

УДК 621.565.93/95

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОМАССОБМЕНА
ТУРБОЛИЗИРУЮЩИМИ ВСТАВКАМИ****Степанов Олег Андреевич,**

д.т.н., профессор кафедры Промышленной теплоэнергетики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

e-mail: stepanovoa@tyuiu.ru

Богунова Анастасия Александровна,

аспирант, старший преподаватель кафедры Бизнес-информатики и математики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

e-mail: bogunovaaa@tyuiu.ru

Аннотация

В статье рассматривается вопрос интенсификации теплообмена в кожухотрубных теплообменных аппаратах за счет применения турболизирующих вставок. Приводится описание и принципиальная схема экспериментальной установки с теплообменным аппаратом. Проведен ряд экспериментальных исследований с применением различных видов турболизаторов. Приводятся данные коэффициентов теплопроводности, полученные в ходе экспериментов.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплообменные аппараты, турболизирующие вставки, экспериментальная установка, коэффициент теплопроводности.

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF HEAT AND MASS TRANSFER WITH
TURBOLYZER INSERT****Anastasiya A. Bogunova,**

postgraduate, senior lecturer at the Department of Business Informatics and Mathematics, Industrial University of Tyumen, Tyumen

e-mail: bogunovaaa@tyuiu.ru

Oleg A. Stepanov,

Doctor of Technical Sciences, professor at the Department of Industrial Heat and Power Engineering, Industrial University of Tyumen, Tyumen

e-mail: stepanovoa@tyuiu.ru

ABSTRACT

The article deals with the issue of heat transfer intensification in shell-and-tube heat exchangers through the use of turbolizing inserts. A description and a schematic diagram of an experimental setup with a heat exchanger are given. A number of experimental studies were

carried out using various types of turbolizers. The data of thermal conductivity coefficients obtained in the course of experiments are presented.

Keywords: energy efficiency, heat exchangers, turbolizing inserts, experimental setup, coefficient of thermal conductivity.

Введение

Вопросы энергоэффективности и энергосбережения являются приоритетными для современной нефтяной промышленности, транспорта и других отраслей. Особенно важно это стало в рамках новых экономических условий. Для повышения энергоэффективности используется комплексный подход, основанный на применении целого набора оптимизационных мероприятий. Важным направлением решения этих задач является разработка и внедрение новых видов развитых конвективных поверхностей теплообмена, а также оптимизация уже эксплуатируемых теплообменников [1, 2].

В газовой и нефтяной промышленности теплообменная аппаратура составляет весьма значительную часть технологического оборудования; теплообменники применяются в нефтедобыче, нефте- и газопереработке, нефтехимии. В общем выпуске теплообменных аппаратов для нефтегазовой и смежных отраслей промышленности в России около 80% занимают кожухотрубчатые теплообменники [3, 4]. Эти теплообменники достаточно просты в изготовлении и надежны в эксплуатации и в то же время достаточно универсальны, т.е. могут быть использованы для осуществления теплообмена между газами, парами, жидкостями в любом сочетании теплоносителей и в широком диапазоне их давлений и температур.

В кожухотрубных ТА интенсификация теплообмена осуществляется путем изменения режима работы (изменения температур, расходов, способов подключения), а также применения турболизирующих вставок [5, 6]. Как правило, турболизирующие вставки устанавливаются внутри кожуха и предназначены для изменения направления движения греющего теплоносителя. Правильный подбор таких вставок в ТА позволяет достичь сокращения используемого металла теплопередающей поверхности и повысить температуру нагреваемого теплоносителя.

Цель исследования

Целью данного исследования является интенсификация тепломассобмена в кожухотрубном теплообменном аппарате при помощи турболизирующих вставок. Задача состояла в сравнении коэффициентов теплопередачи, полученных при теоретических расчетах для гладкой трубы с результатами расчетов этих коэффициентов, полученными при применении турболизаторов.

Материалы и методы исследования

В данном исследовании рассматривается экспериментальная установка с теплообменным аппаратом. ТА состоит из кожуха с наружным диаметром 60 мм, толщиной стенки 4 мм и длиной 3 м. Внутри кожуха установлена трубка из нержавеющей стали с наружным диаметром 16 мм, толщиной стенки 1 мм и длиной 3 м. Установлена только одна трубка для простоты конструкции и расчетов, а не пучок труб. Внутреннюю трубку удерживают четыре шайбы, разрезанные пополам, с наружным диаметром 52 мм, внутренним диаметром 16 мм и толщиной 1,5 мм. Шайбы установлены через каждые 50 см длины с поворотом 90°. Шайбы нужны для задержания и поворота нагреваемого теплоносителя, чтобы он получил больше тепловой энергии от греющего теплоносителя через стенку трубки. Также шайбы играют роль трубной решетки, удерживая внутреннюю

трубку на одном месте. Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

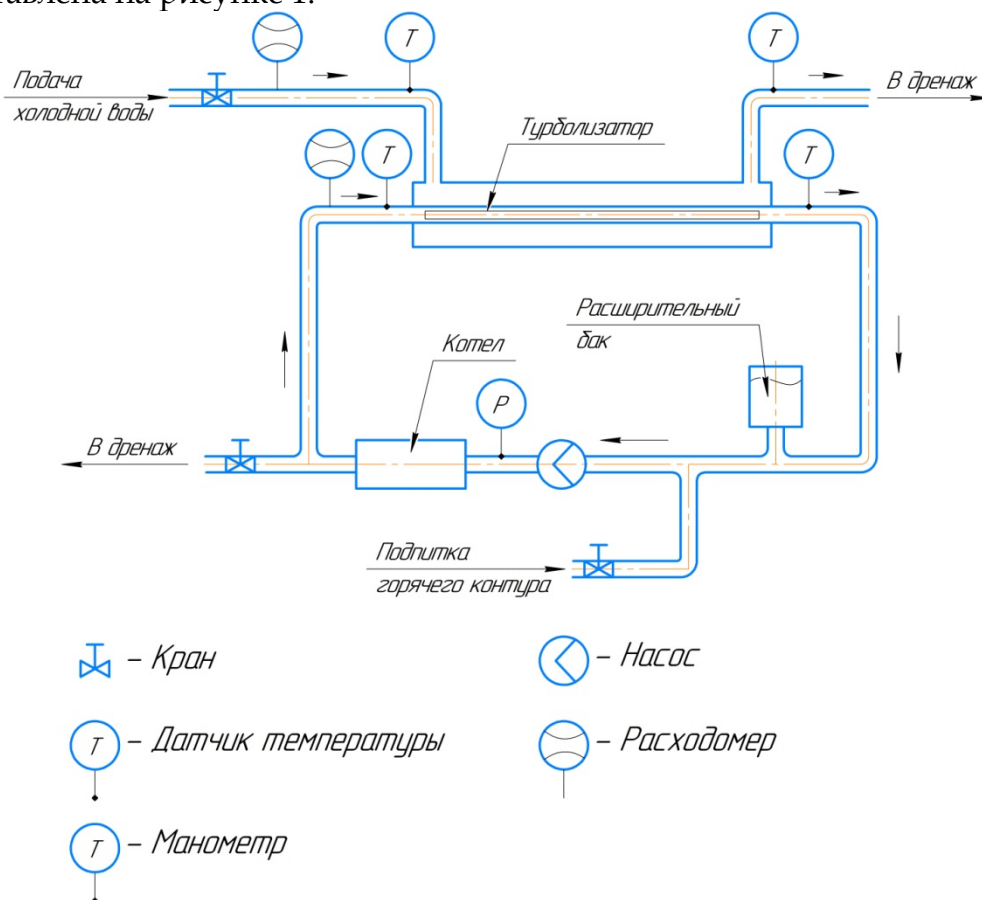


Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

Произведены расчеты для ТА в следующих комплектациях: кожухотрубный с гладкой трубой, кожухотрубный с турбулизирующими вставками в виде спирали, кожухотрубный с турбулизирующими вставками в виде пластины с лепестками. Первая турбулизирующая вставка изготовлена в виде спирали из проволоки диаметром 2 мм и шагом витков 26 мм. Вторая турбулизирующая вставка изготовлена в виде продольной пластины шириной 13 мм, толщиной 1 мм, с лепестками, расположенными по всей длине и составляющими угол 100 с пластиной турбулизатора.

Расчет коэффициента теплопередачи для гладкой трубы был произведен согласно методике расчета коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи для теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» [7 - 9]. Исходными данными для такого расчета являлись: G_1, G_2 – расходы греющего и нагреваемого теплоносителей (м³/с), $t_{1вх}, t_{1вых}$ – температура греющего теплоносителя на входе и на выходе (0С), $t_{2вх}, t_{2вых}$ – температура нагреваемого теплоносителя на входе и на выходе (0С). Все необходимые для расчетов физические параметры теплоносителей, такие как плотность (ρ , кг/м³), теплоемкость (c_p , кДж/(кг*К)), кинематическая вязкость (ν , м²/с), критерий Прандтля (Pr) и коэффициент теплопроводности (λ , Вт/(м*К)) были взяты по справочным данным при средней температуре теплоносителей.

Определялись последовательно теплотехнические параметры. Количество передаваемой теплоты Q (Вт) определялось по формуле температурного баланса:

$$Q = G_1 \cdot c_{p1} \cdot (t_1^{вх} - t_1^{вых}) \cdot \rho_1 = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_2^{вых} - t_2^{вх}) \cdot \rho_2 \quad (1)$$

Температурный напор Δt (0С) вычисляли по формуле:

$$\Delta t = \frac{(t_1^{ex} - t_2^{6yx}) - (t_1^{6yx} - t_2^{ex})}{\ln\left(\frac{t_1^{ex} - t_2^{6yx}}{t_1^{6yx} - t_2^{ex}}\right)} \quad (2)$$

Определяли скорости греющего и нагреваемого теплоносителей w_1 и w_2 (м/с) по формуле:

$$w = \frac{4G}{\pi \cdot d^2 \cdot \rho} \quad (3)$$

Число Рейнольдса (Re) считали также для обоих видов теплоносителей по формуле:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (4)$$

Исходя из полученных величин числа Рейнольдса, и режима течения теплоносителей рассчитывали число Нуссельта (Nu). Формулу для числа Нуссельта взяли следующую:

$$Nu = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43} \quad (5)$$

На основании полученных данных рассчитывались коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 для обоих видов теплоносителей:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} \quad (6)$$

а также коэффициент теплопередачи k (Вт/(м²·0С) по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (7)$$

где δ_c - толщина стенки трубки, λ_c - коэффициент теплопроводности материала трубки (сталь).

По результатам проведенных экспериментов были также определены расходы греющего и нагреваемого теплоносителей и значения температур греющего и нагреваемого теплоносителей на входе и на выходе для трех режимов работы насоса. Расчет коэффициента теплопередачи осуществлялся по формуле:

$$k = \frac{Q}{\Delta t \cdot F} \quad (8)$$

где F - площадь поверхности теплообмена (м²) определялась исходя их геометрических параметров теплообменного аппарата, а температурный напор Δt (0С) рассчитывался также, как и случае с гладкой трубой [8], [9].

Результаты и их обсуждение

Полученные данные позволили определить реальный коэффициент теплопередачи и сделать выводы. Полученные результаты расчетов представлены в таблице.

Тип трубки	Расход греющего теплоносителя, м ³ / ч		
	0,19-0,18	0,17-0,16	0,15-0,14
Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·0С)			
Гладкая трубка	549	539	513

Спираль – турболизатор (шаг 26 мм)	738	683	633
Лепестковый турболизатор	676	650	614

Анализируя полученные данные, видим, что коэффициент теплопередачи растет с увеличением расхода греющего теплоносителя и имеет примерно 20% увеличение в результате интенсификации теплообмена при помощи турболизирующей вставки в виде спирали, и примерно 18% при лепестковом турболизаторе. Даже при таком отрицательном эффекте, как увеличение гидравлических сопротивлений, что ведет к увеличению мощности насоса, положительный эффект в виде снижения площади поверхности теплообмена, который приводит к снижению затрат на материал теплообменника, будет превосходить вышесказанный отрицательный эффект.

Заключение

В дальнейшем планируется провести ряд опытов, получить экспериментальные данные и провести расчеты с различными видами турболизирующих вставок. Определить наиболее рациональную форму турболизирующей вставки для наибольшей интенсификации тепломассообмена, показать экономический эффект применения данной технологии на практике.

Список литературы:

1. Афанасьева И.В. Перспективные методы оребрения теплообменных аппаратов // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 7. – С. 114-121.
2. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. Монография. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с.
3. Кушев Л.А., Никулин Н.Ю., Овсянников Ю.Г., Алифанова А.И. Современные способы интенсификации работы кожухотрубных теплообменных аппаратов систем теплоснабжения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость.- 2018. - Том 8, № 2. – С. 130-140.
4. Четверткова О.В. Повышение эффективности кожухотрубчатых теплообменных аппаратов совершенствованием конструктивного исполнения межтрубного пространства: автореф. на соиск. ученой степ. канд. тех.наук.: 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы. Уфа., 2018. 24 с.
5. Черняев Л.А., Гаврилов Т.А. Экспериментальное исследование влияния турбулизации жидкости на параметры теплообменника // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. - 2014. – Том 2, № 8. – С. 82-85.
6. Ибрагимов У.Х., Шомуратова С.М. Экспериментальное исследование коэффициента теплоотдачи в трубках теплообменника с применением локальных турболизаторов // Молодой ученый. - 2014. – № 4(63). – С. 178-179.
7. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. - М.: Изд-во Бастет, 2010. – 344с.
8. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Изд-во: Энергия, 1975. – 217 с.

9. Бессонный А.Н., Дрейцер Г.Л., Кунтыш В.Б. и др. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения. Справочник / Под общ. ред. В.Б. Кунтыша. А.Н. Бессонного. – СПб.: Недра, 1996. – 512 с.

References:

1. Afanas'eva I.V. Perspective methods of finning heat exchangers // Modern science-intensive technologies. - 2019. - No. 7. - P. 114-121.
2. Kalinin E.K., Dreytser G.A., Yarkho S.A. Intensification of heat transfer in channels. Monograph. - 3rd ed., revised. and additional - М.: Mashinostroenie, 1990. - 208 p.
3. Kushchev L.A., Nikulin N.Yu., Ovsyannikov Yu.G., Alifanova A.I. Modern methods of intensification of the operation of shell-and-tube heat exchangers of heat supply systems. Izvestiya vuzov. Investments. Construction. Real Estate. - 2018. - Vol. 8, No. 2. - P. 130-140.
4. Chetvertkova O.V. Improving the efficiency of shell-and-tube heat exchangers by improving the design of the annular space: abstract of the thesis. for the competition academic step. cand. technical sciences: 05.02.13 - Machines, units and processes. Ufa., 2018. - 24 p.
5. Chernyaev L.A., Gavrilov T.A. Experimental study of the effect of liquid turbulization on the parameters of a heat exchanger. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2014. - Vol. 2, No. 8. - P. 82-85.
6. Ibragimov U.Kh., Shomuratova S.M. Experimental study of the heat transfer coefficient in heat exchanger tubes using local turbolizers // Young scientist. - 2014. - No. 4(63). - P. 178-179.
7. Mikheev M.A., Mikheeva I.M. Fundamentals of heat transfer. - M.: Publishing house Bastet, 2010. - 344 p.
8. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Heat transfer. - M.: Publishing house: Energy, 1975. - 217 p.
9. Bessonnyi A.N., Dreytser G.L., Kuntyshev V.B. Osnovy raschet i proektirovaniya vozdushnykh okhlazhdeniyakh [Fundamentals of calculation and design of air-cooled heat exchangers]. Directory / Under the general. ed. V.B. Kuntyshev. A.N. Bessonnyi. - St. Petersburg: Nedra, 1996. - 512 p.