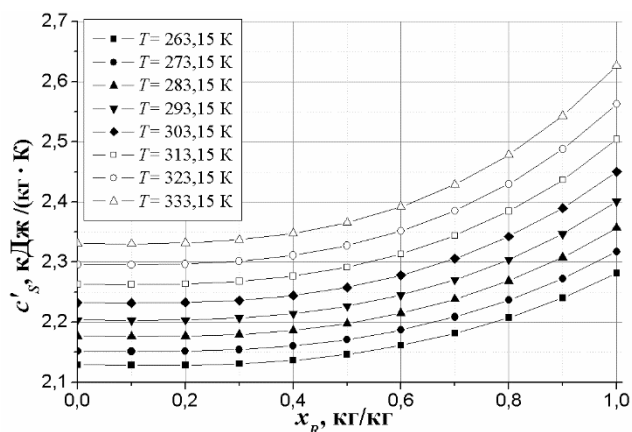


Рисунок 11 – Концентраційна залежність теплоємності уздовж пограничної кривої розчинів DME/TEG

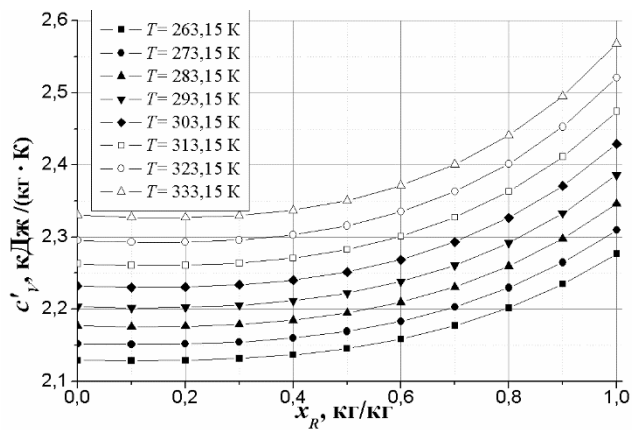


Рисунок 13 – Концентраційна залежність ізохорної теплоємності на лінії кипіння розчинів DME/TEG

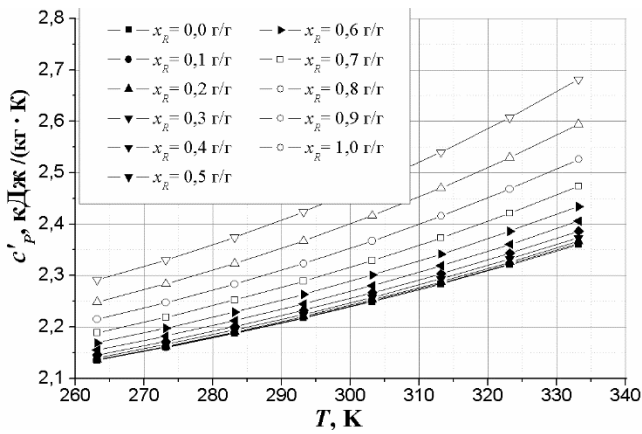


Рисунок 14 – Температурна залежність ізобарної теплоємності на лінії кипіння розчинів DME/TEG

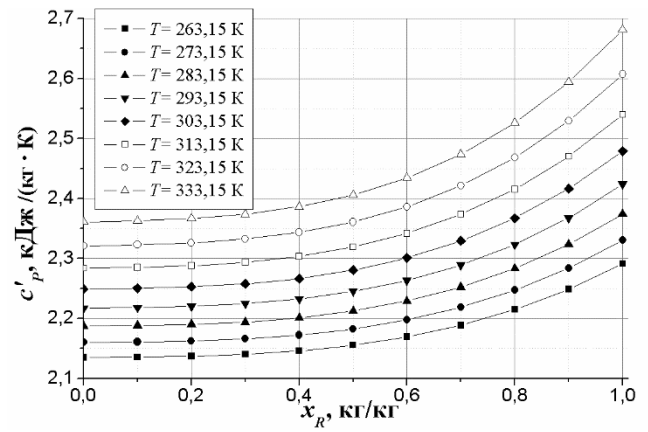


Рисунок 15 – Концентраційна залежність ізобарної теплоємності на лінії кипіння розчинів DME/TEG

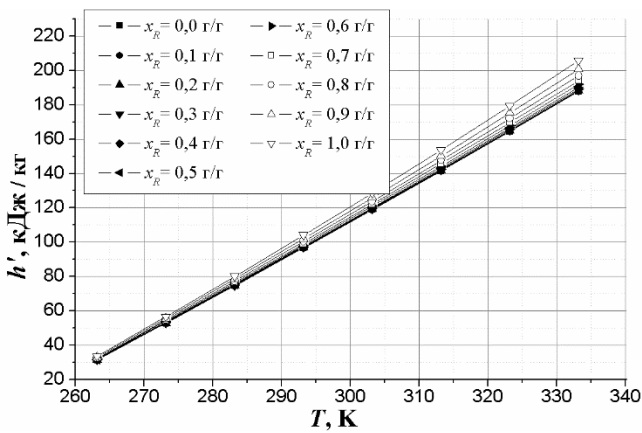


Рисунок 16 – Температурна залежність ентальпії на лінії кипіння розчинів DME/TEG

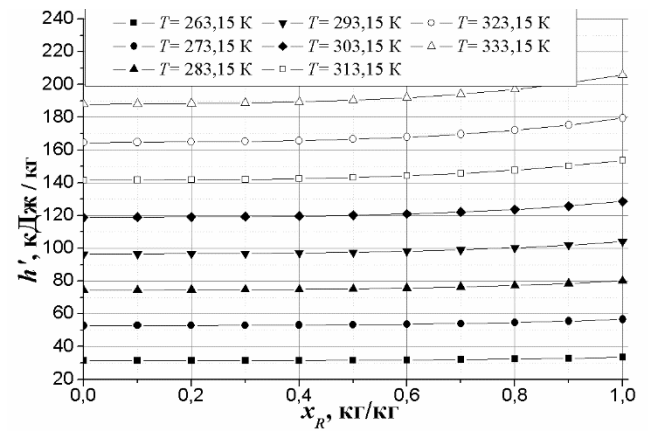


Рисунок 17 – Концентраційна залежність ентальпії на лінії кипіння розчинів DME/TEG

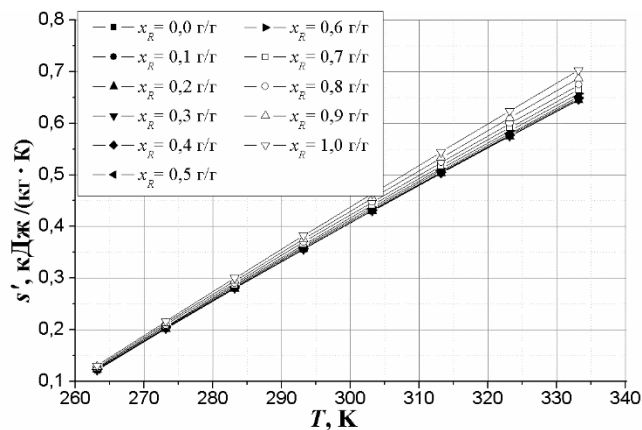


Рисунок 18 – Температурна залежність ентропії на лінії кипіння розчинів DME/TEG

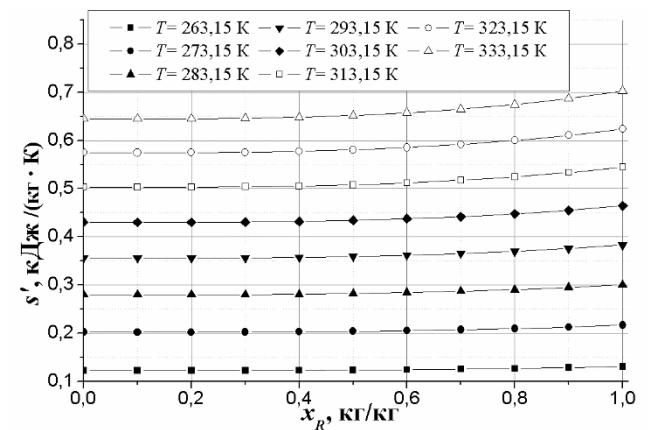


Рисунок 19 – Концентраційна залежність ентропії на лінії кипіння розчинів DME/TEG

Четвертий розділ присвячений опису методу прогнозування поверхневого натягу чистих речовин і розчинів холодоагент / мастило з використанням інформації про тиск насичених парів.

Залежність ефективної концентрації поверхневого шару w_R від концентрації

об'ємної фази РХМ x_R при різних температурах демонструє рисунок 20.

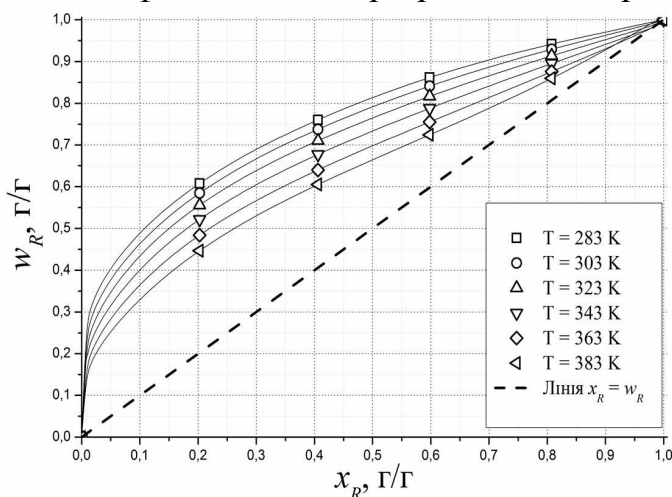


Рисунок 20 – Залежність ефективної концентрації поверхневого шару (w_R) від концентрації рідкої фази (x_R) розчинів DME / TEG при різних температурах

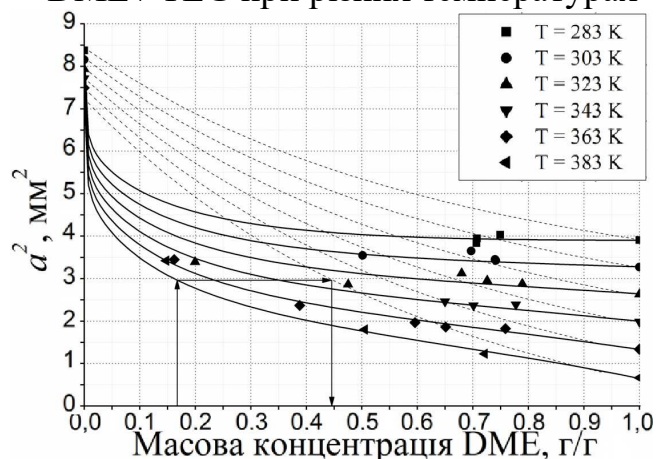


Рисунок 21 – Концентраційна залежність капілярної постійної розчинів DME / TEG при різних температурах

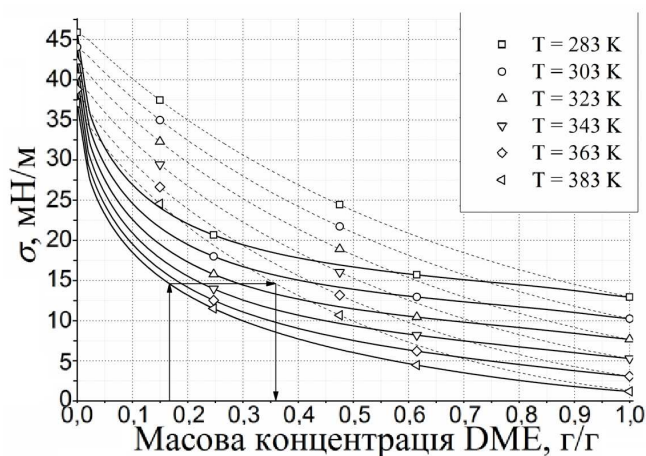


Рисунок 23 – Концентраційна залежність поверхневого натягу розчинів DME / TEG при різних температурах

Аналіз наведених залежностей вказує, що різниця в концентраціях поверхневого шару і об'ємної фази може досягати 30% при температурах 280 ... 320 К. При збільшенні температури ця різниця зменшується, що узгоджується з результатами дослідження адсорбції холодоагенту на поверхні рідкої фази РХМ. Результати виконаної корекції експериментальних даних для тиску насичених парів, капілярної постійної і поверхневого натягу розчинів DME / TEG демонструють рисунки 21-23.

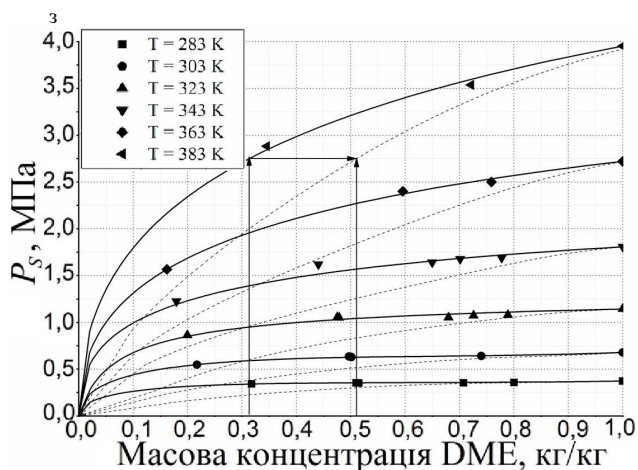


Рисунок 22 – Концентраційна залежність тиску насичених парів розчинів DME / TEG при різних температурах

На рисунках 21 – 23 введено такі позначення:

———— розраховані значення відповідної теплофізичної властивості розчинів DME / TEG, віднесені до концентрації рідкої фази

----- розраховані значення відповідної теплофізичної властивості розчинів DME / TEG, віднесені до ефективної концентрації поверхневого шару

У даній роботі дослідження функціональної залежності між поверхневим натягом і тиском насичених парів холодоагентів і РХМ проведено для наступних приведених параметрів

$$\varphi(t) = \frac{\sigma(t)}{\sigma_{nb}}, \quad \pi(t) = \ln\left(\frac{P_c}{P_s(t)}\right), \quad (7)$$

де φ , π , t – приведені поверхневий натяг, тиск насиченої пари і температура, відповідно; σ_{nb} – поверхневий натяг насиченої рідини при температурі нормального кипіння; P_c – критичний тиск речовини.

Для апроксимації залежностей $\varphi(t) = f\{\pi(t)\}$ для чистих холодоагентів було використано рівняння виду

$$\varphi(t) = A_\varphi \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{C_\varphi} \cdot \ln\left\{\frac{\pi(t)}{B_\varphi}\right\}\right]^2\right) \cdot K, \quad (8)$$

де A_φ , B_φ , C_φ – універсальні для різних речовин коефіцієнти рівняння, які приймають такі значення: $A_\varphi = 3,6105$, $B_\varphi = 88,46$, $C_\varphi = 1,9811$; K – коефіцієнт запропонованої моделі, який враховує індивідуальні властивості речовин.

Для розрахунку коефіцієнта K в даній роботі запропонована наступна універсальна для різних речовин залежність

$$K = A + B \cdot \left(\frac{Mr}{Mr_0}\right) + C \cdot \exp\left\{\frac{Mr}{Mr_0}\right\}, \quad (9)$$

де A , B , C – коефіцієнти, які мають значення: $A = 1,03395465$, $B = -0,04138098$, $C = 0,015051832$; Mr – коефіцієнт Морачевського*, значення якого розраховувалося за формулою (10); Mr_0 – коефіцієнт Морачевського для базової речовини, в якості якої був прийнятий холодоагент R134a – $Mr_0 = 0,031685$.

$$Mr = 0,1 \cdot \ln(T_{nb}) - 0,122 \cdot \ln(V_{nb}^{жк}) + 0,006, \quad (10)$$

де T_{nb} , $V_{nb}^{жк}$ – температура і об'єм насиченої рідини, при температурі нормального кипіння.

Відхилення наведених в базі даних по поверхневому натягу холодоагентів від розрахованих за запропонованою моделлю показані на рисунку 24.

Аналізуючи наведену на рисунку 24 інформацію, можна констатувати, що відхилення розрахованих значень поверхневого натягу для різних речовин сумірні із точністю вихідної інформації.

* Морачевский А.Г. Физико-химические свойства молекулярных неорганических соединений / А.Г. Морачевский, И.Б. Сладков. – Л.: Химия, 1987. – 187 с.

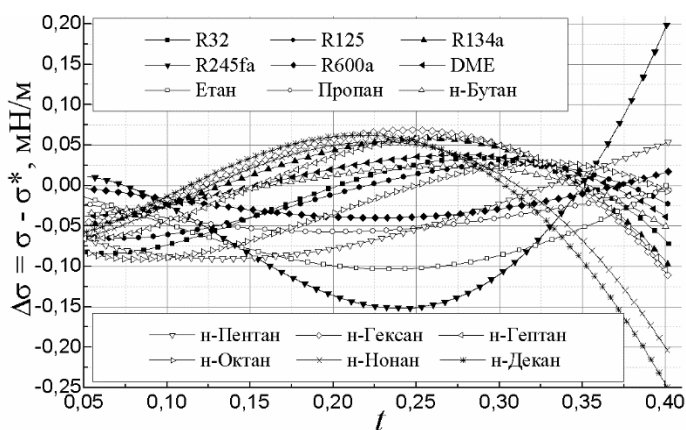


Рисунок 24 – Відхилення розрахованих за запропонованою моделлю значень поверхневого натягу від літературних* даних для різних речовин

Останнім часом можна відзначити зростаючий інтерес до вивчення перспектив використання нанофлюїдів як робочих рідини холодильного обладнання (розчин холодоагент / компресорне мастило / наночастинки) і в якості теплоносіїв (теплоносії, що містять наночастинки). Тому експериментальне дослідження і прогнозування теплофізичних властивостей нанофлюїдів, перспективних для охолодження, є актуальною проблемою.

Об'єктами дослідження були два нанофлюїда: ізопропанол / наночастинки Al_2O_3 і розчин фулеренів C_{60} у о-Ксилолі.

Залежності тиску насиченої пари від поверхневого натягу при різній масовій частці наночастинок Al_2O_3 і фулеренів C_{60} для досліджуваних нанофлюїдів демонструють рисунки 25, 26.

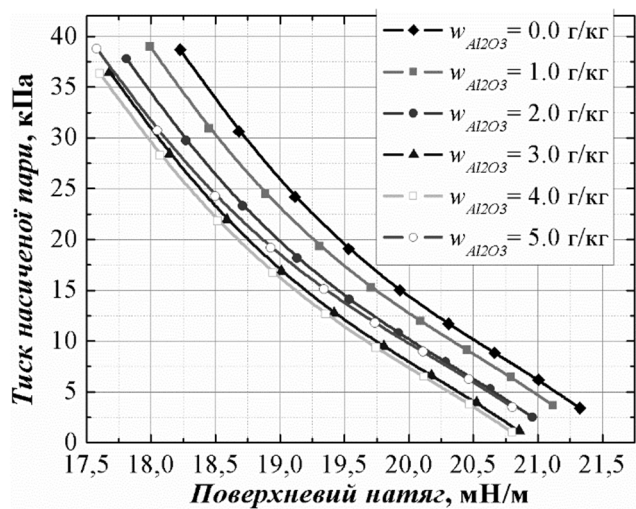


Рисунок 25 - Залежність тиску насичених парів від поверхневого натягу при різній масовій частці наночастинок Al_2O_3 для нанофлюїду ізопропанол / Al_2O_3

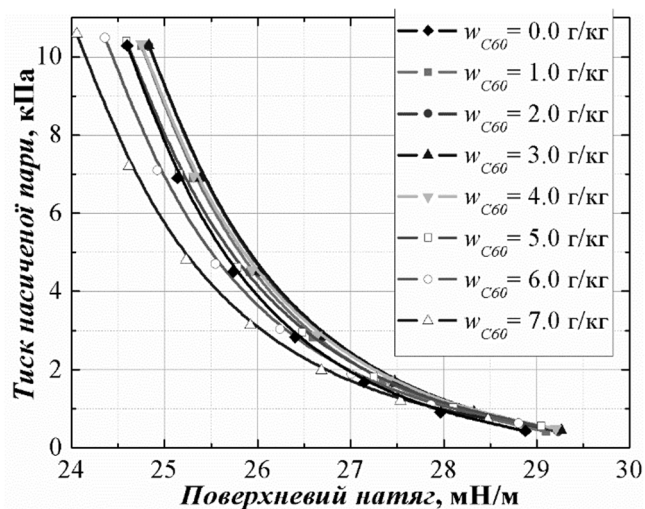


Рисунок 26 - Залежність тиску насичених парів від поверхневого натягу при різній масовій частці фулеренів C_{60} для нанофлюїду о-Ксилол / фулерен C_{60}

Слід зазначити, що число можливих методичних помилок при вимірі тиску насичених парів нанофлюїдів значно нижчий, ніж при вимірах поверхневого натягу. Тому встановлення зв'язку між поверхневим натягом і тиском насичених парів нанофлюїдів представляє науковий і практичний інтерес.

* McLinden, M. O., Klein, S. A., Lemmon, E. W. and Peskin, A. P. G., 2003, NIST Standard Reference Database 23, NIST Thermodynamic Properties of Refrigerants and Refrigerants Mixtures Database (REFPROP), Version 7.1 (Gaithersburg: National Institute of Standard and Technology)

Аналіз отриманих експериментальних даних показує, що для об'єктів дослідження в усіх діапазонах масових часток наночастинок існує зв'язок між тиском насиченої пари і поверхневим натягом.

Як було зазначено вище, основною метою цієї роботи була адаптація запропонованої методики прогнозування поверхневого натягу для чистих речовин стосовно розчинів холодоагентів у мастилах. Рішення цього завдання можливе лише в рамках використання трифазної моделі РХМ і віднесення отриманих експериментальних даних до концентрації поверхневого шару.

Дослідження функціональної залежності між поверхневим натягом і тиском насичених парів РХМ проведено для наступних приведених параметрів

$$\varphi(w_R, t) = \frac{\sigma(w_R, t)}{\sigma_{nb}(w_R)}, \quad \pi(w_R, t) = \ln \left(\frac{\overline{P}_C(w_R)}{P_S(w_R, t)} \right), \quad (11)$$

де φ , π – приведені поверхневий натяг і тиск насиченої пари РХМ, відповідно; σ_{nb} – поверхневий натяг насиченої рідини при температурі нормального кипіння; $\overline{P}_C$ – псевдокритичний тиск РХМ.

Для опису температурної залежності даних по поверхневому натягу і тиску насиченої пари РХМ (при $w_R = const$) були використані рівняння розширеного скейлінгу*.

Для апроксимації залежностей $\varphi(w_R, t) = f\{\pi(w_R, t)\}$ для розчинів холодоагент / мастило було запропоновано рівняння виду

$$\varphi(w_R, t) = A_\varphi \cdot [1 + \delta \overline{P}_C(w_R)] \cdot K(w_R) \times \exp \left(-\frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{C_\varphi} \cdot \ln \left\{ \frac{\pi(w_R, t)}{B_\varphi} \right\} \right]^2 \right), \quad (12)$$

в якому коефіцієнти A_φ , B_φ , C_φ мають ті ж значення, що і в рівнянні (8); $\delta \overline{P}_C$ – надлишкова функція, універсальна для різних РХМ, яка може бути розрахована за наступним рівнянням

$$\delta \overline{P}_C(w_R) = \frac{\overline{P}_C(w_R) - \overline{P}_C^0(w_R)}{\overline{P}_C^0(w_R)}, \quad (13)$$

де $\overline{P}_C^0$ – псевдокритичний тиск РХМ, який визначається по адитивності через молярні концентрації холодоагенту в поверхневому шарі; $\overline{P}_C$ – псевдокритичний тиск РХМ.

Для розрахунку коефіцієнта K в рівнянні (12) запропонована наступна універсальна для різних речовин залежність

* Medvedev O.O., Zhelezny P.V., Zhelezny V.P. Prediction of phase equilibria and thermodynamic properties of refrigerant/oil solutions // Fluid Phase Equil. – 2004. – № 215. – P. 29-38.

$$K(w_R) = A(w_R) + B \cdot \left[\frac{Mr(w_R)}{Mr_0} \right], \quad (14)$$

де Mr – коефіцієнт Морачевського, який визначається за формулою (10) при заданій концентрації холодоагенту в поверхневому шарі w_R ; значення B і Mr_0 відповідають моделі для чистих речовин (9); A – коефіцієнт рівняння, який може бути розрахований за рівняннями (15), (16):

$$\gamma(w_R) = \frac{Mr(w_R=1) - Mr(w_R)}{Mr_0}, \quad (15)$$

$$A(w_R) = \frac{a + c \cdot \gamma(w_R)}{1 + b \cdot \gamma(w_R)}. \quad (16)$$

В результаті аналізу опублікованих даних по поверхневому натягу різних РХМ отримані наступні значення коефіцієнтів рівняння (16): $a = 1,051735376$, $b = 0,869939062$, $c = -0,30919157$.

П'ятий розділ присвячений оцінці впливу домішок мастила на показники ефективності компресорної системи.

Розрахунки характеристик компресорної системи з прямоточним випарником проведені при параметрах, характерних для режиму роботи побутової холодильної машини: температура конденсації – $T_K = 303$ К, температура початку кипіння – $T_0 = 258$ К. Дані параметри були обрані таким чином, щоб результати розрахунку, в подальшому, можна було порівняти з результатами виконаних експериментальних досліджень. Гідравлічні втрати тиску в теплообмінних апаратах у виконаних розрахунках не враховувалися.

Процес кипіння холодоагенту в прямоточному випарнику чутливий до присутності домішок мастила з кількох причин. Перш за все, тому, що склад рідкої фази РХМ при кипінні у випарнику змінюється в широких межах (особливо у випарнику проточного типу).

Температура в кожній точці випарника буде визначатися тиском на всмоктуючому патрубку компресора (якщо знехтувати гідравлічними втратами) і складом киплячого РХМ, який суттєво відрізняється від концентрації робочого тіла, що надходить з конденсатора c_g . У міру кипіння робочого тіла у випарнику (збільшення ступеня сухості парорідинної суміші) концентрація мастила у рідкій фазі РХМ буде зростати, що сприяє зниженню як інтенсивності теплообмінних процесів, так і ефективності обладнання в цілому. Виконане дослідження показує, що внаслідок цього середня концентрація мастила у проточному випарнику збільшується до 8 - 16 %.

Кількість недовипарившогося з РРТ холодоагенту – Δm_r у міру просування по прямоточному випарнику зменшується за лінійним законом, а концентрація мастила – w_{oil} в залишкової рідкій фазі зростає за законом гіперболи. Всі наведені нижче результати отримані при розрахунку циклів при переохолодженні РРТ після

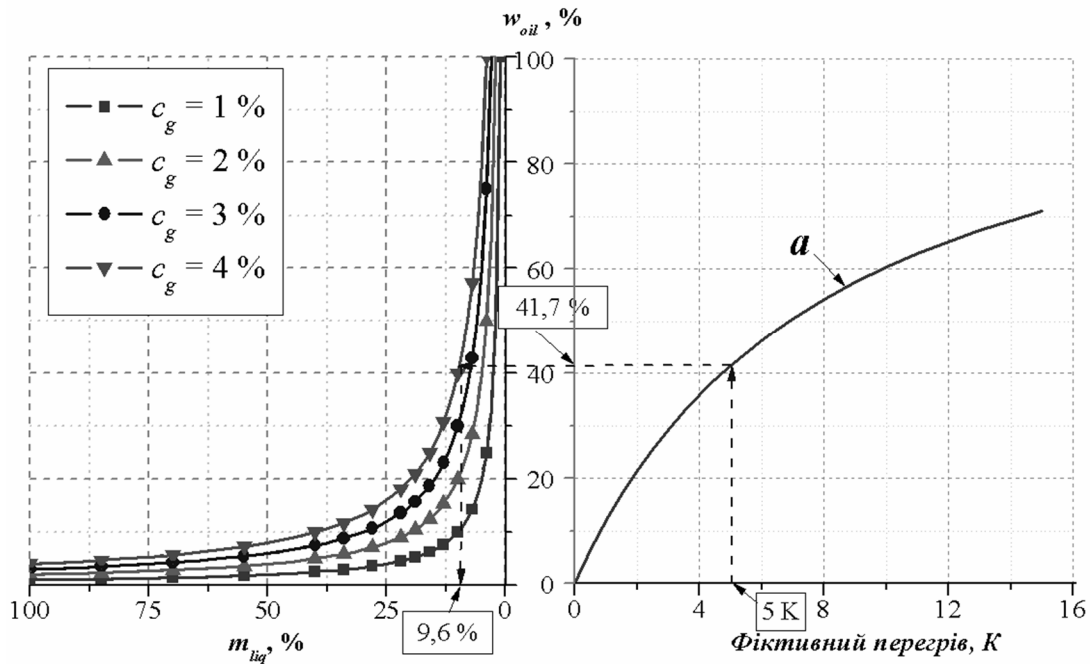


Рисунок 27 – Змінення кількості залишкової рідини у випарнику – m_{liq} і концентрації мастила в залишковій рідині – w_{oil} у прямоточному випарнику

конденсатора на 5 К. Таким чином, склад – w_{oil} і маса рідкої фази РХМ – m_{liq} в різних точках випарника залежить як від концентрації c_g , так і від величини фіктивного перегріву. Особливо швидко зростання концентрації мастила в залишковій рідині відбувається при високих ступенях сухості РРТ у випарнику. Таким чином, позитивна різниця між температурою кипіння РХМ і чистого агента створює фіктивний перегрів, який повинен враховуватися при налаштуванні терморегулюючого вентиля, оскільки місце установки термочутливого датчика визначає масу залишкової рідини – m_{liq} і її концентрацію.

Також в даному розділі проводиться порівняння розрахованих показників ефективності компресорної системи, що працює на декількох робочих тілах. Результати дослідження наведені на рисунках 28 - 31.

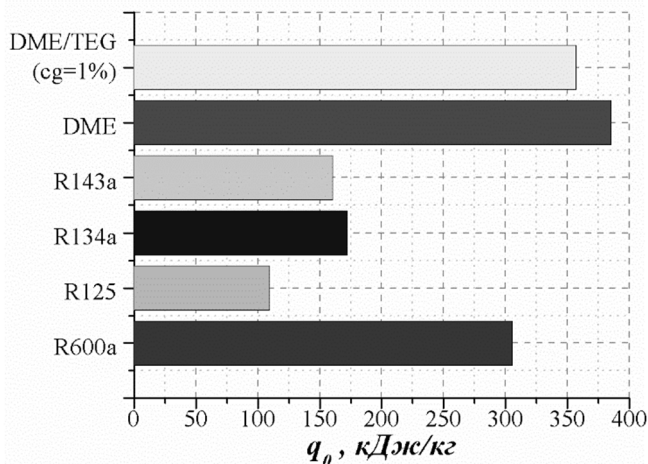


Рисунок 28 – Порівняння питомої холодопродуктивності компресорної системи, що працює на різних робочих тілах

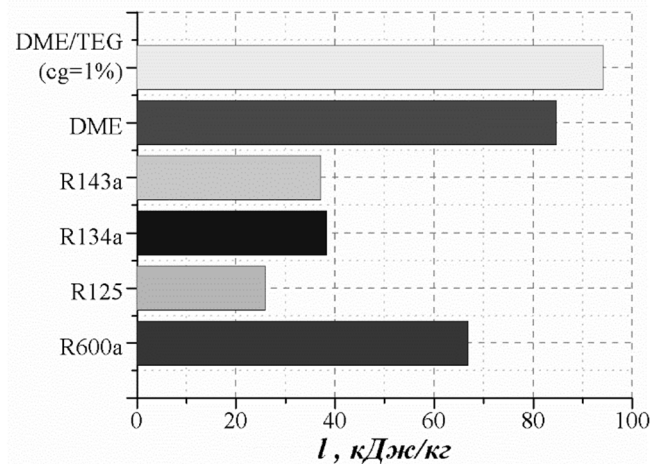


Рисунок 29 – Порівняння питомої роботи стиснення компресорної системи, що працює на різних робочих тілах

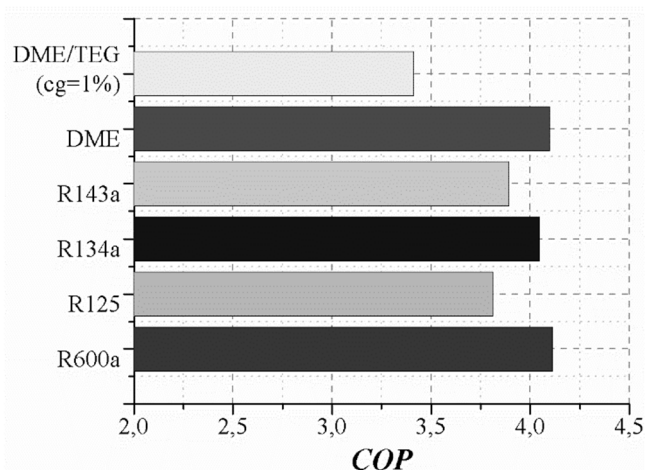


Рисунок 30 – Порівняння холодильного коефіцієнта компресорної системи, що працює на різних робочих тілах

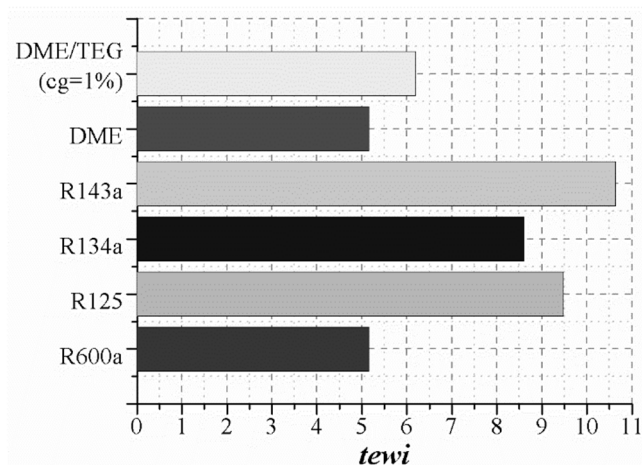


Рисунок 31 – Порівняння питомого значення повного коефіцієнту глобального потепління компресорної системи, що працює на різних робочих тілах

Показники еколого-енергетичної ефективності компресорної системи, в якій використовується холодоагент DME за рахунок впливу домішок компресорного мастила змінюються на 15-17%. Цю обставину необхідно враховувати при оцінці перспектив застосування альтернативних холодоагентів в новому поколінні холодильного обладнання.

ВИСНОВКИ І РЕЗУЛЬТАТИ

У дисертації отримані експериментальні дані по термодинамічним властивостям розчинів холодоагенту RE-170 (DME) у модельному мастилі TEG. Велика частина результатів вимірювань отримана вперше, при цьому використані незалежні методи дослідження, що підвищує достовірність експериментальних даних. На підставі отриманих експериментальних даних розроблено методи моделювання термодинамічних властивостей розчинів холодоагент / мастило, вивчено вплив домішок компресорного мастила на термодинамічні властивості холодоагенту DME та показники еколого-енергетичної ефективності компресорної системи, розроблені таблиці довідкових даних по термодинамічних властивостях розчинів DME / TEG.

За результатами проведеного дослідження можна сформулювати наступні висновки:

1. На підставі проведеного експериментально-розрахункового дослідження розроблені таблиці довідкових даних по термодинамічним (включаючи ентальпію і ентропію) властивостям розчинів DME / TEG. Розроблено рекомендації щодо розрахунку термодинамічних властивостей розчинів DME / TEG.

2. Вивчено вплив модельного компресорного мастила TEG на ентальпію і ентропію холодоагенту DME. Показано, що домішки компресорного мастила в значній мірі впливають на термодинамічні властивості PPT. Основні відхилення властивостей чистого холодоагенту від властивостей PXM ($c_g = 4\%$) спостерігаються

на виході з випарника при температурі 258 К: для ентальпії 46 кДж/кг; ентропії 0.17 кДж/(кг·К).

3. Показано, що для розчинів холодоагент / мастило, компонентами якого є холодоагенти і компресорні мастила на вуглеводневій основі, ентальпія і ентропія РРТ можуть в технологічних додатках розраховуватися за правилами адитивності.

4. На підставі проведених досліджень показано, що для моделювання тиску насиченої пари і поверхневого натягу РХМ необхідно враховувати те, що склад поверхневого шару має більшу концентрацію холодоагенту ніж в рідкій фазі. У дисертації запропонована нова методика прогнозування поверхневого натягу холодоагентів і розчинів холодоагент / мастило з використанням інформації про тиск насичених парів.

5. Виходячи з аналізу надлишкових термодинамічних функцій калоричних властивостей розчинів DME / TEG можна прийти до висновку про те, що при аналізі параметрів ефективності компресорної системи, в якій використовуються альтернативні холодоагенти, необхідно мати інформацію не тільки для чистих холодоагентів, але і калоричні властивості розчинів холодоагент /мастило.

6. Виконане дослідження показує, що при температурах кипіння $T_0 = 258$ К, конденсації $T_K = 303$ К, при заданому фіктивному перегріві 6-7 К відносний внесок домішок мастила в зміну роботи стиснення складає близько 11%, питомої холодопродуктивності - 2,2%, холодильного коефіцієнта - 6-9% на 1% концентрації змастила у холодоагенті перед дросельним пристроєм. Показники еколого-енергетичної ефективності компресорної системи, в якій використовується холодоагент DME, за рахунок впливу домішок компресорного мастила змінюються на 15-17%. Цю обставину необхідно враховувати при оцінці перспектив застосування альтернативних холодоагентів у новому поколінні холодильного обладнання.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Семенюк Ю.В., Лозовский Т.Л., Ивченко Д.А., Железный В.П. Методические аспекты исследования теплофизических свойств растворов хладагент/масло // Наукові праці ОНАХТ. – 2009. – Вып. 35. С. 130-136.

Особистий внесок: Участь в аналізі особливостей методів дослідження властивостей РХМ.

2. Лозовский Т.Л., Семенюк Ю.В., Ивченко Д. А., Приходченко Н. А., Железный В.П. Поверхностное натяжение смесевых хладагентов и растворов хладагент/масло. Эксперимент, методы прогнозирования. Часть 3: Поверхностное натяжение растворов хладагент/масло // Холодильная техника і технологія. – 2009, №6. – С. 38–46.

Особистий внесок: виконання розрахунків, підготовка матеріалів до публікації.

3. Ивченко, Д.А., Семенюк Ю.В., Железный В.П. Экспериментальное исследование термодинамических свойств растворов диметилового эфира (DME) в триэтиленгликоле (TEG) // Холодильная техника и технология. – 2011. – №4 (132). – С. 25-30

Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, обробка експериментальних даних, підготовка матеріалів до публікації.

4. Семенюк Ю.В., Железний В.П., Івченко Д.О., Геллер В.З. Розчини холодоагент/компресорне мастило: проблеми застосування та дослідження властивостей // Холодильна техніка та технологія. – 2013. – № 5 (145) – с.28-34

Особистий внесок: виконання розрахунків по запропонованим моделям і аналіз результатів, підготовка презентації.

5. Zhelezny V., Sechenyh V., Ivchenko D., Semenyuk Yu. Prediction of the surface tension for refrigerants and refrigerant-oil solutions (ROS) // International Journal of Refrigeration. – 2014. – Vol. 40. – P. 241-245. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.12.003>

Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, обробка експериментальних даних, підготовка матеріалів до публікації.

6. Івченко, Д.А., Железний, В.П., Мотовой, И.В., Шестопалов, К.А.. Экспериментальное исследование теплоемкости растворов диметилового эфира в триэтиленгликоле // Холодильная техника и технология. – 2016. – 52(6), 48-53. <https://doi.org/10.15673/ret.v52i6.475>

Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, обробка експериментальних даних, підготовка матеріалів до публікації.

7. Івченко, Д.О., Мотовий, І.В., Хлієва, О.Я., Железний, В.П. Экспериментальное исследование калорических свойств растворов диметилового эфира (DME) в триэтиленгликоля (TEG) // Холодильная техника и технология. – 2018. – 54(5), 68-76. <https://doi.org/10.15673/ret.v54i5.1268>

Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, обробка експериментальних даних, підготовка матеріалів до публікації.

8. Khliyeva, O.Y., Ivchenko, D.A., Khanchych, K.Y., Motovoy, I.V., Zhelezny, V.P. Взаємозв'язок між поверхневим натягом та тиском насичених парів для модельних нанофлюїдів // Холодильная техника и технология. – 2019. – 55(1), 40-46. <https://doi.org/10.15673/ret.v55i1.1352>

Особистий внесок: обробка експериментальних даних, підготовка матеріалів до публікації.

9. Zhelezny, V. Thermodynamic properties of isobutane/mineral compressor oil and isobutane/mineral compressor oil/fullerenes C60 solutions / V. Zhelezny et al. // International Journal of Refrigeration. – 2019. – Vol.106. – P. 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.06.011>

Особистий внесок: обробка експериментальних даних, підготовка матеріалів до публікації.

Публікації апробаційного характеру

10. Железний В.П., Семенюк Ю.В., Лозовский Т.Л., Івченко Д.А. Обобщение результатов выполненных исследований теплофизических свойств растворов хладагент/масло // Материалы IV Международной научно-технической конференции "Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке" Санкт – Петербург. 25-27 ноября 2009.- С.132-134.

11. Semenyuk YU., Zhelezny V., Ivchenko D., Geller V. Refrigerant/Lubricant Mixtures: Problems Of Application And Property Research // Proceedings of the 23rd IIR International Congress of Refrigeration, Prague, Czech Republic, August 21-26, 2011 - No.191.

12. Nikitin D., Zhelezny V., Prihodchenko N., Ivchenko D. Surface Tension, Viscosity, And Thermal Conductivity Of Nanolubricants And Vapor Pressure Of Refrigerant/Nanolubricant Mixtures // Proceedings of the 23rd IIR International Congress of Refrigeration, Prague, Czech Republic, August 21-26, 2011 - No.194.
13. Zhelezny V., Semenyuk YU., Lozovsky T., Ivchenko D. Application Of Scaling Principles For Prediction Of Pseudo-Critical Parameters Of Refrigerant / Oil Solutions // Proceedings of the 23rd IIR International Congress of Refrigeration, Prague, Czech Republic, August 21-26, 2011 - No.195.
14. Chen G., Zhelezny V., Shestopalov K., Motovoy I., Ivchenko D. Experimental study of liquid phase heat capacity of dimethyl ether and triethylene glycol solution. - Proc. 5th IIR International Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, Seoul, Republic of Korea - 23 - 26 April, 2017 - No.126. <https://doi.org/10.18462/iir.tptpr.2017.0126>
15. Zhelezny V., Motovoy I., Ivchenko D., Chen G., Shestopalov K. Caloric Properties of Dimethyl Ether and Triethylene Glycol Solutions // Proc. the 6th International Conference on Cryogenics and Refrigeration Shanghai, China, April 12-14, 2018 - No.258.
16. Zhelezny V., Faik A., Khliyeva O., Motovoy I., Ivchenko D., Grosu Y., Nikulin A. Caloric properties of R600a solutions in compressor oil containing fullerenes C60. Natural refrigerant solutions for warm climate countries: proc. the 13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants. Valencia, Spain. June 18 to 20, 2018 - No.1176. <https://doi.org/10.18462/iir.gl.2018.1176>.

АНОТАЦІЯ

Івченко Д.О. Термодинамічні властивості розчинів диметилового етеру у триетиленгліколі (експеримент, методи моделювання). – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Одеська національна академія харчових технологій МОН України, м. Одеса, 2019

Дисертація присвячена комплексному експериментально-розрахунковому вивченню термодинамічних властивостей систем, що моделюють властивості розчинів холодоагент / мастило (РХМ), включаючи: фазові рівноваги, густину рідкої фази, поверхневий натяг, теплоємність і ентальпію розчинів DME / TEG; створенню методик прогнозування поверхневого натягу галоїдопохідних холодоагентів, їх сумішей і РХМ; розрахунку псевдокритичних параметрів РХМ; дослідженню впливу домішок мастила на показники енергетичної ефективності компресорної системи.

Показано, що присутність домішок мастила в холодоагенті призводить до значного зниження холодопродуктивності і холодильного коефіцієнта, досліджено вплив концентрації мастила в холодоагенті перед дросельним пристроєм, а також величини перегріву робочого тіла у випарнику на показники енергетичної ефективності циклу. Показано, що підбір оптимального сорту мастила має не менше значення, ніж вибір альтернативного холодоагенту. Розроблено практичні рекомендації для забезпечення нормальної циркуляції домішок мастила в

холодоагенті DME по контуру холодильної системи.

Ключові слова: розчин холодоагенту з мастилом, експеримент, термодинамічні властивості, фазові рівноваги, методи прогнозування, поверхневий шар, псевдокритичні параметри, склад поверхневого шару, модельна система, показники ефективності.

ABSTRACT

Ivchenko D. Thermodynamic properties of the solutions of dimethyl ether in triethylene glycol (experiment, modeling methods). – Qualification scientific work as the manuscript.

Thesis for a degree of a candidate of technical sciences, specialty 05.14.06 – Technical Thermophysics and Industrial Thermal Power Engineering. – Odessa National Academy of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2019.

The thesis is devoted to a complex experimental and calculated studies of the thermodynamic properties for the systems that simulated the properties of the refrigerant / oil solutions (ROS) such us: phase equilibria, liquid phase , surface tension, heat capacity, and enthalpy of the DME / TEG solutions; creation of methods for predicting the surface tension of the halogenderivative refrigerants, their mixtures and ROS; calculating the pseudocritical parameters of the ROS; examination of effect of the oil admixtures on the energy efficiency of the compressor system.

To perform the goals stated in the thesis, an experimental setup created earlier was applied to carry out the comprehensive investigation of the thermodynamic properties for the refrigerant / oil solutions (ROS), including: phase equilibria, surface tension, density of DME / TEG solutions. In addition, the experimental setup was also created for experimental studies of the caloric properties for the refrigerant / oil solutions.

For the first time for the real working fluid DME / TEG, the theoretical analysis of effect of the oil admixtures in the refrigerant on performance of the refrigeration cycle have been examined. It was shown that the presence of oil admixtures in the refrigerant leads to significant decrease in the cooling capacity and COP; the effect of oil concentration in the refrigerant before the throttle device, as well as the overheating of the working fluid in the evaporator on the energy efficiency of the cycle have been investigated. It was demonstrated that selection of the optimal type of the oil is no less important than the choice of alternative refrigerant. Practical recommendations have been developed to ensure the normal circulation of oil admixtures in the DME refrigerant along the contour of the refrigeration system. Obtained results demonstrated that application of the regenerative heat exchanger in refrigeration equipment that use DME refrigerant significantly reduces the negative impact of the oil admixtures in the evaporator and increases the energy efficiency of the thermodynamic cycle for the compressor system.

Keywords: refrigerant / oil solutions, experiment, thermodynamic properties, phase equilibria, prediction methods, surface layer, pseudocritical parameters, composition of surface layer, model system, performance indicators.