

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ В ТРУБАХ С ЛОКАЛЬНЫМИ
ТУРБУЛИЗАТОРАМИ**

Ибрагимов Умиджон Хикматуллаевич

*Доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент
Каршинский инженерно-экономический институт
Узбекистан, г. Карши*

Абдиназаров Сарвар Бурханович

*Каршинский инженерно-экономический институт
Узбекистан, г. Карши*

Пардаев Зокир Элмуродович

*Каршинский инженерно-экономический институт
Узбекистан, г. Карши*

Аванесов Тигран Рубенович

*Каршинский инженерно-экономический институт
Узбекистан, г. Карши*

**EXPERIMENTAL STUDY AND GENERALIZATION OF RESULTS OF RESEARCH PROCESSES
OF HYDRODYNAMICS IN PIPES WITH LOCAL TURBULATORS**

Ibragimov Umidjon KHikmatullaevich

*Doctor of Philosophy (PhD) on technical sciences, assistant professor
Karshi Engineering and Economic Institute
Uzbekistan, Karshi*

Abdinazarov Sarvar Burkhanovich

*Karshi Engineering and Economic Institute
Uzbekistan, Karshi*

Pardaev Zokir Elmurodovich

*Karshi Engineering and Economic Institute
Uzbekistan, Karshi*

Avanesov Tigran Rubenovich

*Karshi Engineering and Economic Institute
Uzbekistan, Karshi*

АННОТАЦИЯ

Целью работы является определение гидравлического сопротивления в трубах с локальными турбулизаторами. Для достижения поставленной цели проведены экспериментальные исследования, получены результаты и предложены обобщающие эмпирические зависимости по гидравлическому сопротивлению в трубах с локальными турбулизаторами. Полученные результаты отличаются от известных тем, что впервые предложены эмпирические зависимости для определения гидравлического сопротивления в трубах с локальными турбулизаторами, что позволило существенно повысить достоверность полученных результатов.

ABSTARCT

The purpose of the work is to determine the hydraulic resistance of pipes with local turbulators. To achieve this goal, an experimental study was carried out, results were obtained and generalizing empirical dependences on the hydraulic resistance of pipes with local turbulators were proposed. The results obtained differ from the known ones in that for the first time empirical dependences were proposed to determine the hydraulic resistance in pipes with local turbulators, which made it possible to significantly increase the reliability of the results obtained.

Ключевые слова: теплообменник; локальный турбулизатор; относительный шаг; относительный диаметр; ламинарный режим; турбулентный режим.

Key words: heat exchanger; local turbulator; relative pitch relative diameter; laminar mode; turbulent mode.

Введение. В настоящее время один технически и экономически обоснованных путей повышения энерго- и ресурсосбережение является совершенствование теплообменных аппаратов энерготехнологических установок [1; с. 81].

Теплообменные аппараты – устройства, предназначенные для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому. Они широко применяются в энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой

промышленности, холодильной технике, в системах отопления и горячего водоснабжения [2; с. 6].

Сегодня, примерно 80-90% всего рынка теплообменников в промышленности и энергетике приходится на трубчатые теплообменники различных типов и назначений. Главное их преимущество – широкий диапазон рабочих температур и давлений, возможность использования в различных отраслях

промышленности и видах технических устройств и технологий. Однако большинству промышленных трубчатых теплообменников свойственны невысокие показатели эффективности [2; с. 7, 3; с. 4].

Технические требования к повышению тепловых характеристик теплообменных аппаратов, приводящие к экономии энергии, материала и снижению стоимости, и как итог уменьшение воздействия на экологию, привело к разработке и использованию различных методов повышения теплоотдачи. Эти методы получили название интенсификация процессов теплоотдачи [4; с. 65]. Поэтому интенсификации теплообмена в трубах теплообменника - реальный путь к уменьшению габаритов и массы теплообменного устройства [5; с. 56]. С целью интенсификации теплообмена и резкого снижения образования отложений на теплообменивающих поверхностях было предложено [6; с. 28] устанавливать в трубах теплообменника локальные турбулизаторы (ЛТ) потока воды.

Экспериментальная часть. Для исследования процессов гидродинамики и теплообмена в трубах теплообменника с локальными турбулизаторами (ЛТ) разработана экспериментальная установка, приведенная в работе [6; с. 32]. Экспериментальное исследование влияния ЛТ на гидродинамику проводилось на горячем контуре экспериментальной установки. Экспериментальные исследования проводились в следующем диапазоне основных параметров: расход воды, $G=0,004 \pm 0,13$ кг/с, температура воды на входе $t'_1 = 70^\circ\text{C}$.

Для проверки экспериментальной установки на достоверность были проведены эксперименты по гидродинамике и теплообмену в гладкой трубе.

Полученные результаты обобщены и получены эмпирические уравнения для определения гидравлического сопротивления и теплоотдачи в гладких трубах.

а) для ламинарного режима течения:

$$\xi = \frac{0,471}{Re_{ж}^{0,641}} \left(\frac{Pr_{ст}}{Pr_{ж}} \right)^{0,408} \left(\frac{Gr_{ж} Pr_{ж}}{Re_{ж}} \right)^{0,319} \quad (1)$$

Формула (1) справедлива в пределах $600 < Re < 2200$; $1 < Pr_{ст}/Pr_{ж} < 1,2$; $3 \cdot 10^6 < Gr_{ж} < 6 \cdot 10^6$. Погрешность вычислений $\pm 5\%$.

б) для турбулентного режима течения:

$$\xi = \frac{0,297}{Re_{ж}^{0,25}} \left(\frac{Pr_{ст}}{Pr_{ж}} \right)^{1/3} \quad (2)$$

Формула (2) справедлива в пределах $10000 < Re < 18000$; $1,2 < Pr_{ст}/Pr_{ж} < 1,6$. Погрешность вычислений $\pm 6\%$.

Результаты проведенных экспериментов на гладкой трубе показывают, что полученные данные с достаточной точностью совпадают с результатом по известной формуле (10.61) и (10.62) [7; с. 250].

Полученные экспериментальные результаты по гидравлическому сопротивлению при ламинарном и турбулентном течении, при различных относительных шагах (s/d_1) и относительных диаметрах (d_2/d_1) ЛТ представлены в виде графиков $\xi = f(Re)$.

На рис. 1 и 2 представлены результаты эксперимента о влиянии относительного шага и относительного диаметра на гидравлическое сопротивление.

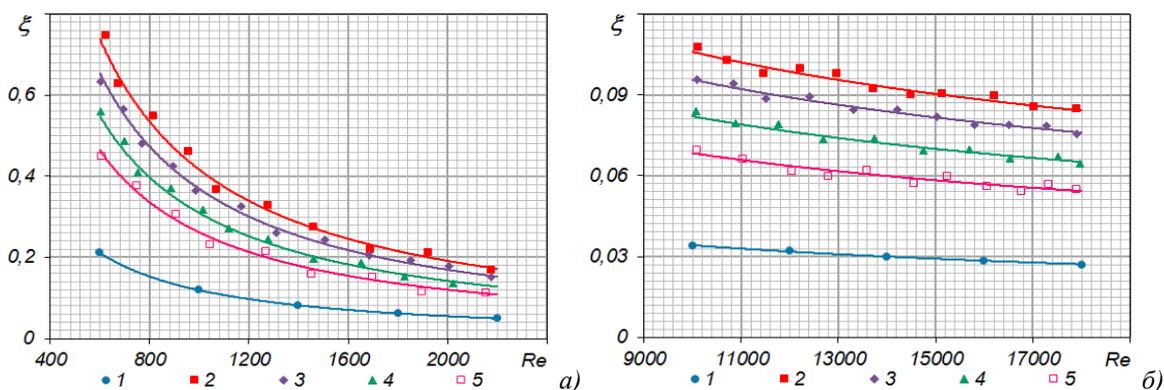


Рис. 1. Зависимости гидравлического сопротивления от относительного шага ЛТ при ламинарном (а) и турбулентном (б) режимах течения: 1-гладкая труба; 2- $s/d_1=4$; 3- $s/d_1=5$; 4- $s/d_1=6$; 5- $s/d_1=7$.

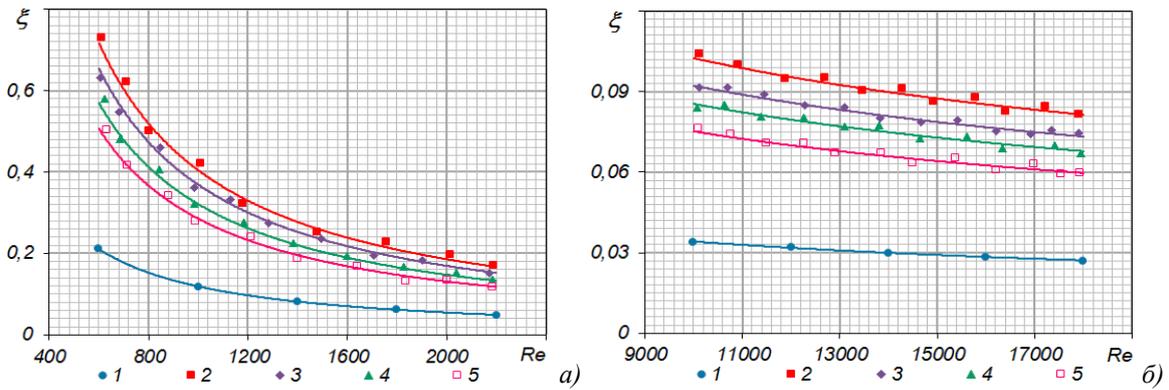


Рис. 2. Зависимости гидравлического сопротивления от относительного диаметра ЛТ при ламинарном (а) и турбулентном (б) режимах течения:

1-гладкая труба; 2- $d_2/d_1=0,7$; 3- $d_2/d_1=0,6$; 4- $d_2/d_1=0,5$; 5- $d_2/d_1=0,4$.

Из рис. 1 и 2 видно, что рост гидравлического сопротивления непосредственно зависит от относительного шага и относительного диаметра ЛТ. С увеличением относительного шага ЛТ гидравлическое сопротивление уменьшается и наоборот. С увеличением относительного диаметра ЛТ гидравлическое сопротивление увеличивается и наоборот. При изменении относительных шагов ЛТ в пределах $s/d_1=4\div 7$ гидравлическое сопротивление в трубах с ЛТ, в сравнении с гладкими трубами, при ламинарном режиме течения больше в 2,2÷3,5 раза, при турбулентном режиме течения в 2,0÷3,2 раза. При изменении относительных диаметров ЛТ в пределах $d_2/d_1=0,4\div 0,7$ гидравлическое сопротивление в трубах с ЛТ, в сравнении с гладкими трубами при ламинарном режиме течения больше в 2,3÷3,4 раза, при турбулентном режиме течения в 2,2÷3,2 раза. Из этого видно, что значение гидравлического сопротивления в трубах с ЛТ, в сравнении с гладкой трубой, на 200-340% больше. Из общего анализа результатов экспериментальных исследований можно сказать, что при ламинарном и турбулентном режимах течения значения гидравлического сопротивления имеют максимальное при $s/d_1=4$ и $d_2/d_1=0,7$, и минимальное при $s/d_1=7$ и $d_2/d_1=0,4$.

Обобщение полученных экспериментальных результатов. Исследования проводились методом активного эксперимента.

Данный метод эксперимента основан на использовании определенных искусственных возмущений, вводимых в объект в соответствии с планом эксперимента.

Определение номенклатуры варьируемых факторов и контролируемого параметра. На средней теплоотдаче на гидравлическое сопротивление влияют три фактора: число Рейнольдса (Re), число Прандтля (Pr), относительный шаг (s/d_1) и относительная диаметр (d_2/d_1) ЛТ.

Варьируемые факторы: x_1 – число Рейнольдса; x_2 – число Прандтля; x_3 – относительный шаг турбулизатора s/d_1 ; x_4 – относительная высота турбулизатора d_2/d_1 ;

Изучаемый отклик: Y – значение критерия Nu, ξ .

В результате данного экспериментального исследования получены критериальные уравнения для теплоотдачи вида $Nu = A Re^n \left(\frac{Pr_c}{Pr_{ж}}\right)^m \left(\frac{s}{d_1}\right)^k \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^p$ и для гидравлического сопротивления вида $\xi = A Re^n Pr^m \left(\frac{s}{d_1}\right)^k \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^p$ для различных конструкций ЛТ.

При выборе диапазона факторов применим интервалы варьирования относительного шага ЛТ и относительной высоты ЛТ (табл. 1).

Таблица 1

Конструктивные характеристики ЛТ

Фактор	Размерность	Значение -1	Значение +1
x_1	-	600	2200
x_2	-	1	1,2
x_3	-	4	7
x_4	-	0,4	0,7

На основе обобщения полученных экспериментальных результатов в трубах с ЛТ при ламинарном и турбулентном режимах течения, были получены следующие эмпирические уравнения для определения гидравлического сопротивления и теплоотдачи в трубах с ЛТ:

а) для ламинарного режима течения:

$$\xi = 2756 Re^{-1,1} \left(\frac{Pr_{ст}}{Pr_{ж}}\right)^{0,368} \left(\frac{s}{d_1}\right)^{-0,832} \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^{0,17} \quad (3)$$

Формула (3) справедлива в пределах $Re=600\div 2200$, $Pr_{ст}/Pr_{ж}=1\div 1,2$; $Pr=2,6\div 3$, $s/d_1=4\div 7$, $d_2/d_1=0,4\div 0,7$. Погрешность вычислений $\pm 6\%$.

а) для турбулентного режима течения:

$$\xi = 53,8Re^{-0,567} \left(\frac{Pr_{ст}}{Pr_{ж}}\right)^{-0,54} \left(\frac{s}{d_1}\right)^{-0,536} \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^{0,17} \quad (4)$$

Формула (4) справедлива в пределах $Re=10000\div 18000$, $1,2 < Pr_{ст}/Pr_{ж} < 1,6$; $s/d_1=4\div 7$, $d_2/d_1=0,4\div 0,7$. Погрешность вычислений $\pm 6\%$.

Оценка адекватности теоретических и экспериментальных результатов исследований. Для количественной оценки связи экспериментально и аналитически полученных величин строились диагональные графики, в результате чего оценка степени тесноты связи между величинами сводилась к получению коэффициента корреляции по формуле

$$r = \sqrt{1 - \left(\frac{S_y}{r_y}\right)^2} \quad (5)$$

Адекватность оценивалась по критерию Фишера [8; с. 75]:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} \quad (6)$$

где $S_{ад}$ – дисперсия адекватности модели, S_y – дисперсия воспроизводимости величины y .

Дисперсия адекватности находится по формуле:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{f_1} \quad (7)$$

где y – теоретическая функция; \hat{y} – искомая функция; f_1 – число степеней свободы.

Дисперсия воспроизводимости находится по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}{n-1} \quad (8)$$

где \bar{y} – среднеарифметические значения по y ; n – число наблюдений.

По таблице значений критерия Фишера с учетом доверительной вероятности и числа степеней свободы найдется соответствующее значение. Если расчетное значение критерия Фишера получилось меньше табличного $F_p < F_T$, то полученная модель адекватна экспериментальным данным, если больше то $F_p > F_T$ -модель неадекватна.

Адекватность теоретических и экспериментальных исследований оценены по критерию Фишера. По таблице значений критерия Фишера с учетом доверительной вероятности $P=0,99$, при числе степеней свободы $f_1 = 75$ и числе наблюдений $n = 79$ найдем соответствующее значение $F_T = 1,51$. Для формулы (3) расчетное значение критерия Фишера $F_T = 0,95$, для формулы (4) $F_T = 0,91$. Следовательно, во всех случаях $F_p < F_T$, модели адекватны. Все полученные эмпирические уравнения адекватны и они могут

быть использованы для проектирования теплообменника с ЛТ.

Выводы.

1. Проведено экспериментальное исследование, обобщены экспериментальные результаты и получены эмпирические уравнения, определяющие гидравлическое сопротивление в гладких трубах, определено, что их результаты с достаточной точностью совпадают с результатами известных уравнений.

2. Экспериментально исследовано влияние относительного шага и относительного диаметра ЛТ на гидравлическое сопротивление в трубах с ЛТ. На основе результатов определено, что в трубах с ЛТ, относительно гладкой трубы гидравлическое сопротивление больше в $2\div 3,4$ раза.

3. Получены эмпирические уравнения с высокой точностью для определения гидравлического сопротивления при различных относительных шагах и относительных диаметрах локального турбулизатора в трубах с локальными турбулизаторами с погрешностью при ламинарном и турбулентном режимах течений $\pm 6\%$.

4. Оценены адекватности теоретических и экспериментальных данных по критерию Фишера по гидродинамики в трубах с ЛТ и представлены адекватные модели для гидравлического расчета теплообменника с ЛТ.

Список литературы.

1. Ибрагимов У.Х., Мухиддинов Д.Н., Узакон Г.Н. Современное состояние проблемы интенсификации теплообмена в промышленности (обзор). // Научно-технический журнал ФерПИ. – Фергана, ФерПИ, 2018 (спец. вып.). – с. 81-86.
2. Мухиддинов Д.Н., Ибрагимов У.Х., Абдиназаров С.Б., Шомуратова С.М. Научные основы и промышленное применение интенсификации теплообмена: Монография. – Т.: «Voriz – nashriyot», 2019. – 134 с.
3. Попов И.А., Гортышов Ю.Ф., Олимпиев В.В. Промышленное применение интенсификации теплообмена – современное состояние проблемы (обзор) // Теплоэнергетика. – Москва, 2012. – № 1. – с. 3-14.
4. Попов И.А., Махьянов Х.М., Гуреев В.М. Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена: Интенсификация теплообмена: монография / Под общ. ред. Ю.М. Гортышова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2009. – 560 с.
5. Ибрагимов У.Х., Бабаходжаев Р.П., Узакон Г.Н., Хамраев Т.Я., Боймуродова Х.У. Экспериментальное исследование гидродинамики в трубках теплообменника при применении локальных турбулизаторов. // Молодой ученый. – Казань. Изд-во Молодой ученый, 2013. - №3(50). – с. 56-58.
6. Ибрагимов У.Х. Разработка энергосберегающего теплообменного аппарата с интенсификацией теплообмена в трубах: Автореферат диссертации (PhD) доктора

философии по техническим наукам. – Т.: ТашГТУ. 2020. – 48 с.

7. Каневец Г.Е. Обобщенные методы расчета теплообменников. – Киев: Наук. думка, 1979. – 352 с.

8. Бабин А.В., Ракипов Д.Ф. Организация и математическое планирование эксперимента. Екатеринбург, Уральский Федеральный Университет, 2014. – 113 с.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫБОРА СРЕДЫ НА РАЗМЕР И ФОРМУ КОНГЛОМЕРАТОВ ИЗ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ

Кликин Евгений Геннадьевич

Инженер

Юго-Западный государственный университет

г. Курск

Лавров Роман Владимирович

Кандидат технических наук, доцент

Юго-Западный государственный университет

г. Курск

STUDY OF INFLUENCE OF THE CHOICE OF MEDIUM ON THE SIZE AND SHAPE OF CONGLOMERATES OF COPPER NANOPARTICLES, OBTAINED BY METHOD OF ELECTROEROSIVE DISPERSION

Klikin Evgeny Gennadievich

Engineer

Southwestern State University,

Kursk

Lavrov Roman Vladimirovich

Candidate of technical sciences, associate professor

Southwestern State University,

Kursk

АННОТАЦИЯ

Цель. Получение конгломератов из наночастиц меди методом электроэрозионного диспергирования в различных жидких средах (в дистиллированной воде, в водных растворах крахмала различных концентраций, в гексане, в ацетоне, в средах некоторых одноатомных спиртов - этиловом, изопропиловом, изоамиловом). Оценка влияния выбора среды на размер и форму получаемых конгломератов.

Методы. Применялись методы, основанные на визуальном наблюдении за полученными частицами с использованием цифрового микроскопа при увеличении 600х и 1000х.

Результаты. Представлены результаты в виде микрофотографий полученных частиц.

Выводы. Сделаны выводы по изучению влияния различных сред, различных концентраций ВМС (водных растворов крахмала) на размер, форму и упорядоченность получаемых конгломератов.

ABSTRACT

Aim. Obtaining conglomerates from copper nanoparticles by the method of electroerosive dispersion in various liquid media (in distilled water, in aqueous solutions of starch of various concentrations, in hexane, in acetone, in the media of some monohydric alcohols - ethyl, isopropyl, isoamyl). Assessment of the influence of the choice of medium on the size and shape of the received conglomerates.

Methods. Methods based on visual observation of the obtained particles using a digital microscope at 600x and 1000x magnifications were used.

Results. The results are presented in the form of micrographs of the obtained particles.

Conclusions. Conclusions are drawn on the study of the influence of various environments, different concentrations of IUDs (aqueous solutions of starch) on the size, shape and ordering of the received conglomerates.

Ключевые слова: векторы, электроэрозионное диспергирование, фрактальные размерности, конгломераты, эффект исключенного объема.

Key words: vectors, electroerosive dispersing, fractal dimensions, conglomerates, excluded volume effect.

В нашей стране, как и во всем мире, ведутся эксперименты по получению наноразмерных объектов, за которыми стоит будущее (данные разработки могут иметь решающую роль в виде прорывных нанотехнологий в различных отраслях человеческой деятельности). Следует отметить наиболее важную область данных разработок –

медицину (особенно в лечении онкозаболеваний). Главная сложность в лечении онкологии – избирательное уничтожение метастазов. Основным методом лечения, как и полвека назад, остается химиотерапия. Однако, как показала практика, данный способ лечения весьма низкоселективен в отношении раковых клеток, к тому же