

# ГІДРОДИНАМІКА І ТЕПЛООБМІН ПРИ ПОПЕРЕЧНОМУ ОБТІКАННІ ПУЧКА ГЕЛІКОЇДНИХ ТРУБ

Ружанський А.С., Костик С.І., Шибецький В.Ю.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, anrux@protonmail.com

**Вступ.** У конструкціях теплообмінних апаратів, виконаних з пучків труб, часто передбачається поперечне зовнішнє обтікання пучка теплоносієм. При цьому виникає досить складна картина течії потоку, яка суттєво впливає на ефективність конвективної тепловіддачі. Використання калориферів, трубчастих теплообмінників різних конструкцій, де реалізується даний механізм руху, набули широкого застосування в біотехнологічному, фармацевтичному та харчовому виробництві. Найчастіше вони застосовуються на ділянках виробничих ліній де реалізуються процеси, зневоднення, концентрування, випарювання, сушіння тощо [1-2]. Ефективність таких трубчастих теплообмінних елементів найчастіше залежить від розташування труб в пучку та особливості геометрії. Найбільш поширеними варіантами є використання гладких чи оребрених труб. Однак, ефективність перших обмежена низькою питомою поверхнею, а других складністю, а інколи неможливістю використання для рідких теплоносіїв через високий гідравлічний опір. Альтернативою можуть стати виті труби, які володіють кращими характеристиками. В попередній роботі [3] авторами була запропонована конструкція гелікоїдної теплообмінної трубки і підтверджена її ефективність перед круглими.

**Матеріали і методи.** В основу даного дослідження поставлена задача провести порівняльний аналіз пучка гладких труб і пучка гелікоїдних труб із однаковими вихідними фізичними параметрами. Дане дослідження було проведено з використанням сучасного програмного забезпечення ANSYS, з метою аналізу впливу геометрії трубки на ефективність тепловіддачі та підбору оптимальних параметрів.

Для вирішення цих задач використано модуль Fluid Flow CFX системи кінцево-елементного аналізу ANSYS. Для проведення дослідження було побудовано 3D-моделі круглих і гелікоїдних труб, які зібрані в пучки. Довжина кожної труби 1000мм, діаметр труб 21 мм та 15 мм, ширина та висота міжтрубного простору 100 мм на 400 мм для пучків з 31 труби, гелікоїдна труба навита (50 обертів на 1000 мм довжини труби).

Задані граничні умови для повітря всередині трубного пучка (Рис.1, а):

- повітря входить через нижню область зі швидкістю 0,5 м/с, гранична умова «Air20\_Inlet»;
- вихід повітря розміщений з протилежної сторони об'єму;
- «Air20\_Outlet», тиск на виході з об'єму 1 атм;
- для бічних поверхонь встановлено тип границі «Air20\_Symmetry»;
- внутрішня частина має граничну умову з температурою 20 °С «Air20\_Wall»;

Аналогічно задані граничні умови для повітря ззовні трубного пучка (Рис.1, б):

- повітря входить через фронтальну область зі швидкістю 1 м/с, гранична умова «Air150\_Inlet»;
- вихід повітря розміщений з протилежної сторони об'єму;
- «Air150\_Outlet», тиск на виході з об'єму 1 атм;
- внутрішня частина має граничну умову з температурою 150 °С «Air150\_Wall».

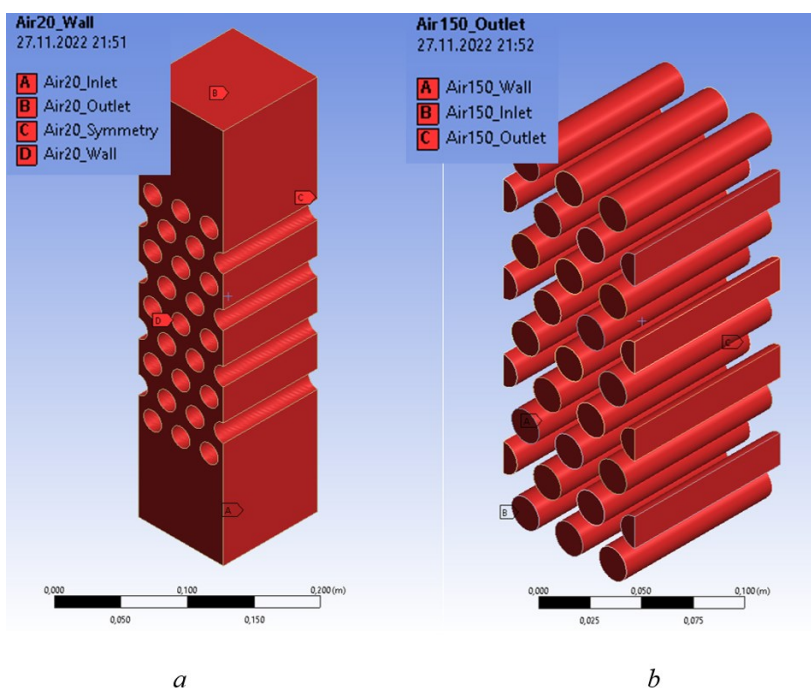


Рис. 1. Граничні умови: *a* – для теплоносія середині трубного пучка, *b* – для теплоносія зовні трубного пучка.

Параметри розрахункової сітки:

- сітка складається з тетраедрів (функція Method control: Tetrahedrons);
- при побудові сітки розмір елементу 0,002 м;
- середня кількість вузлів для однієї труби 200000-9000000;
- середня кількість елементів 120000-6000000.

**Результати і обговорення.** В результаті проведеного моделювання для обох пучків були отримані епюри швидкостей, тисків, температурних полів, кінетичної енергії турбулентності та інших конвективних параметрів. Це дозволило якісно і кількісно оцінити ефективність використання пучків гелікоїдних труб в порівнянні з пучком гладких круглих труб. Для прикладу наводимо епюри температур (Рис. 2.), швидкостей теплоносії (Рис. 3.) та коефіцієнтів тепловіддачі (Рис.4.), аналіз яких дозволяє оцінити ефективність конвективного теплообміну. Усереднене значення температур повітря після проходження пучка круглих гладких труб становить – 29,9 °С, а після гелікоїдних – 35,2 °С. Розподіл середніх швидкостей в каналах міжтрубного простору круглих гладких труб – 0,635 м/с, локально досягаючи значень – 1,6 м/с, а гелікоїдних труб – 0,773 м/с, локально – 2,1 м/с.

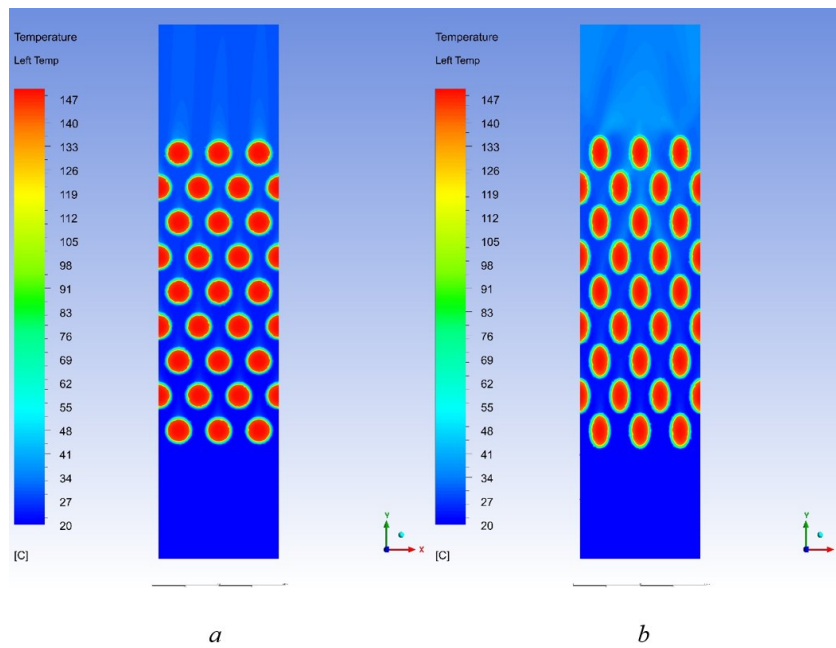


Рис. 2. Епюра температур: *a* – гладкий трубний пучок, *b* – гелікоїдний трубний пучок.

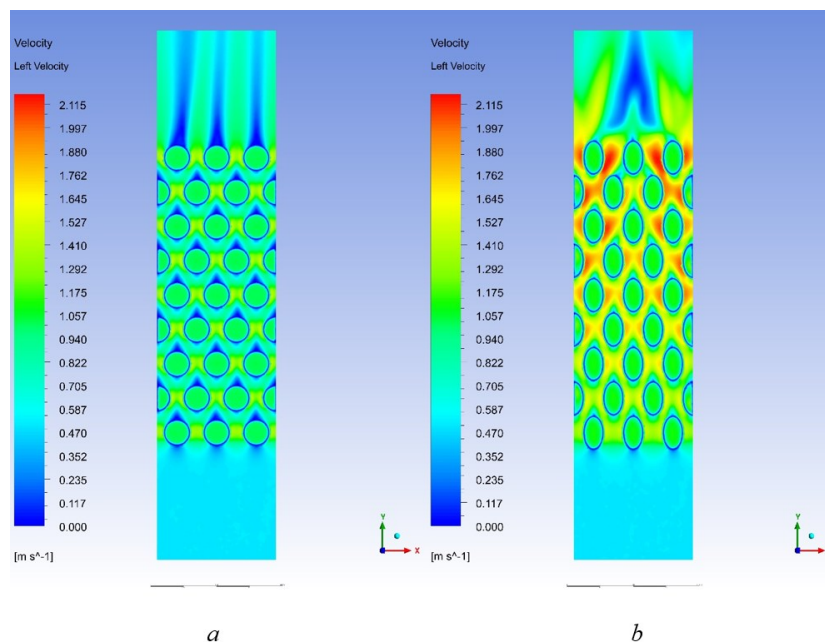
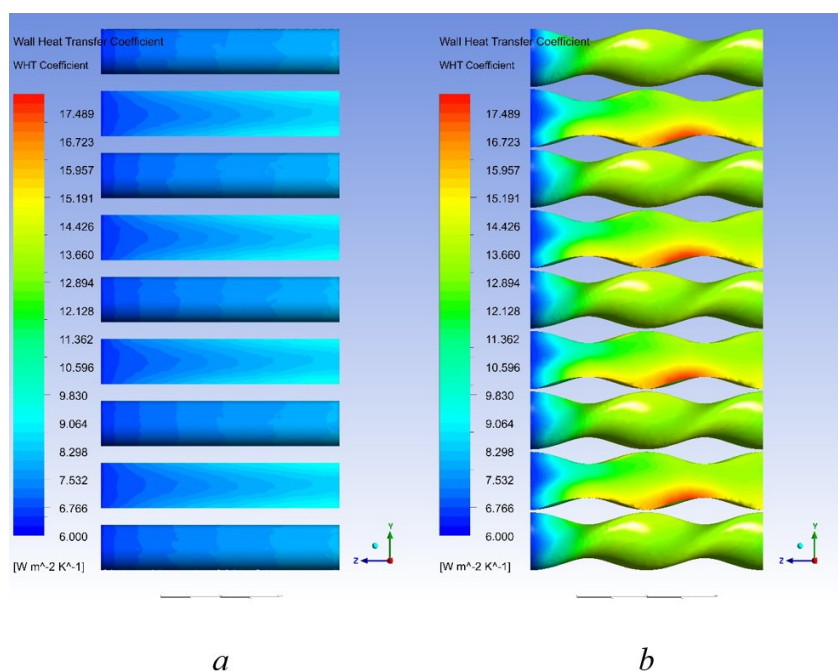


Рис. 3. Епюра швидкостей: *a* – гладкий трубний пучок, *b* – гелікоїдний трубний пучок.

У передній частині спостерігається плавне обтікання з утворенням та наростанням товщини пограничного шару. У кормовій частині відбувається відрив пограничного шару від поверхні з утворенням низки вихорів, які утворюють за трубами вихрову смугу. Локальне зростання швидкості і турбулізація потоку позитивно впливає на коефіцієнти тепловіддачі усереднені значення яких для круглих гладких труб становлять –  $12,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ , в свою чергу для гелікоїдних труб –  $16,75 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .



**Рис. 4. Епюра розподілу коефіцієнтів тепловіддачі по поверхні труб:  
 а – гладкий трубний пучок, б – гелікоїдний трубний пучок.**

**Висновки.** Порівняльний аналіз результатів моделювання дозволяє говорити про можливість використання розроблених гелікоїдних витих труб в класичному теплообмінному обладнанні. Середня енергоефективність такого гелікоїдного пучка на 37% вища за класичні гладкі труби круглого перерізу.

### Список використаної літератури:

1. Talib, R.N., Yasin, N.J., Nasser, M.A., 2019. The effect of external helical ribs tube on the heat transfer and pressure drop performance for multi - tube heat exchanger. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 518, 032015.
2. Pethkool, S., Eiamsa-ard, S., Kwankaomeng, S., Promvong, P., 2011. Turbulent heat transfer enhancement in a heat exchanger using helically corrugated tube. International Communications in Heat and Mass Transfer 38, 340–347.
3. Ruzhanskyi A., Kostyk S., Shybetskyi V. Simulation of fluid motion in a tubes of different cross-sections «Біотехнологія XXI століття»: матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 3 червня 2022) [Електронне видання] / Міністерство освіти і науки України, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Національна академія наук України, Інститут клітинної біології та генетичної інженерії – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 190-191.
4. Kostyk, S.I., Shybetskyi, V.Yu., Plashykhin, S.V., Bykoriz, Y.O. Determination of heat transfer efficiency in the conditions of forced convection from pipes with special ribs. ТТРЕ. 2021. 43. P. 21–29.
5. Korobiichuk, I., Shybetska, N., Shybetskyi, V., Kostyk, S. (2021). Modeling of Systems of Automated Auxiliary Processes in Pharmaceutical Industry. In: Szewczyk, R., Zieliński, C., Kaliczyńska, M. (eds) Automation 2021: Recent Achievements in Automation, Robotics and Measurement Techniques. AUTOMATION 2021. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1390. Springer, Cham.
6. Korobiichuk, I.; Mel'nick, V.; Shybetskyi, V.; Kostyk, S.; Kalinina, M. Optimization of Heat Exchange Plate Geometry by Modeling Physical Processes Using CAD. *Energies* 2022, 15, 1430.