

УДК 621.311.22

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В СУЧАСНИХ СУДНОВИХ КОТЛАХ

Єпіфанов О. А.

*кандидат технічних наук,**доцент кафедри технічної теплофізики та суднових паровиробних установок**Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова**м. Миколаїв, Україна**epifanov.nuk@gmail.com.*

Анотація. Виконано аналіз методів інтенсифікації теплопередачі в сучасних суднових котлах. Наведено конструкції оребрення поверхонь нагріву та устроїв для інтенсифікації тепловіддачі в каналах. Рекомендовано залежності для розрахунку теплообміну в оребрених поверхнях та каналах.

Ключові слова: судновий котел, інтенсифікація теплопередачі, оребрення, канали з інтенсифікацією тепловіддачі.

Вступна частина

Мета інтенсифікації теплопередачі – збільшення теплового потоку, що передається через стінку поверхні нагріву. При незмінній різниці температур між теплоносіями переданий тепловий потік залежить від коефіцієнта теплопередачі. Коефіцієнт теплопередачі плоскої незабрудненої стінки визначається з рівняння $k = 1/(1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2)$. Якщо термічний опір стінки малий ($\delta/\lambda \rightarrow 0$),

$$k = 1/(1/\alpha_1 + 1/\alpha_2) = \alpha_1/(1 + \alpha_1/\alpha_2) = \alpha_2/(1 + \alpha_2/\alpha_1).$$

З цього рівняння випливає, що коефіцієнт теплопередачі завжди менше найменшого з коефіцієнтів тепловіддачі α_1 та α_2 . Отже, для підвищення коефіцієнта теплопередачі слід збільшувати найменший із коефіцієнтів тепловіддачі. Теплопередачу через стінку можна інтенсифікувати шляхом її оребрення, розташовуючи ребра з того боку, де коефіцієнт тепловіддачі менше.

Мета роботи – аналіз методів інтенсифікації теплопередачі в сучасних суднових котлах та надання рекомендацій з розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі для оребрених поверхонь нагріву та в каналах з устроями для інтенсифікації теплообміну.

Основна частина

Інтенсифікувати конвективний теплообмін можна шляхом підвищення швидкості димових газів. При цьому коефіцієнт конвективної тепловіддачі зростає прямо пропорційно швидкості газів у степені 0,6...0,8 і обернено пропорційно діаметру в степені 0,4...0,2 в залежності від розташування труб відносно потоку газів. Відповідно зменшуються необхідні конвективні поверхні нагріву котла. Однак при підвищенні швидкості газів має місце збільшення аеродинамічного опору поверхонь нагріву, пропорційне квадрату швидкості газів. У зв'язку із цим виникають економічно доцільні межі підвищення швидкості газів. Зазвичай швидкості газів для водотрубних допоміжних котлів (ДК) становлять 4... 10 м/с, а газотрубних – 15...35 м/с. Для утилізаційних котлів (УК), встановлених за ДВЗ, швидкості газів не перевищують 15 м/с, а за ГТД – 25 м/с. При проектуванні УК попередньо прийняті швидкості газів перевіряють з умови допустимого аеродинамічного опору котлів: 3...6 кПа для ДВЗ в залежності від типу двигуна (двотактний чи чотиритактний) й не більше 4 кПа для ГТД [1, с. 141].

Зменшення діаметра труб конвективних пучків є однією з характерних тенденцій розвитку конструкцій сучасних ДК та УК. У конструкціях водотрубних ДК найчастіше застосовують труби $\varnothing$ 29 мм. Змійовики водотрубних УК великої потужності виготовляють із труб $\varnothing$ 22 мм. Димогарні труби газотрубних котлів виготовляють зазвичай із труб $\varnothing$ 38 мм [1, с. 141].

Значного, в декілька разів, зменшення масогабаритних характеристик конвективних поверхонь нагріву судових котлів можна досягти застосуванням оребрення. Наприклад, коефіцієнт компактності для оребрених поверхонь УК дорівнює $124 \dots 204 \text{ м}^2/\text{м}^3$ й більше, в той час як для гладкотрубних поверхонь цей коефіцієнт становить $85 \dots 90 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Однак застосування оребрення супроводжуються зростанням газового опору. Крім того виникають проблеми з очищенням поверхонь нагріву від сажистих відкладень [1, с. 142].

В конструкціях водотрубних ДК та УК фірм "Альфа Лаваль Ольборг Індастріз", "Кенгрім Хеві Індастріз", "Осака Бойлер Кампені", "Сааке", "Грінз Пауер Лімітид" та ін. використовують різні типи оребрення (рис. 1) [1, с. 142].

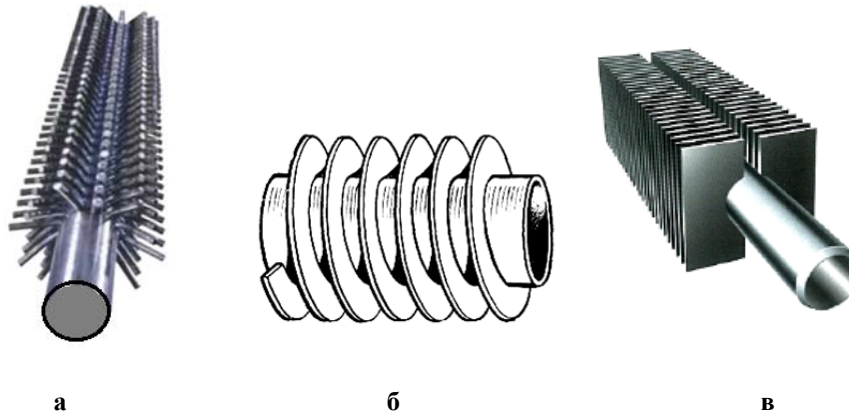


Рис. 1. Типи оребрення поверхонь нагріву сучасних водотрубних котлів:
а – штиркове; б – спіраль-стрічкове; в – Н- подібне (пелюсткове)

В конструкціях газотрубних котлів ці фірми широко використовують димогарні труби, які виконані з гвинтоподібно закручених труб (з гелікоїдальною поверхнею) типу Свірліфло (Swirlyflo) (рис. 2, а). Фірма "Кохран" розробила димогарні труби синусоїдальної форми типу Синуфло (Sinuflo) (рис. 2, а). Для інтенсифікації тепловіддачі в газотрубних котлах (Ольборг ОН, Ольборг СНВ та ін.) використовують турбулізатори у вигляді гвинтоподібних стрічкових завихрювачів, розміщених усередині димогарних труб (див. рис. 2, в) [1, с. 108].

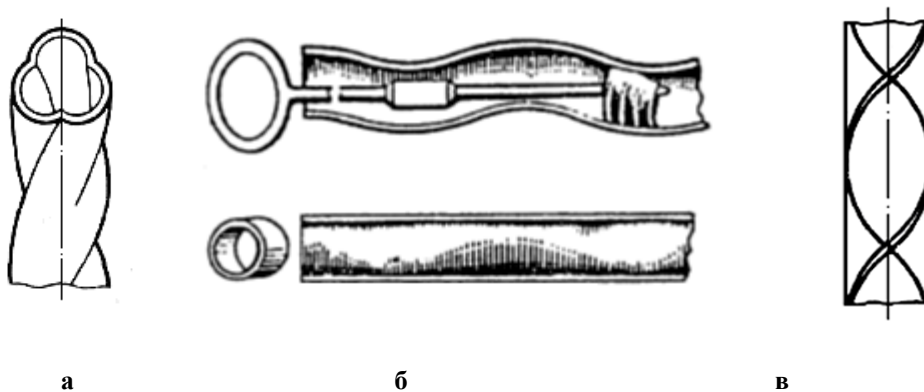


Рис. 2. Методи інтенсифікації тепловіддачі у газотрубних котлах:
а – труба гелікоїдальної форми типу Свірліфло; б – труба синусоїдальної форми типу Синуфло (вигляди зверху та збоку); в – труба зі стрічковим завихрювачем

Запровадження в газотрубних котлах Ольборг OS-Тсі з гелікоїдальними трубами технології турбоочищення Тсі (turbo clean intelligent) забезпечує інтенсифікацію теплопередачі як за рахунок підвищеної швидкості газів та турбулізації потоку, так і через ефективне самоочищення труб [1, с. 120].

Вибір типу оребрення, а також його геометричних параметрів залежить від виду палива. При спалюванні важких палив, що супроводжується інтенсивним сажоутворенням, застосовують Н-подібне (пелюсткове) оребрення. При спалюванні легких палив, а також газоподібних – спірально-стрічкове.

Для паротвірних пучків і економайзерів зі спірально-стрічковим та пелюстковим оребренням термічним опором з внутрішньої сторони труб можна знехтувати і визначати коефіцієнт теплопередачі за рекомендаціями [2, с. 68]:

$$k = \psi \alpha_{1\text{пр}},$$

де ψ – коефіцієнт ефективності; $\alpha_{1\text{пр}}$ – приведений коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої (газової) сторони.

Рух рідини в трубах зі стрічковим завихрювачем (рис. 2, в) можна розглядати як частковий випадок руху в змійовиках. Тому тут можуть бути використані критерії подібності, які характеризують рух рідини в криволінійних каналах [3, с. 157]. В ламінарній області течії виникнення вторинної циркуляції (макровихорів) має місце при критичних числах Рейнольдса

$$\text{Re}_{\text{кр}} = 11,6(0,5 + (8/\pi^2)(s/d_{\text{вн}})^2)^{0,5},$$

а перехід до турбулентної течії з макровихорами – при

$$\text{Re}_{\text{кр}} = 2300 + 38900(d_{\text{вн}}/s)^{1,16}.$$

Для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі в трубах зі стрічковими завихрювачами можна рекомендувати такі рівняння [3, с. 181]:

при ламінарній течії з макровихорами

$$\alpha_{\text{к}} = 0,3(\lambda/d_{\text{екв}})(wd_{\text{екв}}/\nu)^{0,6}\text{Pr}^{0,43}(d_{\text{вн}}/D)^{0,135},$$

при турбулентній течії з макровихорами

$$\alpha_{\text{к}} = 0,079(\lambda/d_{\text{екв}})(wd_{\text{екв}}/\nu)^{0,74}\text{Pr}^{0,43}(d_{\text{вн}}/D)^{0,11}(T/T_{\text{ст}})^{0,575}.$$

Для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі в трубах типу Свірліфло можна рекомендувати залежності, наведені в [4, с. 178] для кручених труб.

Висновки

1. Інтенсифікувати теплопередачу в судових котлах можна збільшенням в обґрунтованих межах швидкості газів, зменшенням діаметра труб, застосуванням оребрення, завихрювачів для турбулізації потоку газів в каналах, труб гелікоїдальної та синусоїдальної форми.

2. Рекомендовано залежності для розрахунку теплопередачі в пучках труб зі спірально-стрічковим та пелюстковим оребренням.

3. Рекомендовано залежності для розрахунку тепловіддачі в трубах зі стрічковими завихрювачами та трубах типу Свірліфло.

Література

- [1]. Єпіфанов О.А. Конструкції судових котлів. Миколаїв: НУК, 2016. – 198 с.
- [2]. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). СПб.: ВТИ, НПО ЦКТИ, с1998. – 259 с.
- [3]. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1980. – 240 с.
- [4]. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

Intensification of heat transfer in modern marine boilers

Yepifanov O. A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Mykolaiv, Ukraine

Abstract. An analysis of the methods of heat transfer intensification in modern marine boilers has been performed. Designs of finning of heating surfaces and devices for intensification of heat transfer in channels are given. Dependencies for calculating of heat transfer in finned surfaces and channels are recommended.

Keywords: marine boiler, intensification of heat transfer, finning, channels with intensification of heat transfer.

УДК 621.486

**ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНІЗМУ РУХУ
РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА****Митрофанов О. С.,***д-р техн. наук, доц.,**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова**м. Миколаїв, Україна**mitrofanov.al.ser@gmail.com*

Анотація. Проаналізовано конструкцію, умови роботи та навантаження, що діють на основні деталі механізму руху роторно-поршневого двигуна із шарнірно-кулачковим механізмом. Розглянуто особливості підбору необхідних матеріалів, заготовки та технології виготовлення деталей механізму руху (ланок шарнірного чотирикутника й регулюючого кулачка).

Ключові слова: роторно-поршневий двигун; шарнірно-кулачковий механізм руху; регулюючий кулачок; рухома ланка; матеріали деталей; обробка.

Вступ

Створення нового роторно-поршневого двигуна є досить важким і тривалим процесом, основними етапами якого є проектування та виготовлення. На першому етапі (проектування) виконується розробка конструкції роторно-поршневого двигуна, яка відповідає заданим потребам споживача, створюються робочі креслення, здійснюється підбір матеріалів і стандартизованих деталей, формулюються технічні умови. Залежно від ступеня складності розробленого роторно-поршневого двигуна другий етап (виготовлення) включає в себе розробку технології обробки деталей та послідовності збирання складових вузлів і всього двигуна, підбір потрібного обладнання, інструментів і режимів термічної обробки деталей, вибір спеціальної оснастки, здійснення наладки та випробувань.

Обидва етапи створення роторно-поршневого двигуна пов'язані та передбачають взаємне узгодження між собою. Залежно від обраної технології виготовлення та збирання розраховуються витрати на виробництво (собівартість), а отже, якість роторно-поршневого двигуна. Саме тому розробка технологічних процесів виготовлення деталей (особливо деталей перетворення руху) та збирання роторно-поршневого двигуна є одним з найбільш складних і відповідальних етапів. Усі розроблені технологічні процеси виготовлення деталей роторно-поршневого двигуна повинні забезпечувати мінімальні матеріальні й трудові витрати з обов'язковим збереженням якості виготовлюваних деталей, а також високу продуктивність