



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
АСОЦІАЦІЯ ІНЖЕНЕРІВ ПО ВЕНТИЛЯЦІЇ, ОПАЛЕННЮ ТА
КОНДИЦІОНУВАННЮ «АВОК України»
СПІЛКА ХОЛОДИЛЬЩИКІВ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ**

**XI Всеукраїнська науково-технічна конференція
XI Всеукраинская научно-техническая конференция
XI International scientific conference**

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

21-22 вересня 2017 року

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ



ОДЕСА 2017

УДК 621.565 (075.6)

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XI Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2017. – 243 с.

У збірнику наведені матеріали XI Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та криогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

В сборнике представлены материалы XI Всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии» и рассмотрены различные аспекты научно-технических вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией холодильного оборудования различного назначения, исследованием рабочих тел и процессов в элементах холодильных и криогенных систем, применением нано и когенерационных технологий, использованием холода в пищевых технологиях, применением и внедрением нетрадиционных источников энергии.

Рекомендовано до видання Вченою Радою Одеської національної академії харчових технологій протоколом №6 від 07.11.2017 р.

Відповідальність за достовірність інформації несе автор публікації.
Матеріали публікуються мовою оригінала, наданого автором.

Голова конференції – Єгоров Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, член-кореспондент НААН України, Заслужений діяч науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

Заступник голови – Косой Борис Володимирович – директор Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, д-р техн. наук, професор.

Члени наукового комітету:

Хмельнюк М.Г. – зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор.

Лагутін А.Є – академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор.

Морозюк Л.І. – д-р техн. наук, професор.

Желізний В.П. – зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д-р техн. наук, професор.

Симоненко Ю.М. – зав. кафедрою криогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор.

Мілованов В.І. – зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор.

Радченко М.І. – зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор.

Бондаренко В.Л. – д-р техн. наук, професор.

Лавренченко Г.К. – д-р техн. наук, професор.

Семенюк В.О. – к.т.н., директор НВФ «Терміон».

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Буданов В.О., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Стоянов П.Ф., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Ерін В.А., к.т.н. Гайдук С.В., к.т.н. Соколовская В.В., к.т.н. Подмазко І.О., к.т.н. Федоров О.Г.

ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

1. 30 РОКІВ МОНРЕАЛЬСЬКОГО ПРОТОКОЛУ. СТРАТЕГІЇ В СФЕРІ ОБІГУ ОЗОНОРУЙНУЮЧИХ ХОЛОДОАГЕНТІВ

Возний В.Ф., к.т.н., президент ВГО «Спілка холодильщиків України»

2. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ І СПОЖИВАННІ РІДКІСНИХ ГАЗІВ

Бондаренко В.Л., доктор техн. наук, професор, МДТУ ім. М. Е. Баумана, м. Москва;

Биканов О.М., «KLA–Tencor Corporation», Milpitas, California, USA;

Симоненко Ю.М., доктор техн. наук, професор, ОНАПТ, м. Одеса

Чигрин А.А., інженер-технолог, ООО «Кріоін Інжиніринг», м. Одеса;

e-mail: ysim1@yandex.ua

3. ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ, ТЕПЛА И ХОЛОДА: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КАФЕДРЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И РЕФРИЖЕРАЦИИ НУК ИМ. АДМИРАЛА МАКАРОВА

Радченко Н.И. доктор техн. наук, професор, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев, nirad50@gmail.com

4. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Трушляков Е.И., к.т.н., доц., Радченко А.Н., к.т.н., доц., Грич А.В., к.т.н., ассистент

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев,

nirad50@gmail.com

5. СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ. СОЛНЕЧНЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АБСОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛО-ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

А.В. Дорошенко, доктор техн. наук, профессор кафедры термодинамики и возобновляемой энергетики

6. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВЫБОРЕ КОМПРЕССОРА. СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ВИНТОВОГО И ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРОВ

В. Гринько Региональный представитель J&E Hall и GEA BOCK/Генеральный директор ООО «Еврокул

**СЕКЦІЯ № 3. КОМПРЕСОРИ ТА ПНЕВМОАГРЕГАТИ
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ. РОБОЧІ РЕЧОВИНИ**

стр.

79.	МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	181
	С. А. Задорожний, С.Г. Потапов, А.В. Форсюк	
80.	ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОГО ТЕРМІЧНОГО ОПОРУ ТЕПЛОВІДДАЧІ БАГАТОШАРОВОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ СТІНКИ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ УМОВАХ	183
	С.А. Задорожний, С.Г. Потапов, А.В. Форсюк	
81.	ДИНАМІКА ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ГАЗІВ В МАЛОРУХОМОМУ ШАРІ ЗЕРНА	184
	Гапонюк І. І.	
82.	АНАЛІЗ ПРИРОДНИХ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ХОЛОДОАГЕНТІВ В ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИНАХ І КОМПРЕСОРАХ МАЛОЇ ХОЛОДОПРОДУКТИВНОСТІ	186
	В.І. Мілованов, А.В. Зажий	
83.	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ	188
	В.І. Мілованов, О.Л. Клебан	
84.	ЗАСТОСУВАННЯ SCHUKER-ДВИГУНА ДЛЯ КОНДИЦІОНУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	191
	Мілованова В.В	
85.	ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ВИНИКНЕННЯ ГІДРОУДАРІВ У ГІДРОСИСТЕМАХ	193
	Скалозубов В.І., Чулкін О.А, Пірковський Д.С.	
86.	ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	194
	Іщук В.І., Козлов Я.М.	
87.	СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРШНЕВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ	195
	Яковлев Ю.А., Дяченко И. А., Чербаджи С. В.	
88.	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИЛОВОЇ РЕГАЗИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ЗПГ	197
	Ярошенко В.М. к.т.н., Бабамірадов Максат,	
89.	УТИЛІЗАЦІЯ АВТОТРАКТОРНИХ ШИН НА ОСНОВІ ТУРБОХОЛОДИЛЬНОГО ЦИКЛУ	199
	Ярошенко В.М., Кусік О.	
90.	АНАЛІЗ ХОЛОДИЛЬНОГО ЦИКЛУ З РТО ПРОМІЖНОГО ТИСКУ	201
	Ярошенко В.М., Переход О.,	
91.	ВРАХУВАННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ ПРИ РОЗРАХУНКАХ ЗАПІЗНЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ХВИЛІ В ОГОРОДЖЕННІ	203
	Мирончук Ю. А	
92.	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА СОПЛА ДВУХПОТОЧНОЙ ВИХРЕВОЙ ТУРБИНЫ С ВНЕШНИМ ПЕРИФЕРИЙНЫМ КАНАЛОМ НА ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	206
	Ванев С.М., Д.В. Мирошниченко,	
93.	ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ПІД ДІЄЮ ВИСОКОГО ТИСКУ	208
	Потапов В.О., Гриценко О.Ю	
94.	ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО І НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГЕМОЛІЗУ ЕРИТРОЦИТІВ КРОВІ	210
	Євлаш В.В., Погожих М.І., Потапов В.О.	
95.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК НАНОЧАСТИНОК TiO_2 НА ВНУТРІШНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ КИПІННЯ ХОЛОДОАГЕНТУ R141B	213
	Хлієва О.Я., Гордейчук Т.В., Семенюк Ю.В.	
96.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛОВІДДАЧІ ПРИ КИПІННІ РОБОЧИХ ТІЛ R600A/КОМПРЕСОРНЕ МАСТИЛО ТА R600A/КОМПРЕСОРНЕ МАСТИЛО /ФУЛЕРЕНИ C_{60} У ТРУБІ	216
	Мороз С.О., Хлієва О.Я., Железний В.П.	
97.	МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОЄМНОСТІ НАНОФЛЮЇДІВ	219
	Железний В.П., Мотовий І.В.	
98.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК НАНОЧАСТИНОК TiO_2 НА В'ЯЗКІСТЬ І ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ ХОЛОДОАГЕНТУ R141B	222
	Гордейчук Т.В., Лук'янов М.М., Семенюк Ю.В.	

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОЄМНОСТІ НАНОФЛЮЇДІВ

Желєзний В.П., Мотовий І.В.

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, zheleznyv@gmail.com

У літературі є багато публікацій, присвячених вивченню різних теплофізичних і електрокінетичних властивостей нанofлюїдів [1]. Однак до сих пір опубліковано мало статей, присвячених вивченню впливу наночастинок на величину густини і теплоємності базових рідин. Хоча саме експериментальні дані про величину надлишкових функцій зазначених властивостей несуть цінну інформацію про структуру нанofлюїду і характер її зміни залежно від параметрів.

Запропоновані в літературі рівняння для розрахунку густини і теплоємності нанofлюїдів [2, 3], як правило, засновані на принципах адитивності. Причому адитивності в межах «газової» моделі, тобто з використанням об'ємних часток наночастинок у базовій рідині. Такий підхід до прогнозування теплофізичних властивостей нанofлюїдів навряд чи можна вважати термодинамічно обґрунтованими.

З урахуванням наведеного, метою проведеного дослідження була розробка методів прогнозування густини, теплоємності і теплоти плавлення нанofлюїдів. Як вихідна інформація використовувалися дані про густину і теплоємності модельного нанofлюїду, що складається з ізопропілового спирту і наночастинок оксиду алюмінію Al_2O_3 [4, 5].

Результати проведеного дослідження густини і теплоємності нанofлюїдів ізопропіловий спирт / наночастинок Al_2O_3 [4, 5] наведені на рисунках 1 і 2.

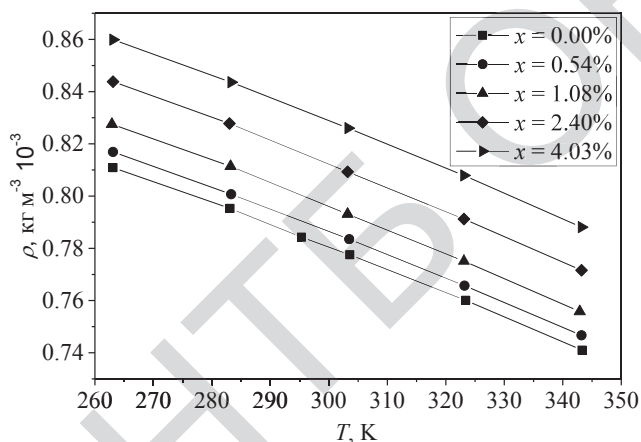


Рисунок 1. Температурні залежності густини розчинів ізопропанол / наночастинок Al_2O_3 [4]

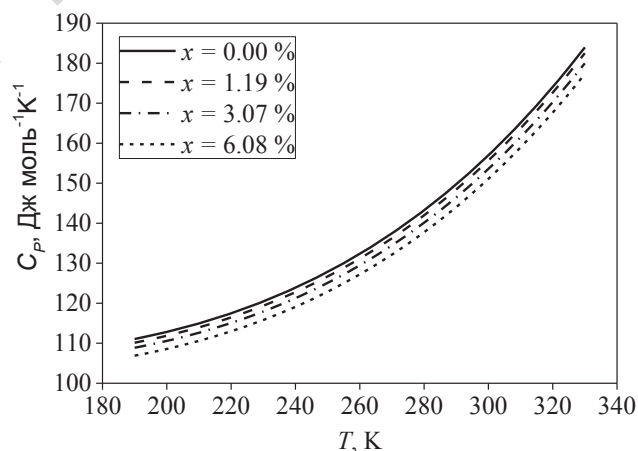


Рисунок 2. Температурна залежність ізобарної теплоємності розчинів ізопропанол / наночастинок Al_2O_3 [5]

З інформації, наведеної на рисунках 1 і 2, випливає, що присутність наночастинок в ізопропіловому спирті сприяє збільшенню густини і зменшенню ізобарної теплоємності.

Існує декілька факторів впливу наночастинок на густину і теплоємність ізопропілового спирту. По-перше, це наявність самих наночастинок, які мають більшу густину і меншу теплоємність, ніж базова рідина. Однак різниця у властивостях наночастинок Al_2O_3 і базової рідини не пояснює наявність надлишкових термодинамічних функцій (див. рівняння (1) і (2)).

$$\Delta V = V_{exp} - V_{add} = V_{exp} - [V_{np}x_{np} + V_{bf}(1 - x_{np})]; \quad (1)$$

$$C_P^{nf} = C_P^{np}x_{np} + C_P^{bf}(1 - x_{np}) + \Delta C_P, \quad (2)$$

де ΔV , ΔC_p – надлишкові значення мольних об'єму і теплоємності; V_{exp} – експериментальне значення мольного об'єму розчинів ізопропіловий спирт / наночастинки; V_{add} – молярний об'єм, розрахований по аддитивності; C_p^{nf} – теплоємність нанофлюїду; C_p^{np} – теплоємність матеріалу наночастинок; x_{np} – мольна частка матеріалу наночастинок у нанофлюїді; C_p^{bf} – теплоємність дисперсійного середовища (ізопропілового спирту) в нанофлюїді.

Основною причиною наявності надлишкових термодинамічних функцій є структурування базової рідини поблизу наночастинок в утвореному колоїдному розчині. Слід зазначити слабку залежність надлишкового мольного об'єму досліджуваних нанофлюїдів від температури, а також нелінійний характер залежності надлишкових функцій від концентрації наночастинок. Ці ефекти пояснюються залежністю об'ємів, густини і теплоємності структурованих фаз базової рідини поблизу наночастинок від термодинамічних параметрів. Оскільки будь-яке структурування рідкої фази призводить до зменшення теплоємності, надлишкова теплоємність має від'ємне значення.

З урахуванням наведеного, автори пропонують розглядати нанофлюїд як термодинамічну систему, яка складається з:

- *базової рідини* – дисперсійного середовища, теплофізичні властивості якої співпадають з властивостям чистої речовини при відповідних значеннях температури (шар 4 на рисунку 3);
- *наночастинок* – дисперсної фази (шар 1 на рисунку 3);
- *поверхневої адсорбційної фази* – шар адсорбованих на поверхні наночастинок молекули базової рідини, теплофізичні властивості якої відмінні від властивостей дисперсійного середовища. У першому наближенні густина і теплоємність цієї поверхневої адсорбційної фази можуть бути прийняті рівними властивостями дисперсійного середовища при температурі плавлення (шар 2 на рисунку 3);
- *дифузійного шару* – перехідного шару між базовою рідиною (рідка фаза) і адсорбційною фазою (шар 3 на рисунку 3).

В рамках викладеної моделі припустимо що, в умовах багатшарової адсорбції молекул базової рідини навколо наночастинок, міцели мають форму досить близьку сферичній. З урахуванням викладених положень «чотирифазна» модель прогнозування густини і теплоємності нанофлюїдів демонструє рисунок 3.

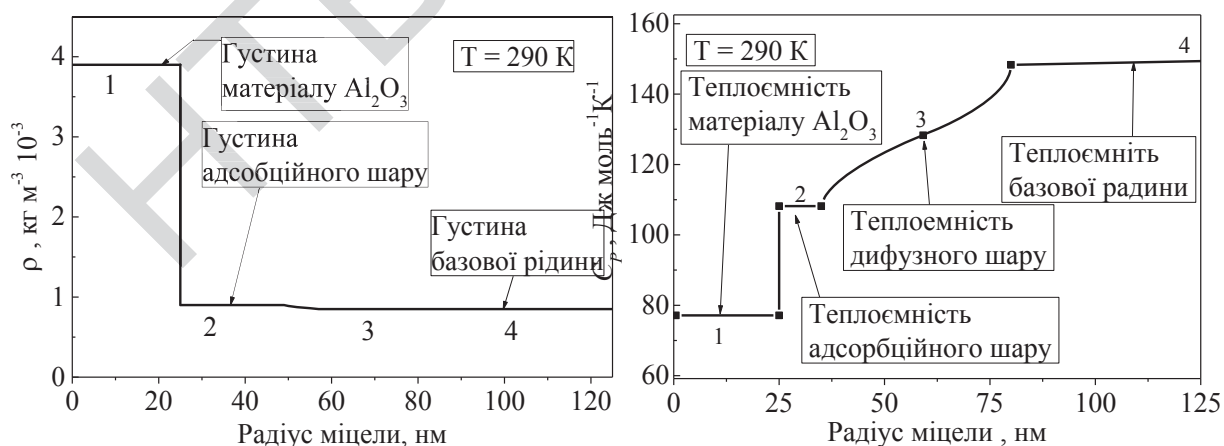


Рисунок 3. «Чотирифазна» модель прогнозування густини і теплоємності нанофлюїдів

Теплоємність ізопропілового спирту в дифузійному шарі в рамках пропонованої моделі прогнозування може бути розрахована як середнє значення між теплоємністю базової рідини при температурі плавлення і при заданій температурі нанофлюїду.

Запропонована «чотирифазна» модель нанофлюїду дозволяє визначити об'єм і концентрацію сорбційної та дифузійної фаз нанофлюїдів. Для вирішення цього завдання були використані дані про надлишкові термодинамічні функції ΔC_p і ΔV та інформація про середній розмір наночастинок.

На підставі проведеного дослідження можна сформулювати кілька висновків. По-перше, мольна частка молекул базової рідини, адсорбованих на поверхні наночастинок, інтенсивно зростає тільки при невеликих концентраціях наночастинок у базовій рідині (менше 0.02 мольної частки). Еквівалентний діаметр адсорбційного шару наночастинок Al_2O_3 в розчині з ізопропіловим спиртом істотно залежить від складу і незначно залежить від температури. По-друге, зі зростанням кінетичної енергії броунівського руху наночастинок при збільшенні температури відбувається руйнування дифузійного шару. Це призводить як до зменшення діаметра дифузійного шару, так і до зменшення його концентрації в нанофлюїді. Слід зауважити, що в міру підвищення температури швидкість зміни діаметрів адсорбційної фази і дифузійного шару зменшується. Найбільші діаметри адсорбційного і дифузійного шарів будуть спостерігатися поблизу температури плавлення нанофлюїдів. По-третє, дані про діаметр адсорбційного шару молекул базової рідини на наночастинок, які отримані при обробці інформації про густину нанофлюїдів ізопропанол / наночастинок Al_2O_3 , добре узгоджуються з даними вимірів методом динамічного розсіювання світла [4]. Інформація про діаметр дифузійного шару, отримана при обробці даних про теплоємність нанофлюїдів, задовільно узгоджується з даними, отриманими методом спектротурбідиметрії при невеликих концентраціях наночастинок в нанофлюїді.

Оскільки оптичні дослідження, як правило, проводяться тільки при температурі навколишнього середовища, запропонована методика прогнозування не дозволяє прогнозувати ізобарну теплоємність нанофлюїдів у широкому інтервалі параметрів стану. Для вирішення цього завдання автори пропонують використовувати методику прогнозування теплофізичних властивостей речовин на лінії кипіння, яка заснована на застосуванні основних принципів розширеного скейлінгу. Відповідно до цієї методики, теплоємність різних речовин на лінії кипіння може бути описана рівнянням виду

$$C_p = C_{p0} t^{(-\gamma\psi)} \quad (3)$$

де C_{p0} – коефіцієнт, значення якого залежить від термодинамічних властивостей речовини; γ – критичний показник, який для різних речовин має універсальне значення - $\gamma = 1.24$; $\psi(t)$ – універсальна кросверна функція зведеної температури – $t = 1 - T/\bar{T}_c$; $\bar{T}_c$ – критична температура.

Таким чином, у запропонованій кореляції (3) є два невідомих коефіцієнта: псевдокритична температура - $\bar{T}_c$ і коефіцієнт C_{p0} , значення яких залежать від концентрації наночастинок в нанофлюїді. Виконані дослідження показують, що наночастинок несуттєво впливають на значення псевдокритичної температури.

Значення єдиного невідомого коефіцієнта C_{p0} у рівнянні (3) для ізопропілового спирту можна визначити з отриманих експериментальних даних при температурі 293 К, або розрахувати в рамках «чотирифазної» моделі прогнозування. Результати проведеного аналізу показують, що розраховані за рівнянням (3) значення теплоємності відхиляються від отриманих експериментальних даних [5] не більше, ніж на 0.75%.

1. Murshed, S.M.S. Thermophysical and electrokinetic properties of nanofluids – A critical review / S.M.S. Murshed, K.C. Leong, C. Yang // Appl. Therm. Eng. – 2008. – Vol. 28, № 17-18 – P. 2109-2125.
2. Pak, B.C. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles / B.C. Pak, Y.I. Cho // Exp. Heat Transf. – 1998. – Vol. 11, № 2 – P. 151-170.
3. Xuan, Y. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids / Y. Xuan, W. Roetzel // Int. J. Heat Mass Transf. – 2000. – Vol. 43, № 19 – P. 3701-3707.
4. Research into the influence of Al_2O_3 nanoparticle admixtures on the magnitude of isopropanol molar volume / V.P. Zhelezny [et al.] // Eastern-European J. Enterpr. Technol. – 2017 – P. 33-38.
5. Влияние примесей наночастиц Al_2O_3 на теплоемкость изопропилового спирта / Т.Л. Лозовский [и др.] // Холодильная техника и технология. – 2016. – Vol. 52, № 1 – P. 70-79.