

Створення наукових і технологічних основ для розробки перспективних високоефективних оребрених поверхонь теплообміну.
Создание научных и технологических основ для разработки перспективных высокоэффективных оребренных поверхностей теплообмена.
Creation of scientific and technological foundations for the development of advanced high-performance heat transfer surfaces.

1. Номер державної реєстрації - № 0110U001318

2. Науковий керівник: ТУЗ Валерій Омелянович, д.т.н., професор кафедри АЕС і ІТФ, ТУЗ Валерий Емельянович, TUZ V. Ye.

3. Суть розробки, основні результати:
(укр.)

Досліджені конструкції сталевих труб плоско-овального профілю з неповним оребренням для використання в якості теплообмінних поверхнях. Такі поверхні мають декілька суттєвих переваг: матеріал – вуглецева сталь; виготовлення за дешевою технологією – контактне приварювання ребра до труби; покращена теплова ефективність в порівнянні зі сталевими трубами круглого профілю; аеродинамічний опір плоско-овальних труб з неповним оребренням на 40...50 % нижче ніж труб круглого профілю. Методами експериментального та числового моделювання виконані дослідження локальних та середньоповерхневих характеристик конвективного теплообміну, аеродинамічного опору та структури течії в поверхнях нагрівання з плоско-овальних труб з неповним поперечним оребренням в інтервалах зміни коефіцієнтів оребрення $\psi = 7...15$ та чисел Рейнольдса $Re = (10 - 60) \cdot 10^3$. Вперше виконано дослідження структури течії методами візуалізації, пневмометричними та термоанемометрії на поверхні та в міжреберних каналах плоско-овальних труб. Отримано вдосконалені узагальнюючі розрахункові залежності для визначення інтенсивності теплообміну та аеродинамічного опору плоско-овальних труб з неповним оребренням, які враховують вплив геометричних параметрів оребреної труби та пакету в цілому. Проведені експериментальні і числові дослідження теплообміну і аеродинамічного опору дозволили покращити на (2-3) % розрахункові співвідношення для визначення конвективних коефіцієнтів тепловіддачі і втрат тиску шахових пакетів плоско-овальних труб з неповним оребренням.

В роботі виявлено, що профіль плоско-овальної труби з $d_2/d_1 = 2.8$ за своїми властивостями, з точки зору тепловідведення з одного погонного метру оребреної труби, може на 25 % більше віддати чи прийняти теплоти при однакових коефіцієнтах оребрення, ніж плоско-овальна труба з $d_2/d_1 = 2.0$ при незначному зростанні аеродинамічного опору.

На базі нових співвідношень для розрахунків коефіцієнтів тепловіддачі і втрат тиску проведено вдосконалення методик теплоаеродинамічних розрахунків. Вдосконалена методика інженерних розрахунків дозволяє більш точно розраховувати вище згадані коефіцієнти та закладати менший коефіцієнт запасу на площу поверхні теплообмінного апарату в цілому.

Дослідження теплообміну і гідродинаміки потоку в поверхнях нагріву з плоско-овальних труб з неповним оребренням, дали можливість провести оптимізацію геометричних характеристик оребрення. Проведення таких досліджень дозволили виявити, що оптимальними геометричними параметрами оребрення плоско-овальних натурних труб являються такі значення: крок ребер $t = 3.6...3.8$ мм; висота ребра $h = 20...21$ мм; товщина ребра $\delta = 0.8...0.9$ мм.

На прикладі конкретного теплообмінного обладнання проведені варіантні теплоаеродинамічні розрахунки економайзера-утилізатора, виготовленого з плоско-овальних труб та встановленою між димою і димою трубою на одній з котельних м. Запоріжжя. Маса трубної частини зменшилась більш ніж на 0.5 тонни (на 25%), що в кінцевому варіанті призвело до зменшення вартості теплоутилізатора. Крім того, виробничі

випробування показали, що при низькому опорі теплообмінної поверхні не потрібно додаткового регулювання димососу.

(рос.)

Исследованы конструкции стальных труб плоско-овального профиля с неполным оребрением для использования в качестве теплообменных поверхностей. Такие поверхности имеют несколько существенных преимуществ: материал – углеродистая сталь; изготовление по дешевой технологии – контактное приваривание ребра к трубе; улучшенная тепловая эффективность по сравнению со стальными трубами круглого профиля; аэродинамическое сопротивление плоско-овальных труб с неполным оребрением на 40...50 % ниже труб круглого профиля. Методами экспериментального и численного моделирования выполнены исследования локальных и среднеповерхностных характеристик конвективного теплообмена, аэродинамического сопротивления и структуры течения в поверхностях нагрева из плоско-овальных труб с неполным поперечным оребрением в интервалах изменения коэффициентов оребрения $\psi = 7...15$ и чисел Рейнольдса $Re = (10 - 60) \cdot 10^3$. Впервые выполнено исследование структуры течения методами визуализации, пневмометрическими и термоанемометрии на поверхности и в межреберных каналах плоско-овальных труб. Получены усовершенствованные обобщающие расчетные зависимости для определения интенсивности теплообмена и аэродинамического сопротивления плоско-овальных труб с неполным оребрением, учитывающие влияние геометрических параметров оребренных труб и пакета в целом. Проведенные экспериментальные и численные исследования теплообмена и аэродинамического сопротивления позволили улучшить на (2-3) % расчетные соотношения для определения конвективных коэффициентов теплоотдачи и потерь давления шахматных пакетов плоско-овальных труб с неполным оребрением.

В работе выявлено, что профиль плоско-овальной трубы с $d_2/d_1 = 2.8$ по своим свойствам, с точки зрения теплоотвода с одного погонного метра оребренных труб, может на 25 % больше отдать или принять теплоты при одинаковых коэффициентах оребрения, чем плоско-овальная труба с $d_2/d_1 = 2.0$ при незначительном росте аэродинамического сопротивления.

На базе новых соотношений для расчетов коэффициентов теплоотдачи и потерь давления проведено совершенствование методик теплоаэродинамических расчетов. Усовершенствованная методика инженерных расчетов позволяет более точно рассчитывать упомянутые коэффициенты и закладывать меньше коэффициент запаса на площадь поверхности теплообменного аппарата в целом.

Исследование теплообмена и гидродинамики потока в поверхностях нагрева из плоско-овальных труб с неполным оребрением, дали возможность провести оптимизацию геометрических характеристик оребрения. Проведение таких исследований позволили выявить, что оптимальными геометрическими параметрами оребрения плоско-овальных натуральных труб являются такие значения: шаг ребер $t = 3.6...3.8$ мм; высота ребра $h = 20...21$ мм; толщина ребра $\delta = 0.8...0.9$ мм.

На примере конкретного теплообменного оборудования проведены варианты теплоаэродинамические расчеты экономайзера-утилизатора, изготовленного из плоско-овальных труб и установленного между дымососом котла и дымовой трубой на одной из котельных г. Запорожье. Масса трубной части уменьшилась более чем на 0.5 тонны (на 25 %), что в конечном варианте привело к уменьшению стоимости теплоутилизатора. Кроме того, производственные испытания показали, что при низком сопротивлении теплообменной поверхности не требуется дополнительного регулирования дымососа.

(англ.)

The design of flat-oval profile steel tubes with the incomplete fins is investigated for use as heat transfer surfaces. Such surfaces have several important advantages: the material - carbon steel, manufacture of low-cost technology – contact welding of the fins on the tube; improved thermal efficiency as compared with steel tubes of round profile, aerodynamic drag of flat-oval tubes with

incomplete fins for 40...50 % below the tube of round profile. Experimental methods and numerical simulations carried out studies of local and surface average convective heat transfer characteristics, aerodynamic resistance and flow structure in the heating surfaces of the flat-oval tubes with an incomplete transverse fins in intervals of the coefficients of fins $\psi = 7...15$ and Reynolds numbers $Re = (10 - 60) \cdot 10^3$. For the first time used to study the structure of the flow with visualization techniques, pneumatic and hot wire anemometry methods on the surface and in the interfins channels of flat-oval tubes. An improved estimates generalizing dependences for determining the rate of heat transfer and aerodynamic resistance of flat-oval tubes with incomplete fins are obtained, taking into account the influence of geometrical parameters of finned tubes and the package as a whole. The experimental and numerical investigations of heat transfer and drag make possible to improve on (2-3) % calculation correlations for determining the convective heat transfer coefficients and pressure losses for staggered bundles of flat-oval tubes with incomplete fins.

In the paper revealed that profile of flat-oval tubes with $d_2/d_1 = 2.8$ in their properties, in terms of heat transfer from one meter of finned tubes can be 25% more give or take the heat for the same coefficients of fins than the flat-oval tube with $d_2/d_1 = 2.0$ with a slight increase in drag.

On the basis of new relations for calculating heat transfer coefficients and pressure losses carried improving techniques for heat-aerodynamic calculations. The advanced engineering simulation techniques allows more accurate calculation of mentioned factors and mortgage the less factor of safety than on the surface area of the heat exchanger in general.

Study of heat transfer and hydrodynamics of the flow in the heating surfaces of the flat-oval tubes with incomplete fins, given the opportunity to optimize the geometrical characteristics of the fins. Carrying out such studies has revealed that the optimum geometric parameters of natural flat-oval tubes fins have such values: fins step $t = 3.6...3.8$ мм; fin height $h = 20...21$ мм; fin thickness $\delta = 0.8...0.9$ мм.

On the example of a specific heat exchange equipment carried out a variant heat-aerodynamic calculations for economizer-heat made of flat-oval tubes and placed between the boiler and smoke exhauster and smokestack on one of the Zaporozhye boiler plants. Weight of the tubes decreased by more than 0.5 tons (25%) that in the final version reduced the cost of heat exchanger. In addition, production tests showed that the low impedance of heat transfer surface does not require an additional regulation of exhauster.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності:

- патенти

1. Патент на корисну модель № 54180. Спосіб візуалізації течії газового потоку / Письменний Є. М., Руденко О. І., Ніщик О. П., Терех О. М., Семеняко О. В. 25.10.2010. Бюл.№20.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

На відміну від існуючих аналогів (фірми: Balke Dür, GEA, Німеччина; фірма BRONSWERK, Чехія) використання теплообмінної поверхні зі сталевих труб плоско-овального профілю з неповним поперечним оребренням дасть можливість знизити металоємність теплообмінника на 20...30 % від маси загальної теплообмінної поверхні та зменшити його габарити.

6. Економічна привабливість розробки для просування на ринок, впровадження та реалізації, показники, вартість.

Створені в результаті роботи нові вдосконалені методики розрахунку та проектування поверхонь нагрівання нового покоління, враховуючи широкий попит на них у світі, можуть бути достатньо ліквідним товаром. запропоновані типи оребрених поверхонь дозволять підвищити компактність і знизити металоємність теплообмінного устаткування на 20...30 %, що супроводжується підвищенням надійності і поліпшенням їх експлуатаційних характеристик. Результати впровадження в практику забезпечать істотне підвищення економічності, надійності і довготривалості функціонування багатьох типів теплоенергетичних машин і установок, скорочення термінів їх проектування і модернізації. Економічний ефект від впровадження нових теплообмінників полягає в заміні закордонних

систем аналогічного класу вітчизняними, повному виключенні затрат на імпорт і зменшенні строку окупності. вартість одного погонного метру імпортних теплообмінних круглих труб з алюмінієвим оребренням і аналогічними технічними параметрами, наприклад, Німеччина (фірми: Balke Dür, GEA), Чехія (BRONSWERK), складає від 100 до 160 грн., а очікувана вартість одного погонного метру розробленої труби складає 70 - 95 грн.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації).

Користувачами результатів роботи можуть бути проектні організації і промислові підприємства, що розробляють нові та удосконалюють існуючі компактні теплообмінні апарати. Плоско-овальні труби з неповним поперечним оребренням та теплообмінні поверхні з них можуть виготовлятися на енергомашинобудівних та інших підприємствах, наприклад, таких як Коростенський завод „Хіммаш“, „Павлоградхіммаш“, НВО ім. Фрунзе (м. Суми), тощо. Підтверджують свою зацікавленість у результатах роботи, що можуть бути впроваджені в таких організаціях, як ТОВ СПКТБ „Енергомашпроект“, ВАТ АК “САТЕР”, ТОВ „Demo Ltd”(м. Київ):

8. Стан готовності розробки.

Сьогодні створена науково-технологічна база для розробки перспективних ефективних компактних рекуперативних теплообмінних апаратів для енергетичної галузі України, але для виготовлення плоско-овальних труб з неповним оребренням необхідно розробити і виготовити промислову автоматизовану лінію контактного приварювання поперечних ребер до плоскоовальних труб. Стан готовності розробки у вигляді обмеженої кількості таких труб виготовлених на експериментальному стенді на базі Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона.

9. Існуючі результати впровадження:

Результати та висновки роботи використані при розробці, проектуванні та виготовлення конструкції економайзера-утилізатора з плоско-овальних труб з неповним оребренням для водогрійного котла КВГ – 6,5 (№1) для котельні КП „Житомиртеплокомуненерго” м. Житомир (пров. Київський, 3).

Результати експлуатації протягом 240 годин показали наступне: економія палива склала 2,7 тис. м³, що при ціні газу 1700 грн. за 1000м³, в грошовому вимірі відповідає економії 4590 грн. за цей період.

10. Назва підрозділу, телефон, e-mail: НТУУ "КПІ", теплоенергетичний факультет (ТЕФ), кафедра атомних електричних станцій та інженерної теплофізики (АЕС і ІТФ), тел. (044) 406-80-87, e-mail: teram57@meta.ua

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання:

- опубліковані статті:

1. Письменный Е. Н. Экономайзер-утилизатор из плоско-овальных труб с неполным оребрением / Письменный Е. Н., Демченко В. Г., Семеняко А. В., Терех А. М. // Восточно- Европейский журнал передовых технологий. – 2010. - №3/1(45). – С.15-19.
2. Письменный Е. Н. Коэффициент эффективности прямоугольного ребра плоско-овальной трубы / Письменный Е. Н., Терех А. М., Семеняко А. В., Багрий П. И. // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2010. - №2. С.70-75.
3. Письменный С. М. Аэродинамичний опір коридорних пакетів плоско-овальних труб з неповним оребренням / Письменный С. М., Терех О. М., Семеняко О. В., Кондратюк В. А. // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2010. - №1. – С. 24 - 29.
4. Жукова Ю. В. Численное моделирование нестационарного поперечного обтекания овального цилиндра при различных числах Рейнольдса / Жукова Ю. В., Терех А. М., Семеняко А. В. // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии (сборник научных статей). – 2010. №2(4). – с.231-235.
5. Письменный Е. Н. Теплообмен и аэродинамическое сопротивление малорядных пучков плоско-овальных труб с неполным оребрением // Письменный Е. Н.,

- Баранюк А. В., Терех А. М., Бурлей В. Д. // Промышленная теплотехника Т.32. – 2010. – №5. – с. 34-41.
6. Письменный Е. Н. Теплообменное устройство из плоско-овальных труб с неполным оребрением / Письменный Е. Н., Семеняко А. В., Терех А. М. // Труды V Российской Национальной конференции по теплообмену. Интенсификация теплообмена. – 2010. – Т.6. – С.130-132.
 7. Жукова Ю. В. Аэродинамика и теплообмен плоско-овального цилиндра при вынужденной конвекции / Жукова Ю. В., Семеняко А. В., Терех А. М. // Труды V Российской Национальной конференции по теплообмену. Вынужденная конвекция однофазной жидкости. – 2010. – Т.2. – С. 126 -128.
 8. Руденко А. И. Метод визуализации газового потока на поверхности тел различной формы / Руденко А. И., Нищик А. П., Терех А. М., Семеняко А. В., Баранюк А. В. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. - №1/9(49). - С.51-55.
 9. Семеняко А. В. CFD-моделирование процессов теплообмена и гидродинамики плоско-овальных труб с неполным оребрением // Семеняко А. В., Рогачов В. А., Баранюк А. В. // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. Сборник научных статей. Выпуск 2(7). – Киев: НПВК «Триакон», 2011. – С.23-28.
- доповіді на конференціях:
1. Жукова Ю. В. Численное моделирование нестационарного поперечного обтекания овалообразного цилиндра при различных числах Рейнольдса / Жукова Ю. В., Семеняко А. В. Терех А. М. // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2011. - т.55. – С.102-107.
 2. Жукова Ю. В. Средняя теплоотдача одиночного овалообразного цилиндра / Жукова Ю. В., Исаев С. А., Письменный Е. Н., Терех А. М. // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в новых энергетических технологиях. Школа-семинар молодых ученых и специалистов под рук. академика РАН А.И.Леонтьева. Тезисы докладов. - Звенигород. – Россия. – 2011(23-25.05). – С.61-62.



Моделі плоско-овальних труб з неповним оребренням