

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ С ДИСКРЕТНЫМИ ТУРБУЛИЗАТОРАМИ*Грабов Л.Н. канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,**Чалаев Д.М. канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,**Король И.В. инж.-констр*

Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

*Проведено экспериментальное исследование трубчатого теплообменника с гофрированной трубой. Получены рабочие характеристики теплообменника.**The research of the investigation of the corrugated tube heat exchanger was carried out. The data of laboratory experiments of the working characteristics are presented.*

Ключевые слова: трубчатый теплообменник, гофрированные трубы, турбулизатор. В энергетических устройствах и технологической аппаратуре большую роль играют тепломассообменные процессы. Повышение эффективности этих процессов и совершенствование теплообменного оборудования является важной составляющей вопроса рационального использования энергии. Одним из наиболее распространенных типов теплообменного оборудования являются теплообменники трубчатого типа. Достоинством аппаратов этого типа является простота конструкции и меньшая стоимость по сравнению с пластинчатыми аппаратами. Вместе с тем, в последние годы в промышленности и энергетике наблюдается тенденция вытеснения трубчатых теплообменных аппаратов пластинчатыми. Это объясняется тем, что в выпускаемых в настоящее время трубчатых теплообменниках используются в основном гладкотрубные теплообменные поверхности, которые имеют низкие энергетические показатели и не удовлетворяют уровню современных требований.

Дальнейшее совершенствование теплообменного оборудования требует поиска новых методов интенсификации теплопередачи. Одним из способов повышения эффективности этих аппаратов является интенсификация теплоотдачи с помощью различного рода турбулизаторов потока. К ним относятся трубы с ленточными вставками, внутренним оребрением, локальными завихрителями потока, полусферическими лунки и др. Для увеличения интенсивности теплообмена в межтрубном пространстве применяют спиральные ребра, проволочное оребрение, а также переход с продольного обтекания пучков труб на поперечный с помощью винтообразных перегородок [1, 2]. Анализ различных методов интенсификация теплообмена показывает, что большинство из них вызывают турбулизацию потока по всему сечению трубы – как в пристенном слое, так и центральной зоне. Вследствие этого рост затрат энергии на преодоление гидравлического сопротивления превышает рост теплоотдачи. Так, при увеличении теплопередачи через стенку трубы в 2 – 3 раза гидравлическое сопротивление системы растет в 10 – 12 раз. С этой точки зрения наиболее эффективным является метод турбулизации потока, разработанный в Московском авиационном институте. Авторами установлено, что накатка на трубе кольцевых канавок с определенным шагом и глубиной позволяет турбулизовать только пристенный ламинарный слой, поэтому затраты энергии на прокачку теплоносителя увеличиваются незначительно – при росте коэффициента теплопередачи в 2 раза гидравлическое сопротивление увеличивается только в 2.5 раза. Обнаруженная закономерность опережающего роста теплоотдачи в каналах с дискретными турбулизаторами относительно роста гидравлического

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ С ДИСКРЕТНЫМИ ТУРБУЛИЗАТОРАМИ

сопротивления по сравнению с аналогичным гладким каналом была признана научным открытием [3].

В последние годы рядом фирм налажено серийное производство тонкостенных гофрированных гибких труб из нержавеющей стали [4,5,6]. Эти трубы относительно недороги и в настоящее время широко применяются для монтажа трубопроводов горячей и холодной воды, устройства тёплых полов и стен, подвода газа к газопотребляющему оборудованию и др. По данным фирм-производителей гофрированные трубы не боятся размораживания и гидравлических ударов, самостоятельно компенсируют линейные расширения и могут работать при температурах до 150 °С и давлениях до 15 бар. В связи с этим представляет интерес изучить возможность использования таких труб в качестве теплообменной поверхности теплообменных аппаратов типа «труба в трубе».

С целью определения энергетических показателей теплообменников на основе гофрированных труб нами были изготовлены несколько модификаций теплообменников «труба в трубе»: прямой теплообменник с гофрированной наружной и внутренней трубами (рис. 1а), прямой теплообменник с гладкой наружной и гофрированной внутренней трубой (рис. 1б), а также теплообменник витой формы с гладкой наружной и гофрированной внутренней трубой (рис. 1в,г). По результатам предварительных испытаний для проведения исследований были выбраны два последних типа.

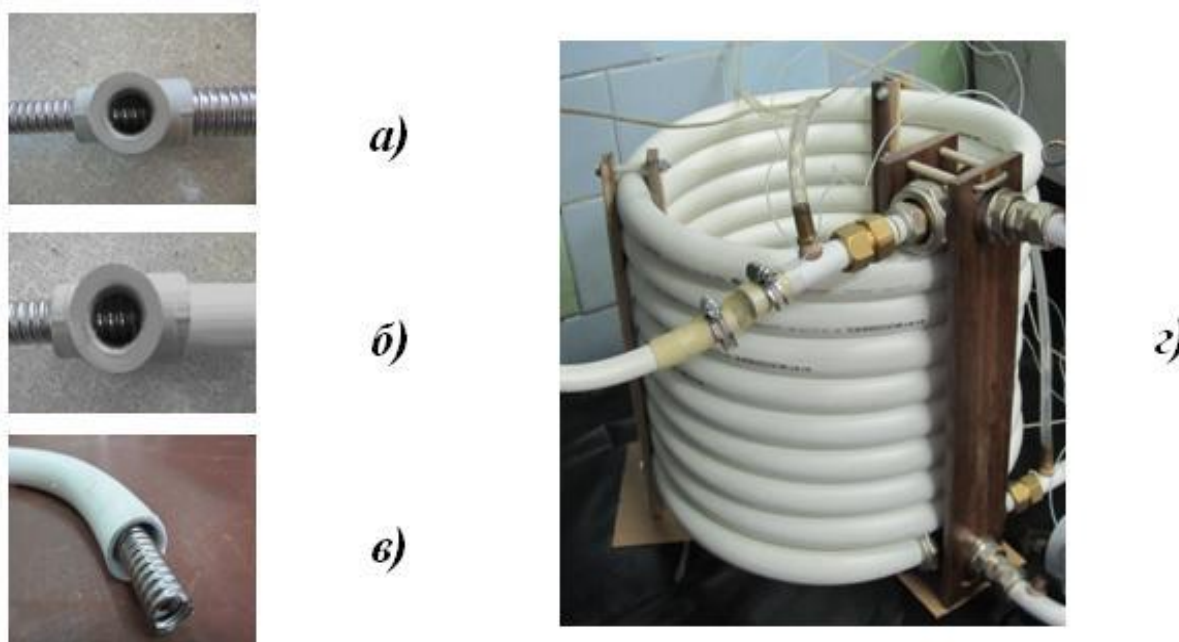


Рис. 1 – Основные элементы теплообменных аппаратов «труба в трубе» прямой (а, б) и витой (в) формы и общий вид экспериментального теплообменника с витой трубой (г). Для изготовления экспериментальных образцов теплообменников были использованы трубы следующих размеров:

Наружная труба теплообменника – металлопластиковая труба $\varnothing 32 \times 3,0$ мм.
Внутренняя труба теплообменника – гофрированная труба фирмы Dong-A [4].

Таблица 1 – Технические характеристики гофрированных труб Dong-A

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ С ДИСКРЕТНЫМИ ТУРБУЛИЗАТОРАМИ

Диаметр трубы, тип накатки	Толщина стенки, мм	Внешний диаметр гофр, мм	Внутренний диаметр гофр, мм	Количество гофр на 1 м трубы, шт.
15мм (1/2"), кольцевая	0,2~ 0,3	17,4~17,8	12,7~13,1	400±3
15мм (1/2"), винтовая	0,25~ 0,3	18,44~18,69	13,5~13,75	335±3

Для исследования экспериментальных образцов теплообменников и определения их рабочих характеристик был собран испытательный лабораторный стенд. Стенд включает теплоизолированный бойлер 1, предназначенный для нагрева теплоносителя и поддержания постоянства его температуры на входе в теплообменник, трубопроводы подачи 2 и слива 3 охлаждаемого потока теплоносителя, трубопроводы подачи 4 и слива 5 нагреваемого потока теплоносителя, вентиль 6 для регулирования расхода теплоносителя.

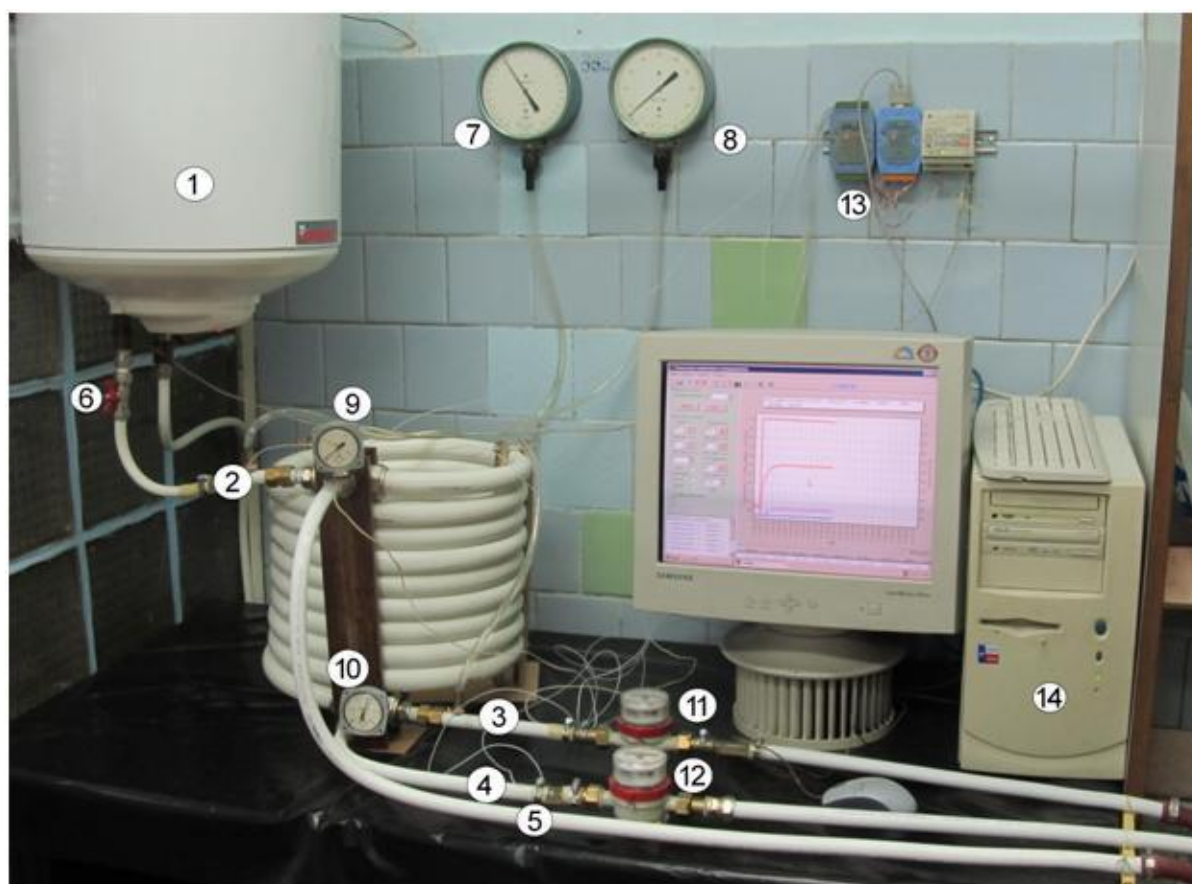


Рис.2 – Лабораторный стенд для исследования экспериментальных образцов теплообменников

Измерительная часть стенда состоит из манометров 7,8 для измерения потери напора в трубном пространстве теплообменника, манометров 9,10 для измерения потери напора в межтрубном пространстве, счетчиков расхода теплоносителя 10,11 и датчиков температуры (хромель-копелевых термопар), установленных в потоке теплоносителя на входе и выходе теплообменника. В основу аппаратной части измерительной системы стенда 13 входит 8-ми каналный аналого-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ С ДИСКРЕТНЫМИ ТУРБУЛИЗАТОРАМИ

цифровой преобразователь типа I-7018, который вместе с конвертером интерфейса I-7052 обеспечивает преобразование входных сигналов от термопар в цифровую форму и передачу данных в компьютер 14, в котором осуществляется накопление результатов экспериментальных исследований.

При проведении экспериментов измеряются и записываются следующие параметры:

- расход теплоносителя в трубном пространстве теплообменника;
- расход теплоносителя в межтрубном пространстве теплообменника;
- температуры теплоносителей на входе и выходе теплообменника;
- давление в обоих контурах теплоносителей на входе и выходе теплообменника.

Эксперимент проводится в следующей последовательности:

1. Включают электронагреватель бойлера 1 и устанавливают требуемую температуру нагрева. Достижение заданной температуры определяют по выключению индикаторной лампочки нагревателя.

2. После выхода бойлера на режим поддержания постоянной температуры включают подачу в теплообменник горячего теплоносителя и с помощью регулировочного вентиля 4 устанавливают требуемый расход. Одновременно во второй контур теплообменника подают холодный теплоноситель из водопроводной сети.

3. С помощью секундомера и счетчиков расхода 10, 11 определяют расходы горячего и холодного теплоносителей за некоторые промежутки времени и записывают показания приборов в таблицу опытных данных.

4. Эксперимент завершают после установления стационарного режима теплообмена. Выход на стационарный режим фиксируют по графику хода температур на мониторе компьютера 14 (в стационарном режиме работы теплообменника температуры перестают меняться по времени). Методика экспериментальных исследований предполагает определение гидравлического сопротивления экспериментального теплообменника «труба в трубе» и получение его рабочих характеристик в виде зависимости коэффициента теплопередачи от скорости теплоносителя. Опыты проводились при скоростях движения теплоносителя до 1,6 м/с и температурах до 70 С. При обработке экспериментальных данных учитывались только те измерения, при которых теплообменник находился в стационарном режиме работы и изменение температуры теплоносителя во времени не превышало $\pm 0,5$ С. Результаты измерений падения напора по длине теплообменника при различных расходах теплоносителя показали, что гофрированные трубы имеют более высокое гидравлическое сопротивление, чем заявляется производителем. Причем при больших скоростях теплоносителя гидравлическое сопротивление труб с винтовой и кольцевой накаткой отличается почти на 25% (рис.3).

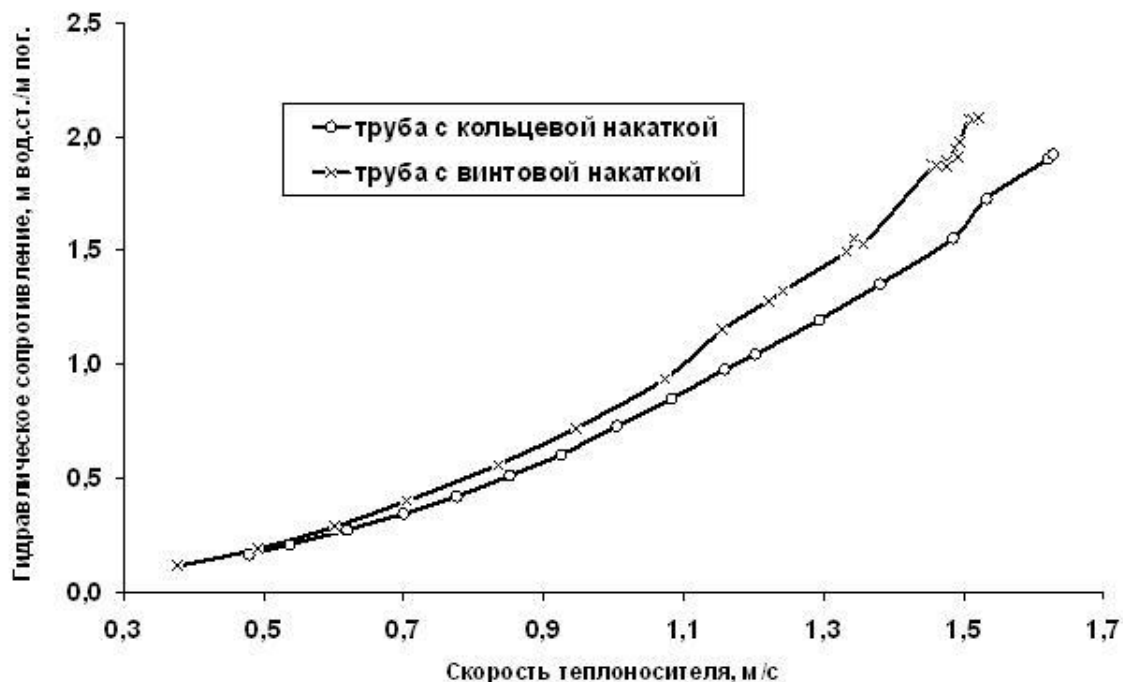


Рис.3 – Зависимость гидравлического сопротивления гофрированной трубы от скорости движения теплоносителя

В ходе исследования получен большой массив экспериментальных данных, обработка которых показала хорошую сходимость результатов. Кривые зависимости коэффициента теплопередачи от скорости теплоносителя (рис. 4) показывают, что гофрированные трубы с кольцевой накаткой более эффективно турбулизуют поток и, несмотря на их меньшее гидравлическое сопротивление, позволяют получить более высокие значения коэффициента переноса.

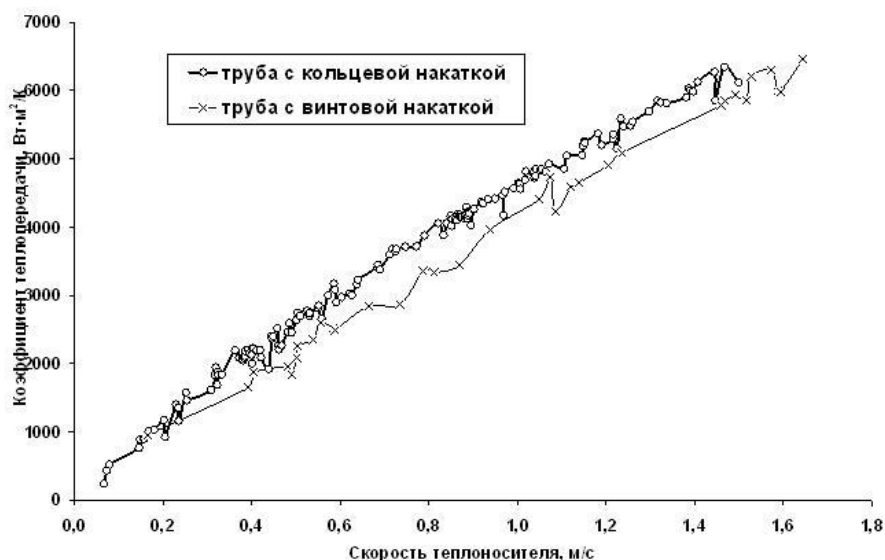


Рис.4 – Влияние скорости теплоносителя на величину коэффициента теплопередачи

Выводы

Достиженные величины коэффициента теплопередачи в экспериментальных образцах теплообменников свидетельствуют о перспективности данного направления исследования и показывают, что на основе труб с дискретными турбулизаторами могут быть созданы эффективные трубчатые теплообменники, тепловые характеристики которых не уступают показателям пластинчатых аппаратов.

Литература

1. Халатов А.А., Борисов И.И., Шевцов С.В. Тепломассообмен и теплогидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. – К.: Институт технической теплофизики НАН Украины. –2005. – 500 с.
2. Дрейцер Г.А. Проблемы создания компактных трубчатых теплообменных аппаратов//Теплоэнергетика. – №3. – 1995. – С.11-18.
3. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. и др. Закономерность изменения теплоотдачи на стенках каналов с дискретной турбулизацией потока при вынужденной конвекции (диплом на открытие № 242, СССР) //Открытия, изобретения. – 1981 – № 35. – С.3.
4. Электронный ресурс: <http://rinnaj-servis-ukrain.uaprom.net>
5. Электронный ресурс: <http://www.sanzee.com>
6. Электронный ресурс: <http://www.fliermanufacture.cn>

Авторы:

Грабов Л.Н. канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
Чалаев Д.М. канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
Король И.В. инж.-констр.