

*самостоятельность городов и регионов Украины при разработке планов энергетического развития и программ энергосбережения, с учетом установленных заданий, мониторинг энергоэффективности в Украине, государственный контроль за выполнением планов энергетического развития регионов Украины и программ повышения энергетической эффективности городов.*

*Показано, что основными методами и инструментами реализации политики энергоэффективности являются: нормативно-правовая регламентация деятельности по энергопотреблению; ценовая, кредитная и налоговая политики, стимулирующих энергоэффективность и энергосбережение; государственная поддержка инновационных разработок энергосберегающих технологий и оборудования, привлечение инвестиций для реализации энергосберегающих, энергоэффективных проектов; сертификация и стандартизация энергонасыщенного оборудования и технологий, учет и контроль за расходом энергоносителей; энергетический аудит информационная поддержка участников энергетического рынка.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, реализация политики, современные приоритеты, европейские ориентиры, инновации, система мер, технологическая платформа, дорожная карта.

Надійшла 23.12.2013

Received 23.12.2013

УДК 536.24

В.О. Туз, д-р техн. наук, професор; Р.В. Неїло

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## **ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ ТЕПЛООБМІНІ В УМОВАХ ВІЛЬНОЇ КОНВЕКЦІЇ**

*В роботі представлено аналіз результатів експериментального дослідження тепловіддачі від одиночного горизонтального циліндра в умовах вільної конвекції в розрізі використання різних характерних температур. Не зважаючи на значний вплив на інтерпретацію результатів фізичних експериментів з дослідження інтенсивності тепловіддачі в умовах вільної конвекції вибору характерної температури, досі відсутній єдиний підхід до її визначення. В даній роботі представлено огляд літературних даних, проведено аналіз запропонованих характерних температур, виконано аналіз результатів фізичного експерименту з тепловіддачі одиночного горизонтального циліндра в перерізі використання різних характерних температур. За отриманими результатами зроблено висновок про більш високу відповідність отриманих результатів уявленням про перебіг процесу вільноконвективного теплообміну, за використання в якості визначальної температури – температури теплоносія далеко від поверхні теплообміну.*

**Ключові слова:** теплообмін, горизонтальна труба, вільна конвекція, характерна температура.

### **Вступ**

Теплофізичні властивості більшості теплоносіїв залежать від температури. Такі зміни стають суттєвими при значних градієнтах температури. Нехтування таким впливом може призвести до значних похибок в аналізі результатів дослідження, або розрахунку інтенсивності тепловіддачі. Особливе значення вибір визначальної температури та врахування впливу зміни теплофізичних властивостей мають при дослідженні теплообміну вільною конвекцією. Широко актуальною обрана проблема стала в зв'язку з визначенням границь можливого застосування наближення Бусінеска для умов вільної конвекції при чисельному моделюванні процесів вільної конвекції, та загалом в зв'язку із необхідністю визначення як характерної температури так і характеру впливу зміни різного роду теплофізичних властивостей на інтенсивність тепловіддачі в умовах вільної конвекції [1, 2].

Досі немає єдиного бачення щодо вибору визначальної температури для умов вільної конвекції від горизонтального циліндра [1-19]. При цьому, в літературі можна знайти рекомендації із застосування однакових залежностей, проте із різними визначальними температурами, наприклад: [3 та 4, 5]. Навіть за

якісного співставлення таких залежностей зрозумілою стає невідворотність похибки та відсутність однозначного підходу.

Існує два способи врахування впливу змінності теплофізичних властивостей [6]: метод поправок та метод визначальної температури. За використання першого обирається певна визначальна температура, а зміна теплофізичних властивостей із зміною температури враховується додатковим введенням поправкових коефіцієнтів. Такі коефіцієнти, зазвичай, представляють собою співвідношення певної фізичної характеристики (наприклад, в'язкості [7], температури [8]) або комплексу таких характеристики (наприклад, число Прандтля [3, 9]) за температури стінки, до її значення за характерної температури (або максимального перепаду температур теплоносія). За використання методу визначальної температури – вибирається певна температура, за якою надалі розраховуються теплофізичні властивості теплоносія, що тепер вважається таким, характеристики якого не залежать від температури.

В роботі представлено аналіз запропонованих в літературі підходів до визначення характерної температури при теплообміні горизонтального циліндра в умовах вільної конвекції, із наступною спробою вибору «оптимальної» характерної температури. Аналіз проведено на первинних даних експериментального дослідження теплообміну на поверхні горизонтального циліндра в умовах вільної конвекції, що отримано авторами роботи.

#### Аналіз літературних даних

Існує багато підходів до встановлення визначальної температури. В [3, 9] за таку прийнято температуру теплоносія далеко від поверхні теплообміну ( $T_0$ ,  $C^0$ ).

В [4, 5, 10, 11] за визначальну температуру прийнято середню температуру пограничного шару:

$$T_{b.l.} = 0,5 \cdot (T_0 + \overline{T_w}) \quad (1)$$

В роботі [12] для газів за  $0,25 \leq \frac{T_w}{T_0} \leq 4$  прийнято, що визначальною температурою може бути така,

що визначається як:

$$T^* = T_0 + 0,62 \cdot (T_w - T_0) \quad (2)$$

При цьому, похибка, за визначення теплофізичних властивостей за  $T_{b.l.}$ , а не за  $T^*$ , складатиме від -2,5% до 1,2%.

Абсолютно ідентична за своїм змістом, проте записана у іншому вигляді, така температура як характерна для газових теплоносіїв в аналогічному діапазоні температур вказана в [13]:

$$T^* = T_w - 0,38 \cdot (T_w - T_0) \quad (3),$$

а щодо можливої похибки, сказано про 0,6% порівняно із розрахунками для теплоносія з постійними теплофізичними характеристиками, розрахованими за температурою пограничного шару. Загалом, такий підхід відображає припущення, що різного роду теплофізичні властивості мають степінну залежність від температури. Такий показник степеня буде мати різну величину для різних властивостей рідини. Враховуючи необхідність зменшення машинного часу при проведенні чисельного моделювання процесів вільноконвективного теплообміну пропонується ввести певний середньозважений показник степеня, щоб із необхідною точністю відображав зміну усіх теплофізичних властивостей із зміною температури. Отримані таким чином, в [14] наведені дані про коефіцієнт 0,38 для ряду газів (включаючи повітря), 0,46 для пари та 0,25 для рідин.

В [15] запропоновано в якості визначальної температури за вільноконвективного теплообміну на пучках шахових оребрених труб використовувати середню температуру стінки труби біля основи ребра, тобто температуру поверхні труби.

На основі аналітичних досліджень в [16] коефіцієнт об'ємного розширення ( $\beta_f$ ,  $K^{-1}$ ) прийнято розраховувати за температурою теплоносія далеко від поверхні теплообміну. Проте, питання про характерну температуру для решти теплофізичних властивостей залишається невирішеним.

Враховуючи неоднозначність при виборі характерної температури за вільноконвективного теплообміну, пропонується проаналізувати результати експериментальних даних по визначенню інтенсивності тепловіддачі від одиночного горизонтального циліндра, за їх представлення для різних характерних температур. Зокрема, для таких випадків: 1) усі теплофізичні властивості розраховувати за  $T_0$ ; 2) – за  $\overline{T_w}$ ; 3) – за  $T_{b.l.}$ ; 4) – за  $T^*$ ; 5) – за використання в якості характерної температури для

коефіцієнта об'ємного розширення температури  $T_0$ , а для решти теплофізичних властивостей використати  $T_{b,l}$ ; 6)  $\beta = f(T_0)$ , а решти теплофізичних властивостей – за  $\overline{T_w}$ .

Необхідно визначити критерії, які б надалі можна було використовувати в якості характеристики до надання переваги тим чи інших варіантам визначальної температури. Для цього скористаємося наступними висновками. З чисельних рішень та великої кількості дослідів, що проведено для випадків вільної конвекції, загально визнаним є постійність показника степені в характеристичному рівнянні:

$$Nu = C \cdot Ra^n, \quad (4)$$

для теплообміну на поверхні горизонтального циліндра [1-19]. Певні уточнення, щодо можливості зміни цього показника містяться в [17], проте загалом, для умов безвідривного руху теплоносія рекомендується використовувати  $n = 0,25$ . Така постійність може бути одним з параметрів, за яким можливо проводити аналіз. Тобто, за представлення результатів експериментальної роботи в логарифмічних координатах, відповідно до рівняння (4), необхідно використовувати таку визначальну температуру, за якої нелінійність укладання експериментальних точок була б мінімальною. З іншого боку, за лінійної апроксимації результатів експерименту, тангенс кута нахилу такої лінії має бути рівним  $Lg(0,25)$  або близько до цього, враховуючи певний рівень неточності, що характерний для будь-якої експериментальної роботи. Такі два критерії й оберемо для проведення аналізу.

#### Отримані результати та їх аналіз

Первинними даними після проведення експерименту є: теплова потужність, температура оточуючого середовища (повітря) та середня температура стінки труби. Аналіз експериментальних даних, та їх групування у відповідні безрозмірні комплекси здійснюється в наступному порядку:

1. Середній коефіцієнт тепловіддачі від одиночного горизонтального циліндра в умовах вільної конвекції ( $\overline{\alpha}$ ,  $\frac{Bm}{m^2 \cdot K}$ ) визначається за:

$$\overline{\alpha} = \frac{Q}{F_w \cdot (\overline{T_w} - T_0)}, \quad (5)$$

де  $F_w$ ,  $m^2$  - площа поверхні теплообміну, а  $T_w$ ,  $C^0$  - середня вздовж лінії руху теплоносія температура стінки труби.

2. Середнє число Нуссельта ( $\overline{Nu}$ ) визначається як:

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{\alpha} \cdot d_w}{\lambda_f^r}, \quad (6)$$

де  $\lambda_f^r$ ,  $\frac{Bm}{m \cdot K}$  – коефіцієнт теплопровідності теплоносія за характерної температури;  $d_w$ ,  $m$  – характерний розмір (тут прийнято діаметр труби [1-19]).

3. Число Релея ( $Ra$ ) визначимо за:

$$Ra = Gr \cdot Pr_f^r = \frac{g \cdot \beta_f^r \cdot \Delta T \cdot d_w^3}{\nu_f^{r2}} \cdot Pr_f^r, \quad (7)$$

де  $g$ ,  $\frac{m}{c^2}$  - прискорення земного тяжіння;  $\beta_f^r$ ,  $K^{-1}$  - коефіцієнт об'ємного розширення для газів, що визначається як  $\beta_f^r = \frac{1}{t_f^r}$ ,  $K^{-1}$  [3, 12, 14, 15];  $\Delta T = \overline{T_w} - t_f^a$ ,  $[^{\circ}C]$  - різниця температур поверхні

труби та рідини далеко від поверхні теплообміну;  $\nu_f^r$ ,  $\frac{m^2}{c}$  - кінематична в'язкість рідини за характерної

температури;  $Pr_f^r$  - критерій Прандтля за характерній температурі.

Теплофізичними характеристиками теплоносія, що входять в безрозмірні комплекси, та, відповідно, зміну яких із температурою необхідно враховувати є: теплопровідність, кінематична в'язкість, коефіцієнт об'ємного розширення, число Прандтля.

Результати проведених розрахунків в логарифмічних координатах, залежно від обраної системи характерних температур зображено на рисунку 1.

Як можна помітити, вибір визначальної температури має значний вплив на результати аналізу експериментальних даних.

На рисунку 2 зображено результати апроксимації отриманих результатів експериментів квадратичним поліномом. Отримані результати представлено в таблиці 1.

В результаті проведеного аналізу, можна помітити, що найменший коефіцієнт при квадратичному члені полінома має аналітична залежність, отримана за використання в якості характерної температури – температури оточуючого середовища, далеко від поверхні теплообміну. Інші залежності мають більші коефіцієнти, що додатково можна помітити з рисунка 2: при підвищенні числа Релея експериментальні точки сильно відхиляються від очікуваної прямої. При цьому, співставляючи коефіцієнти при квадратичних членах поліномів, можна констатувати відмінність в кілька разів порівняно з обраним варіантом: коефіцієнти можуть відрізнятися більш як в 7 разів (порівнюючи коефіцієнти в 1 та 4 варіантах, згідно таблиці 1). Таким чином, за першим з представлених критеріїв, перевагу за вибору визначальної температури необхідно надати температурі оточуючого середовища для усіх теплофізичних властивостей.

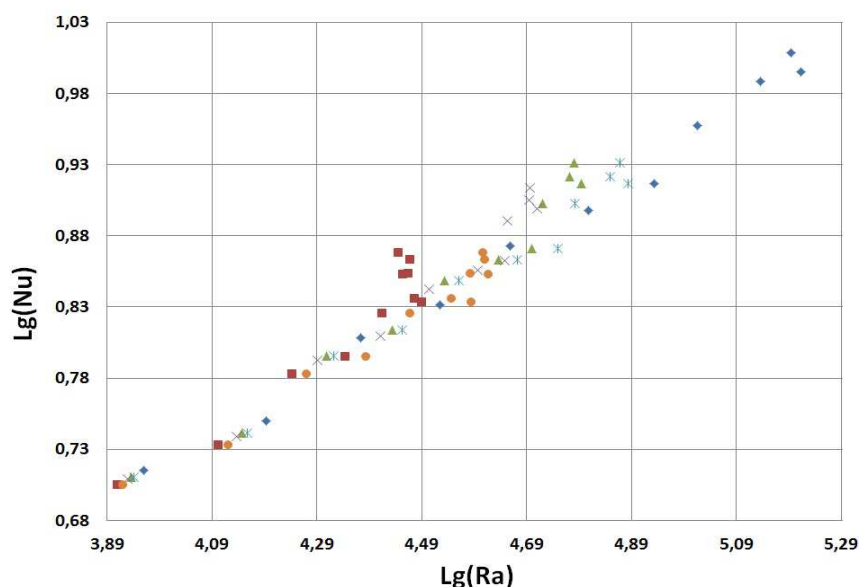


Рис. 1. Результати аналізу результатів експерименту (числа Нусельта  $Nu$  від числа Релея  $Ra$ ), залежно від обраної системи характерних температур:  $\blacklozenge$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T_0)$ ;  $\blacksquare$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(\overline{T_w})$ ;  $\blacktriangle$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T_{b.l.})$ ;  $\times$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T^*)$ ;  $\ast$  -  $\lambda_f, \nu_f, Pr_f = f(T_{b.l.}), \beta_f = f(T_0)$ ;  $\bullet$  -  $\lambda_f, \nu_f, Pr_f = f(\overline{T_w}), \beta_f = f(T_0)$

Таблиця 1

Аналітичні залежності при апроксимації квадратичним поліномом результатів експериментальної роботи по визначенню інтенсивності тепловіддачі від одиночного горизонтального циліндра в умовах вільної конвекції ( $x = Lg(Ra)$ , а  $y = Lg(Nu)$ ).

№ п/п	Характерні температури	Аналітична залежність
1	$\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T_0)$	$y_{sq,1} = 0,0155 \cdot x^2 + 0,0961 \cdot x + 0,0819$
2	$\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(\overline{T_w})$	$y_{sq,2} = 0,0257 \cdot x^2 + 0,0107 \cdot x + 0,2586$
3	$\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T_{b.l.})$	$y_{sq,3} = 0,0912 \cdot x^2 + 0,5458 \cdot x + 1,443$
4	$\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T^*)$	$y_{sq,4} = 0,1087 \cdot x^2 + 0,6857 \cdot x + 1,7205$
5	$\lambda_f, \nu_f, Pr_f = f(T_{b.l.}), \beta_f = f(T_0)$	$y_{sq,5} = -0,0237 \cdot x^2 + 0,4524 \cdot x + 0,7268$
6	$\lambda_f, \nu_f, Pr_f = f(\overline{T_w}), \beta_f = f(T_0)$	$y_{sq,6} = -0,076 \cdot x^2 + 0,9696 \cdot x + 1,966$

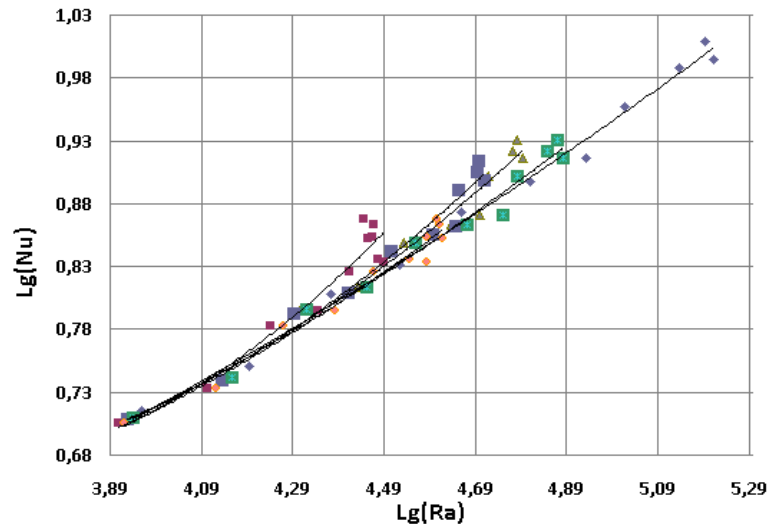


Рис. 2. Результати квадратичної апроксимації результатів експериментальної роботи по визначенню інтенсивності тепловіддачі (числа Нусельта  $Nu$  від числа Рейля  $Ra$ ) від одиночного горизонтального циліндра в умовах вільної конвекції:  $\blacklozenge$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T_0)$ ;  $\blacksquare$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(\overline{T_w})$ ;

$\blacktriangle$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T_{b.l.})$ ;  $\times$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T^*)$ ;  
 $\ast$  -  $\lambda_f, \nu_f, Pr_f = f(T_{b.l.}), \beta_f = f(T_0)$ ;  $\bullet$  -  $\lambda_f, \nu_f, Pr_f = f(\overline{T_w}), \beta_f = f(T_0)$

На рисунку 3 представлено результати лінійної апроксимації результатів експерименту. Результати визначення аналітичної залежності викладено в таблиці 2. В цьому випадку, критерієм, за яким проводиться аналіз є коефіцієнт при лінійному членові. Такий коефіцієнт має бути максимально наближеним до 0,25, що є результатом чисельного розв'язку та підтверджено серією експериментальних робіт і відповідає показнику степеню в рівнянні (4). Додатково, варто звернути увагу на логарифм числа  $S$  характеристичного рівняння (4). В отриманих рівняннях лінійної апроксимації воно входить вільним членом. Для більшості запропонованих залежностей коефіцієнт  $S$  складає від 0,47 [7] до 0,518 [10]. Відповідно, десяткові логарифми таких величин складають -0,3279 до -0,2857.

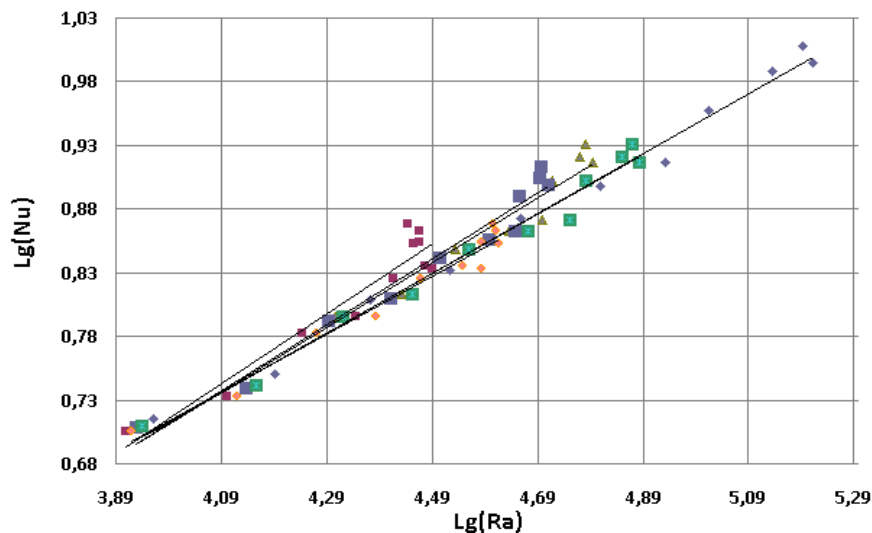


Рис. 3 Результати лінійної апроксимації результатів експериментальної роботи по визначенню інтенсивності тепловіддачі (числа Нусельта  $Nu$  від числа Рейля  $Ra$ ) від одиночного горизонтального циліндра в умовах вільної конвекції:  $\blacklozenge$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T_0)$ ;  $\blacksquare$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(\overline{T_w})$ ;

$\blacktriangle$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T_{b.l.})$ ;  $\times$  -  $\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T^*)$ ;  $\ast$  -  $\lambda_f, \nu_f, Pr_f = f(T_{b.l.}), \beta_f = f(T_0)$ ;  
 $\bullet$  -  $\lambda_f, \nu_f, Pr_f = f(\overline{T_w}), \beta_f = f(T_0)$

Аналітичні залежності за лінійної апроксимації результатів експериментальної роботи по визначенню інтенсивності тепловіддачі від одиночного горизонтального циліндра в умовах вільної конвекції ( $x = Lg(Ra)$ , а  $y = Lg(Nu)$ ).

№ п/п	Характерні температури	Аналітична залежність
1	$\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T_0)$	$y_{l,1} = 0,2425 \cdot x - 0,2629$
2	$\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(\overline{T_w})$	$y_{l,2} = 0,2444 \cdot x - 0,271$
3	$\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T_{b.l.})$	$y_{l,3} = 0,2738 \cdot x - 0,3943$
4	$\lambda_f, \nu_f, \beta_f, Pr_f = f(T^*)$	$y_{l,4} = 0,281 \cdot x - 0,4234$
5	$\lambda_f, \nu_f, Pr_f = f(T_{b.l.}), \beta_f = f(T_0)$	$y_{l,5} = 0,2446 \cdot x - 0,2716$
6	$\lambda_f, \nu_f, Pr_f = f(\overline{T_w}), \beta_f = f(T_0)$	$y_{l,6} = 0,3148 \cdot x - 0,5579$

Можна помітити, що оптимальним «набором» характерних температур (таких, що відповідають описаним вимогам), за даним блоком аналізу є 1, 2 та 5 варіанти відповідно до таблиці 2. При цьому, решта значень мають дуже близькі значення коефіцієнта при змінній. Відносна різниця між значеннями коефіцієнтів та вільного члена складає менше 1%, тобто визначення більш точного варіанту не є однозначним.

З огляду на отримані результати можна зробити висновок, що високою відповідністю поставленим критеріям відповідають результати за варіантами 1, 2 та 5 відповідно до таблиці 2.

Враховуючи отримані результати, надалі, для аналізу результатів фізичного експерименту необхідно використовувати температуру теплоносія далеко від поверхні теплообміну, так як проведений аналіз вказує на мінімальне відхилення результатів експерименту від лінійної залежності в логарифмічних координатах, так має найбільшу точність із значеннями показника степеню  $n$  та коефіцієнта  $C$  характеристичного рівняння (4). Отримані результати підтверджуються рекомендаціями щодо вибору визначальної температури, що містяться в [3, 9]. Додатково варто зазначити, що в зв'язку із використанням повітря в якості теплоносія при проведенні фізичного експерименту, можлива поправка на зміну теплофізичних властивостей, що міститься додатково в рекомендованих до розрахунку залежностях в [3,9] (співвідношення чисел Прандтля при температурах стінки та характерної температури), була непомітна. В зв'язку із високою відповідністю результатів експерименту рекомендаціям в [3, 9], вважаємо, що надалі таку поправку варто використовувати для додаткового врахування зміни теплофізичних властивостей теплоносія зі зміною температури.

#### Висновки

В результаті проведеного аналізу результатів експериментальної роботи (дослідження теплообміну в умовах вільної конвекції на поверхні горизонтального циліндра) по визначенню характерної температури, визначено таке її значення, що найбільше відповідає поставленим вимогам: мінімальна за модулем величина коефіцієнта при квадратичній апроксимації результатів експерименту (максимальна лінійність отриманої залежності), та максимальна близькість до 0,25 коефіцієнта пропорційності при лінійній апроксимації результатів. Проведений аналіз вказує на необхідність використання в якості характерної температури – температури оточуючого середовища далеко від поверхні теплообміну.

#### Список літератури

1. Shang, D.-Y. Effect of variable thermophysical properties on laminar free convection of gas / De-Yi Shang; Bu-Xuan Wang. International journal of heat and mass transfer. V.33, issue 7., 1387-1395pp. – 1990.
2. Shklover G.G. Effect of variable physical properties on heat convection around a horizontal cylinder / G. G. Shklover, S. E. Gusev. Journal of Engineering Physics and Thermophysics V. 53, issue 2., 902-908pp. - 1987.
3. Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст] / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел.–3-е изд., перераб. и доп. – М.:Энергия, 1975. – 487 с.
4. Лашутина Н.Г. Техническая термодинамика с основами теплопередачи и гидравлики. Н.Г. Лашутина, О.В. Макашова, Р.М. Медведев. – Л.: «Машиностроение». 1988. – 336 с. ISBN 5-217-00009-0
5. Григорьев, В.А., Зорин, В.М. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник. / В.А. Григорьев, В.М. Зорин. – М.:Энергоиздат, 1982. – 512с.
6. Гебхарт, Б. Свободноконвективные течения, тепло- и массообмен [Текст] / Б. Гебхарт, Й. Джалурия, Р.Махаджан, Б.Саммакия. В 2-х книгах, кн.1. Пер. с англ.. – М.: Мир, 1991. – 678с.
7. Wong, H. Y. Heat transfer for engineers [Текст] / H.Y. Wong. – Longman Group, 1977. – 213 p.
8. Блох, А.Г. Теплообмен излучением: справочник [Текст] / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.

9. Михеев, М.А. Основы теплопередачи [Текст] / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – 2 изд. М.: Энергия, 1977. – 344 с.
10. Цветков, Ф.Ф. Тепломассообмен [Текст] : учебное пособие для вузов / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев ; – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 550 с. – ISBN 5-7046-1270-9
11. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена [Текст] / С.С. Кутателадзе. Изд. 5-е перераб. и доп. – М.: Атомиздат. – 1974. 416с.
12. Гусев, С.Е. Свободно-конвективный теплообмен при внешнем обтекании тел [Текст] / С.Е. Гусев, Г.Г. Шкловвер. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 160с.
13. Себиси, Т. Конвективный теплообмен. Физические основы и вычислительные методы [Текст] / Т. Себиси, П. Брэдшоу. Пер.с англ. – М.: Мир, 1987. – 592с.
14. Pozzi, A. Variable-property effects in free convection / A. Pozzi; M. Lupo. International Journal of Heat and Fluid Flow. Volume 11, issue 2. 135-141pp. – 1990.
15. Самородов А.В. К вопросу выбора определяющей температуры при обработке данных по сводноконвективной теплоотдаче пучков ребристых труб [Текст] / А.В. Самородов. – Труды 8-й Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева. Т.Ц. – М.: Изд.МЭИ, 2001. – с. 317-320.
16. Sparrow E.M. The variable fluid property problem in free convection [Текст] / E.M. Sparrow, J.L. Gregg. Trans.ASME. Ser.C. – 1958. – V.80. – N4. – p.879-886.
17. Chand, J. Natural convection heat transfer from horizontal cylinders [Текст] / Jagdish Chand, Vir Dharam. – Journal of chemical engineering of Japan, Vol. 12, №3. – 1979. – pp. 242–247.
18. Джалурия, Й. Естественная конвекция: Тепло- и массообмен [Текст] / Пер. с англ.. – М.: Мир, 1983 – 400с.
19. Краснощеков, Е. А. Задачник по теплопередаче [Текст] / Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел. – М.: Энергия, 1980. – 287 с.

**V. Tuz, R. Neilo**

**National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»**

#### **REFERENCE TEMPERATURE DETERMINATION DURING NATURAL CONVECTION**

*This paper presents an analysis of an experimental study results on heat transfer from a single horizontal cylinder during free convection in the context of applying different reference temperatures. Despite significant impact on the interpretation of the results of physical experiments on heat transfer under free convection determination of reference temperature, there is still no unified approach to its definition. This study presents a review of literature data, the analysis of different approach proposed in literature for determining the reference temperature, the analysis of physical experiments on heat transfer of a single cylinder results with using various reference temperatures. All of it led to the conclusion of a higher compliance results with concepts of nature heat transfer, when as a reference temperature was used temperature of the ambient far from the heat transfer surface.*

**Keywords:** heat transfer, horizontal cylinder, free convection, reference temperature.

1. Shang, D.-Y., Wang, Bu-Xuan (1990). Effect of variable thermophysical properties on laminar free convection of gas. International journal of heat and mass transfer. V.33, issue 7., 1387-1395pp.
2. Shklover G.G., Gusev S. E. (1987) Effect of variable physical properties on heat convection around a horizontal cylinder. Journal of Engineering Physics and Thermophysics V. 53, issue 2., 902-908pp.
3. Isachenko, V. P., Osipova, V. A., Sukomel, A. S. (1975). Heat transfer. Moscow, USSR: Energy, 487p.
4. Lashutina, N.G., Makashova, O.V., Medvedev, R.M. (1988). Engineering thermodynamics with the basics of heat transfer and hydraulics. Leningrad, USSR: Engineering, 336p.
5. Grigorev, V.A., Zorin, V.M. (1982). Heat and mass transfer. Thermal experiment: handbook. USSR: Energoizdat, 512p.
6. Gebhart, B., Jaluria, Y., Mahajan R.L., Sammakia B. (1988). Buoyancy-induced flows and transport. New York: Hemisphere publishing corp., 678p.
7. Wong, H. Y. (1977). Heat transfer for engineers. Longman Group., 213 p.
8. Bloch, A.G., Zhuravlev, Y., Ryzhkov, L.N. (1991) Radiation heat transfer: a handbook. Moscow, Energoatomizdat., 432p.
9. Miheev, M.A., Miheeva, I.M. (1977). Heat transfer. Moscow “Energy”, 344p.
10. Tsvetkov, F.F., Grigoriev B.A. (2005) Heat and Mass Transfer. Moscow, Power Engineering Institute, 550p.
11. Kutateladze, S.S. (1974). Fundamentals of heat transfer theory. Moscow: Energoatomizdat, 416p.
12. Gusev, S.E., Shklover G.G. (1992). Free-convective heat transfer at the external flows. Moscow: Energoatomizdat, 160p.
13. Sebisi, T., Bradshaw, P. (1987) Convection. Physical and computational methods. Moscow: Mir, 592p.

14. Pozzi, A., Lupo, M. (1990). Variable-property effects in free convection. International Journal of Heat and Fluid Flow. Volume 11, issue 2. 135-141pp.
15. Samorodov, A.V. (2001). On the choice of the temperature in the processing of data natural heat transfer fin tube bundles. Proceedings of the 8th School of young scientists and specialists under the guidance of Academician AI Leontief. T.Ts. Moscow: MEI, pp. 317-320.
16. Sparrow, E.M., Gregg, J.L. (1958). The variable fluid property problem in free convection. Trans.ASME. Ser.C. – 1958. – V.80. – N4. – p.879-886.
17. Chand, J. (1979). Natural convection heat transfer from horizontal cylinders [Текст] / Jagdish Chand, Vir Dharam //Journal of chemical engineering of Japan. – Vol. 12, №3. – pp. 242–247.
18. Jaluria, Y. (1980) Natural convection: heat and mass transfer. New York: Pergamon press, 400p.
19. Krasnoshchekov, E. A., Sukomel, A. S. (1980). Book of problems in heat transfer. Moscow, USSR: Energy, 287.

УДК 536.24

В. Е. Туз, д-р техн. наук, профессор; Р. В. Неило

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ТЕПЛООБМЕНЕ В УСЛОВИЯХ  
ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ**

*В работе представлен анализ результатов экспериментального исследования теплоотдачи от одиночного горизонтального цилиндра в условиях свободной конвекции в разрезе использования различных характерных температур. Не смотря на значительное влияние на интерпретацию результатов физических экспериментов по исследованию теплоотдачи в условиях свободной конвекции выбора характерной температуры, до сих пор отсутствует единый подход к ее определению. В данной работе представлено обзор литературных сведений, проведен анализ предложенных определяющих температур, выполнен анализ результатов физического эксперимента по теплоотдаче одиночного цилиндра в разрезе использования различных определяющих температур. По итогам проведенной работы сделан вывод о более высоком соответствии полученных результатов представлениям о свободноконвективном теплообмене, при использовании в качестве определяющей температуры – температуры теплоносителя далеко от поверхности теплообмена.*

**Ключевые слова:** теплообмен, горизонтальная труба, свободная конвекция, определяющая температура.

Надійшла 18.11.2013

Received 18.11.2013

УДК 621:658.264

В.І. Дешко, д-р техн. наук, профессор; О.М. Шевченко, канд. техн. наук  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»  
А.С. Копець, А. Скірру-Новіцька, О.Р. Гарасевич  
Асоціація енергоефективних міст України

**ПОБУДОВА МЕТОДИК СЕРТИФІКАЦІЇ  
ЕНЕРГОЕКОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЕЛЬ В УКРАЇНІ НА  
ОСНОВІ ПРАКТИКИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТУ DISPLAY**

*Проведено аналіз європейської нормативної бази з питань оцінювання енергетичної ефективності будівель. Наведено результати використання одного з підходів до енергетичної сертифікації будівель – Display в містах України. Визначено його переваги та недоліки, що ускладнюють використання. Для адаптації методології Display запропоновано методи врахування впливових факторів на показник енергоефективності будівлі.*

**Ключові слова:** енергетична сертифікація, витрати енергії, енергетичне функціонування будівлі, інструментальний підхід, розрахунковий підхід, енергоефективність, фонд будівель, клас енергоефективності, первинна енергія.

© Дешко В.І., Шевченко О.М., Копець А.С., Скірру-Новіцька А., Гарасевич О.Р., 2013