

**Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій  
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського ОНТУ**



**XIII ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

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

*23-25 вересня 2021 року*

**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ**



Одеса - 2021

УДК 621.565.2.4:4

## **СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛООБМІНУ ПІД ЧАС ПРИРОДНОЇ ТА ЗМІШАНОЇ КОНВЕКЦІЇ У ВОДІ В ОБЛАСТІ ІНВЕРСІЇ ГУСТИНИ**

Р.В. Грищенко, канд. тех. наук, доц. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ, rgryshchenko@gmail.com

О.Ю. Пилипенко, канд. тех. наук, доц. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ

А.В. Форсюк, канд. тех. наук, проф. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ

На сьогоднішній день більшість досліджень присвячених змішаній конвекції – про локальну ламінарну змішану конвекцію, з яких, в свою чергу, більшість - про супутні та протилежні потоки, що прилягають до вертикальної поверхні. Відповідно, основний метод узагальнення дослідних результатів сформований до особливостей ламінарної змішаної конвекції. Так, густина води в діапазоні температур 0°C...4°C збільшується зі збільшенням температури до її максимальної густини при 4°C на відміну від звичайної зміни густини рідин, яка зменшується з температурою. Ця своєрідна зміна густини є причиною складного механізму конвективного перенесення під час вільного та змішано-конвективного руху [1, с. 35-40].

Аналізуючи методи представлення результатів для співвідношення інтенсивності процесів перенесення під час змішаної конвекції, кореляції у формі суперпозиції  $Nu_n(z) = Nu_0n(z) + Nu_\infty n(z)$  виявились надзвичайно успішними у співвідношенні швидкості перенесення [2,3].

Для осереднених значень інтенсивності теплообміну під час ламінарної змішаної конвекції на вертикальних та горизонтальних плоских поверхнях використано форму залежності  $Nu_{mn} = Nu_F n \pm Nu_N n$  [4]. Відомо, що  $n$  приймає значення 2, 3 і 4 ( $n = 3$  для рівномірного теплового потоку). Рекомендовано  $n = 4$  для локальних ламінарних кореляцій у горизонтальній та вертикальній орієнтаціях за ізотермічної стінки, а знак (+) відповідає супутним потокам, знак (-) – протилежним.

Однак, в літературі [4] для випадку турбулентної конвекції не визначено жодного випадку, коли середній (не локальний) природний конвективний компонент мав би знак (-), та запропоновано форму підсумовування з точки зору вектор-простору (vector-space)  $\ell_p$ -нормованої функції ( $\ell_p$ -norm function) природного та вимушеного конвекційних компонентів  $\|Nu_F, Nu_N\|_p = (\|Nu_F\|_p + \|Nu_N\|_p)^{1/p}$ . Очевидно, це рівняння має сенс лише якщо вимушена та природна конвекція характеризуються однаковим лінійним масштабом (характерним лінійним розміром). Якщо лінійні масштаби не співпадають, останнє рівняння набуває вигляду для вертикальних поверхонь  $am = \lambda \|Nu_F / LF, Nu_V / LV\|_p$ . Слід зазначити, що під час експериментального дослідження змішаної конвекції повітря на плоскій прямокутній поверхні, турбулентна змішана конвекція обмежена  $\ell_4$ -norm і  $\ell_2$ -norm конвективних компонентів залежно від орієнтації поверхні та співвідношення складових  $(|\alpha_F| + |\alpha_N|)^{1/4} \leq am \leq (|\alpha_F|^2 + |\alpha_N|^2)^{1/2}$ , (для вертикальної конвекції рівняння набуває складної форми, близької до порядку  $\ell_4$ -norm). Водночас, при цьому рівняння перестає бути безрозмірним та, відповідно, втрачає фізичний сенс подібності.

Враховуючі невизначеність значення показника степеню  $n$ , вибір залежностей для розрахунку теплообміну в обмеженій порожнині для вільноконвективного та вимушеного режимів конвекції в умовах невизначеності режимів течії є вкрай складною методичною задачею.

Для реалізації задачі обраний метод статистичного аналізу результатів досліджень (регресійного аналізу). Розроблено ряд безрозмірних систем, після чого, з використанням методів регресійного аналізу результати експериментального дослідження апроксимують у відповідних системах. Критерієм вірогідності обирається коефіцієнт детермінації.

Всі розглянуті системи безрозмірних комплексів забезпечили високі показники вірогідності (коефіцієнт детермінації  $R^2 > 98,5\%$ ). Це означає, що запропоновані системи більш ніж на 98,5% визначають функціональну залежність між числами подібності, що складають відповідні системи. Згідно шкали (співвідношення) Чеддока, це свідчить про надзвичайно тісний зв'язок між ними.

Однак, аналіз методик розрахунку теплообміну під час турбулентного руху рідини свідчить, що практично всі розрахунки за залежностями у вигляді степеневих функцій достовірні лише у достатньо вільному діапазоні зміни визначальних параметрів процесів.

Для розроблення загального вигляду апроксимаційного рівняння застосовано принцип Ле Шательє-Брауна. Для опису залежності коефіцієнта тепловіддачі в області переважаючої дії природної конвекції введено коефіцієнт  $\phi$ , що враховує гальмування збурень, викликаних вимушеною конвекцією. Статистичний аналіз експериментальних результатів з використанням Квазі-Ньютонівської процедури дозволило апроксимувати дослідні дані з  $R^2 > 99,35\%$  та отримати наступні значення сталих в рівнянні:  $C_1 = 30,68$ ;  $C_2 = -1,07$ ;  $C_3 = 0,03$ ;  $C_4 = 4,36$ ;  $C_5 = -7,27$ . Результуюча апроксимаційна залежність матиме вигляд

$$Nu = C_1 Ra C_2 [1 + C_3 Re C_4 (1 - \exp(C_5 Re))]. \quad (1)$$

На рис. 1 наведено порівняння розрахованих за (1) та експериментальних значень інтенсивності тепловіддачі.

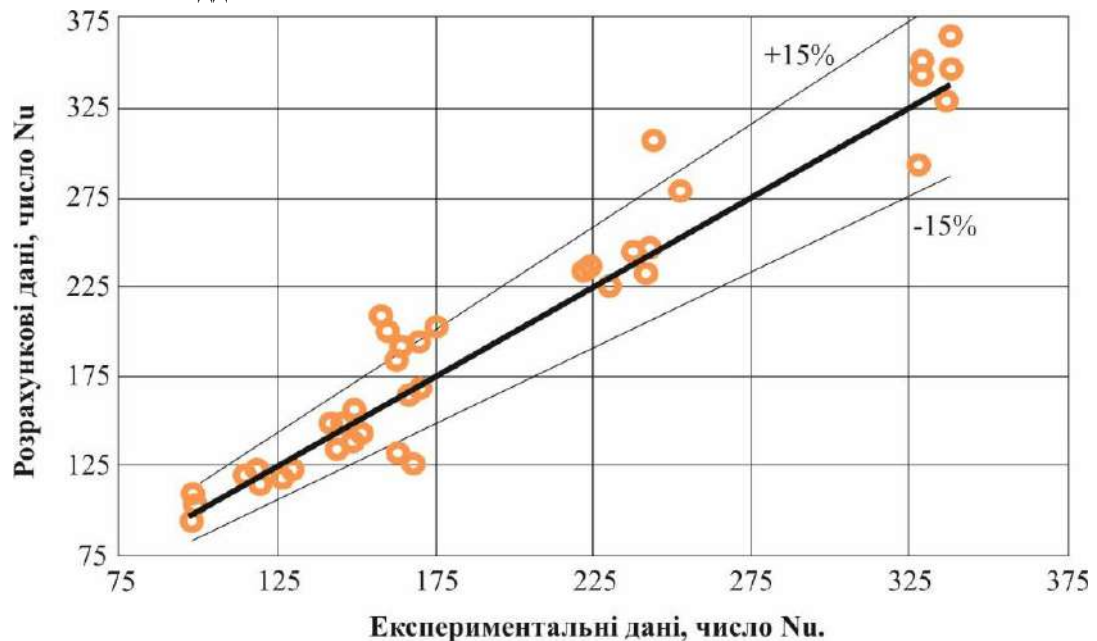


Рис. 1. Графік з стат. обробки даних

Можна зробити висновок, що отримані розрахункові залежності можливо застосовувати при розрахунках природної та змішаної конвекції в області інверсії густин води для визначення інтенсивності теплообміну під час змішаної турбулентної та перехідної конвекції у замкненій порожнині.

#### Список використаної літератури:

1. Р.В. Грищенко Динаміка танення льоду в елементах акумуляторів енергії, систем охолодження та кондиціонування повітря: дис. кандидата тех. наук : 15.14.06 / Грищенко Роман Володимирович. – К., 2021. – 170 с.

2. Mohamed E. Ali, Hany Al-Ansary. Experimental Investigations on Natural Convection Heat Transfer Around Horizontal Triangular Ducts. Heat Transfer Engineering. 2010. V. 31(5). P. 350–361.

3. S. W. Churchill and R. Usagi. A general expression for the correlation of rates of transfer and other phenomena. AIChE Journal. 1972. 18(6). P.1121–1128.

4. Aubrey G. Jaffer. Turbulent Mixed Convection from an Isothermal Plate. <http://people.csail.mit.edu/jaffer/convect>. 16 p.



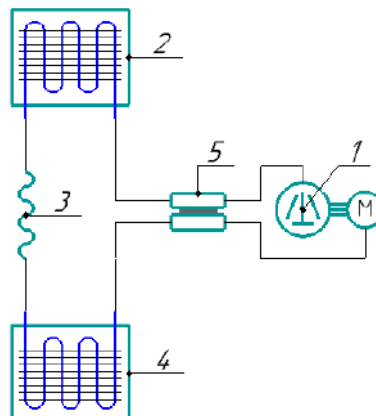
УДК: 621.578, 621.5.09

### ПОТЕНЦІАЛ ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

*Голуб О.В., аспірант кафедри ТЕХТ, Пилипенко О. Ю., доцент кафедри ТЕХТ, НУХТ, м. Київ,  
[alex1@i.ua](mailto:alex1@i.ua)*

Сучасні побутові та комерційні холодильні установки мають достатньо високі рівні енергоефективності, при цьому маючи необоротні втрати. Наприклад, теплота конденсації – компресор витрачає роботу на стиснення, а відповідно і нагрів холодоагенту. Вентилятори конденсаторів витрачають енергію на відвід теплоти конденсації в навколишнє середовище. В побутових холодильниках конденсатори повинні мати більшу площу теплообміну, а відповідно і металоємність, щоб забезпечити відвід теплоти конденсації без примусової циркуляції повітря. З іншого боку, пари холодильного агента після випарника ще мають низьку температуру і можуть відводити теплоту від навколишнього середовища. На нашу думку, цю різницю потенціалів можливо використовувати для виробітку електроенергії за допомогою термоелектричних перетворювачів.

Задля аналізу можливості та потенціалу виробництва електроенергії термоелектричними модулями проаналізовано варіанти роботи побутової холодильної установки оснащеної теплообмінником на базі таких модулів. Принципова схема модернізованої установки зображено на рис. 1.



*Рис. 1 – Гідравлічна схема побутового холодильника:*