

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛОЖЕННЯ ТРУБКИ В ПУЧКУ ТРУБ КОЖУХОТРУБЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА НА ПРОЦЕС ТЕПЛОВІДАЧІ

**Луняка К. В.**, д.т.н., професор кафедри теплотехніки Херсонської філії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, e-mail: lunyaka213@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5208-1701;

**Клюєв О. І.**, к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Херсонського національного технічного університету, e-mail: kluevoi@ukr.net, ORCID : 0000-0001-6803-0706;

**Русанов С. А.**, к.т.н., доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу Херсонського національного технічного університету, e-mail: ohvrbm@i.ua, ORCID: 0000-0002-1003-4867;

**Клюєва О. О.**, аспірантка кафедри транспортних систем і технічного сервісу Херсонського національного технічного університету, e-mail: kluevaaleksandra64@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8822-7792

*Метою дослідження є встановлення причини виходу з ладу периферійних труб кожухотрубчастого теплообмінного апарата і створення умов для інтенсифікації процесу тепловіддачі в цих апаратах. Проведене визначення швидкостей руху рідини, що нагрівається в трубах апарата, температури, до якої вона нагрівається, температури стінки труби та коефіцієнтів тепловіддачі залежно від положення даної труби в пучку труб (центральне чи периферійне).*

*Показано, що температура стінок периферійних труб значно перевищує таку для центральних, а коефіцієнт тепловіддачі у центральних трубах у 1,5-2 рази більший за цю величину для периферійних труб, що є причиною перегріву та виходу з ладу периферійних труб.*

*Показаний шлях подолання такого недоліку кожухотрубчастого апарата, як нерівномірний розподіл рідини по окремих трубах, який полягає у створенні розподільних вставок. Дослідження різних варіантів вставок дозволили знайти оптимальну їхню форму – у вигляді диска з розрахованою площею отворів на певних ділянках.*

*Визначення температур рідини на виході з окремих труб, температур стінки і коефіцієнтів тепловіддачі в КТА, постачених розподільними вставками, показало, що названі показники вирівнюються для усіх труб пучка*

**Ключові слова:** кожухотрубчастий теплообмінний апарат, нерівномірність розподілу рідини по трубах, тепловіддача, розподільні вставки.

DOI: 10.33815/2313-4763.2020.1.22.099-108

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями.** Кожухотрубчасті теплообмінні апарати (КТА) широко використовуються в різних галузях господарства. До недоліків таких апаратів слід віднести нерівномірність розподілу рідини по трубах діаметрального ряду апарата, внаслідок чого швидкості руху теплоносія по периферійних трубах значно менші за такі в центральних, що є причиною перегріву та виходу з ладу периферійних труб. Тому дослідження рівномірності розподілу рідини, що нагрівається, по трубах теплообмінника і створення пристроїв для вирівнювання швидкостей руху рідини й умов тепловіддачі в різних трубах КТА є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковане розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.**

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати забезпечують надійний теплообмін між теплоносіями завдяки значній поверхні теплообміну, яка утворюється великою кількістю труб. Порівнюючи ефективність роботи теплообмінників різного типу, дослідники [1–3] дійшли висновку про перевагу даного типу теплообмінників перед іншими. У зв'язку з цим не припиняються роботи по вдосконаленню конструкцій, поліпшенню обслуговування, підвищенню ефективності роботи цих апаратів [4–6].

Будь-які методи інтенсифікації теплообміну спираються на керування гідродинамікою процесів. Тому значна частина робіт присвячена саме вивченню впливу характеру руху теплоносія на інтенсивність теплообміну. Численні роботи [7–11] підтверджують значний вплив на теплові процеси гідродинаміки руху потоків. З метою інтенсифікації роботи теплообмінників використовують або методи збільшення поверхні теплообміну, або сприяють створенню турбулентних потоків теплоносіїв в апараті (оребріння, вставка турбулізаторів). Ці заходи суттєво впливають на ефективність роботи теплообмінників, підвищуючи коефіцієнт тепловіддачі у декілька разів.

Недоліком названих методів є складність у виготовленні турбулізаторів, збільшення гідравлічного опору, а також створення зон, які піддаються забрудненню, що, передусім сприяє зниженню ефективності роботи теплообмінників, оскільки спричиняє більш часті проведення профілактичних і ремонтних заходів.

Але усі названі заходи малоефективні у разі, якщо теплоносій практично не надходить у трубу внаслідок нерівномірності розподілу швидкостей потоків по трубах. Останнє підтверджується тим, що на практиці дуже часто відбувається вихід з ладу саме певної частини труб, що спричиняє необхідність більш частого ремонту апаратів. Але робіт, присвячених вивченню рівномірності розподілу швидкості рідини в трубах теплообмінника, вкрай мало. До них можна віднести винахід [12], де інтенсифікація тепломасообміну досягається шляхом підвищення рівномірності розподілу рідини по трубах тепломасообмінних апаратів плівкового типу. А втім, саме рівномірний розподіл швидкості теплоносія по трубах насамперед сприяє підвищенню ефективності роботи теплообмінника, оскільки, як було вже сказано, надто повільний рух рідини у частині труб знижує ефективність роботи апарата.

В роботах [13–15] показано, що розподіл рідини по трубах апарата досить нерівномірний – у центральних і периферійних трубах значно відрізняються тиски рідини і швидкості її руху, і запропоновано вирівнювати швидкості руху рідини в трубах шляхом установа в колекторній камері апарата розподільник вставок.

У зв'язку зі сказаним, потрібно провести аналіз тепловіддачі в трубах теплообмінного апарата залежно від їхнього положення в трубній решітці й оцінити вплив розподільних вставок на умови тепловіддачі.

**Формулювання мети статті, постановка задачі.** Метою дослідження є оцінка тепловіддачі в різних трубах кожухотрубчастого теплообмінного апарата і створення умов для рівномірного прогрівання усіх труб. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити зміни температур окремих труб кожухотрубчастого теплообмінного апарата залежно від їхнього положення у трубній решітці;
- розрахувати коефіцієнти тепловіддачі від труб до рідини, що нагрівається, залежно від положення труб;
- розробити пристрої для вирівнювання швидкостей рідини, її температури та коефіцієнтів тепловіддачі в різних трубах незалежно від їхнього положення у трубній решітці.

**Об'єктом дослідження** є кожухотрубчастий теплообмінний апарат. **Предметом дослідження** є рівномірність розподілу рідини, що нагрівається, по окремих трубах апарата і створення умов для рівномірної тепловіддачі від труб.

**Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** При виконанні роботи застосовувався експериментально-теоретичний метод дослідження. Експериментальна розрахункова частина полягала в отриманні та обробці даних щодо визначення швидкостей руху рідини, що нагрівається, по трубах теплообмінного апарата, температур рідини та стінок апарата, розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі від стінок труб до рідини залежно від положення труб та температури нагрівальної рідини (теплоносія).

Дослідження розподілу швидкості рідини по трубах діаметрального ряду кожухотрубчастого теплообмінника проводилися на спеціально створеній експериментальній установці, яка являла собою фрагмент реального теплообмінника з діаметром кожуха 150 мм, 37 трубами діаметром 14×1,5 мм, розташованими по колу (рис. 1). Для зручності дослідження була відрізана верхня частина апарата з кришкою, у верхні частини труб були вварені штуцери для приєднання дифманометрів, у труби одного діаметрального ряду були також вварені термомпари.

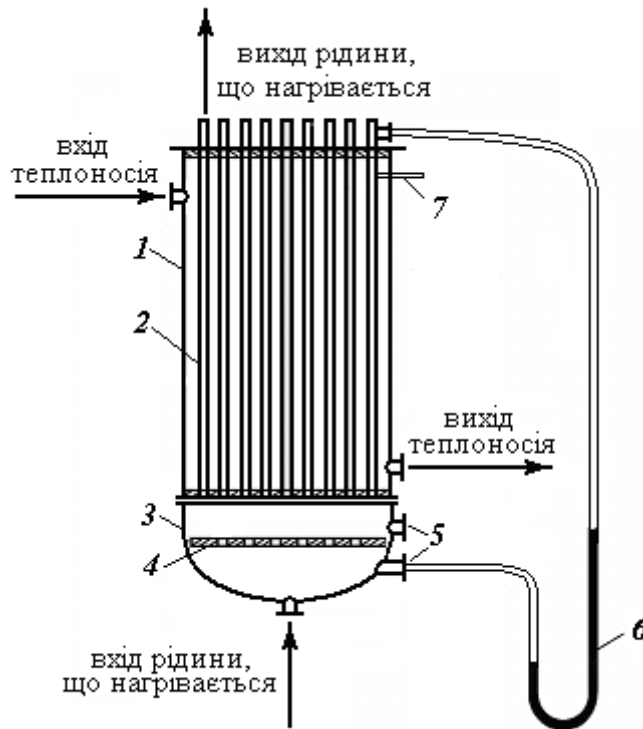


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки:

1 – корпус; 2 – труби; 3 – колекторна камера; 4 – розподільна вставка; 5 – штуцери для дифманометра; 6 – дифманометр; 7 – термомпара

У трубний простір через штуцер у нижній кришці, розташований по осі апарата, подавали воду (вода, що нагрівається) з температурою 20 °С, яка підтримувалася за допомогою термостата; температура води на виході з трубки вимірювалася термомпарою.

У міжтрубному просторі циркулювала вода (назвемо її теплоносієм) з температурою 60, 80 або 95 °С, яка підтримувалася шляхом її прокачування через термостат.

Виміри здійснювалися для половини труб діаметрального ряду, оскільки за такої умови спостерігається симетричний розподіл швидкості за загальних параметрів, указаних у табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри, загальні для досліджень

№ трубки	$t_n$ , °С	$\omega$ , м/с	$G$ , кг/с	$Q$ , Вт	$Re$
1	20	0,20	0,030	1003	3029
2	20	0,72	0,110	1839	10470
3	20	1,44	0,221	1847	20510
4	20	1,55	0,238	1989	22098

Позначення до табл. 1 і далі:

$\omega$  – швидкість руху рідини, що нагрівається, в трубах КТА, м/с;

$t_n$ , – початкова температура рідини, що нагрівається, °С;

$t_k$ , – кінцева температура рідини, що нагрівається, °С;

$t_{сер}$ , – середня температура рідини, що нагрівається, °С;

$t_{ст}$ , – температура стінки труби, °С;

$G$  – масова витрата рідини, що нагрівається, кг/с;

$Q$  – теплота, що передається від стінки труби до рідини, що нагрівається, Вт;

$Re$  – критерій Рейнольда;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до рідини, що нагрівається, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Основними показниками, що характеризують роботу теплообмінника, ми вважали різницю температур рідини на вході в апарат і на виході з нього, температуру стінки труби і коефіцієнт тепловіддачі.

Результати експериментів і розрахунків наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Залежність температур води, що нагрівається, і коефіцієнтів тепловіддачі від температури теплоносія і положення трубки

$t_{\text{теплоносія}},$ °C	№ трубки	$t_{\text{к}},$ °C	$t_{\text{н}}-t_{\text{к}}$	$t_{\text{сеп}},$ °C	$t_{\text{ст.}},$ °C	$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
60	1	25	5	22,5	43	1232
	2	22	2	21,5	39	3343
	3	21,5	1,5	20,8	37	5821
	4	21,5	1,5	20,8	35	6174
80	1	28	8	24	56	1215
	2	24	4	22	48	3397
	3	22	2	21	45	5818
	4	22	2	21	44	6176
95	1	30	10	25	64	1243
	2	27	7	23,5	57	3386
	3	24	4	22	54	5828
	4	23	3	21,5	52	6185

На рис. 2 представлені дані щодо впливу температури теплоносія на температуру води, що нагрівається, у трубках апарата залежно від положення трубки (на периферії або ближче до центра).

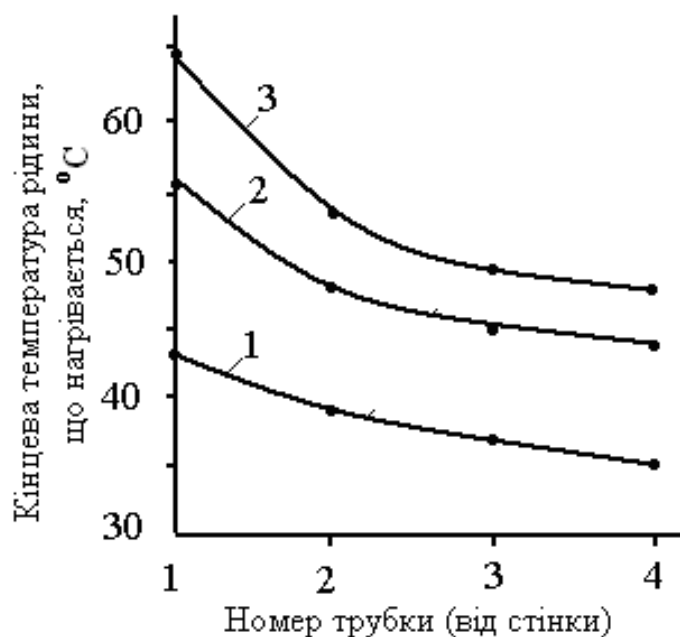


Рисунок 2 – Вплив положення трубки на кінцеву температуру рідини, що нагрівається, за різних температур теплоносія: 1 – 60 °C; 2 – 80 °C; 3 – 95 °C

На рис. 3 наведені залежності різниць температур між температурою теплоносія і температурою периферійної трубки (верхня лінія) і між периферійною та центральною трубками. Як бачимо, внаслідок низької швидкості води, що нагрівається, у периферійній трубці відведення теплоти від неї ускладнене, тому спостерігається помітний перегрів

стінки цієї трубки – різниця температур між стінкою труби і теплоносієм зростає. З підвищенням температури теплоносія ця різниця збільшується, і при температурі 95 °С вона складає 30 °. Зважаючи на те, що часто як теплоносієм використовується водяна пара з температурами 130–150 °С, при лінійній залежності між  $\Delta t_{\text{теплоносія}}$  і  $t_{\text{ст.}}$  можна очікувати перегрів периферійних труб на 40–50 °С, що й спричиняє вихід їх з ладу. Що стосується різниці температур між периферійною та центральною трубками, то з підвищенням температури теплоносія вона також зростає.

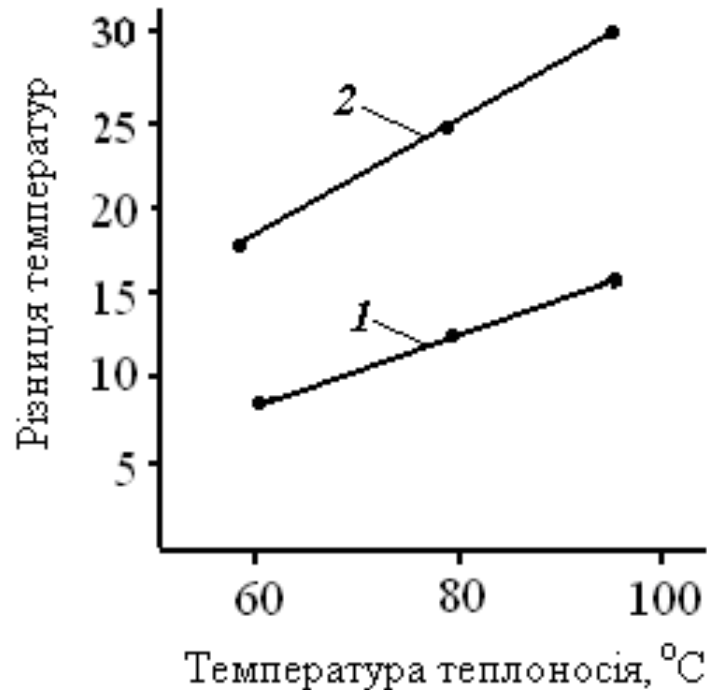


Рисунок 3 – Залежність різниці температур між периферійною та центральною трубками (лінія 1) і між теплоносієм і периферійною трубкою (лінія 2)

На рис. 4 представлений вплив положення трубки на величину коефіцієнта тепловіддачі від стінки трубки до води, що нагрівається. Ми бачимо, що ця величина у центральній трубці у п'ять разів перевищує ту, що у периферійній, що також свідчить про низьку ефективність тепловіддачі у частині труб КТА.



Рисунок 4 – Вплив положення трубки на величину коефіцієнта тепловіддачі

Отже, отримані результати свідчать про те, що нерівномірний розподіл швидкості руху теплоносія (у центральній трубці швидкість руху рідини складала 1,55 м/с, а у периферійній – 0,2 м/с) спричиняє значні відхилення таких показників, як температура рідини на виході з апарата, температура стінки труби і коефіцієнти тепловіддачі від труби до рідини, що нагрівається.

З метою створення сприятливих умов теплообміну було запропоновано [14] використовувати розподільні вставки з розрахованим опором (кількістю отворів) за фрагментами (периферійний, проміжний і центральний). Розглянемо, як у цьому випадку розподіляються температури стінки труби та коефіцієнти тепловіддачі залежно від розташування труби.

Для цього в експериментальному теплообміннику використовувалася розподільна вставка (рис. 1, поз. 4). Досліди проводилися аналогічно описаному раніше.

При використанні розподільної вставки відбувалося вирівнювання швидкостей руху рідини в трубах. Так, швидкість складала: для 1 трубки – 0,87 м/с, 2 – 0,89 м/с, 3 – 0,90 м/с, 4 – 0,92 м/с. Це призвело до вирівнювання інших показників – температури води на виході, температури стінки труби і коефіцієнтів тепловіддачі. Про це свідчать експериментальні дані для температури теплоносія 60 °С, наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Залежність температур води, що нагрівається, і коефіцієнтів тепловіддачі від температури теплоносія і положення трубки при використанні розподільної вставки

$t_{\text{теплоносія}},$ °С	№ трубки	$t_{\text{к}},$ °С	$t_{\text{н}}-t_{\text{к}}$	$t_{\text{сеп}},$ °С	$t_{\text{ст.}},$ °С	$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
60	1	21,5	1,5	20,8	38	3908
	2	21,6	1,6	20,8	37	3959
	3	21,7	1,7	20,8	37	3996
	4	21,6	1,6	20,8	37	4067
	середні	21,6	1,6	20,8	37	3982

Представлені результати показали, що при використанні розподільної вставки, яка являє собою диск з оптимальним розташуванням отворів, спостерігається вирівнювання швидкостей руху рідини по трубах діаметрального ряду. На відміну від експериментів, при яких розподільна вставка не використовувалася, при використанні запропонованої розподільної вставки різниця у швидкостях у центральній і боковій трубах не перевищує 5 %, тобто потік рідини розподіляється по трубах рівномірно. Це призводить до рівномірного нагрівання як центральних, так і бокових труб, що запобігає перегріву периферійних труб.

Отже, створення рівномірного поля швидкостей теплоносія по трубах кожухотрубного теплообмінника сприяє рівномірному нагріванню як центральних, так і периферійних труб, і підвищенню коефіцієнта тепловіддачі у бокових трубах. На практиці це призводить до збільшення терміну роботи теплообмінника між ремонтами і підвищення ефективності роботи апарата.

**Висновки і перспектива подальшої роботи в даному напрямі.** Отримані результати свідчать про те, що причиною виходу з ладу або низької ефективності тепловіддачі в периферійних трубах кожухотрубчастого теплообмінного апарата є нерівномірність розподілу швидкостей руху рідини в різних трубах і внаслідок цього низьких коефіцієнтів тепловіддачі в тих трубах, де ця швидкість мала. Використання розподільних вставок надає можливість без великих матеріальних витрат підвищити ефективність роботи теплообмінників і збільшити термін їхньої роботи між ремонтами або профілактичними заходами. (конкретизувати).

Як перспективу подальшої роботи у даному напрямі ми вважаємо проведення паспортизації працюючих на різних виробництвах кожухотрубчастих теплообмінників з

метою пропозиції організації майстерні або ділянки майстерні з виготовлення розподільних пристроїв і встановлення їх на працюючих апаратах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Incropera F. P., Dew. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Sth ed. Wiley, New York, 2001. 584 p.
2. Валуева Е. П., Доморацкая Т. А. Оценка теплогидравлической эффективности рекуперативных теплообменных аппаратов. *Теплоэнергетика*. Московский энергетический институт, 2000. № 3. С. 43–48.
3. Сергеев С. М. Экспериментальное исследование и разработка методов повышения тепловой эффективности пучков гладких труб при установке внешних турбулизаторов : автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Москва : Моск. гос. откр. ун-т, 2000. 22 с.
4. Матушкін М. П. Методи інтенсифікації конвективного теплообміну в теплообмінних апаратах. *Хімічна промисловість України*. 1998. С. 29–34.
5. Luo Xiaoring, Deng Xianhe, Deng Songjiu. Сравнение характеристики теплоотдачи труб с интенсифицированной теплоотдачей в кольцевых каналах. *Huanan ligong daxue xuebao. Ziran kexue ban = J.S. China Univ. Tehnol. Natur. Sci.* 1997. № 5. С. 26–30.
6. Shah R.K., Kraus A.D., Metzger D. Compact Heat Exchangers. Hemisphere Publishing Corporation, New York. 1990. 736 p.
7. Хохендорф У., Юрманов Б. Н., Новгородский Е. Е. Интенсификация теплообмена в трубном пучке. *Проблемы энергообеспечения и экологии : сборник научных трудов*. Брянск : Изд-во Брянск. гос. техн. ун-та. 2001. С. 10–19.
8. Kays W.M., London A.L. Compact Heat Exchangers, Krieger Publishing Company, Malabar, FL, 1998. 398 p.
9. Enhancement of heat transfer by a combination of three – stats spirally corrugated tubes with a twisted tape. Zimparov Ventsislav (Gabrovo Technical University, 4 Hadji Dimitar Street, BG – 5300 Gabrovo, Bulgaria E-mail address: vdzim tugab.bg.(V. Zimparov)). *Int. J. Heat and Mass Transfer*. 2001. 44, № 3, P. 551–574.
10. Dutta S., Dutta P., Jones. R. E., Khan J. A. Heat transfer coefficient enhancement with perforated baffles. *Trans. ASME. J.Heat Transfer*. 1998. 120, № 3. P. 795–797.
11. Kakas S., Liu H. Heat Exchan: Selection, Ration and Thermal Design. CRC Press, Boca Ration, FL, 2002. 472 p.
12. Zpusob odstranovani nanosu a usarenin Fiala Milos, Novorka Gustav A. с. 226239, ЧССР. Заявл. 16.12.81, №PV 9354-81, опубл. 01.02.86. МКИ В 08 В3/08.
13. Луняка К. В., Ключев О. І., Русанов С. А., Луняка Л. А. Оцінка ефективності роботи кожухотрубчастого теплообмінного апарату. *Тези Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв, 2018. С. 261–264.
14. Луняка К. В., Ключев О. І., Русанов С. А. Створення рівномірного розподілу руху теплоносія в трубах кожухотрубчастого теплообмінника за допомогою розподільних вставок. *Транспорт: Механічна інженерія. Експлуатація. Матеріалознавство : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції*. Херсон, 2017. С. 35–36.
15. Ключев О. І., Луняка К. В., Русанов С. А. Дослідження рівномірності розподілу рідини по трубах кожухотрубчастого теплообмінного апарату при різних способах введення рідини в апарат і створення нових конструкцій розподільних пристроїв. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. Вип. 38. С. 53–57.

## REFERENCES

1. Incropera F.P., Dew. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Sth ed. Wiley, New York. 2001. 584 p.
2. Valueva E.P., Domorackaja T.A. [Assessment of the thermohydraulic efficiency of recuperative heat exchangers], *Moskovskij jenergeticheskij institut [Moscow Power Engineering Institute]*, *Teplojenergetika [Heat power engineering]*. 2000. №3. P.43-48. [in Russian].
3. Sergeev S.M. [Experimental research and development of methods to increase the thermal efficiency of smooth tube bundles when installing external turbulators], Extended abstract of candidate's thesis, Moscow, *Moskovskij gosudarstvennyj otkrytyj universitet [Moscow State Open University]*. 2000. 22p. [in Russian].
4. Matushkin M.P. [Methods of intensification of convective heat transfer in heat exchangers], Zhytomyr, *Khimichna promyslovist Ukrainy [Chemical industry of Ukraine]*.1998. P.29-34. [in Ukrainian].
5. Luo Xiaoping, Deng Xianhe, Deng Songjiu [Comparison of heat transfer characteristics of pipes with intensified heat transfer in annular channels], *Journal of South China University of Technology*.1997. №5. P.26-30. [in Russian].
6. Shah R.K., Kraus A.D., Metzger D. Compact Heat Exchangers. Hemisphere Publishing Corporation, New York. 1990. 736 p.
7. Hohendorf U., Jurmanov B.N., Novgorodskij E.E [Intensification of heat transfer in a tube bundle. Problems of energy supply and ecology], *Sbornik nauchnyh trudov [Collection of scientific papers]*, Bryansk, *Brjanskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet [Bryansk State Technical University]*. 2001. P. 10-19.
8. Kays W.M., London A.L. Compact Heat Exchangers, Krieger Publishing Company, Malabar, FL. 1998. 398 p.
9. Enhancement of heat transfer by a combination of three – stats spirally corrugated tubes with a twisted tape. Zimparov Ventsislav (Gabrovo Technical University, 4 Hadji Dimitar Street, BG – 5300 Gabrovo, Bulgaria E-mail address: vdzim tugab.bg.(V. Zimparov)).*Int. J. Heat and Mass Transfer*. 2001. 44. №3. P.551-574.
10. Dutta S., Dutta P., Jones. R.E., Khan J.A. Heat transfer coefficient enhancement with perforated baffles, *trans. ASME. J.Heat Transfer*. 1998. 120. №3. P. 795-797.
11. Kakas S., Liu H. Heat Exchan: Selection, Ration and Thermal Design. CRC Press, Boca Ration, FL. 2002.472 p.
12. Fiala Milos, Hovorka Gustav A. «Zpusob odstranovani nanosu a usarenin» c. 226239, СССР. Заявл. 16.12.81, №PV 9354-81, опубл. 01.02.86. МКИ В 08 В3/08. [in Russian].
13. Lunyaka K.V., Kliuiev O.I., Rusanov S.A., Lunyaka L.A. Otsinka efektyvnosti roboty kozhukhotrubchastoho teploobminnoho aparatu [Evaluation of the efficiency of the shell-and-tube heat exchanger], *Tezy Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi, Materialy IKh Mizhnarodnoi naukovu-tekhničnoi konferentsii [Abstracts of Innovations in Shipbuilding and Ocean Engineering, Proceedings of the IX International Scientific and Technical Conference]*, Mykolaiv. 2018. P.261-264. [in Ukrainian].
14. Luneaka K.V., Kliuiev O.I., Rusanov S.A., Lunyaka L.A. Stvorennia rivnomirnoho rozpodilu rukhu teplonosiia v trubakh kozhukhotrubchastoho teploobminnyka za dopomohoiu rozpodilnykh vstavok [Creating a uniform distribution of the movement of the coolant in the pipes of the shell-and-tube heat exchanger by means of distribution inserts], *Materialy Mizhnarodnoi naukovu-tekhničnoi konferentsii «Transport: Mekhanichna inzheneriia. Ekspluatatsiia. Materialoznavstvo [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Transport: Mechanical Engineering. Operation. Materials Science]*, Kherson. 2017. P.35-36. [in Ukrainian].



15. Kliuiev O.I., Lunyaka K.V., Rusanov S.A. [Investigation of the uniformity of fluid distribution through the pipes of the shell-and-tube heat exchanger with different methods of introducing fluid into the apparatus and creating new designs of switchgear], Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu [Bulletin of Priazovsky State Technical University ], Series: Technical Sciences. Vip. 38.2019. P.53-57.[in Ukrainian].

**Луняка К. В., Клюев О. И., Русанов С. А., Ключева А. О. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ТРУБКИ В ПУЧКЕ ТРУБ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА НА ПРОЦЕСС ТЕПЛООТДАЧИ**

*Целью исследования является установление причины выхода из строя периферийных труб кожухотрубного теплообменного аппарата и создания условий для интенсификации процесса теплоотдачи в этих аппаратах.*

*Проведено определение скоростей движения жидкости, нагреваемой в трубах аппарата, температуры, до которой она нагревается, температуры стенки трубы и коэффициентов теплоотдачи в зависимости от положения данной трубы в пучке труб (центральная или периферийная).*

*Расчет коэффициентов теплоотдачи проводился на основании скорости движения нагреваемой жидкости в отдельных трубах, определяемой по расходу жидкости и площади сечения трубки; ее температурах на входе в трубку (поскольку холодная жидкость поступала из термостата, её температура была известна) и выходе из нее (измерялась с помощью термометра); температуры стенок трубы, измеряемых термометрами; количества теплоты, передаваемой от стенок трубы к нагреваемой жидкости, рассчитанного из уравнения теплоотдачи.*

*Показано, что температура стенок периферийных труб значительно превышает таковую для центральных, а коэффициент теплоотдачи в центральных трубах внятеро больше этой величины для периферийных труб, что является причиной перегрева и выхода из строя периферийных труб.*

*Показан путь преодоления такого недостатка кожухотрубного аппарата, как неравномерное распределение жидкости по отдельным трубам, который состоит в создании распределительных вставок. Исследования разных вариантов вставок позволили найти оптимальную их форму – в виде диска с рассчитанной площадью отверстий на определенных участках.*

*Определения температур жидкости на выходе из отдельных труб, температур стенки и коэффициентов теплоотдачи в КТА, снабженных распределительными вставками, показало, что названные показатели выравниваются для всех труб пучка.*

**Ключевые слова:** кожухотрубный теплообменный аппарат, неравномерность распределения жидкости по трубам, теплоотдача, распределительные вставки.

**Lunyaka K. V., Kliuiev O. I., Rusanov S. A., Kliuieva O. O. ., STUDY OF THE INFLUENCE OF THE TUBE POSITION IN THE TUBE BUNDLE OF THE SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER ON THE PROCESS OF HEAT TRANSFER**

*The paper is concerned with an issue of liquid distribution in the diametrical bank tubes of the shell and tube heat exchanger. The experimental-theoretical approach for the research has been applied. The data on the determination of velocities of the heated liquid through the pipes of the heat exchanger have been obtained and processed. The research was carried out at the created experimental factory.*

*Water at a temperature of 20 °C has been supplied to the tubes. The temperature of the water has been maintained by a thermostat. The temperature at the outlet of the tube has been measured with a thermocouple element. Water (heat conductor,) at a temperature of 60, 80 or 95 °C has been circulating in the outside of tubes space. The temperature of the water has been maintained by pumping it through a thermostat.*

*The velocities of the heated liquid in the diametric bank tubes have been determined, which differed considerably depending on the position of the tube. Consequently, the results of the research obtained have discovered the significant deviations of such parameters as the liquid temperature at the outlet of the apparatus, tube wall temperature and heat transfer coefficients between the tube and heated liquid.*

*The distribution insert has been used, in order to match the above-mentioned indicators. The distribution insert is a disk with the optimized holes. The alignment of the liquid velocities through the tubes of the diametric bank has been observed, which has consequently led to the uniform heating of both the central and side tubes. The study outcome has proven to be the solution to prevent the overheating of the peripheral tubes.*

*Thus, the generation of a uniform field of velocities for the heat transfer agent through the tubes of the shell and tube heat exchanger contributes to the uniform heating of both central and peripheral tubes, and increases the heat transfer coefficient in the side tubes.*

*The conclusion has been drawn that the reason for the failure or heat transfer low efficiency in the peripheral tubes of the shell and tube heat exchanger is the nonuniform distribution of liquid velocities in different tubes and as a consequence, the low heat transfer coefficient in those tubes where the velocity is low.*

**Keywords:** *shell and tube heat exchanger, nonuniform distribution of liquid in tubes, heat transfer, distribution inserts.*

© Луняка К. В., Ключев О. І., Русанов С. А., Ключева О. О.

Статтю прийнято  
до редакції 25.05.20