



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В.С. МАРТИНОВСЬКОГО**

ХІІ ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

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

27-28 вересня 2019 року

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ КОНФЕРЕНЦІЇ



ОДЕСА 2019

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2019. – 229 с.

У збірнику наведені матеріали XII 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 XII 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.

Голова наукового комітету – 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:

Ванєєв Сергій Михайлович - Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

Василенко Сергій Михайлович - Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор;

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

Лабай Володимир Йосипович - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

Лавренченко Г.К. - 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;

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

Потапов Володимир Олексійович - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

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

Семенюк В.А. - к.т.н., директор НПФ «Терміон»;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Снежкін Юрій Федорович - директор Інституту технічної теплофізики, д.т.н., академік НАНУ

Ткаченко Станіслав Йосипович - д.т.н., професор Вінницького національного технічного університету;

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

Щит Михайло Львович - к.т.н., пров. наук. спів. Інституту енергетики Академії Наук Молдови.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Жихарєва Н.В., к.т.н. Когут В.Є., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Подмазко О.С.

ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

110 РОКІВ ПРОФЕСОРУ ЧУКЛІНУ СЕРГІЮ ГРИГОРОВИЧУ (1909-1974)

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ КОМФОРТНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.И. Радченко, д.т.н., проф., Е.И. Трушляков, к.т.н., проф., А.Н. Радченко, к.т.н., доц.,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Кириченко И.В., технический директор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса;
Леонтьев А.А., главный конструктор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса.
e - mail: info@krioprom.com.ua

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Жихарева Н.В., к.т.н., доц., Одеська національна академія харчових технологій

14.	ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ У ХОЛОДИЛЬНИЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ	203
15.	ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НАНОЧАСТИЦ AL₂O₃ НА ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ ИЗОПРОПИЛОВОГО СПИРТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИРКУЛЯЦІЇ ДОМШОК	206
16.	КОМПРЕСОРНОГО МАСТИЛА В ХОЛОДОАГЕНТАХ R600A ТА R290 ПО КОНТУРУ ХОЛОДИЛЬНОЇ КОМПРЕСОРНОЇ СИСТЕМИ	209
17.	СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ О-КСИЛОЛА ПРИ НАЛИЧИИ ПРИМЕСЕЙ ФУЛЛЕРЕНА C₆₀	211
18.	ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ ФУЛЛЕРЕНОВ C₆₀ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕТРАЛИНА	214
19.	ВПЛИВ ДОМШОК МОДЕЛЬНОГО КОМПРЕСОРНОГО МАСТИЛА TEG В ХОЛОДОАГЕНТІ RE170 НА ПАРАМЕТРИ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПРЕСОРНОЇ СИСТЕМИ	217
20.	ПРИНЦИПИ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОФЛЮЇДІВ	220
	ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ	стр.
1.	АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	223
2.	ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ	227

ПРИНЦИПИ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОФЛЮЇДІВ

Хлісва О.Я., Желєзний В.П., Мотовой І.В.

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, khliyev@ukr.net

Питання прогнозування теплофізичних властивостей нанофлюїдів, які є перспективними в якості холодоносіїв та робочих тіл у холодильній галузі, на сьогодні не вирішено у повній мірі. Велика кількість опублікованих робіт [1, 2] свідчить про значний інтерес до експериментального вивчення теплофізичних властивостей цих перспективних технічно важливих речовин. Але водночас слід констатувати, що на сьогодні відсутні точні методи прогнозування цих властивостей. Тому, запропоноване дослідження, метою якого є розробка та апробація методів прогнозування питомої ізобарної теплоємності та в'язкості нанофлюїдів, є актуальним.

При розробці методів прогнозування нанофлюїдів автори спиралися на сучасні фізичні уявлення про внутрішню структуру нанофлюїдів. У зв'язку з цим, нанофлюїд запропоновано розглядати як термодинамічну систему, яка складається з наступних фаз:

- базової рідини – дисперсійної фази;
- наночастинок - дисперсної фази, теплофізичні властивості якої в першому наближенні відповідають властивостям матеріалу наночастинок;
- поверхневої фази (interfacial phase) - фази, яка складається з сорбованих на поверхні наночастинок молекул базової рідини та має структуру та теплофізичні властивості, які відрізняються від дисперсійної фази. Структура цієї фази по товщині не є однорідною, чітка границя між поверхневою фазою (поверхневим шаром) і базовою рідиною відсутня.

У подальшому для розробки методів прогнозування теплофізичних властивостей нанофлюїдів необхідна інформація о характеристиках поверхневої фази конкретного нанофлюїду. Інформація про властивості поверхневої фази та її концентрацію в нанофлюїді зазвичай відсутня. Ця обставина ускладнює розвиток фізично обґрунтованих моделей прогнозування теплофізичних властивостей нанофлюїдів. Для вирішення цієї проблеми авторами було запропоновано підхід до визначення концентрації поверхневої фази у конкретному нанофлюїді з використанням різної експериментальної інформації, отриманої при одній концентрації наночастинок у нанофлюїді, що досліджується.

За пропонуваним підходом інформацію з концентрації поверхневої фази в нанофлюїді можна отримати з використанням експериментальних даних про надлишкову питому ізобарну теплоємність (1), надлишковий мольний об'єм (густина) (2) та теплоту плавлення (3) певного нанофлюїду

$$\Delta c_{p,m} = x_{IPH} c_{p,mIPH} - c_{p,mBF} \quad , \quad (1)$$

де $c_{p,mIPH}$ й $c_{p,mBF}$ - мольна ізобарна теплоємність поверхневої фази та дисперсної фази (базової рідини), Дж·моль⁻¹·К⁻¹; x_{IPH} - мольна частка молекул базової рідини у поверхневій фазі, моль¹·моль⁻¹;

$$\Delta V = x_{IPH} (V_{IPH} - V_{BF}) \quad , \quad (2)$$

де $V_{IPH} = M_{BF} / \rho_{IPH}$ й $V_{BF} = M_{BF} / \rho_{BF}$ - мольний об'єм поверхневої та дисперсної фази, см³·моль⁻¹; M_{BF} - мольна маса базової рідини, г·моль⁻¹;

$$\Delta h_{NF} = \Delta h_{BF} (1 - w_{NP} - w_{IPH}) \quad , \quad (3)$$

де Δh_{NF} і Δh_{BF} - теплота плавлення нанофлюїду і базової рідини, відповідно, Дж·кг⁻¹; w_{NP} й w_{IPH} - масова частка наночастинок в нанофлюїді та молекул базової рідини в поверхневій фазі нанофлюїду, відповідно, кг·кг⁻¹.

Зі всіх розглянутих підходів до визначення концентрації молекул базової рідини у поверхневій фазі, на думку авторів, найбільш доцільним для реалізації на практиці є метод, оснований на вимірюванні густини нанофлюїду, як найбільш простий з точки зору апаратного оформлення та точний з точки зору невизначеності отриманих експериментальних даних.

З метою можливості застосування формул (1) – (3) для прогнозування теплофізичних властивостей нанофлюїдів були прийняті наступні припущення:

- наночастинки з поверхневим шаром мають сферичну форму і середній еквівалентний діаметр, який залежить від температури нанофлюїду;
- теплофізичні властивості поверхневої фази незмінні з температурою (в інтервалі від температури плавлення до температури при якій втрачається колоїдна стійкість нанофлюїду) та близькі до властивостей твердої фази базової рідини при температурі плавлення (це твердження збігається з ідеєю, запропонованою в [3], та підтверджується власними дослідженнями, у яких показано, що надлишкова теплоємність при температурі плавлення нанофлюїду є величиною, близькою до нуля [4]).

На основі отриманої інформації з величини концентрації поверхневої фази запропоновано методи визначення питомої ізобарної теплоємності та в'язкості нанофлюїдів – ур. (4)-(5). При розробці методу прогнозування в'язкості в якості базової була прийнята класична залежність Ейнштейна для в'язкості суспензій з урахуванням того факту, що у нанофлюїді в броунівському русі беруть участь наночастинки із сорбованими на їх поверхні молекулами базової рідини.

Питома ізобарна теплоємність нанофлюїду

$$C_{P,mNF} = C_{P,mBF} (1 - x_{NP} - x_{IPH}) + C_{P,mNP} \cdot x_{NP} + C_{P,mIPH} \cdot x_{IPH}, \quad (4)$$

де x_{IPH} - мольна частка молекул базової рідини у поверхневій фазі нанофлюїду, моль·моль⁻¹; $C_{P,mIPH}$ - теплоємність поверхневої фази, Дж·моль⁻¹·К⁻¹.

В'язкість нанофлюїду

$$\eta_{NF} = \eta_{BF} (1 + A \cdot \varphi_{NP+IPH}), \quad (5)$$

де η_{BF} - динамічна в'язкість базової рідини, Па·с; φ_{NP+IPH} - об'ємна частка наночастинок з поверхневою фазою, м³·м⁻³; A – емпіричний коефіцієнт.

Запропоновані методи було апробовано з використанням експериментальної інформації з питомої ізобарної теплоємності та в'язкості нанофлюїду ізопропанол/наночастинки Al₂O₃, отриманої в широкому інтервалі концентрацій наночастинок та температури [4, 5]. При розрахунках концентрації молекул базової рідини у поверхневій фазі приймалися данні з густини досліджуваного нанофлюїду. З використанням отриманої за допомогою просвічуючої електронної мікроскопії інформації з середнього розміру наночастинок Al₂O₃ у сухому вигляді, була розрахована середня товщина поверхневого шару на наночастинках, яка при подальших розрахунках приймалася незалежною від концентрації наночастинок у рідині. Таким чином, для отримання інформації з концентрації молекул базової рідини у поверхневій фазі достатньо провести вимірювання густини нанофлюїду при одній концентрації наночастинок.

Сталий коефіцієнт A у рівнянні (5) було отримано з експериментальних даних з в'язкості нанофлюїду ізопропанол/наночастинки Al₂O₃ [5] та показано його досить нестатева (у рамках практичного застосування запропонованого метода) залежність від температури та концентрації наночастинок.

Результати розрахунку відхилень експериментальних даних з питомої ізобарної теплоємності та в'язкості нанофлюїду ізопропанол/наночастинки Al₂O₃ [4, 5] від розрахованих за запропонованими методиками наведено на рис. 1-2.

Як видно з приведеної на рис. 1-2 інформації, максимальні відхилення прогнозних значень питомої ізобарної теплоємності не перевищують 0,7 %, а для в'язкості ця величина не перевищує 3%,

що є прийнятною точністю для застосування запропонованого підходу до прогнозування теплофізичних властивостей на практиці.

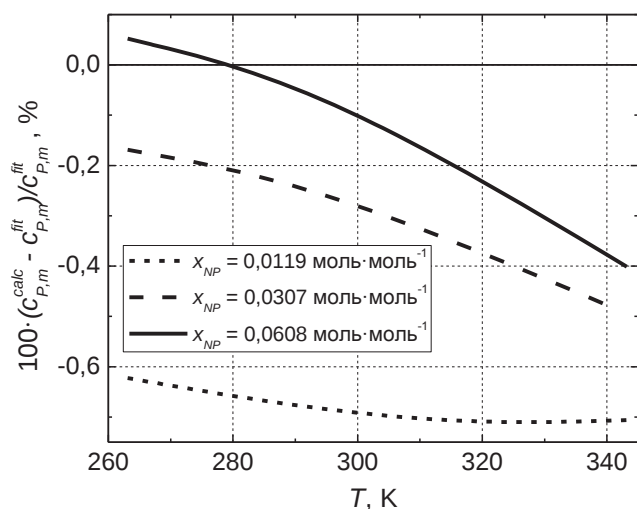


Рис. 1 - Температурна залежність відносних відхилень експериментальних значень питомої ізобарної теплоємності нанофлюїда ізопропанол/наночастинки Al_2O_3 від розрахованих за (4)

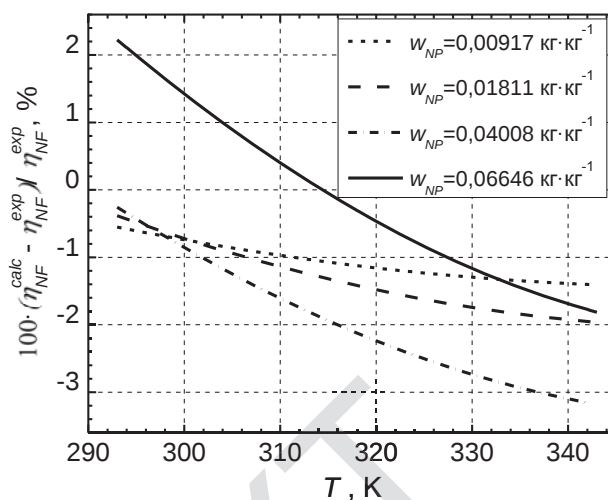


Рис. 2 – Температурна залежність відносних відхилень експериментальних значень в'язкості нанофлюїда ізопропанол/наночастинки Al_2O_3 від розрахованих за (5)

Таким чином, для прогнозування питомої ізобарної теплоємності та в'язкості певного нанофлюїду в широкому інтервалі температур та концентрацій наночастинок потрібна наступна інформація:

- температурна залежність густини нанофлюїду, яка визначена для однієї (максимальній) концентрації наночастинок у рідині – для визначення температурної залежності концентрації поверхневої фази за рівнянням (2).
- експериментальне значення в'язкості нанофлюїду для однієї (максимальній) концентрації наночастинок у рідині та при одній температурі – для визначення емпіричного коефіцієнту A рівняння (5).

Область застосування запропонованого підходу до прогнозування в'язкості нанофлюїдів обмежується тим регіоном, де не проявляються реологічні властивості нанофлюїду. Крім того, верхнім температурним діапазоном застосовності методу є така температура, при якій ще зберігається колоїдні стійкість нанофлюїду.

Застосування запропонованої методики на практиці буде сприяти науково-обґрунтованому впровадженню нанофлюїдів у холодильну та теплоенергетичну галузь у якості холодо- та теплоносіїв, а також робочих тіл, та, як наслідок, підвищенню енергетичної ефективності обладнання цих галузей без його суттєвої модернізації.

1. Angayarkanni S. A., Philip J. Review on thermal properties of nanofluids: recent developments // *Advances in colloid and interface science*. 2015. Vol. 225. P. 146-176.

2. Gupta M., Singh V., Kumar R., Said Z. A review on thermophysical properties of nanofluids and heat transfer applications // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 74. P. 638-670.

3. Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей. «Наука» Ленинград. 1975. 592 с.

4. Zhelezny V., Khliyeva O., Motovoy I., Lukianov N. An experimental investigation and modelling of the thermal and caloric properties of nanofluids isopropyl alcohol - Al_2O_3 nanoparticles // *Thermochimica Acta*. 2019. Vol. 678. 178296.

5. Zhelezny V., Geller V., Semenyuk Y., Nikulin A., Lukianov N., Lozovsky T., Shymchuk M. Effect of Al_2O_3 nanoparticles additives on the density, saturated vapor pressure, surface tension and viscosity of isopropyl alcohol // *Int. J. Thermophys.* 2018. Vol. 39 (38).