



**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 ТЕХНОЛОГІЙ
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.

Желєзний 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.	

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК НАНОЧАСТИНОК TiO_2 НА ВНУТРІШНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ КИПІННЯ ХОЛОДОАГЕНТУ R141B

Хлісва О.Я., Гордейчук Т.В., Семенюк Ю.В.

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

Останні роки активно досліджуються перспективи застосування нанофлюїдів з метою підвищення енергетичної ефективності холодильних систем [1, 2]. Стосовно холодильного обладнання, найбільший інтерес становлять робочі тіла парокомпресійних машин з добавками наночастинок. Велика кількість опублікованих робіт свідчить про більш високі значення коефіцієнта тепловіддачі при вимушеній конвекції та при кипінні нанофлюїдів [1, 2]. Але механізм інтенсифікації тепловіддачі у нанофлюїдних середовищах до цієї пори досконально не вивчено. Слід підкреслити, що досліджень, присвячених вивченню процесу кипіння нанохолодоагентів як у вільному об'ємі, так і при течії в трубі, на даний момент недостатньо, що не дозволяє зробити однозначний висновок про вплив наночастинок на коефіцієнт тепловіддачі.

Як відомо [3, 4], процес кипіння у вільному об'ємі можна кількісно описати з використанням так званих внутрішніх характеристик: середнього відривного діаметра бульбашок, частоти їх відриву та середньої швидкості росту бульбашок - $\bar{w}_b$. Особливістю величини $\bar{w}_b$ є те, що вона практично не залежить від стану й властивостей поверхні нагріву і слабо змінюється зі зміною густини теплового потоку [3]. Головним фактором, що визначає величину $\bar{w}_b$, є зведений тиск, а менш значимими факторами виступають індивідуальні властивості рідини.

В [3, 4] наведено узагальнені значення внутрішніх характеристик кипіння, які було отримано при атмосферному тиску всього для декількох рідин, і показано, що існуючі експериментальні дані про величину $\bar{w}_b$ для низки органічних рідин і води різняться між собою незначно, але для єдиного дослідженого в [3] холодоагенту R12 значення $\bar{w}_b$ істотно нижче (більш ніж у два рази). Тому нова інформація про величину $\bar{w}_b$ розширить можливості науково обґрунтованої оцінки коефіцієнта тепловіддачі при кипінні робочих тіл холодильних машин в широких інтервалах параметрів, а оцінка впливу на цю величину добавок наночастинок дозволить правильно прогнозувати інтенсивність тепловіддачі при кипінні нанофлюїдів.

Основним завданням даного дослідження було експериментальне визначення внутрішніх характеристик процесу кипіння таких об'єктів: чистий холодоагент R141b; розчин холодоагенту R141b з поверхнево-активною речовиною (ПАР) Span80 (CAS № 1317-70-0, Sigma-Aldrich) - R141b/Surf; нанофлюїд, що складається з холодоагенту R141b, ПАР Span80 і наночастинок TiO_2 (CAS № 1317-70-0, Sigma-Aldrich, розмір наночастинок у порошку не більше 25 нм) - R141b/Surf/ TiO_2 . Масові долі компонентів у розчинах складали 0,1 % для ПАР і для наночастинок. Зразки нанофлюїдів готувалися двоступеневим методом: на першому етапі розчини піддавалися ультразвуковій обробці, на другому етапі - механічному диспергуванню у бісерному млині. Озоноруйнівний холодоагент R141b обрано як модельну речовину з огляду на те, що параметри його кипіння забезпечують зручність і простоту проведення експериментів, а отримана інформація про вплив домішок наночастинок дозволить визначити напрями подальшого вивчення перспективних нанохолодоагентів.

Кипіння досліджуваних рідин відбувалося при атмосферному тиску на ніхромовому дроті діаметром 0,20 мм в оптичній комірці висотою 30 мм. За коміркою розташовувалося джерело світла (6 світлодіодів). Експеримент проводився при трьох значеннях густини теплового потоку: 29,6; 42,2; 57,0 $\text{кВт}\cdot\text{м}^{-2}$. Зображення процесу кипіння отримувалися з використанням камери Canon EOS 1100D і

стробоскопа. Тривалість світіння джерела світла становила 50 мкс, а інтервал між його спалахами - 3 мс. Витримка камери підбиралася таким чином, щоб на матриці фотоапарата фіксувалося два зображення досліджуваного об'єкта зі зміщенням у часі. Один із кадрів показано на рис. 1, де можна бачити по два зображення для кожної бульбашки, які отримані зі зміщення у часі. Застосування стробоскопічного ефекту при фіксації зображення на матриці камери дозволило при обробці графічного об'єкта оцінити частоту відриву та швидкість спливання бульбашок. Для кожного режиму кількість бульбашок, за якою розраховувалися середні значення, становила від 100 до 160 при визначенні відривного діаметра $\bar{d}_b$ і від 70 до 120 при визначенні середньої частоти відриву $\bar{f}_b$. Середня швидкість росту бульбашок визначалася як добуток $\bar{w}_b = \bar{d}_b \cdot \bar{f}_b$.

Отримані залежності середнього відривного діаметра бульбашок, середньої частоти відриву бульбашок і швидкості їх росту від густини теплового потоку при тиску $P = 0,1013$ МПа наведено на рис. 2, з якого видно, що середній відривний діаметр бульбашок збільшується з підвищенням густини теплового потоку, причому цей ефект є значним для чистого холодоагенту і слабо вираженим для розчинів холодоагенту з ПАР та наночастинками.

З візуальних спостережень за процесом кипіння і результатів, наведених на рис. 2,а, можна зробити висновок, що для систем R141b/Surf і R141b/Surf/TiO₂ розвинений режим кипіння починався при менших густинах теплового потоку, ніж для чистого R141b.

Середня частота відриву бульбашок зменшується зі збільшенням густини теплового потоку (рис. 2,б). Середнє значення швидкості росту бульбашок зі збільшенням густини теплового потоку для чистого R141b збільшується, а для розчинів R141b/Surf і R141b/Surf/TiO₂ цю величину з достатньою точністю можна прийняти незалежною від густини теплового потоку (рис. 2,в). Те, що величина $\bar{w}_b$ не залежить від густини теплового потоку, відзначається у [3, 4].

В [3] на основі узагальнення експериментальних даних показано, що властивості і стан поверхні деякою мірою впливають на величину середнього відривного діаметра бульбашок і частоту їх відриву. Однак добуток цих величин - швидкість росту парових бульбашок - практично не залежить від характеристик поверхні нагріву і визначається лише властивостями рідини та пари. Тому отримані експериментальні дані можуть бути використані в подальшому аналізі коефіцієнта тепловіддачі при кипінні холодоагентів на інших поверхнях нагріву.

У проведеному дослідженні значення внутрішніх характеристик процесу кипіння визначалися при атмосферному тиску. Водночас для оцінки коефіцієнта тепловіддачі при кипінні з використанням моделей, наведених, наприклад, в [3], необхідно мати інформацію при тисках, відмінних від атмосферного. Як показано у [3], залежність швидкості росту бульбашок від зведеного тиску достатньо добре прогнозується. Якщо відома швидкість росту бульбашок при тиску 0,1 МПа - $\bar{w}_{b,0.1}$, величину $\bar{w}_b$ при інших значеннях тиску можна визначити за емпіричним співвідношенням:

$$\bar{w}_b / \bar{w}_{b,0.1} = (\rho''_{0.1} / \rho'')^{2.3+0.5 \lg \pi},$$

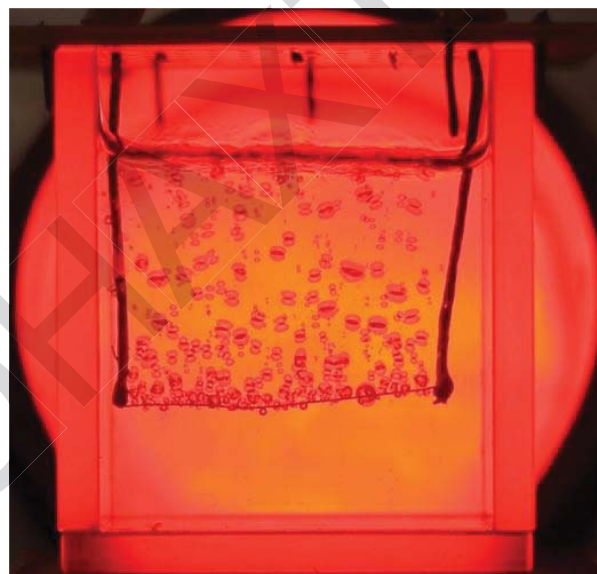


Рис. 1. Фотографія комірки у процесі бульбашкового кипіння R141b при атмосферному тиску

де $\rho''_{0.1}$ - густина пари при еталонному тиску $P=0,1013$ МПа; $\pi = P/P_c$ - зведений тиск; P_c - критичний тиск.

Отримані значення внутрішніх характеристик процесу кипіння були використані для оцінки коефіцієнта тепловіддачі при кипінні досліджених систем. Зіставлення розрахунків з результатами попередніх досліджень авторів [5] показало, що розрахункові значення коефіцієнта тепловіддачі добре узгоджуються з експериментальними для чистого холодоагенту і дещо перевищують експериментальні дані для нанофлюїду.

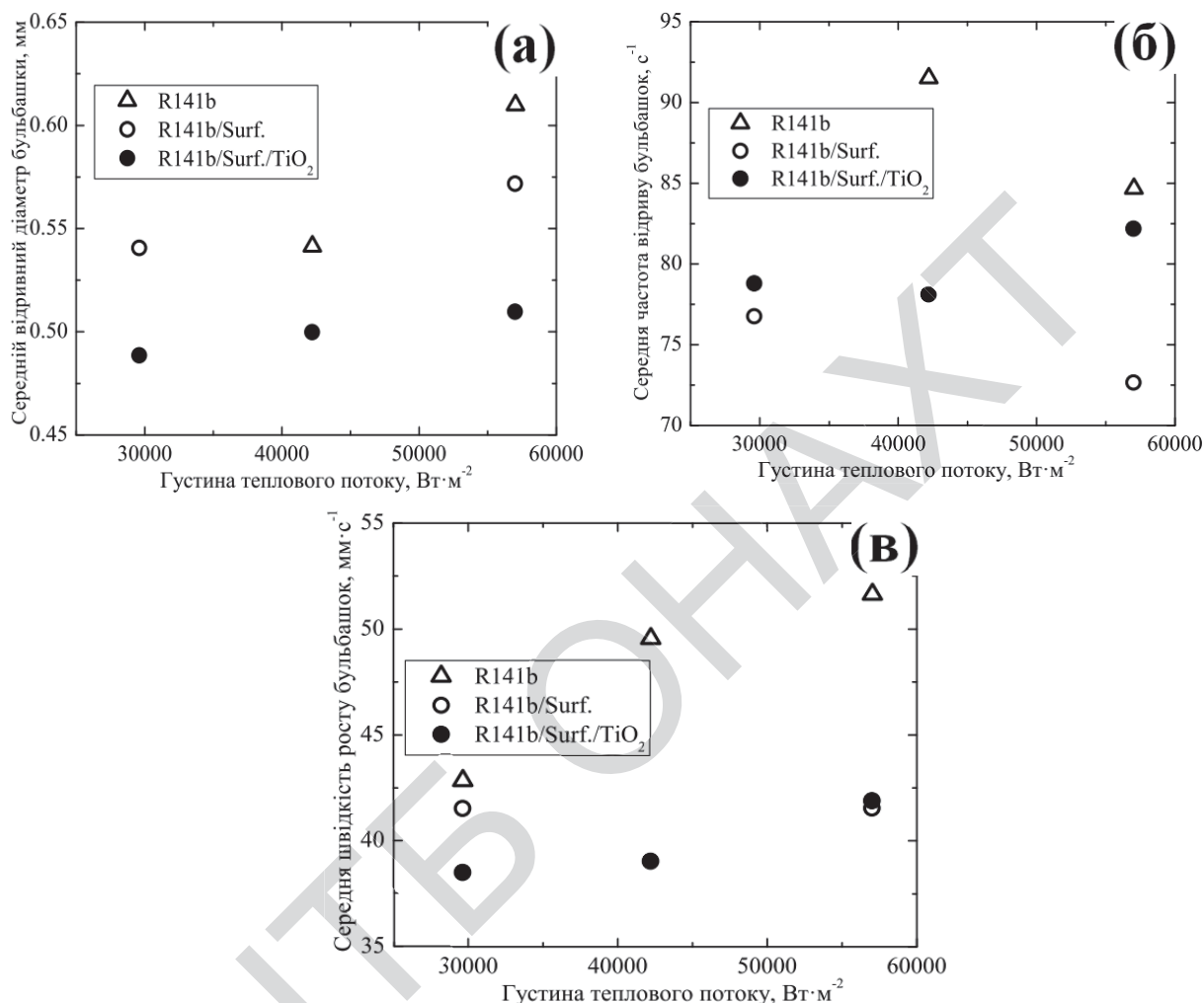


Рис. 2. Залежність внутрішніх характеристик процесу кипіння чистого R141b, розчину R141b/Surf та нанофлюїду R141b/Surf./TiO₂ від густини теплового потоку

1. Celen A., Çebi A., Aktas M., Mahian O., Dalkilic A.S., Wongwises S. A review of nanorefrigerants: flow characteristics and applications - Int. J. Refrig. – 2014. – Vol. 44. – P. 125–140.
2. Alawi O. A., Sidik N. A. C., Mohammed H. A. A comprehensive review of fundamentals, preparation and applications of nanorefrigerants - International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2014. – Vol. 54. – P. 81-95.
3. Толубинский В.И. Теплообмен при кипении. – Киев: Наук. думка, 1980. 316 с.
4. Pioro, I. L., Rohsenow W., Doerffer S. S. Nucleate pool-boiling heat transfer. I: review of parametric effects of boiling surface - International Journal of Heat and Mass Transfer – 2004. – Vol. 47, Iss. 23. – P. 5033-5044.
5. Хлиева О.Я., Гордейчук Т.В., Никулин А.Г., Лукьянов Н.Н., Железный В.П. Экспериментальное исследование влияния добавок наночастиц TiO₂ на процесс кипения хладагента R141b в свободном объеме. – Представлено на X Міжнародній конференції «Проблеми теплофізики та теплоенергетики», 23-26 травня 2017 р., Київ, Україна.