

УДК 536.246

В.С. Францкевич, зав.кафедрой, канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
А.А. Нурыллаева, ассист. (КГУ, г. Нукус);
М.И. Рахмонова, асп; Э.Т. Мавлонов, PhD, доц.;
Х.С. Нурмухамедов, проф., д-р техн. наук (ТХТИ, г. Ташкент, Узбекистан)

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ЖИДКОСТИ НА ПЕРЕНОС ТЕПЛА В КОЛОННЫХ С НАСАДКАМИ ИЗ ТРУБ СО СПИРАЛЬНЫМИ ТУРБУЛИЗАТОРАМИ

Общеизвестно, что процесс ректификации жидких неоднородных смесей широко применяется не только в химической, но и нефте- и газоперерабатывающих, фармацевтической, пищевой, парфюмерной, криогенной и других технологиях для получения продуктов различного назначения [1].

Из-за значительных энергетических затрат на организацию процесса ректификации жидких смесей постоянно ведутся исследования по поиску способов ректификации с относительно низкими затратами.

Современное состояние проблем энерго- и ресурсосбережения на вышеназванных технологиях выдвигает на первый план вопросы интенсификации процессов и их аппаратурное оформление.

В настоящее время предложены разнообразные методы интенсификации конвективного теплообмена. Применительно к течению однофазных теплоносителей используются турбулизаторы потока на поверхности, шероховатые поверхности и поверхности, развитие за счёт оребрения, закрутка потока спиральными ребрами шнековыми устройствами, завихрителями, на входе в канал, подмешивания к потоку жидкости газовых пузырей, а к потоку газа - твёрдых частиц или капель жидкости, вращение или вибрация поверхности теплообмена, пульсации теплоносителя воздействие на поток электростатических полей, отсос потока из пограничного слоя, струйные системы. Эффективность интенсификации для разных способов при существенно различных затратах энергии различна [2-5].

Анализ состояния вопроса в области создания нового эффективного теплообменного оборудования и модернизация существующего оборудования показал, что требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований теплообмена и гидродинамики течения в межтрубном пространстве пакета труб с двухсторонними турбулизаторами, а также разработки методов для их теплогидравлического расчета.

Исследования по изучению теплообмена при течении жидкостей проводились на экспериментальной установке, представляющей собой циркуляционный контур, работающий в условиях постоянства теплового потока. Основными элементами установки являются экспериментальный участок, холодильник, емкости для холодного и горячего теплоносителей, насосы, соединительные трубы с измерительными средствами расхода, температуры и регулирующими вентилями [6].

В качестве экспериментального участка использовались гладкие и трубы со спиралевидными турбулизаторами меди М1. Геометрические параметры экспериментального участка: длина $l=2000$ мм, диаметр $d=14 \times 1$ мм, шаг навивки спиралевидных турбулизаторов $s/d_{eb}=5,11-14,2$ (s – расстояние между турбулизаторами, мм; d_{eb} – большой диаметр эллипса, мм) и числа Рейнольдса газовой фазы $Re_f=(0,3-2,8) \cdot 10^4$.

В процессе заделке термопар в стенке трубы делали пазов глубиной 0,5 мм и шириной 1,5-2 мм на верхней образующей, на расстоянии 250 мм друг от друга и на расстоянии 100 мм от торцов трубы, и четыре на нижней образующей, на расстоянии 400 мм друг от друга и 500 мм от торцов трубы. В этих отверстиях размещались головки спаев термопар, которые затем герметично заваривались, причем концы термопар проходили внутри трубы и выводились через резиновые уплотнения в торцах трубы.

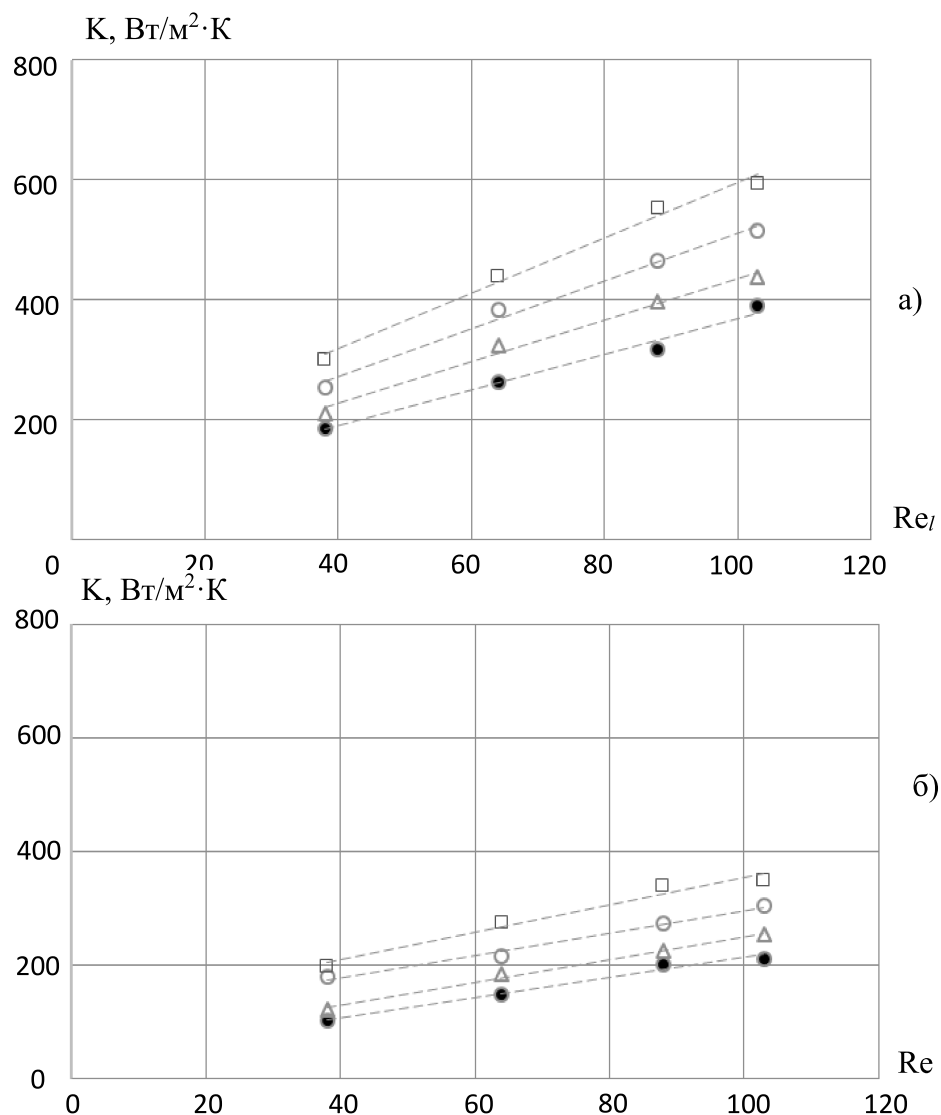
Охлаждаемый агент подавался при помощи насоса, регулировался краном и измерялся измерительной диафрагмой в комплекте с U-образным дифманометром. Охлаждающий агент из бака холодного теплоносителя при помощи насоса через ротаметр подавался в канал трубы. Расход регулировался кранами, его количество определялось ротаметром РС-5, а температура измерялась ртутным термометром как на входе, так и на выходе из трубы. Измерение температуры стенки осуществлялось хромель-копелевыми термопарами диаметром проволоки 0,1 мм, равномерно распределенными и зачеканенными в трубе.

В данной работе представлены результаты исследований по теплопередаче в трубчато-решетчатых насадках из труб со спиралевидными турбулизаторами (рис.1). Из рисунка видно, что зависимость коэффициента теплопередачи K от скорости жидкости Re_l при коридорном размещении труб функция $K=f(Re_l)$ имеет восходящий характер при всех шагах размещения труб в трубной решетке.

Анализ экспериментальных данных показывает значительное влияние шага расположения турбулизаторов $s/d_{э.б.}$ на процесс теплообмена. Шаг расположения труб в трубной решетке $t/d_{э.б.}=1,1$. При ша-

ге расположении спиралевидных турбулизаторов $s/d_{3,6}=14,2$ и $Re_l=64$ величина коэффициента равна $K=325$, при $s/d_{3,6}=9,32$ значение коэффициента $K=383$ и при $s/d_{3,6}=5,11$ – соответственно $K=440$ Вт/м²·К (рис.1а).

Сравнение полученных данных по коэффициенту теплопередачи гладких труб со спиралевидными турбулизаторами показали эффективность исследованной конструкции.



♦ – гладкая труба; ■ – $s/d_{cb}=5,11$; ▲ – $s/d_{cb}=9,32$; × – $s/d_{cb}=14,2$

Рисунок 1 – Зависимость коэффициента теплопередачи K от скорости жидкости Re_l при шаге размещения труб $t/d_{3,6}=1,1$ (а) и $t/d_{3,6}=1,3$ (б). Коридорное расположение труб

Характер функциональной зависимости $K=f(Re_l)$ при коридорном размещении труб аналогичен коридорному размещению труб на

трубной решетке. Шаг расположения труб в трубной решетке $t/d_{3,6}=1,3$ (рис.1б). При шаге расположения спиралевидных турбулизаторов $s/d_{3,6}=14,2$ и $Re_t=64$ величина коэффициента равна $K=185$, при $s/d_{3,6}=9,32$ значение коэффициента $K=215$ и при $s/d_{3,6}=5,11$ – соответственно $K=285 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ (рис.1б).

Сравнение экспериментальных результатов по теплопередаче на трубчато-решетчатых насадках из труб со спиралевидными трубами при коридорном расположении труб с различным шагом $t/d_{3,6}$ их размещения показало, что численные величины по коэффициенту теплопередачи K для шага расположения несколько превышает данные полученные для шага расположения.

Из анализа рисунков 1а и 1б выявлено, что при шаге $t/d_{eb}=1,1$ коридорном расположении труб интенсификация теплопередачи относительно шага $t/d_{eb}=1,3$ составляет 1,4-1,7 раза в зависимости от шага навивки спиралевидных турбулизаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юсупбеков Н. Р., Закиров С. Г., Нурмухамедов Х. С. Газларни қайта ишлаш технологияси, жараён ва қурилмалари. – Т.: Шарк, 2015. – 848 с.
2. Дзюбенко Б. В. и др. Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах / ред. Ю. А. Кузма-Кичта. – М.: ЦНИИАтоминформ, 2008, – 532 с.
3. Попов И. А., Гортышов Ю. Ф. и др. Промышленное применение интенсификации теплообмена – современное состояние проблемы (обзор) / Теплоэнергетика. – 2012, – № 1. – С.3–14.
4. Калинин Э. К. и др. Эффективные поверхности теплообмена. – М.: Энергоатомиздат, 1998, – 408 с.
5. Лаптев А. Г., Фарахов М. И., Минеев Н. Г. Основы расчета и модернизация тепломассообменных установок в нефтехимии. – Казань: КГЭУ, 2010. – 574 с.
6. Нуриллаева А. А., Мавланов Э. Т., Нурмухамедов Х. С., Худойбердиева Н. Ш. Интенсификация конвективного теплообмена в трубчато-решетчатых насадках ректификационных колонн // Химическая технология. Контроль и управления, 2024. – №5 – 6. – С. 62-67.