

(враховуючи технологічні відхилення та не ізотропність матеріалу для конкретної досліджуваної деталі).

Побудовано твердотільну модель досліджуваного поршня за розмірами робочого креслення та визначенню форми коливань в тому ж діапазоні частот. При цьому отримано ряд форм, які не встановлено експериментально, що пояснюється їх низькою амплітудою збудження на стенді.

При визначенні частот і форм коливань найбільш достовірні результати вдається отримати при комбінації експериментальних методів, зокрема методу спеклінтерферометрії реального часу, та розрахунку в сучасних комп'ютерних системах, таких як Solidworks.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Tkach M.R., Zolotiy Yu.G., Dovgan D.V., Guk I.Yu. (2015), Patent: Method of determining of forms of resonant vibrations shapes of blades of gas turbine engine by speckle interferogram, UA 103068.

[2] Tkach, M., Morhun, S., Zolotoy, Y., Zhuk, I. (2020), Modal analysis of the axial compressor blade: advanced time-dependent electronic interferometry and finite element method. Int. J. Turbo Jet-Eng. <https://doi.org/10.1515/tjj-2020-0014>

[3] <https://www.solidworks.com>

Theoretical And Experimental Determination Of The Forms And Frequencies Of The Natural Oscillations Of The Pistons Of Thermal Engines

Tkach Mykhailo, Zolotoy Yuriy, Halynkin Yurii

Abstract. The form of self-oscillations and the corresponding frequencies of the automobile compressor piston with a diameter of 60.0 mm and a height of 50.0 mm are determined in the paper. The research was carried out experimentally, using the real-time speckle interferometry method, which made it possible to obtain a number of shapes directly for the object under study. A solid-state model was built in the Solidworks software complex and the forms of self-oscillations were determined by computer simulation. It has been established that the most reliable results can be obtained with a combination of experimental methods and calculation in modern computer systems.

УДК 621.43.016

ОБГРУНТУВАННЯ ПРОФІЛЮ ПОВЕРХОНЬ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ КОМПАКТНИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ С ЗАДАНИМИ МАСОГАБАРИТНИМИ ПОКАЗНИКАМИ У СКЛАДІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Кузнецов В.В.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри Технічної теплофізики і суднових паровиробних установок

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

valeriy.kuznetsov@nuos.edu.ua

Анотація. Представлені результати дослідження конвективного енергообміну при використанні круглих, еліптичних та плоскоовальних труб в якості поверхонь нагріву теплообмінних апаратів енергетичних установок. Показано вплив перерозподілу опорів форми і тертя на ефективність теплопередачі в окремих каналах різної форми. Отримано, для утилізаційних для дизельних та газотурбінних енергетичних установок, використання гладких еліптичних труб призведе до зменшення встановленої поверхні нагріву на 26...31%, маси поверхні на 16...19%, об'єму поверхні на 14...18%, для регенераторів газотурбінних

установок зменшення маси складе 12...18%, об'єму – 12...14%, для нагрівачів-утилізаторів повітряних турбінних теплоутилізуючих установок використання еліптичних гладких трубних поверхонь нагріву дозволить знизити масу майже на 28%. При використанні досліджених поверхонь в утилізаційних котлах судових енергетичних установок підвищення ефективності установки складе до 2,5%.

Ключові слова: енергетична установка, ефективність, теплообмінний апарат, інтенсифікація, профільна поверхня, масогабаритні показники.

Підвищення ефективності транспортних та стаціонарних енергетичних установок здійснюється за рахунок вдосконалення процесів перетворення теплоти і маси в їх елементах. Ці процеси визначаються законами термодинаміки, гідрогазодинаміки, тепломасообміну і впливають на ефективний ККД, рівень теплових та шкідливих викидів, ресурс та компактність установок. Значний вплив на ці показники мають їх теплообмінні апарати як елементи енергетичних установок.

Вдосконалення судових енергетичних установок та зростання масогабаритних показників теплообмінних апаратів у зв'язку з цим визначило запит практики на розробку і впровадження науково-технічних рішень інтенсифікації процесів переносу теплоти і маси в цих апаратах для комплексного поліпшення їх економічних, екологічних, ресурсних і масогабаритних характеристик і забезпечення зменшення споживання палива та емісії шкідливих речовин.

Для вирішення цього представлені результати дослідження конвективного енергообміну при перерозподілі опорів форми і тертя при інтенсифікації переносу теплоти для окремих каналів різної форми та в пучках каналів з різним просторовим розташуванням. В результаті визначені переваги застосування енергоефективного теплопередавального обладнання у транспортних та промислових енергетичних установках.

Розроблена математична модель енергетичної установки з урахуванням впливу ефективності процесів перенесення теплоти в теплообмінних апаратах, яка відтворює ієрархічну структуру перетворення теплоти: *перший рівень* – теплопередавальна поверхня теплообмінного апарату як елемент підсистеми, *другий рівень* – теплообмінний апарат як підсистема конструктивних елементів і *третій рівень* – теплообмінний апарат як елемент системи енергетичної установки. При розрахунках можуть використовуватись статистичні данні щодо конструктивних елементів теплообмінного апарату (дифузори, конфузори, калачі тощо). В цьому випадку результати розрахунку першого рівня будуть передаватись відразу на третій рівень.

Для дослідження конвективного енергообміну система критеріальних рівнянь теплопередачі в каналах трубних пучків теплообмінних апаратів енергетичних установок представлена наступним чином

$$Nu_{d,i} = f_1(i, R, \Phi, Z, Re, Pr) \text{ та } \theta_i = f_2(i, R, \Phi, Z, Re, Pr) \text{ та } Eu_i = f_3(i, R, \Phi, Z, Re, Pr) \text{ та } W_i = f_4(i, R, \Phi, Z, Re, Pr) \text{ та } k = f_5(Nu_{d,i}, Re, Pr)$$

$$\begin{cases} \frac{Nu_{d,i}}{Eu_i} = f_{1,i}(R, \Phi, Z, Re, Pr) \\ \theta_i = f_{2,i}(R, \Phi, Z, Re, Pr) \\ W_i = f_{3,i}(R, \Phi, Z, Re, Pr) \\ k = f_4(Nu_{d,i}, Re, Pr) \end{cases}$$

з граничними умовами $t_i = t_{i0}$; $w_i = w_{i0}$. Відношення $\frac{Nu_{d,i}}{Eu_i}$ відповідає умові аналогії Рейнольдса

Для обґрунтування способу інтенсифікації тепловіддачі на першому рівні отримав подальший розвиток напрямок, запропонований академіком А.А. Халатовим при тепловіддачі в каналах. На підставі цього показник ефективності на першому рівні оцінки визначиться як

$$FAR = \frac{Nu/Nu_0}{Eu/Eu_0},$$

де індекс 0 відповідає циліндричному гладкому каналу.

Для врахування і оцінки ефективності процесів інтенсифікації теплопередачі на другому рівні запропоновано модифікований фактор аналогії Рейнольдса FAR_k , який визначається як

$$FAR_k = \frac{k/k_0}{Eu_1/Eu_{10} + Eu_2/Eu_{20}} \text{ або } FAR_k = \frac{k/k_0}{f_1/f_{10} + f_2/f_{20}},$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К), індекси 0, 1 і 2 відповідають зазвичай гладкому каналу з обох боків (як найбільш термогідрравлічно дослідженому), а також гарячому і холодному теплоносію.

Співставлення показників ефективності процесів перетворення енергії в енергетичних установках з теплообмінними апаратами, переносу теплоти між теплоносіями в теплообмінних апаратах і процесів конвективного теплообміну доводить їх аналогію за відношенням теплоти до роботи.

Ефективності процесів перетворення енергії в енергетичних установках з теплообмінними апаратами ($\Delta Q_{\text{сц}}/\Delta L_{\text{сц}}$), переносу теплоти в теплообмінних апаратах цих установок ($Q_{\text{ма}}/L_{\text{ма}}$) і конвективного теплообміну теплоносіїв в цих апаратах визначається відношенням кількості теплоти процесу до роботи, що забезпечує цей перенос ($Q_{\text{кт}}/L_{\text{кт}}$).

Математична модель процесів перенесення теплоти і маси і містить систему рівнянь нерозривності, збереження енергії, закону Ньютона, Фур'є, рівняння стану теплоносіїв. Для замикавання системи використана RSM модель турбулентності. Реалізація виконана за допомогою сучасних програмних засобів.

Верифікація математичної моделі процесів перенесення теплоти в елементах енергетичних установок виконана шляхом порівняння з наявними літературними даними і представлена на рис.1 та 2.

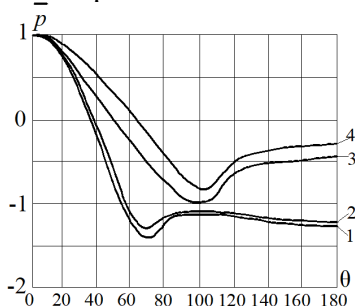


Рисунок 1 – Порівняльне моделювання розподілу тиску на поверхні циліндрів різних поперечних перерізів при $d_{\text{екв}}=\text{const}$ та $Re=1,1 \times 10^5$: 1 – дані [1], 2 – розрахунок круглий профіль, 3 – розрахунок плоскоовальний профіль ($a/b=2,7$), 4 – розрахунок еліптичний профіль ($a/b=2,5$)

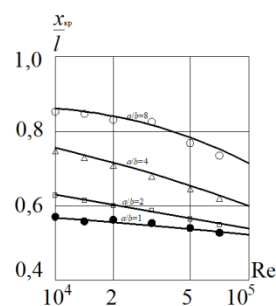


Рисунок 2 – Порівняльне моделювання положення нейтральної точки на еліптичних циліндрах зі співвідношенням осей a/b : сплошні лінії – дані [2], дискретні значення – результати математичного моделювання

Результати моделювання ефективності тепловіддачі і теплопередачі в залежності від руху гарячого теплоносія представлені на рис.3 та 4.

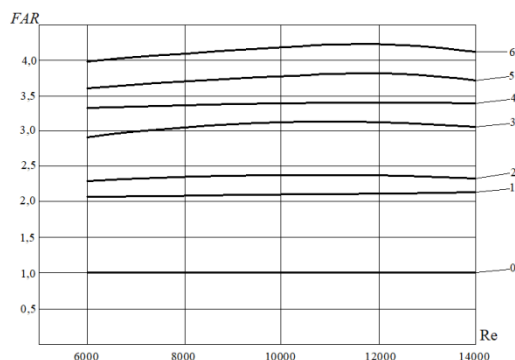


Рисунок 3 – Порівняльне моделювання ефективності тепловіддачі для поодиноких теплообмінних профілів різного поперечного перерізу при $d_{\text{екв}}=\text{const}$: 0 – круг; 1 – плоскоовальний профіль ($a/b=2,0$), 2 – плоскоовальний профіль ($a/b=3,4$), 3 – еліптичний профіль ($a/b=2,0$), 4 – плоскоовальний профіль ($a/b=2,7$), 5 – еліптичний профіль ($a/b=2,7$), 6 – еліптичний профіль ($a/b=2,5$),

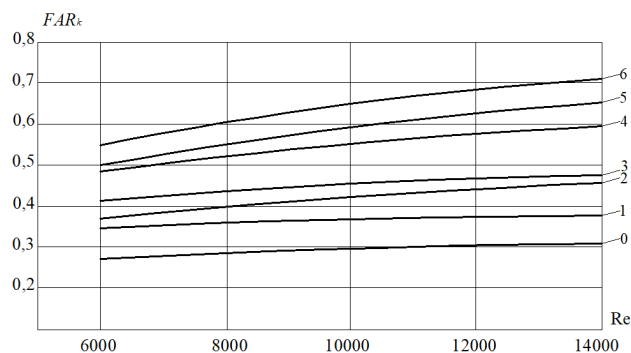


Рисунок 4 – Порівняльне моделювання ефективності теплопередачі для поодиноких теплообмінних профілів різного поперечного перерізу при $d_{\text{екв}}=\text{const}$: 0 – круг; 1 – еліптичний профіль ($a/b=2,0$), 2 – еліптичний профіль ($a/b=2,7$), 3 – плоскоовальний профіль ($a/b=2,0$), 4 – еліптичний профіль ($a/b=2,5$), 5 – плоскоовальний профіль ($a/b=3,4$), 6 – плоскоовальний профіль ($a/b=2,7$)

Отримані результати дали можливість виконати оцінку ефективності використання профільованих поверхонь в теплообмінних апаратах енергетичних установок.

Для утилізаційних котлів, що мають у своєму складі пароперегрівну, випарну та економайзерну поверхні, для дизельних та газотурбінних енергетичних установок, використання гладких еліптичних труб дозволить підвищити показник ефективності теплопередачі майже у два рази, що призведе до зменшення встановленої поверхні нагріву (по газовій стороні) на 26...31%, маси поверхні на 16...19%, об'єму поверхні на 14...18%. Для регенераторів газотурбінних установок зменшення маси складе 12...18%, об'єму – 12...14%. Для нагрівачів-утилізаторів повітряних турбінних теплоутилізуючих установок використання еліптичних гладко трубних поверхонь нагріву дозволить знизити масу майже на 28%. Для апаратів повітряного охолодження технологічних рідин енергетичних установок зниження енергоспоживання складе до 14%.

При використанні компактних теплообмінних апаратів з зазначеними поверхнями нагріву в суднових енергетичних установках танкерів дедвейтом близько 45500 т очікується підвищення ефективності енергетичної установки на 1,32% завдяки збільшенню паропродуктивності утилізаційного котла та відповідному зниженню паропродуктивності допоміжного котла.

Для систем WHRS, які зазвичай використовуються на контейнеровозах великої місткості [3], очікуване підвищення ефективності енергетичної установки складає до 2,5% завдяки збільшенню паропродуктивності утилізаційного котла.

ЛІТЕРАТУРА:

- [1] Бэтчелор, Дж. Введение в динамику жидкости. Москва, Издательство «Мир», 1973. 758с.
- [2] Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя/ Москва, Главная редакция физ-мат.лит-ры изд-ва «Наука», 1974. 712с.
- [3] *Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emissions and EEDI.* (2018). Відновлено з <https://turbocharger.man-es.com/technologies/waste-heat-recovery>.

Substantiation Of The Profile Of Heat Transfer Surfaces Of Compact Heat Exchangers With Specified Weight-Size Parameters As Part Of The Power Plants

Kuznetsov V. V.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The results of the research of convective energy exchange when using round, elliptical and flat-oval pipes as heating surfaces of heat-exchange apparatus of power plants are presented. The influence of redistribution of shape and friction resistances on heat transfer efficiency in separate channels of different shapes is shown. It is received, for utilization for diesel and gas turbine power plants, the use of smooth elliptical pipes will lead to a decrease in the installed heating surface by 26...31%, surface mass by 16...19%, surface volume by 14... 18%, for regenerators of gas turbine plants, the mass reduction will be 12...18%, the volume - 12...14%, for heaters-utilizers of air turbine waste heat recovery plants, the use of elliptical smooth pipe heating surfaces will reduce the weight by almost 28%. When using the investigated surfaces in waste heat boilers of ship power plants, the efficiency of the plant will increase up to 2.5%.

Key words: power plant, efficiency, heat-exchange apparatus, intensification, profiled surface, weight - size parameters.

УДК 629.5

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОРАБЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Кузнецов Г.В.

магістр кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,

м. Миколаїв, Україна

kuznetsov.heorhiy@gmail.com

Анотація. Кораблі є складовою частиною системи збройних сил держав, які мають вихід до моря. Комплексне використання сучасних технологій у Військово-Морському Флоті дозволить забезпечити значне підвищення потенційних можливостей кораблів. Енергетичні установки мають забезпечувати виконання кораблями задач за призначенням, задовольняючи, при можливості, діючим обмеженням ІМО щодо впливу на довкілля. Впровадження новітніх інноваційних технологій в суднобудування сприяє появленню нових рішень у корабельній енергетиці. Тому, аналіз сучасного стану та можливих шляхів вдосконалення корабельної енергетики є актуальною задачею.

Ключові слова: корабель, енергетична установка, вимоги, АІР, риформінг.

Основна частина. У даний час на зміну старим кораблям прийшли сучасні з новими тактико-технічними даними, які здатні виконувати різноманітні завдання [1], табл. 1.

Таблиця 1 Класифікація кораблів відповідно до стандартів НАТО

Тип	Водотоннажність	Головні розміри	Призначення
Крейсер	9800 – 25.860 т	Довжина – 173 – 258 м Ширина – 16.8 – 28.5 м Осадка – 8.4 -10 м	Боротьба з морськими силами, оборона з'єднань бойових кораблів і корабельних конвоїв, вогнева підтримка сухопутних військ тощо.