

Розробка і дослідження рівнорозвинених теплообмінних поверхонь для регенераторів теплоти ГТУ газотранспортної системи України.

Разработка и исследование равноразвитых теплообменных поверхностей для регенераторов теплоты ГТУ газотранспортной системы Украины.

Development and research equalincreased heat transfer surfaces for gas turbine regenerators of Ukrainian gas transport system.

1. Номер державної реєстрації - № 0110U001319

2. Науковий керівник: ПИСЬМЕННИЙ Євген Миколайович, Заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н, професор, зав. кафедрою АЕС та ІТФ, декан ТЕФ, ПИСЬМЕННИЙ Евгений Николаевич, Pis'mennui Ye. N.

3. Суть розробки, основні результати:

(укр.)

Опрацювання і аналіз існуючої інформації дозволили розробити конструкцію нової сталеві рівнорозвиненої труби гвинтоподібного типу для використання в якості теплообмінної поверхні повітрянагрівачів-регенераторів ГТУ газоперекачуючих агрегатів, які застосовуються на компресорних станціях газотранспортної системи України. Така поверхня має декілька суттєвих переваг: виготовлення на основі дешевої технології – роликоне обкочування круглої труби з використанням сипучого середовища або рідини для протитиску всередині труби. Запропонована технологія та оснащення для профілювання гвинтоподібних труб з рівнорозвиненою поверхнею дозволяє виготовити такі труби довжиною до 6 м. Поверхні з таких труб мають покращену теплову ефективність в порівнянні з поверхнями зі сталевих труб круглого профілю. Зниження металоемності теплообмінника з рівнорозвинених труб на 30...40% в порівнянні з теплообмінником виготовленим із традиційних гладких труб круглого профілю при однаковій потужності затраченої на переміщення теплоносія всередині труб досягається за рахунок високого ступеня інтенсифікації теплообміну всередині труби та шляхом розвинення поверхні труби.

При використанні умови постійної щільності теплового потоку на поверхні всієї труби виконані експериментальні і числові дослідження конвективного теплообміну і аеродинамічного опору гвинтоподібних труб з коефіцієнтом розвинення поверхні $\psi = 1.15 \dots 1.44$, кроків між впадинами чи виступами $t = 8 \dots 50$ мм, з висотами впадин – виступів $h = 3 \dots 7$ мм, чисел Рейнольдса $Re = 10000 \dots 60000$. Проведено порівняння теплоаеродинамічних характеристик поверхонь з гвинтоподібних труб із поверхнями зі звичайних круглих труб найбільш поширених в галузі рекуперативних теплообмінних апаратів типу „газ-газ”. Результати порівняння теплоаеродинамічних характеристик поверхонь показали, що гвинтоподібна труба з кроком між впадинами чи виступами $t = 12$ мм, та висотою впадини чи виступу $h = 5$ мм, є конкурентоспроможною.

Вперше отримані узагальнюючі розрахункові залежності для визначення коефіцієнтів тепловіддачі і аеродинамічного опору всередині гвинтоподібних труб, які враховують вплив на інтенсивність теплообміну і опір геометричних параметрів труби та режимних факторів потоку.

На підставі отриманих узагальнюючих залежностей розроблені нові інженерні методики розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі та аеродинамічного опору всередині рівнорозвинених гвинтоподібних труб. Запропоновані практичні рекомендації щодо оптимальних геометричних параметрів теплообмінних поверхонь для виконання інженерних розрахунків рекуперативних теплообмінних апаратів типу „газ-газ” за розробленою технологією виготовлення таких труб.

(рос.)

Проработка и анализ существующей информации позволили разработать конструкцию новой стальной равноразвитой трубы винтообразного типа для использования в качестве теплообменной поверхности воздухоподогревателей-регенераторов ГТУ газоперекачивающих агрегатов, которые применяются на

компрессорных станциях газотранспортной системы Украины. Такая поверхность имеет несколько существенных преимуществ: изготовление на основе дешевой технологии – роликовое обкочивание круглой трубы с использованием сыпучей среды или жидкости для протидавления внутри трубы. Предложенная технология и оснастка для профилизации винтообразных труб с равноразвитой поверхностью позволяет изготовить такие трубы длиной до 6 м. Поверхности из таких труб имеют улучшенную тепловую эффективность по сравнению с поверхностями из стальных труб круглого профиля. Снижение металлоемкости теплообменника из равноразвитых труб на 30...40% по сравнению с теплообменником, изготовленным из традиционных гладких труб круглого профиля, при одинаковой мощности, затрачиваемой на перемещение теплоносителя внутри труб, достигается за счет высокой степени интенсификации теплообмена внутри трубы и путем развития поверхности трубы.

При использовании условия постоянной плотности теплового потока на поверхности всей трубы выполнены экспериментальные и численные исследования конвективного теплообмена и аэродинамического сопротивления винтообразных труб с коэффициентом развития поверхности $\psi = 1.15 \dots 1.44$, шагов между впадинами или выступами $t = 8 \dots 50$ мм, с высотами впадин-выступов $h = 3 \dots 7$ мм, чисел Рейнольдса $Re = 10000 \dots 60000$. Проведено сравнение теплоаэродинамических характеристик поверхностей из винтообразных труб с поверхностями из обычных круглых труб, наиболее распространенных в отрасли рекуперативных теплообменных аппаратов типа „газ-газ”. Результаты сравнения теплоаэродинамических характеристик поверхностей показали, что винтообразная труба с шагом между впадинами или выступами $t = 12$ мм, и высотой впадины или выступа $h = 5$ мм, являются конкурентноспособной.

Впервые получены обобщающие расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи и аэродинамического сопротивления внутри винтообразных труб, которые учитывают влияние на интенсивность теплообмена и сопротивление геометрических параметров трубы и режимных факторов потока.

На основании полученных обобщающих зависимостей разработаны новые инженерные методики расчета коэффициентов теплоотдачи и аэродинамического сопротивления внутри равноразвитых винтообразных труб. Предложенные практические рекомендации относительно оптимальных геометрических параметров теплообменных поверхностей для выполнения инженерных расчетов рекуперативных теплообменных аппаратов типа "газ-газ" по разработанной технологии изготовления таких труб.

(англ.)

Study and analysis of existing information enabled the development of the construction of a new steel tube equal developed helical type for use as a heat transfer surface air heaters-regenerators for gas compressor units, which are used in compressor stations Ukrainian gas transport system. This surface has several advantages: production with cheaper technology – roller burnishing of circular tube with granular material or liquid for making backpressure inside the tube. The proposed technology and equipment for profiling helical tubes with equal developed surface allows producing such tubes up to 6 m. The surfaces of these tubes have improved thermal efficiency as compared with the surfaces of round profile steel tubes. Reduction of metal for heat exchanger with equal developed tubes is 30... 40% compared to the heat exchanger out of traditional smooth tubes with round profile, at the same power consumption by moving the coolant inside the tubes is achieved by a high degree of heat transfer inside the tube and through the development of the inner surface.

When using the conditions of constant heat flux density on the surface of all tubes are made of experimental and numerical studies of convective heat transfer and aerodynamic drag coefficient of helical tubes with a surface of $\psi = 1.15 \dots 1.44$, steps between the recesses or projections $t = 8 \dots 50$ mm, with heights of recesses- projections $h = 3 \dots 7$ mm, the Reynolds number $Re = 10000 \dots 60000$. A comparison of heat-aerodynamic characteristics surface with helical tubes to the surfaces of the conventional round tubes, the most common in the industry recuperative heat exchanges types of

"gas-gas". Results of the analysis comparing heat-aerodynamic characteristics of such surfaces have shown that the helical tube with a step between the recesses or projections $t = 12$ mm, and height of the recesses or projections $h = 5$ mm is competitive.

First obtained generalizing calculation dependencies for the coefficients of heat transfer and aerodynamic resistance inside helical tubes, which account for the effect on the heat transfer rate and resistance the geometric parameters of the tube and secure the flow factors.

Based on these correlations, new engineering method for calculating heat transfer coefficients and drag inside the helical pipe *ravnorazvityh*. The proposed practical recommendations for optimal geometrical parameters *teplobmennyyh* surfaces for engineering calculations of recuperative heat exchangers types of "gas-gas" technology developed for the manufacture of such tubes.

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

- патенти

1. Патент на корисну модель №52537. Формування гвинтових канавок на трубчастих тонкостінних заготовках гідростатичним тиском / Маковей В.О., Калюжний В.Л., Проценко П.Ю. 25.08.2010. Бюл. №16.
2. Патент на корисну модель № 63068. Спосіб визначення локальної структури газового потоку / Письменний Є.М., Руденко О.І, Ніщик О.П., Терех О.М. 26.09.11. Бюл.№18.
3. Патент на корисну модель №60663. Спосіб формування гвинтових канавок на трубчастих тонкостінних заготовках роликотворним обробленням з використанням внутрішнього протитиску/ Маковей В. О., Бородій Ю. П., Кліско А. В., Проценко П. Ю. - 25.06.2011.
4. Заявка на патент на корисну модель U201108293. Теплообмінна труба / Письменний Є.М., Руденко О.І, Ніщик О.П., Терех О.М, Баранюк О.В.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Теплообмінні поверхні, що пропонуються, не мають аналогів у світі, так як в їх конструкціях запропоновано одночасне збільшення як зовнішньої, так і внутрішньої теплообмінних поверхонь в 1.15-1.44 рази. Такі труби мають невеликі кроки між впадинами чи виступами і збільшені висоти впадин чи виступів (5-7 мм). За рахунок цих факторів виникає можливість знизити металоємність теплообмінника на 30...40% від маси загальної теплообмінної поверхні та збільшити його компактність.

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

Створені в результаті роботи нові конкурентноспроможні методики розрахунку та проектування поверхонь нагріву нового покоління, враховуючи широкий попит на них у світі, можуть бути достатньо ліквідним товаром. Розроблені методики та технології виготовлення рівнорозвинених гвинтоподібних труб являються порівняно дешевими, а значить і доступними. Запропоновані типи рівнорозвинених гвинтоподібних труб дозволять підвищити компактність і знизити металоємність теплообмінного устаткування на 30...40%, що супроводжується підвищенням надійності і покращенням їх експлуатаційних характеристик. Результати, які будуть впроваджені 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 терміну окупності. Вартість одного погонного метру імпортних теплообмінних гвинтоподібних труб з аналогічними технічними параметрами, наприклад, Росія (фірма Кофулсо) складає від 135 до 150 грн., а очікувана вартість одного погонного метру розробленої труби складає до 120 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. Імовірні замовники результатів роботи:

- галузі: хімічне машинобудування, теплоенергетика, нафтопереробка;
- підприємства: Укрнафтогаз, Міненергопалива ЗАТ “Промгазопарат” (м. Київ), ВАТ „Факел” (м. Фастів), ВНППТрансгаз;

8. Стан готовності розробки.

Сьогодні створена науково-технологічна база для розробки перспективних ефективних рекуперативних повітрянагрівачів-регенераторів для ГТУ газотранспортної системи України, але для виготовлення профільованих труб з рівнорозвиненою поверхнею гвинтоподібного типу необхідно розробити і виготовити промислову лінію для виробництва таких труб довжиною більше 6 м. Стан готовності розробки у вигляді лабораторного зразку.

9. Існуючі результати впровадження:

Результати та висновки роботи використані при розробці та проектуванні конструкції теплообмінної поверхні у вигляді рівнорозвинених гвинтоподібних труб для повітрянагрівача-регенератора ГТУ (ГТК-10).

Попередні теплоаеродинамічні розрахунки регенератора з рівнорозвинених труб гвинтоподібного типу показали, що використання таких труб замість гладких труб круглого перерізу, дозволяє підвищити компактність і знизити металоємність теплообмінного устаткування на 30...40 %.

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

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання:

– **опубліковані статті:**

1. Письменный Е.Н. Теплоаеродинамическая эффективность трубчатых поверхностей нагрева регенераторов ГТУ/ Письменный Е.Н., Терех А.М., Семеняко А.В., Баранюк А.В. // Промышленная теплотехника. – 2010. – Т.32.– №4. – С. 63-73.
2. Маковой В.О. Профілювання гвинтоподібних труб обкочуванням/ Маковой В.О., Бородій Ю.П., Кліско А.В., Проценко П. Ю // Вісник Київського політехн. ін-та. Машинобудування. – 2010. – №60. – С. 55-60.
3. Маковой В.О. Напряженно-деформированное состояние винтоподобных труб при профилировании/ Маковой В.О., Бородій Ю.П., Проценко П.Ю. // Вестник Национального технического университета “ХПИ”. – 2010. - №42. – С. 64 – 70.
4. Демчук Л.В. Теплоаеродинамічна ефективність гвинтоподібних труб з рівнорозвиненою поверхнею / Демчук Л.В., Рогачов В.А., Терех О.М., Руденко О.І.// Восточно-Европейский журнал передових технологий. – 2011. - №5/8(53). – С.26-30.
5. Письменный Е.Н. Универсальная зависимость для расчета конвективного теплообмена поперечно-обтекаемых пучков гладких труб / Письменный Е.Н. – Теплоэнергетика. – 2010. - №3. – С. 34-41.
6. E.N. Pis'mennyi. An asymptotic approach to generalizing the experimental data on convective heat transfer of tube bundles in crossflow/ E.N. Pis'mennyi // International journal of Heat and Mass Transfer. - 2011. - №54. – P.4235-4266.
7. E.N. Pis'mennyi. A Universal Relation for Calculating Convective Heat Transfer in Transversely Streamlined Bundles of Smooth Tubes / E.N. Pis'mennyi // Thermal Engineering. – 2010. - №57. - P. 219–226.

- **монографії:**

1. Конвективный теплообмен в элементах энергетического оборудования / [Письменный Е.Н., Эпик Э.Я, Рогачев В.А., Терех А.М., Баранюк А.В.]. Готується до друку.

- **доповіді на конференціях:**

1. Вознюк М.М. Дослідження теплоаеродинамічних характеристик гвинтоподібних труб методами числового моделювання/ Вознюк М.М., Баранюк О.В. // ІХ міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрів, студентів „Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики 18-22 квітня 2011. –Київ, Україна.
2. Кириченко О.А. Інтенсифікація тепловіддачі в трубах круглого поперечного перерізу/ Кириченко О.А., Баранюк О.В // ІХ міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрів, студентів „Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики 18-22 квітня 2011.- Київ, Україна.
3. Демчук Л.В. Інтенсифікація теплообміну в круглій трубі шляхом зміни її прохідного перерізу/ Демчук Л. В., Семеняко О.В. // VIII міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрів, студентів „Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики 18-22 квітня 2010, Київ, Україна.
4. Маковей В. О. Профілювання гвинтоподібних труб обкочуванням / Маковей В. О., Бородій Ю. П., Кліско А. В., Проценко П. Ю. // Міжнародна науково-технічна конференція “Теоретичні та практичні проблеми в обробці металів тиском”. – К.: – Україна. 15 – 17 червня 2010.
5. Маковей В. О. Напряженно-деформированное состояние винтоподобных труб при профилировании/ Маковей В. О., Бородій Ю. П., Проценко П. Ю // 2-я международная научно-техническая конференция “Ресурсосбережение и энергоэффективность процессов и оборудования обработки давлением в машиностроении и металлургии”. – г. Харьков. – Украина. 9 – 11 ноября 2010.
6. Проценко П. Ю. Технологія виготовлення труб з гвинтовою поверхнею/ Проценко П. Ю., Маковей В.О. // Загально університетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів. –Київ.– 2010.
7. Проценко П. Ю. Формування гвинтових канавок на трубчастих тонкостінних заготовках гідростатичним тиском/ Проценко П. Ю., Маковей В. О. // Загально університетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів. – Київ.– 2010.



Макети гвинтоподібних труб