

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ В ТРУБЧАСТИХ УТИЛІЗАТОРАХ ТЕПЛОТИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Показано, що для інтенсифікації теплообміну в трубах ефективним методом є штучна турбулізація потоку кільцевими діафрагмами. Виконано дослідження впливу кроку діафрагм і висоти виступів на інтенсифікацію теплообміну та відносне збільшення гідравлічного опору труби.*

**Ключові слова:** інтенсифікація теплообміну, гідравлічний опір, штучна шорсткість, інтенсифікація теплообміну, утилізатор теплоти відхідних газів.

### *Abstract*

*It is shown that an effective method for intensifying heat exchange in pipes is the artificial turbulation of the flow by means of annular diaphragms. A study of the influence of the pitch of the diaphragms and the height of the protrusions on the intensification of heat exchange and the relative increase in the hydraulic resistance of the channel was carried out*

**Key words:** intensification of heat exchange, hydraulic resistance, artificial roughness, intensification of heat exchange, waste gas heat utiliser.

### Вступ

Інтенсифікація теплообміну та підвищення енергетичної ефективності теплообмінних апаратів мають велике значення для енергетики та інших галузей промисловості. Газоводяні теплообмінники, зокрема утилізатори теплоти відхідних газів, є габаритними та металоемними, що обумовлює необхідність застосування методів інтенсифікації теплообміну. Ефективним методом інтенсифікації теплообміну є застосування перервних поверхонь, що використовують ефект оновлення граничного шару, а також пристроїв, які створюють у потоці інтенсивні коливання та пульсації, зокрема профільні канали, штучна шорсткість та ін., комбіновані методи інтенсифікації теплообміну. Під час збурення потоку теплоносія потужність, яка витрачається на його перекачування може зростати, що призводить до збільшення витрат [1, 2]. В інтенсифікації теплообміну в трубах значна увага надається штучній турбулізації потоку кільцевими діафрагмами оскільки такий метод дає можливість застосовувати такі труби в тісних пучках і не змінювати існуючої технології збирання теплообмінних апаратів [3].

Мета роботи – дослідити вплив штучної турбулізації потоку кільцевими діафрагмами на інтенсифікацію теплообміну та відносне збільшення гідравлічного опору труби в трубчастому утилізаторі теплоти відхідних газів.

### Основна частина

Ефект інтенсифікації теплообміну обумовлений двома чинниками: штучною турбулізацією потоку і граничним числом Рейнольдса  $Re$ , яке визначає режим руху та тепловіддачу. Під час інтенсифікації теплообміну потрібно отримати інтенсивну турбулізацію потоку з найменшим відносним збільшенням гідравлічного опору каналу. Критерієм доцільності методу інтенсифікації теплообміну для розглянутих теплообмінних апаратів є відношення чисел Нуссельта для каналів з інтенсифікацією і для гладких каналів  $Nu/Nu_0$  та відповідних коефіцієнтів гідравлічних опорів  $\xi_{ш}/\xi_0$ , яке для різних типів теплообмінних апаратів різне. Числові дослідження гідравлічного опору та тепловіддачі в трубі з одиночними діафрагмами показали, що за певного співвідношення кроку діафрагм  $t/D$  і висоти виступів  $d/D$  можна досягти  $Nu/Nu_0 \geq \xi/\xi_0$ . Для розрахунків використані критеріальні рівняння [4, 5]. Результати розрахунків для руху відхідних газів котла в трубі з  $d/D = 0,88\dots 0,98$ ;  $t/D = 0,78$  і  $t/D = 0,34\dots 2,35$ ;  $d/D = 0,96$  показані на рис. 1 та рис. 2. відповідно.

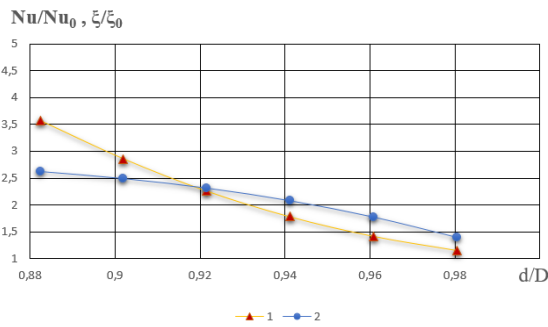


Рисунок 1 – Вплив на інтенсифікацію тепловіддачі висоти діафрагми  $d/D$ ,  $t/D = 0,78$ .  
1 –  $\xi/\xi_0$ ; 2 –  $Nu/Nu_0$

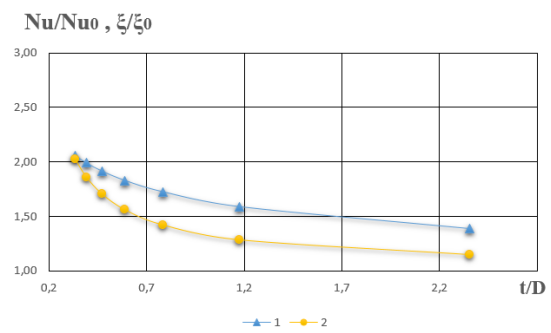


Рисунок 2 – Вплив на інтенсифікацію теплообміну кроку діафрагми  $t/D$ ,  $d/D = 0,96$   
1 –  $Nu/Nu_0$ ; 2 –  $\xi/\xi_0$ ;

Із рис. 1 видно, що зі збільшенням висоти діафрагми  $d/D$  збільшується ефект інтенсифікації. В діапазоні  $d/D$  від 0,88 до 0,98 інтенсивність теплообміну збільшується в 1,4...2,6 рази порівняно з гладкою трубою. При цьому відносний коефіцієнт опору зменшується від  $\xi/\xi_0$  від 3,6 до 1,15. Для відношення  $d/D \geq 0,92$  інтенсифікація теплообміну переважає над збільшенням гідравлічного опору. В разі збільшення кроку виступів від  $t/D$  від 0,34 до 2,35 для  $d/D = 0,96$  ефект інтенсифікації зменшується від 1,43...2 рази, а інтенсифікація теплообміну переважає над збільшенням гідравлічного опору (рис. 2).

## Висновки

Показано, що для інтенсифікації теплообміну в трубах ефективним методом є штучна турбулізація потоку кільцевими діафрагмами, а за певного співвідношення кроку діафрагм  $t/D$  і висоти виступів  $d/D$  можна досягти інтенсифікації теплообміну з меншим відносним збільшенням гідравлічного опору труби. Наприклад, для  $d/D$  від 0,88...0,98 інтенсивність теплообміну збільшується в 1,4...2,6 рази порівняно з гладкою трубою. В разі збільшення кроку виступів від  $t/D$  від 0,34 до 2,35 для  $d/D = 0,96$  ефект інтенсифікації зменшується. В досліджених діапазонах зміни геометрії труби з кільцевими діафрагмами інтенсифікація теплообміну переважає над збільшенням гідравлічного опору.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Dr. Chandresh Sharma<sup>1</sup>, Gajendra Singh Sodha. Review of Performance of Twisted Tapes in Turbulent Regime. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/461/1/012077/pdf>.
2. J. Alhamid, A. R., Al-Obaidi. Numerical Investigation of Fluid Flow, Characteristics of Thermal Performance and Enhancement of Heat Transfer of Corrugated Pipes with Various Configurations. Journal of Physics: Conference Series. 2021. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1733/1/012004/pdf>
3. Vicente, P. G., Garcia, A., & Viedma, A. (2004). Experimental investigation on heat transfer and frictional characteristics of spirally corrugated tubes in turbulent flow at different Prandtl numbers. International Journal of Heat and Mass Transfer, 47(4), 671-681.
4. Співак О.Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Методи інтенсифікації. Вінниця : ВНТУ, 2023. 112 с.
5. Мельник В.І., Цимбал Б.М. Аналіз теоретичних досліджень інтенсифікованого теплообміну в трубах. URL: <http://surl.li/sczyjz>. [https://doi.org/10.37700/enm.2020.1\(15\).13](https://doi.org/10.37700/enm.2020.1(15).13) - 28

**Резидент Наталія Володимирівна** – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [rezidentnv1@ukr.net](mailto:rezidentnv1@ukr.net)

**Чорний Володимир Олександрович** – магістрант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [natka.kucher19@gmail.com](mailto:natka.kucher19@gmail.com).

**Nataliia Rezydent** – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [rezidentnv1@ukr.net](mailto:rezidentnv1@ukr.net)

**Volodymyr Chorny** – post-graduate student of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia, e-mail: [vovachorny83@gmail.com](mailto:vovachorny83@gmail.com)