

## РОЗРАХУНОК ОДИНОЧНОЇ ТРУБИ ПРИ ВИМУШЕНІЙ КОНВЕКЦІЇ

*В. Г. Горобець, доктор технічних наук*  
*e-mail: [nni.elektrik@gmail.com](mailto:nni.elektrik@gmail.com)*

*Анотація.* Використовуючи методику розрахунку тепло переносу в каналах трубних пучків, що враховує неізотермічність поверхні та градієнт температур в каналах проведено чисельний розрахунок та отримано локальні розподіли коефіцієнта тепловіддачі для одиночної труби. Проведено зіставлення чисельних результатів розрахунку з результатами розрахунку по спрощеним методикам та отримано похибки, які при цьому виникають.

**Ключові слова:** *теплоперенос, температурний градієнт, неізотермічність, коефіцієнт тепловіддачі, одиночна труба*

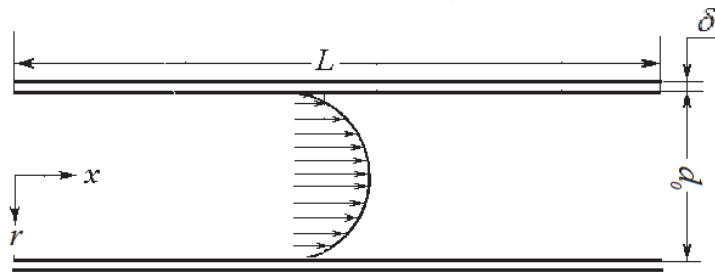
При розробці нових конструкцій теплообмінного устаткування необхідно проводити вибір теплообмінних поверхонь та визначати їх геометричні характеристики. Це стосується розрахунку котлів, теплообмінників різного призначення та інших пристроїв. При цьому можна використовувати спрощені методики розрахунку, які не враховують ряд факторів, наприклад, локальні розподіли коефіцієнтів теплообміну, неізотермічність поверхні обтікання та інші фактори. Внаслідок розрахунку по спрощеним методикам можна отримати не зовсім правильні результати, що в подальшому впливають на теплотехнічні характеристики обладнання. Для більш правильного розрахунку необхідно використовувати удосконалені методики, які враховують наведені вище фактори. В роботі на базі розробленої в [1] методики розрахунку теплопереносу в каналах трубних пучків, що враховує неізотермічність поверхні та градієнт температури на поверхні каналу проведено розрахунок теплообміну для одиночної труби.

**Мета досліджень** - провести розрахунок теплообміну для одиночної труби на базі методики розв'язку неізотермічних задач теплопереносу в трубних каналах при вимушеній конвекції, що враховує вплив температурного градієнта по поверхні стінок на коефіцієнти тепловіддачі.

**Результати досліджень.** Використовуючи методику розрахунку[1] розроблена математична модель та проведено чисельний розрахунок теплопереносу для одиночної труби в умовах вимушеної конвекції. Рівняння переносу для окремої труби (рис. 1) можна записати у вигляді[2]:

$$\lambda \delta \left( \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial \varphi^2} \right) = q_{1,m}(x, \varphi, \bar{T}) + q_2(x, \bar{T}), \quad (1)$$

де  $x, r, \varphi$  - повздовжня, поперечна та кутова координати,  $\lambda, \delta$  - відповідно коефіцієнт теплопровідності і товщина труби,  $\bar{T} = \frac{1}{\delta} \int_r^{r+\delta} T dx$  - усереднена температура по товщині труби,  $q_{1,m}(x, \varphi, \bar{T}), q_2(x, \bar{T})$  - щільність теплового потоку, який відводиться від зовнішньої і внутрішньої поверхні труби.



**Рис. 1. Розрахункова схема теплопереносу для одиночної труби**

Покладаємо, що на зовнішній поверхні труби справедливе співвідношення:

$$q_{1,m}(x, \varphi, \bar{T}) = \alpha_1 (\bar{T} - T_{out}), \quad (2)$$

де  $\alpha_1, T_{out}$  - коефіцієнт тепловіддачі і температура середовища на зовнішній поверхні труби.

На внутрішній поверхні труби згідно із співвідношення (13) знаходимо:

$$q_2(x, \bar{T}) = \frac{4\lambda_g}{d_0} \left[ \sum_{n=0}^{\infty} G_n \exp(-\lambda_n^2 \bar{x}) (\bar{T} - T_g) + \int_0^{\bar{y}} \left( \sum_{n=0}^{\infty} G_n \exp[-\lambda_n^2 (\bar{x} - \xi)] \right) \frac{d\bar{T}}{d\xi} d\xi \right] \quad (3)$$

де  $\bar{x} = \frac{2x}{d_0}$ ,  $Re_d = U_{2\infty} d_0 / \nu$ ,  $U_{2\infty}, d_0$  - швидкість потоку на вході в трубу і внутрішній діаметр труби,  $\lambda_g, T_g$  - коефіцієнт теплопровідності і температура теплоносія в трубі, а власні числа  $\lambda_n$  і параметри  $G_n$  для ламінарного та турбулентного режимів течії наведені в табл. 1,2.

Задаємо граничні умови на торцевих поверхнях труби на вході і виході потоку:

$$\bar{T}(x=0) = T_1, \bar{T}(x=L) = T_2, \quad (4)$$

де  $L$  – довжина труби.

З співвідношення (17) можна отримати локальні розподіли коефіцієнта тепловіддачі на поверхні труби:

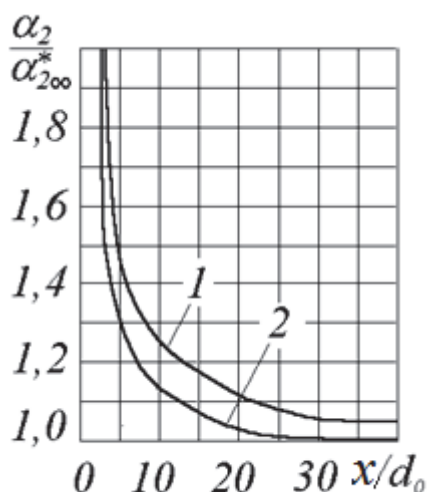
$$\alpha_2(x, \bar{T}) = \frac{q_2(x, \bar{T})}{(\bar{T} - T_g)}. \quad (5)$$

Проведено чисельні розрахунки рівняння (1) з граничними умовами (2)-(5). В якості зовнішнього і внутрішнього теплоносіїв вибрано повітря і відхідні гази продуктів горіння. В розрахунках вибрані наступні значення геометричних, теплофізичних та динамічних параметрів:

$$U_{2\infty} = 2 \text{ м/с}, d_0 = 20 \text{ мм}, \lambda = 40 \text{ Вт/мК}, \delta = 2 \text{ мм},$$

$$T_1 = 50^\circ\text{C}, T_2 = 10^\circ\text{C}, T_g = 200^\circ\text{C}, L = 0,8 \text{ м}, \alpha_1 = 40 \text{ Вт/м}^2\text{К}, T_{out} = 20^\circ\text{C}.$$

Розрахунки проведено для турбулентного режиму течії. На рис. 2 наведено розподіл локальних значень коефіцієнтів тепловіддачі  $\alpha_2(x)$  на внутрішній поверхні труби в напрямку  $0x$  ( $\alpha_{2\infty}^*$  – коефіцієнт тепловіддачі для ізотермічної труби при  $x \rightarrow \infty$ ). Як впливає з рисунка, максимальні значення  $\alpha_2(x)$  мають місце на вхідних ділянках, а мінімальні на ділянках, близьких до вихідного перерізу труби.



**Рис. 2.** Розподіл локальних коефіцієнтів тепловіддачі по довжині труби:

1 – чисельний розв'язок задачі; 2 – ізотермічна поверхня

Порівняння розрахункових значень  $\alpha_2(x)$ , знайдених при чисельному розв'язку задачі (крива 1), і розрахованих для ізотермічної поверхні  $\alpha_2^*(x)$  (крива 2) вказує на більш низькі локальні значення коефіцієнтів тепловіддачі, отримані в останньому випадку. Це обумовлено додатнім градієнтом температур на внутрішній поверхні труби в напрямку течії  $0x$ . Максимальні відмінності локальних значень  $\alpha_2(x)$  і  $\alpha_2^*(x)$  для турбулентного режиму течії складають 10-15%.

Таким чином, використання представленої методики, яка враховує вплив температурних градієнтів на поверхні обтікання в каналах на умови теплообміну, дає можливість проводити більш точний розрахунок теплопереносу для трубних пучків та інших теплообмінних поверхонь, у яких наявна вимушена течія в каналах.

### **Висновки**

1. Використовуючи методику розрахунку теплопереносу для неізотермічної поверхні в трубних каналах проведено чисельний розрахунок теплопереносу для одиночної труби, знайдено локальні розподіли коефіцієнта тепловіддачі в каналі.

2. Визначено похибки, які виникають при використанні спрощених методик розрахунку, які не враховують вплив градієнта температур на стінках каналу на теплообмінні характеристики поверхні обтікання.

### **Список літератури**

1. Горобець В.Г. Методика розрахунку теплообміну неізотермічних поверхонь при розвинутій вимушеній течії в трубних каналах / В.Г. Горобець // Енергетика і автоматика. – 2015. – №4.

2. Горобець В.Г. Теплообмен при обтекании неізотермических развитых поверхностей // В.Г. Горобець. – К.: «ЦП «Компринт», 2011. – 296 с.

## **РАСЧЕТ ЕДИНИЧНОЙ ТРУБЫ ПРИ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ**

***В.Г. Горобец***

*Аннотация. Используя методику расчета теплопереноса для неізотермических поверхностей в каналах трубных пучков проведен численный расчет и получены локальные распределения коэффициента теплоотдачи для одиночной трубы. Проведено сопоставление результатов численного расчета с результатами расчета по упрощенным методикам и получены погрешности, которые при этом возникают.*

***Ключевые слова: теплоперенос, температурный градиент, неізотермичность, коэффициент теплоотдачи, одиночная труба***

## CALCULATION OF PIPES SINGLE FORCED CONVECTION

*V. Gorobets*

*Annotation. Using the method of calculation of heat transfer in pipe channels for thenonisothermal surface the numerical calculation of heat transfer for single tube is conducted and distributions of local heat transfer coefficient in tube channel are received. A comparison the results of numerical calculation with the results of calculation using of simplified modalities is conducted and the errors that occur is found.*

*Key words: heat transfer, temperature gradient, nonisothermal, heat transfer coefficient, single tube*

УДК 621.3: 636.5

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ИЛИ ЭКОНОМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ ИНФРАКРАСНАЯ И КОНДУКТИВНАЯ СУШКА ДВИЖУЩИХСЯ СЫПУЧИХ КОРМОВ

*А.В. Дубровин, доктор технических наук  
e-mail: dubrovin1953@mail.ru*

*Аннотация. Разработана комбинированная инфракрасная и кондуктивная установка для сушки сыпучих кормов. Производство осуществляется в автоматизированном режиме по технико - экономическому критерию.*

*Ключевые слова: комбинированная инфракрасная и кондуктивная сушка, информационные технологии, автоматизация технологических процессов, эффективность производства, технико-экономический параметр*

Экономический критерий является всеобъемлющим показателем эффективности производства продукции. Его правильное применение требует достаточно точного учёта хотя бы основных общеизвестных его составляющих, наиболее сильно влияющих на результативность конкретного технологического процесса. Однако в практике управления, например, процессом