

2. Пат 93684 Україна МПК (2011.01) C22C 35/00 C21C 7/04. Розкислювач-модифікатор для обробки розплавів сталей і сплавів [Електронний ресурс] / Шаповалова О. М., Шаповалов В. П., Шаповалов О. В., Полішко С. О. (Україна); заявник та патентотримувач Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара. — № а200801124, заявл. 30.01.2008 р., опубл. 10.03.2011 р. — Бюл. № 5. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/4-93684-rozkislyuvach-modifikator-dlya-obrobki-rozplaviv-stalej-i-splaviv.html>.
3. Голубцов, В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи [Текст] / В. А. Голубцов. — Челябинск, 2006. — 422 с.
4. Полишко, С. А. Влияние элементов на параметры механических свойств серийной и модифицированной стали Ст1кп [Текст] / С. А. Полишко, И. А. Маркова, Т. И. Ивченко, Т. В. Носова // Металлургия и горнорудная промышленность. — 2012. — № 4. — С. 73–75.
5. Шаповалова, О. М. Стабилизация химического состава и механических свойств в сталях 1кп и R7 под влиянием модифицирования [Текст] / О. М. Шаповалова, А. Е. Камышний, А. В. Шаповалов, С. А. Полишко, М. А. Купчир, Е. Н. Майстренко, Ю. А. Финдлинг // Строительство, материаловедение, машиностроение. — 2009. — Вып. 48, Ч. 3. — С. 232–236.
6. Мурадян, Л. А. Исследование действующих условий эксплуатации и анализ причин сокращения ресурса работы железнодорожных колес [Текст] / Л. А. Мурадян // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. — 2010. — Вип. 34. — С. 206–210.
7. Рябчиков, И. В. Модификаторы и технологии внепечной обработки железоуглеродистых сплавов [Текст] / И. В. Рябчиков. — М.: Экомет, 2008. — 400 с.
8. Mirsado Oruç. Alloys with modified characteristics [Text] / Oruç Mirsado, Rimac Milenko, Beganović Omer, Muhamedagić Salejman // Mater in Technol. — 2011. — V. 45, № 5. — P. 483–487.
9. Liua, K. P. Effects of modification on microstructure and properties of ultrahigh carbon (1.9 wt. % C) steel [Text] / K. P. Liua, X. L. Duna, J. P. Laia, H. S. Liu // Materials Science and Engineering: A. — 2011. — Vol. 528, Is. 28. — P. 8263–8268. — Available at: \www/URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2011.07.038>.
10. Fandrich, R. Secondary metallurgy — state of the art and research trends in Germany [Text] / R. Fandrich, H. Lunngen, C.-D. Wuppermann // Stahl und Eisen. — 2008. — № 2. — P. 50–53.
11. ТУ У 35.2-23365425-600:2006. Колеса цельнокатаные диаметром 957 мм повышенной прочности и износостойкости [Текст]. — Введен 2009-01-01. — Д.: ОАО «ИТЕРПАЙП НТЗ», 2009. — 6 с.

ВЛИВ МІЖПЛАВНОЇ РІЗНИЦІ СКЛАДУ КОМПОНЕНТІВ У КОЛІСНІЙ СТАЛІ МАРКИ КП-Т НА ТРИЦНОСТІЙКІСТЬ

Досліджено вплив багатофункціональних модифікаторів на стабілізацію хімічного складу, глобуляризацію неметалевих включень і зниження їх кількості, а також підвищення трицностійкості та рівня механічних властивостей колісної високоміцної зносостійкої сталі КП-Т. Побудовано порівняльні гістограми зменшення різниці між максимальними і мінімальними балами неметалевих включень в серійній і модифікованій сталі марки КП-Т.

Ключові слова: багатофункціональні модифікатори, стабілізація, хімічний склад, механічні властивості, глобуляризація, неметалеві включення, трицностійкість.

Полишко Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии производства, Днепропетровский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: polishko_serгей@mail.ru.

Полишко Сергей Олександрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологий производства, Днепропетровский национальный университет радиоэлектроники, Украина.

Polishko Sergey, Dnipropetrovsk National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: polishko_serгей@mail.ru

УДК 621.184.54

**Серко М. В.,
Мариненко В. І.,
Рогачов В. А.,
Хайрнасов С. М.**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОБМІННИКА НА ОСНОВІ ТЕПЛОВИХ ТРУБ

Наведені результати експериментального дослідження теплообмінника на основі теплових труб для котлів малої потужності. Проаналізовані отримані результати на відповідність даним інших авторів. Також проведено порівняльний аналіз дослідного та рекуперативного теплообмінників. Показано, що при однаковій тепловій потужності порівнюваних утилізаційних теплообмінників, теплообмінник на теплових трубах має в 4...5 разів меншу площу теплопередаючої поверхні по відношенню до звичайного рекуперативного теплообмінника.

Ключові слова: теплові труби, утилізаційний теплообмінник, рекуперативний теплообмінник, експериментальні дані, теплопередаюча поверхня.

1. Вступ

Коефіцієнт корисної дії (ККД) сучасних газових котлів малої потужності тримається на рівні 90 %. ККД, найчастіше, визначається сумою різноманітних втрат, найбільша з яких пов'язана з теплою відхідних газів.

Прагнення максимально підвищити ККД і тим самим зберегти витрати палива приводить до необхідності

доведення до можливого мінімуму втрати теплоти з відхідними газами. Для цього потрібно зменшувати обсяг відведених газів, що досягається за рахунок зниження надлишків повітря та його присмоків у газовому тракту, і температури відхідних газів.

Для котлів малої потужності при номінальному режимі температура відхідних газів знаходиться у межах 110–160 °С. Ця температура визначається, як правило,

вмістом водяних парів у відхідних газах, точкою роси для даного складу газів, а також стійкою самотягою. При пікових навантаженнях можливе її підвищення до 200 °С.

В теперішній час застосовуються методи глибокої утилізації теплоти відхідних газів шляхом використання рекуперативних, змішувальних, комбінованих апаратів, що працюють при різних способах передачі теплоти, яка міститься у відхідних газах. Дані технології використовуються на більшості котельних агрегатів, які вводяться в експлуатацію, що спалюють природний газ і біомасу.

Найбільшого розповсюдження отримало встановлення додаткових хвостових поверхонь нагріву, що слугують для підігріву повітря і води, які використовуються як безпосередньо в тій же котельній установці, так і іншими споживачами.

Зменшення втрат теплоти за рахунок зниження температури відхідних газів має певні обмеження, зокрема, якщо є змога її зниження, то значно посилюється корозія хвостових поверхонь нагріву.

Особливо великі пошкодження з'являються в теплообмінниках, які розташовані в зоні найбільш низьких температур. Цей вид корозії, що отримав назву низькотемпературної корозії, послужив причиною масового виходу з ладу багатьох котлоагрегатів. В такому випадку застосовують конденсаційні теплообмінники, які виготовляють із нержавіючої сталі. На ринку представлені готові рішення конденсаційних котлів малої потужності таких виробників як Viessmann, Wolf, Vaillant (Німеччина), Biasi, Immergas (Італія), Атон (Україна) тощо.

Утилізація теплоти відхідних газів має і економічний аспект впровадження. Чим більше теплова потужність опалювальної установки і вартість газу, тим більший економічний ефект можна отримати.

Автори даної статті пропонують в якості пристрою для утилізації низькопотенціальної теплоти теплообмінник на основі теплових труб малого діаметру.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Потенціал утилізації теплоти відхідних газів котельних установок малої потужності реалізується в Україні в незначній мірі. Основною причиною такого становища є недосконалість теплообмінних апаратів-теплоутилізаторів традиційних типів, характеристики яких призводять до неприйнятних масогабаритних показників та капітальних і експлуатаційних витрат.

Розробки в галузі утилізаційних теплообмінників показують, що зазначених недоліків позбавлені теплообмінники на основі теплопередаючих елементів випарувально-конденсаційного типу. Дослідженням теплофізичних процесів в таких теплообмінних апаратах присвячені роботи [1–5]. Ці апарати мають теплофізичні, технологічні та експлуатаційні переваги в порівнянні з традиційними рекуперативними теплообмінниками.

В запропонованому авторами утилізаційному теплообміннику будуть використані теплові труби (ТТ), дослідження яких знаходиться на початковому етапі. Характерними особливостями цих ТТ є малий зовнішній діаметр, поздовжнє внутрішнє оребрення, а в якості теплоносія використовується фреон. Зі сторони технології виготовлення, вище зазначені ТТ мають ряд переваг в порівнянні з класичними ТТ, зокрема: менша собівартість, високий ресурс роботи, більша технологічна та теплова ефективність.

Метою даної роботи є створення і дослідження утилізаційного теплообмінника на основі ТТ з вище зазначеними особливостями та порівняння його теплопередаючої здатності з рекуперативним.

3. Конструкція, принцип роботи теплової труби. Переваги і недоліки

Існує багато найрізноманітніших типів теплових труб, які відрізняються конструктивними особливостями, умовами роботи, призначенням [6, 7], тощо. Проте, в основі функціонування всіх теплових труб лежать одні і ті ж загальні закономірності. Тому розробка та пошук ефективних конструкцій цих пристроїв з комплексом характеристик, що дозволяє в найбільш повній мірі реалізувати потенційні можливості даних пристроїв і досягти високої теплопередаючої здатності при низькому термічному опорі повинні поєднуватися з оптимальними характеристиками в процесі виготовлення, збільшенням ресурсу роботи в умовах різних зовнішніх впливів.

Теплові труби відносяться до класу теплопередаючих пристроїв, загальною ознакою яких є функціонування за принципом замкнутого випарувально-конденсаційного циклу.

Теплова труба згідно ГОСТ 23073-78 визначається як випарувально-конденсаційний герметичний пристрій з використанням капілярних сил, що служить для передачі теплоти і який працює за замкненим циклом.

Дане визначення досить чітко відображає загальні характерні ознаки теплових труб і вказує на обов'язкове використання капілярних сил в процесі переміщення теплоносія.

Теплова труба в найпростішому вигляді становить собою порожнистий герметичний корпус з низьким внутрішнім тиском, внутрішня поверхня якого має капілярну структуру, і який заповнений на певний об'єм рідким теплоносієм, за допомогою якого теплота у випарувально-конденсаційному циклі транспортується від зони випаровування до зони конденсації [6].

До переваг теплових труб в порівнянні з традиційними елементами теплопередаючих систем відносяться:

- 1) простота конструкції;
- 2) відсутність рухомих деталей і безшумність роботи;
- 3) малі масогабаритні характеристики;
- 4) відсутність витрат енергії на переміщення теплоносія;
- 5) надійність роботи;
- 6) висока еквівалентна теплопровідність, яка є основною перевагою теплових труб.

Застосування теплових труб забезпечує значну потужність теплопередачі навіть в тому випадку, якщо різниця температур між зонами випаровування і конденсації незначна.

Теплообмінні системи побудовані на основі теплових труб мають і високі експлуатаційні характеристики: при несправності однієї чи декількох теплових труб обладнання продовжує працювати в штатному режимі до проведення заміни неробочих елементів. Цим визначається автономність кожної теплової труби як елемента теплопередаючої системи.

Однак є і недоліки теплових труб, зокрема це недостатній рівень міцності при впливі механічного навантаження та технологічний процес їх виготовлення.

Разом з тим, важко назвати області виробництва, де не використовуються або не можуть бути застосовані теплові труби, так як проблема ефективної передачі теплової енергії та забезпечення теплових режимів устаткування є загальною проблемою сучасної техніки [8].

Дослідження теплових труб різноманітних типів і конструкцій дозволяють вивести певні залежності та граничні умови для подальшого їх впровадження в технологічних процесах. Застосування теплових труб в різних областях техніки дозволяє поліпшити технічні характеристики обладнання, знизити масу і габарити, підвищити надійність його роботи, тобто в кінцевому рахунку поліпшити техніко-економічні показники обладнання, що випускається.

Одним із типових рішень використання переваг теплових труб в техніці є розробка і впровадження високо-ефективного теплообмінного обладнання [5, 9].

4. Теплообмінник на теплових трубах

Теплообмінник (ТО), рис. 1, складається з двох газоходів, розділених газошільною перегородкою. В корпусі ТО закріплені алюмінієві профільні теплові труби [7].

ТТ мають наступні характеристики:

- зовнішній діаметр 8,1 мм;
- загальна довжина — 295 мм;
- робоча довжина — 250 мм;
- довжина зони випаровування та конденсації — 125 мм;
- загальна кількість труб — 38 шт. (5 поздовжніх рядів в шаховому розташуванні з $s_1 = 11$ мм, $s_2 = 10$ мм);
- загальна площа теплопередачі — 0,24 м².

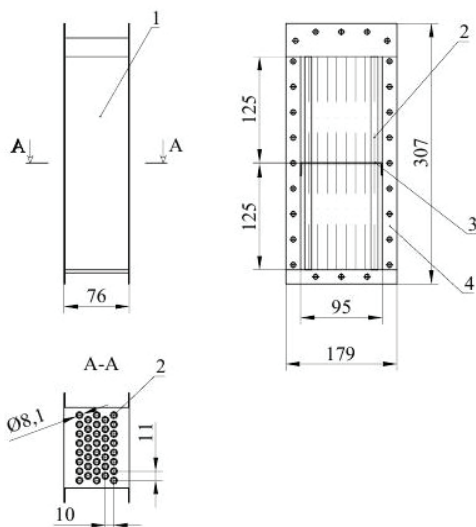


Рис. 1. Теплообмінник на теплових трубах: 1 — корпус теплообмінника; 2 — теплова труба; 3 — газошільна перегородка; 4 — фланець для кріплення

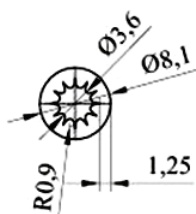


Рис. 2. Перетин теплової труби

ТТ виготовлені із алюмінієвого сплаву АД31. Всередині труби мають поздовжні ребра з радіусом 0,45 мм в кількості 12 шт., поперечний перетин яких зображений на рис. 2. Внутрішній діаметр для руху парової фази теплоносія складає 3,6 мм. В якості теплоносія використовується фреон.

5. Експериментальна установка для дослідження ТО на ТТ

Для дослідження процесів теплопередачі створено експериментальний стенд, схема якого показана на рис. 3.

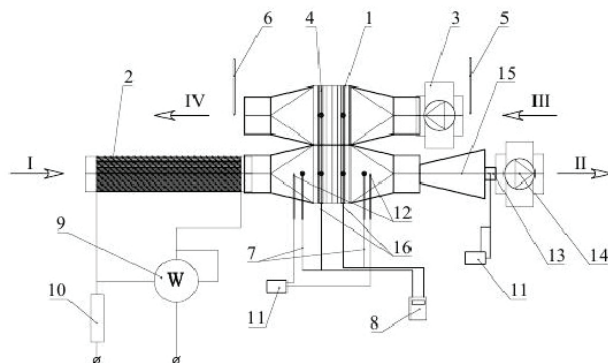


Рис. 3. Схема експериментального стенду:

I-II — потік нагрітого повітря; III-IV — потік охолоджуючого повітря; 1 — теплообмінник; 2 — електронагрівач повітря; 3 — вентилятор; 4 — теплова труба; 5 — термометр повітря на вході в ТО; 6 — термометр повітря на виході з ТО; 7 — термопари для вимірювання температури потоку повітря на вході та виході ТО; 8 — вимірювач-регулятор ТРМ202 «ОВЕН»; 9 — ватметр; 10 — лабораторний автотрансформатор; 11 — мікроманометр; 12 — датчики тиску; 13 — вимірювальне сопло з трубкою Піто-Прандтля; 14 — відцентровий вентилятор; 15 — дифузор; 16 — термопари для вимірювання температури на зовнішній стінці ТТ

Для моделювання процесу охолодження відхідних газів в якості теплоносія використовувалося повітря з лабораторного приміщення, яке підігрівалося в електрокалорифері (2) і подавалося через з'єднувальний патрубок до теплообмінника (1) за допомогою вентилятора (14). Температура теплоносія регулювалася автотрансформатором (10). Витрата визначалася витрато-вимірним блоком, який складається з дифузора (15) та вимірювального сопла з трубкою Піто-Прандтля (13). Регулювання витрати повітря відбувалося за рахунок зміни кількості обертів вентилятора з максимально можливою витратою $G = 0,05$ м³/с та напором $H = 5000$ Па, а також за допомогою шибера, який розташований у вихлопному патрубку вентилятора. Вимірювання температури відбувалося з використанням термопар (7), розташованих в потоці повітря після електропідігрівача та за останнім рядом теплових труб.

В якості охолоджувального теплоносія також використовувалося повітря. Повітря бралася з приміщення при температурі $19 \div 22$ °С. Потрібна кількість повітря у напрямку III-IV (рис. 3) забезпечувалася осьовим вентилятором з постійною витратою $G = 0,02$ м³/с, яка в процесі експерименту не змінювалася. Вимірювання температури відбувалося за допомогою ртутних термометрів (5, 6).

Для дослідження температурного поля теплових труб було встановлено додатково термопари на зовнішні стінки теплових труб першого і останнього рядів зі сторони нагрітого та охолоджуючого повітря (16).

В якості матеріалу термопар застосовувалися провідники складу мідь-константан діаметром 0,15 мм. Для зчитування даних температурного поля використовувався перемикач багатоточковий, який передавав сигнал на цифровий вимірювач-регулятор одноканальний ТРМ202 «ОВЕН» (8).

Для запобігання тепловтрат в навколишнє середовище елементи установки були теплоізовані з використанням базальтової вати та пінофолу С-08.

6. Результати досліджень теплообміну та аеродинамічного опору ТО

Дослідження теплообміну відбувалися в інтервалах температур гарячого повітря $55 \div 115$ °С та масових витрат повітря $0,009 \div 0,0362$ кг/с.

Результати серії експериментів відображені у зведених табл. 1. Умовні позначення стовбців таблиці: $t'_{г.п.}$ — температура потоку гарячого повітря, яке подається на теплообмінник, °С; $t''_{г.п.}$ — температура потоку гарячого повітря після теплообмінника, °С; $G_{г.п.}$ — витрата гарячого повітря; $t'_{х.п.}$ — температура потоку холодного повітря на вході в теплообмінник, °С; $t''_{х.п.}$ — температура потоку холодного повітря після теплообмінника, °С; Q — кількість теплоти, яку утилізує теплообмінник (зі сторони холодного повітря), Дж/кг; t_1, t_2 — температури на кінцях теплової труби першого ряду за рухом гарячого потоку, °С; t_3, t_4 — температури на кінцях теплової труби останнього ряду за рухом гарячого потоку, °С; w — швидкість потоку гарячого повітря у вимірювальному соплі з трубкою Піто-Прандтля, м/с; ΔP_p — перепад тиску на теплообміннику (опір), Па.

Для аналізу отриманих результатів було проведено розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі [8, 9] за формулою:

$$Nu = 0,41 \cdot Re_{ж.д}^{0,6} \cdot Pr_{ж}^{0,33} \cdot (Pr_{ж}/Pr_c)^{0,25} \cdot \epsilon_i \cdot \epsilon_s.$$

Отримані експериментальні дані з відхиленням ± 10 % корелюються з розрахунковими. Це підтверджує достовірність та точність проведеного експерименту.

В табл. 1 додано стовбець (H_p, m^2), в якому показано розрахункову площу поверхні теплообміну звичайного рекуперативного повітропідігрівника. Розрахунок рекуперативного трубчастого ТО виконано за нормативним методом [10], з урахуванням даних експериментального дослідження. До розрахунків увійшли ті ж самі теплові та витратні навантаження, геометричні розміри труб та площі вхідного і вихідного перетинів для проходження повітря.

Розглядаючи розрахункову площу теплообміну рекуперативного теплообмінника (стовбець H_p , табл. 1) можна зробити висновок, що теплообмінник на основі ТТ за одних і тих же режимів експлуатації буде приблизно в 4...5 разів менший за теплопередаючою поверхнею, яка для експериментального ТО не змінювалася і дорівнювала $0,24 m^2$. Таке суттєве зменшення поверхні досягається за рахунок внутрішніх характеристик ТТ, що мають більш високу теплопередаючу здатність [11].

Таблиця 1

Експериментальні дані випробувань ТО

№, п/п	$t'_{г.п.}, ^\circ C$	$t''_{г.п.}, ^\circ C$	$G_{г.п.}, \text{кг/сек}$	$t'_{х.п.}, ^\circ C$	$t''_{х.п.}, ^\circ C$	$Q, \text{Дж/кг}$	$t_1, ^\circ C$	$t_2, ^\circ C$	$t_3, ^\circ C$	$t_4, ^\circ C$	$w, \text{м/с}$	$\Delta P_p, \text{Па}$	H_p, m^2
1	78,0	65,3	0,0213	20,0	40,7	355,38	51,2	51,3	46,5	42,9	28,69	53,0	1,08
2	73,6	64,4	0,0262	20,5	40,1	336,50	50,2	51,1	46,8	43,1	35,19	76,5	0,937
3	65,5	57,2	0,0265	20,0	36,9	290,12	47,6	47,6	44,0	41,0	34,79	76,5	0,824
4	59,5	53,4	0,0266	19,5	33,1	233,45	42,7	43,4	40,8	38,1	34,59	76,5	0,762
5	62,1	56,2	0,0362	20,0	36,7	286,69	46,0	46,7	43,5	41,2	47,47	137,3	0,965
6	65,1	58,2	0,0297	20,5	37,3	288,41	47,2	47,7	44,4	42,2	39,20	98,1	0,901
7	68,8	60,8	0,0270	21,0	38,1	293,57	48,7	49,2	45,6	42,8	35,82	82,4	0,902
8	87,8	72,5	0,0182	22,0	42,7	355,41	56,0	55,4	50,0	46,2	25,06	41,2	0,983

Результати теплообміну зі сторони потоку гарячого повітря відображені в логарифмічних координатах Nu-Re на рис. 4.

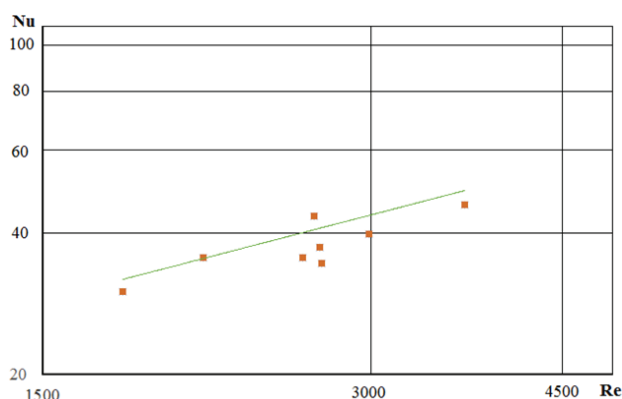


Рис. 4. Залежність числа Nu від числа Re при омиванні шахового пучка труб теплообмінника потоком повітря: ■ — експериментальні дані; — розрахункові дані

7. Висновки

Порівняння теплообмінника на ТТ нового типу та звичайного трубчастого рекуперативного показало перевагу першого за площею теплопередаючої поверхні, що зменшилась у 4...5 разів, при однаковій відведеній тепловій потужності. Це призводить до суттєвого зменшення металоемності та габаритів запропонованого авторами ТО.

Перспективним є подальше дослідження теплообмінників на основі ТТ з внутрішнім поздовжнім оребренням, з метою збільшення їх теплової потужності.

Література

1. Rassamakin, B. Space-Applied Aluminum Profiled Heat Pipes with Axial Grooves: Experiments and Simulation Pipe Science and Technology [Text] / B. Rassamakin, S. Khairnasov, A. Rassamakin, O. Alpherova // International Journal. — 2011. — № 1(4). — P. 313–327. — Available at: \www/URL: DOI: 10.1615/HeatPipeScieTech.v1.i4.20.

2. Khairnasov, S. Solar Collectors of Buildings Facade Based on Aluminum Heat Pipes with Colored Coating [Text] / S. Khairnasov, B. Rassamakin, R. Musiy, A. Rassamakin // Journal of Civil Engineering and Architecture. — 2013. — Vol. 7, No. 4(65). — P. 403–409.
3. Rassamakin, A. The heat recovery exchanger based on the heat pipes technology for the domestic boilers [Text] / A. Rassamakin, D. Kozak // These were the World Sustainable Energy Days conference. — Wels, Austria, 2014. — Vol. 1. — P. 156–158.
4. Mostafa A. Abd El-Baky. Heat pipes heat exchanger for heat recovery in air conditioning [Text] / Mostafa A. Abd El-Baky, Mousa M. Mohamed // ASME-ATI, «Energy: Production, Distribution and Conservation». — Milan, Italy, 2006. — Vol. 2. — P. 659–668.
5. Семена, М. Г. Тепловые трубы с металло-волокнистыми капиллярными структурами [Текст] / М. Г. Семена, А. Н. Гершуни, В. К. Зарипов. — Київ: Вища школа, 1984. — 214 с.
6. Reay, D. Heat Pipes [Text] / D. A. Reay, P. A. Kew. — Ed. 5. — Butterworth-Heinemann, 2006. — 374 p.
7. Zhuang, J. Prospects of heat pipe technology for year 2010 [Text] / J. Zhuang, H. Zhang // Chemical Engineering and Machinery. — 1998. — Vol. 25, No. 1. — P. 44–49.
8. Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст] / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. — Москва: Энергоиздат, 1981. — 416 с.
9. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен [Текст] / Ф. Ф. Цветков. — Москва: МЭИ, 2006. — 550 с.
10. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод. — Изд. 3-е. перераб. и доп. — СПб.: НПО ЦКТИ-ВТИ, 1998. — 257 с.
11. Гершуни, О. Н. Порівняльний аналіз теплопередаючої здатності теплообмінників випарувально-конденсаційного типу та рекуперативних трубчатих теплообмінників [Текст] / О. Н. Гершуни, О. П. Ніщик // Промышленная теплотехника. — 2010. — Т. 10, № 3. — С. 28–36.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКА НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

Приведены результаты экспериментального исследования теплообменника на основе тепловых труб для котлов малой мощности. Проанализированы полученные результаты на соответствие данным других авторов. Также проведен сравнительный анализ исследуемого и рекуперативного теплообменников. Показано, что при одинаковой тепловой мощности сравниваемых утилизационных теплообменников, теплообменник на тепловых трубах имеет в 4..5 раз меньшую площадь теплопередающей поверхности по отношению к обычному рекуперативному теплообменнику.

Ключевые слова: тепловые трубы, утилизационный теплообменник, рекуперативный теплообменник, экспериментальные данные, теплопередающая поверхность.

Серко Микола Васильович, кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: nikolas.serko@gmail.com.

Мариненко Володимир Іванович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: v.marinenko@gmail.com.

Рогачев Валерій Андрійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: office@lab-hp.kiev.ua.

Хайрнасов Сергій Монісович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: khayrnasov@lab-hp.kiev.ua.

Серко Николай Васильевич, кафедра атомных электрических станций и инженерной теплофизики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Мариненко Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент, кафедра атомных электрических станций и инженерной теплофизики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Рогачев Валерий Андреевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра атомных электрических станций и инженерной теплофизики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Хайрнасов Сергей Монисович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, кафедра атомных электрических станций и инженерной теплофизики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Serko Mykola, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: nikolas.serko@gmail.com.

Marynenko Volodymyr, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: v.marinenko@gmail.com.

Rogachev Valeriy, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: office@lab-hp.kiev.ua.

Khayrnasov Sergey, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: khayrnasov@lab-hp.kiev.ua.

UDK 621.307.13

Маркін М. О.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ ПІРОМЕТРІЇ

У статті проаналізовано проблему вдосконалення телевізійної пірометрії шляхом визначення діапазону лінійності світлосигнальної характеристики телевізійної системи. В ході досліджень накопичено значний обсяг експериментальних матеріалів. Результати досліджень можна використати для формування сигналів як телевізійної системи визначення параметрів зонної плавки, так і в телевізійних системах іншого призначення.

Ключові слова: телевізійна пірометрія, телевізійна інформаційно-вимірювальна система, ПЗЗ-матриця, телевізійна камера, вимірювання, температура.

1. Introduction

Effectiveness of the most high-temperature technologies can be ensured on the stipulation that all the technological requirements for temperature are met. However, adherence to

the requirements is basically impossible without proper measuring equipment, namely pyrometers. In such a case, technical facilities must both meet current demands on temperature measurement accuracy during a technological cycle and have a significant potential for improvement of their performance.