

ISSN 2313-4763

Міністерство освіти і науки України

Херсонська державна морська академія

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

Науковий журнал

Виходить двічі на рік

№ 1 (22)

Херсон
2020

Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. Херсон : Херсонська державна морська академія, 2020. № 1 (22). 184 с.

Засновник і видавець – Херсонська державна морська академія

Рекомендовано до друку на засіданні вченої ради Херсонської державної морської академії (протокол № 1 від 28.08.2020 р.)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Букетов А. В., д.т.н., Херсонська державна морська академія, Україна, головний редактор.

Тематична спрямованість – Транспортні технології:

Гнатов А. В., д.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, відповідальний редактор рубрики;

Аргун І. В., к.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, член редколегії;

Ляшук О. Л., д.т.н., Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна, член редколегії;

Patlins Antons, Doctor of Engineering Science, Riga Technical University, Латвія, член редколегії;

Шарко В. О., д.т.н., Херсонська державна морська академія, Україна, член редколегії.

Тематична спрямованість – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології:

Рожков С. О., д.т.н., Херсонська державна морська академія, Україна, відповідальний редактор рубрики;

Жук Д. О., к.т.н., Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Україна, член редколегії;

Zhiravetska Anastasia, Dr. Sc. Ing., Professor, Riga Technical University, Латвія, член редколегії;

Полівода О. В., к.т.н., Херсонський національний технічний університет, Україна, член редколегії;

Степенко С. А., к.т.н., Національний університет «Чернігівська політехніка», Україна, член редколегії;

Хлопенко М. Я., д.т.н., Херсонська державна морська академія, Україна, член редколегії.

Тематична спрямованість – Матеріалознавство:

Сапронов О. О., к.т.н., Херсонська державна морська академія, Україна, відповідальний редактор рубрики;

Акімов О. В., к.т.н., Херсонська державна морська академія, Україна, член редколегії;

Брайло М. В., к.т.н., Херсонська державна морська академія, Україна, член редколегії;

Dulebová Ľudmila, PhD., assoc. Prof., Technical University of Kosice, Словаччина, член редколегії;

Сизоненко О. М., д.т.н., Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Україна, член редколегії;

Стухляк П. Д., д.т.н., Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, Україна, член редколегії;

Фесенко І. П., д.т.н., Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Україна, член редколегії.

Адреса редакційної колегії: 73000, м. Херсон, просп. Ушакова, 20, тел.: (0552) 22-35-69

Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 18987-7776ПР від 11.05.2012 р.

Журнал унесено до Переліку наукових фахових видань України категорії «Б» (Наказ МОН України № 886 від 02.07.2020 р.).

Журнал індексується українською загальнодержавною реферативною базою даних «Україніка наукова», міжнародною наукометричною базою «Наукова електронна бібліотека E-Library.Ru» (Російський індекс наукового цитування – РИНЦ), міжнародною реферативною базою даних Google Scholar, міжнародною наукометричною базою Researchbib, представлений у Науковій електронній бібліотеці Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського, міжнародній реферативній базі даних Crossref.

ISSN 2313-4763

© Науковий вісник Херсонської державної морської академії, 2020

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛОЖЕННЯ ТРУБКИ В ПУЧКУ ТРУБ КОЖУХОТРУБЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА НА ПРОЦЕС ТЕПЛОВІДДАЧІ

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 (оребрення, 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 установлення 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.

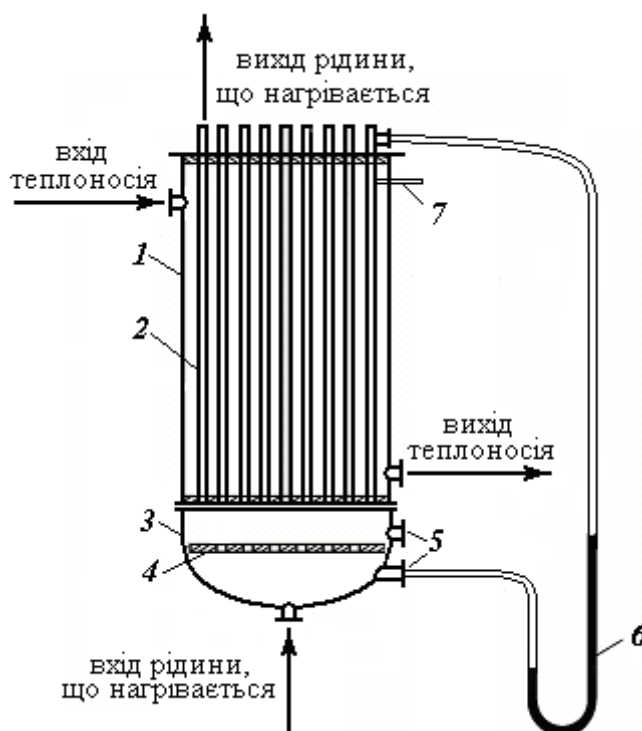


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки:

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

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 термопарою.

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	$t_m, ^\circ\text{C}$	$\omega, \text{м/с}$	$G, \text{кг/с}$	$Q, \text{Вт}$	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:

ω – швидкість руху рідини, що нагрівається, в трубах КТА, м/с;

$t_{\text{п}}$, – початкова температура рідини, що нагрівається, °С;

$t_{\text{к}}$, – кінцева температура рідини, що нагрівається, °С;

 $t_{\text{сер}}$ – середня температура рідини, що нагрівається, °C;

$t_{\text{ст.}}$ – 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 Рейнольдса;

α – коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до рідини, що нагрівається, Вт/(м²·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

$t_{\text{теплоносія}}, ^\circ\text{C}$	№ трубки	$t_k, ^\circ\text{C}$	$t_n - t_k$	$t_{\text{сеп}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{ст.}}, ^\circ\text{C}$	$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
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).

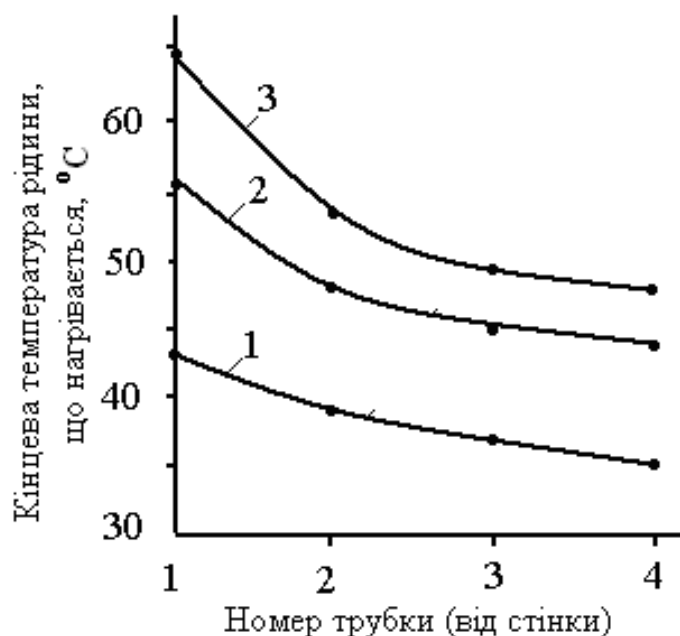


Рисунок 2 – Вплив положення трубки на кінцеву температуру рідини, що нагрівається, за різних температур теплоносія: 1 – 60 °C; 2 – 80 °C; 3 – 95 °C

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 °C вона складає 30 °. Зважаючи на те, що часто як теплоносій використовується водяна пара з температурами 130–150 °C, при лінійній залежності між $\Delta t_{\text{теплоносія}}$ і $t_{\text{ст.}}$ можна очікувати перегрів периферійних труб на 40–50 °C, що й спричиняє вихід їх з ладу. Що стосується різниці температур між периферійною та центральною трубками, то з підвищенням температури теплоносія вона також зростає.

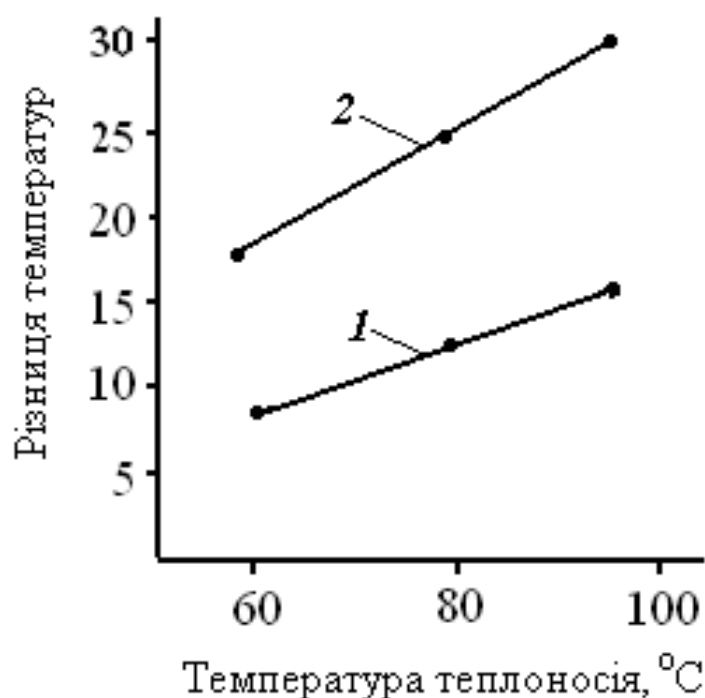


Рисунок 3 – Залежність різниці температур між периферійною та центральною трубками (лінія 1) і між теплоносієм і периферійною трубкою (лінія 2)

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.

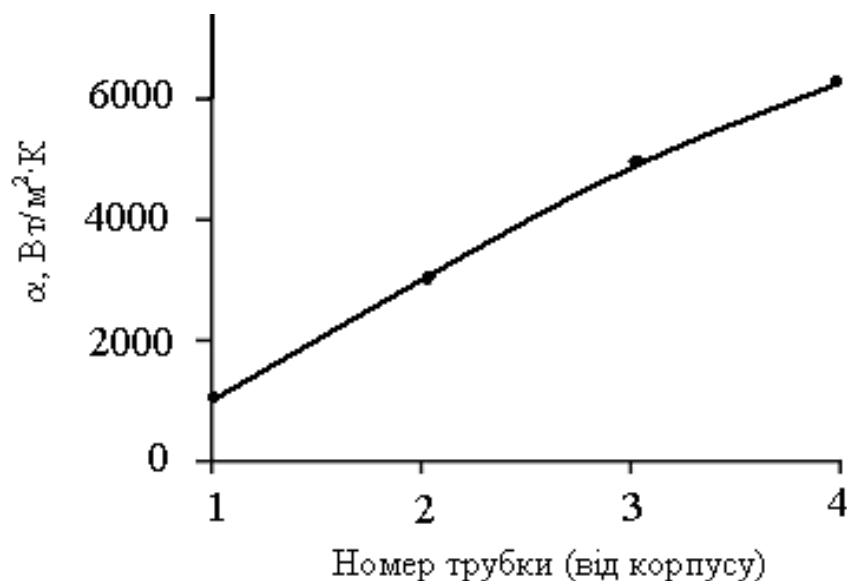


Рисунок 4 – Вплив положення трубки на величину коефіцієнта тепловіддачі

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

$t_{\text{теплоносій}},$ °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 Xiaoping, 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, Moskow, 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 Excangers. 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 tehniceskij 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 naukovo-tekhnichnoi 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 rivnomirnogo rozpodilu rukhu teplonosiiia 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 naukovo-tekhnichnoi 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., Ключев 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 термопарами; 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. RESEARCH OF INFLUENCING OF POSITION OF TUBE IN THE BUNCH OF PIPES OF KOZHUKHOTRUBNOGO TEPLOOBYMENNYKA ON THE PROCESS OF HEAT EMISSION

The article is devoted to the problem of fluid distribution in the pipes of the diametrical bank of shell and tube heat exchanger. The experimental-theoretical method of research was used. Data on the determination of the velocities of the heated liquid through the pipes of the heat exchanger were obtained and processed. The research was carried out on the created experimental plant.

Water with a temperature of 20 °C was supplied to the pipes, which was maintained by a thermostat. The temperature at the outlet of the tube was measured with a thermocouple. Water (heat conductor) with a temperature of 60, 80 or 95 °C was circulating in the intertube space, which was maintained by pumping it through a thermostat.

The velocities of the heated liquid in the pipes of diametric bank were determined, which differed significantly depending on the position of the pipe and this led to significant deviations of such parameters as the liquid temperature at the outlet of the apparatus, pipe wall temperature and heat transfer coefficients from pipe to heated liquid.

The distribution insert was used, in order to align the above-mentioned indicators. The distribution insert is a disk with the optimized holes. The alignment of the velocities of the fluid through the pipes of the diametric bank was observed. This leads to uniform heating of both the central and side pipes. It prevents overheating of the peripheral pipes was found.

Thus, the creation of a uniform field of velocities of the coolant through the pipes of the shell and tube heat exchanger contributes to the uniform heating of both central and peripheral pipes, and increase the heat transfer coefficient in the side pipes.

It was concluded that the reason for failure or low efficiency of heat transfer in the peripheral pipes of the shell an -tube heat exchanger is the uneven distribution of fluid velocities in different pipes and consequently low heat transfer coefficients in those pipes where this speed is low. It may be started that using of distribution inserts opens the possibility without high material costs to increase the efficiency of heat exchangers and increase their service life between repairs or planned maintenance.

Keywords: *shell and tube heat exchanger, non-uniform distribution of liquid in pipes heat transfer, distribution inserts.*

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

Статтю прийнято
до редакції 25.05.20

ЗМІСТ

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

Габрук Р. А. БЕЗПЕКА ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ПРИ НАКЛАДАННІ ПРИЧИН ВІДМОВ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВІД РІЗНИХ НЕЗАЛЕЖНИХ ДЖЕРЕЛ	4
Голіков А. О., Олійник Ю. А. ОЦІНКА РИЗИКІВ ТА РІВНЯ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗІТКНЕННІ СУДНА З МОСТОМ	11
Зинченко С. Г. КОНТРОЛЛИНГ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОРСКОГО ПОРТА	22
Кальба Я. Є. ДО ПРОБЛЕМИ СТРЕСОСТІЙКОСТІ МАЙБУТНІХ ОФІЦЕРІВ МОРСЬКОГО ФЛОТУ	35
Паламарчук І. В. МОДЕЛЮВАННЯ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН У СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СУДНОВОДІЯ	45
Хуссейн Ю. М., Янчецкий А. В. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ И АНАЛИЗ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ	54
Цымбал М. Н. ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНА ЗАГРУЗКИ КОНТЕЙНЕРОВОЗА	64
Чернявська Т. В. МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ УСТАТКУВАННЯ РІЧКОВОГО ТА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНИХ ЗАХИСНИХ АНТИКОРОЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ	74

ІНЖЕНЕРІЯ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ

Блінцов В. С., Клочков О. П., Куценко П. С. КЛАСИФІКАЦІЙНІ ОЗНАКИ НЕНАСЕЛЕНИХ ПРИВ'ЯЗНИХ ПІДВОДНИХ СИСТЕМ ЯК СКЛАДОВА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ПРОЄКТУВАННЯ	86
---	----

Луняка К. В., Ключев О. І., Русанов С. А., Ключева О. О. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛОЖЕННЯ ТРУБКИ В ПУЧКУ ТРУБ КОЖУХОТРУБЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА НА ПРОЦЕС ТЕПЛОВІДДАЧІ	98
Проценко В. О., Бабій М. В., Настасенко В. О., Маринченко Д. О., Мартишевський Д. О. АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВІДМОВ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВОДУ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ MaK M43	109
Самарін О. Є., Врублевський Р. Є. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ОХОЛОЖУВАЧА ПРОДУВНОГО ПОВІТРЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА	120
Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М. ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЗМІНАМИ ШВИДКОСТІ З ЗУБЧАСТИМ ДИФЕРЕНЦІАЛОМ І ЗАМКНУТОЮ ГІДРОСИСТЕМОЮ ЧЕРЕЗ ВОДИЛО	131
Щедроносєв О. В., Узлов О. М., Кириченко К. В. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВУЗЛІВ З'ЄДНАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПОНТОНА З ПОПЕРЕЧНОЮ ДІАФРАГМОЮ ТА МЕТАЛЕВОЮ БАШТОЮ ПЛАВУЧОГО КОМПОЗИТНОГО ДОКУ	142
<i>МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО</i>	
Брайло М. В., Якущенко С. В., Кобельник О. С., Букетова Н. М., Вороненко С. В. СТВОРЕННЯ НАНОНАПОВНЕНИХ ЕПОКСИ-ПОЛІЕФІРНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ	154
Букетов А. В., Чернявська Т. В., Соценко В. В., Івченко Т. І., Клевцов К.М., Фесенко І. П., Яцюк В. М. МОДИФІКОВАНА ЕПОКСИДНА МАТРИЦЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ: АДГЕЗІЙНІ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ	163
Казимиренко Ю.О., Лебедєва Н. Ю. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙ З МЕТАЛ-СКЛЯНИМИ ЗАХИСНИМИ ПОКРИТТЯМИ В УМОВАХ СУДНОВИХ ВІБРАЦІЙ	175
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ	186

Науковий журнал

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

№ 1 (22), 2020

Відповідальний за випуск *Р. Є. Врублевський*
Технічний редактор *О. Ю. Клементьєва*
Коректор *Н. Н. Грем*
Коректура англійської мови *А. С. Волкова*
Друк, фальцювальні-палітурні роботи *В. Г. Удов*

Підписано до друку 5.10.2020. Формат 84×108/32.
Папір офсетний.
Ум. др. арк. 11,50. Наклад 100 прим.

Видавець і виготовлювач ХДМА
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4319 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, просп. Ушакова, 20