

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ КИПЕНИИ ЖИДКОСТЕЙ

АННОТАЦИЯ

Проведено экспериментальное исследование теплообмена в выпарных аппаратах с кипением в трубах. Полученные результаты по кипению жидкостей внутри вертикальной трубы удовлетворительно соответствуют литературным данным. Применение труб с кольцевыми турбулизаторами позволило увеличить теплоотдачу при кипении в 1,5 раза по сравнению с гладкими трубами.

1. ВВЕДЕНИЕ

В греющих камерах выпарных аппаратов, кипяtilьниках ректификационных колонн и испарителях происходит кипение жидкостей. Термическое сопротивление со стороны кипящих жидкостей, несмотря на сравнительно низкое значение, может в ряде случаев лимитировать интенсивность теплообмена в промышленных аппаратах, обогреваемых конденсирующимся паром. Как известно, с уменьшением плотности теплового потока коэффициент теплоотдачи со стороны греющего пара возрастает, а со стороны кипящей жидкости уменьшается. В связи с этим важно найти методы интенсификации теплообмена от поверхности нагрева к кипящим жидкостям.

Литературные данные по теплоотдаче в аппаратах с замкнутым контуром естественной циркуляции сравнительно малочисленны и часто расходятся в качественной и количественной оценке определяющих факторов рассматриваемого процесса. Такой факт побудил автора предпринять поиски методов интенсификации теплоотдачи к кипящим жидкостям в выпарном аппарате с замкнутым контуром естественной циркуляции.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ВЫПАРНЫХ АППАРАТАХ С КИПЕНИЕМ В ТРУБАХ

Эксперименты проводили при кипении жидкостей под атмосферным давлением в сепараторе и при различных температурах греющего пара в опытной установке, приведенной на рис. 1. Были последовательно исследованы три кипяtilьные трубы с внутренним диаметром 0,021 м и высотой 2,07 м: обычная гладкая труба и две накатанные трубы [1] с одинаковым шагом накатки $t / D = 0,524$ и относительным диаметром d / D , равным 0,891 и 0,932 ($d_k / D_n = 0,902$ и 0,935 соответственно).

Нагрев аппарата осуществлялся насыщенным водяным паром, а в качестве рабочей жидкости были использованы вода и раствор роданистого аммо-

ния. Для определения количества циркулирующей жидкости использовалась стандартная диафрагма. Температуру стенки трубы в шести точках измеряли с помощью хромель – копелевых термопар с диаметром проволоки 0,2 мм, покрытых шелковой изоляцией и кремнийорганическим лаком. Термопары были выведены на многоточный потенциометр КСП-4. Для измерения давления и температур рабочих сред использовались образцовые манометры и стеклянные ртутные термометры.

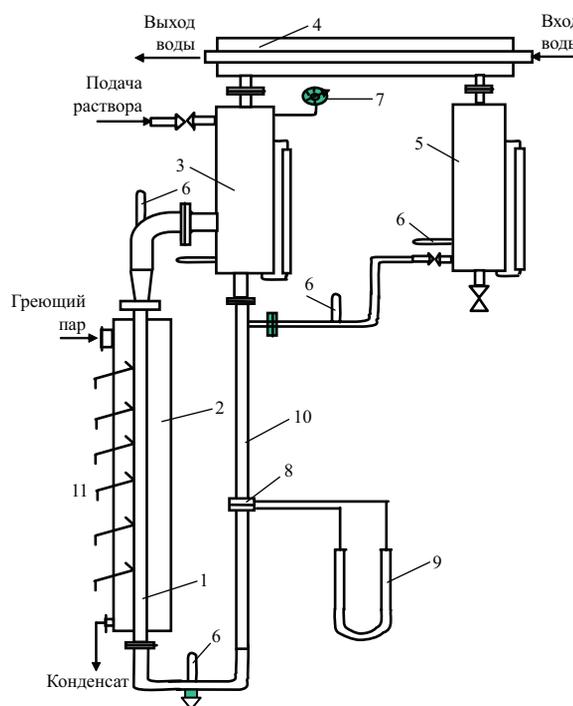


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – теплообменная труба; 2 – греющая камера; 3 – сепаратор; 4 – конденсатор; 5 – мерный бак; 6 – термометры; 7 – манометры; 8 – диафрагма; 9 – U-образный дифманометр; 10 – циркуляционная труба; 11 – термопары

Основные параметры определялись по следующей методике:

общая тепловая нагрузка, Вт

$$Q = W [r_{вт} + c_{и} (t_k - t_{и})]; \quad (1)$$

плотность теплового потока, Вт/м²

$$q = Q / F; \quad (2)$$

коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К)

$$K = q / \Delta t_{п}; \quad (3)$$

коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара к стенке, Вт/(м²·К)

$$\alpha_1 = q / (t_{гп} - T_n); \quad (4)$$

коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящей жидкости, Вт/(м²·К)

$$\alpha_2 = q / (T_{вн} - t_p). \quad (5)$$

Для гладкой кипяtilьной трубы средние коэффициенты теплоотдачи со стороны кипящей воды были сопоставлены с известными критериальными зависимостями М.А. Кичигина [2] и В. И. Толубинского [3]. Как видно из рис. 2, опытные значения α_2 согласуются с зависимостью, полученной авторами [2] с точностью 0 – 20%. Сравнение опытных значений α_2 с зависимостью, приведенной в [3], показало, что расхождение равнялось 0 – 40% и экспериментальные точки разместились выше расчетной линии. Через них можно провести прямую, но с другим угловым коэффициентом.

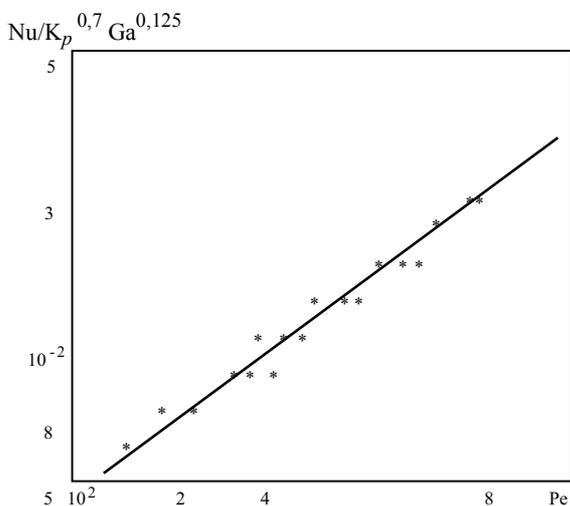


Рис. 2. Сравнение опытных данных с зависимостью М.А. Кичигина [2] (сплошная линия)

Характер изменения коэффициента теплоотдачи по высоте кипяtilьной трубы отвечает сложившимся представлениям о развитии процесса кипения в трубе. При значениях плотности теплового потока до 80 кВт / м², α_2 постепенно увеличивался по высоте трубы.

При более высоких значениях q коэффициент теплоотдачи в верхней части трубы практически оставался постоянным.

Применение накатанных труб в выпарном аппарате с кипением в трубах позволило увеличить коэффициенты теплоотдачи до 50% со стороны кипящей жидкости, что видно из рис. 3. Интенсификация теплообмена при кипении в вертикальных трубах в условиях естественной циркуляции обусловлена турбулизацией однофазной жидкости в нижней части и парожидкостной смеси в средней и верхней частях трубы. С увеличением высоты кольцевых турбулизаторов, степень интенсификации теплообмена возрастала.

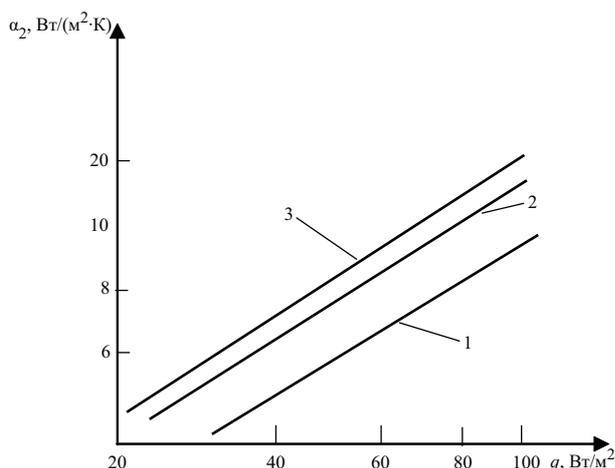


Рис. 3. Теплоотдача при кипение жидкостей: 1 - гладкая труба; 2, 3 - накатанные $t/D= 0,524$; d/D соответственно 0,932 и 0,981

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенных опытов можно сделать следующие выводы:

- 1) опытные коэффициенты теплоотдачи при кипении в выпарных аппаратах с кипением в трубах и естественной циркуляцией удовлетворительно соответствуют с рассчитанными по уравнению М.А. Кичигина [2];
- 2) применение накатанных труб в выпарных аппаратах с кипением в трубах и естественной циркуляцией позволяет значительно увеличить интенсивность теплоотдачи со стороны кипящей жидкости.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

- t – шаг накатки, м;
- D – внутренние трубы, м;
- D_n – наружный диаметр трубы, м;
- d – внутренний диаметр кольцевых канавок, м;
- d_k – наружный диаметр кольцевых канавок, м;
- W – количество выпаренной воды, кг/с;
- $r_{вт}$ – удельная теплота парообразования вторичного пара, Дж/кг;
- c_n – теплоемкость исходного раствора, Дж/ (кг К);
- t_n – температура раствора на входе в греющую камеру, °С;
- $F = 0,15 \text{ м}^2$ – поверхность теплообмена;
- Δt_n – полезная разность температур, °С;
- t_k – температура кипения раствора при давлении в сепараторе, °С;
- $t_{гп}$ – температура греющего пара, °С;
- T_n – средняя температура наружной поверхности трубы, °С;
- $T_{вн}$ – средняя температура внутренней поверхности трубы, °С;
- t_p – средняя температура раствора, °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин Э. К., Дрейцер Г. А., Ярхо С. А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990. 208 с.
2. Кичигин М. А., Костенко Г. Н. Теплообменные аппараты и выпарные установки. М.: Госэнергоиздат, 1955. 392 с.
3. Толубинский В. И. Теплообмен при кипении. Киев: Наукова думка, 1980. 315 с.