

Сравнительно низкие значения параметров  $\tau_1$ ,  $\tau_3$  и высокое значение  $k_1$  для  $\text{NaNO}_2$  означают, что нитрит натрия не рекомендуется применять для консервации изделий, хранящихся в условиях высокой влажности, так как он сравнительно быстро смывается с поверхности. По всем остальным параметрам нитрит натрия в данных условиях превосходит НДА.

Приведенный пример показывает, что метод количественной оценки эффективности ингибиторов атмосферной коррозии с помощью параметров сравнения позволяет формализовать и более глубоко оценить все стадии этого процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Путилова И. Н. Методика обработки экспериментальных данных по ингибиторам коррозии. В сб.: «Методы исследований ингибиторов коррозии металлов». Профиздат, 1958.
2. Розенфельд И. Л., Жигалова К. Л. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов. «Металлургия», 1966.
3. Афанасьев А. С. Унификация оценок эффективности технических ингибиторов коррозии. ЗМ, т. 4, 1968, № 3.
4. Алцыбева А. И., Левин С. З. Ингибиторы коррозии металлов (справочник). Л., «Химия», 1968.
5. Консервация металлических изделий. ГОСТ 13168—67.

Представлена кафедрой судовых парогенераторов  
и теоретических основ теплотехники

[1.VII.1974]

УДК 621.745.57

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В АППАРАТЕ С БАРБОТАЖНО-ПРЯМОТОЧНЫМИ КОНТАКТНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

*Инженеры А. И. КАРПОВИЧ, Г. И. СОЛОВЬЕВ,  
кандидаты техн. наук, доценты И. М. ПЛЕХОВ, А. И. ЕРШОВ*

*Гродненский химический комбинат имени С. О. Притыцкого  
Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова*

Гидродинамические исследования показали устойчивую работу барботажно-прямоточных контактных устройств в широком диапазоне изменения нагрузок по жидкости и газу. Благодаря этому можно их эффективно применять при разработке теплотехнического оформления многих технологических процессов.

Исследование теплопередачи проводилось в одноступенчатом аппарате диаметром 210 мм на примере охлаждения двуокиси углерода водой. Выбор углекислого газа обусловлен необходимостью получения экспериментальных данных для разработки промышленного аппарата.

В опытах ставилась цель проследить относительное изменение интенсивности теплопередачи при различных условиях работы аппарата и геометрических размерах контактного устройства. Поэтому, чтобы исключить влияние массообмена на процесс теплообмена, углекислый газ при 180—200° С перед подачей в аппарат увлажнялся до полного насыщения.

Его температура на входе в аппарат поддерживалась постоянной и равной  $54,5^{\circ}\text{C}$ , что ниже расчетной температуры мокрого термометра. Температура воды на входе также поддерживалась постоянной и равной  $25^{\circ}\text{C}$ . Скорость газа в полном сечении аппарата изменялась от 1,07 до 4,25 м/с, что соответствует изменению скорости на выходе контактной камеры от 5 до 20 м/с. Нагрузка по жидкости изменялась от 3 до 7 м<sup>3</sup>/ч.

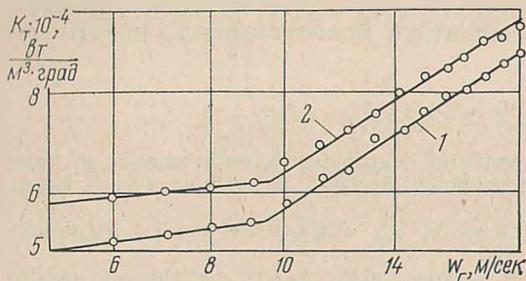


Рис. 1. Зависимость коэффициентов теплопередачи от скорости газа при расходе воды: 1 — 3 м<sup>3</sup>/ч; 2 — 5

Диаметр отверстий барботажной тарелки изменялся от 3,3 до 5 мм, высота контактного элемента — от 105 до 220 мм. Как показали исследования [1, 2], диаметр контактного устройства в определенных пределах практически не влияет на интенсивность теплообмена, поэтому диаметр выхода контактной камеры не изменялся и составлял 75 мм.

Объемный коэффициент теплопередачи рассчитывался по данным теплового баланса, исходя из среднелогарифмической

разности температур, рассчитанной для прямоточного движения теплоносителей. К. п. д. ступени определялся через отношение фактической разности температур газа на входе и выходе к предельно возможной

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_b} \quad (1)$$

где  $t_1$ ,  $t_2$  — температура газа соответственно на входе и выходе;  $t_b$  — температура воды на выходе.

Увеличение скорости газа вызывает возрастание коэффициента теплопередачи (рис. 1). Особенно интенсивный рост наблюдается в области устойчивой работы при  $w_r \geq 9$  м/с, когда прекращается пульсирующее движение. Это объясняется тем, что увеличение скорости газа обеспечивает интенсивную турбулизацию газожидкостной системы, которая определяет значительный рост величины межфазной поверхности и ее непрерывное обновление.

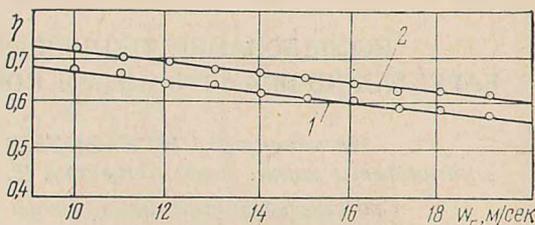


Рис. 2. Зависимость теплового к. п. д. ступени от скорости воздуха при расходе воды: 1 — 3 м<sup>3</sup>/ч; 2 — 5

На изменение структуры газожидкостного потока указывает также характер изменения теплового к. п. д. (рис. 2). При одних и тех же геометрических размерах устройства к. п. д. незначительно снижается при возрастании скорости. Рост скорости от 10 до 20 м/с вызывает снижение к. п. д. лишь на 10—12%. Интенсивный рост турбулизации газожидкостного потока почти компенсирует уменьшение продолжительности контакта фаз, что и определило незначительное снижение к. п. д. с ростом скорости газа.

Коэффициент теплопередачи повышается с ростом плотности орошения, что объясняется увеличением поверхности контакта фаз. Увеличе-

ние высоты контактного элемента при одной и той же скорости газа приводит к увеличению времени контакта фаз. В связи с этим возрастают интенсивность и полнота передачи тепла.

Интенсивность теплообмена не зависит от изменения в определенных пределах диаметра отверстий барботажной тарелки. Но при большом свободном сечении может наблюдаться частичная утечка жидкости через отверстия, что вызывает понижение интенсивности теплопередачи.

Полученные опытные значения объемного коэффициента теплопередачи в диапазоне средних скоростей теплоносителей достигают величин 65 000—80 000 Вт/(м<sup>3</sup>·град). Это в два раза выше, чем для пенных аппаратов [3].

В результате математической обработки экспериментальных данных для области устойчивой работы аппаратов получено следующее уравнение:

$$K_T = 5,67 \text{Re}_r^{0,56} \text{Re}_j^{0,19} \left( \frac{V_{эл}}{V} \right)^{0,49}, \quad (2)$$

где  $K_T$  — объемный коэффициент теплопередачи, отнесенный к единице объема аппарата, Вт/(м<sup>3</sup>·град);

$\text{Re}_r = \frac{\omega_r D \rho_r}{\mu_r}$  — критерий Рейнольдса для газа;

$\text{Re}_j = \frac{D Q_j}{\mu_j}$  — аналог жидкостного критерия Рейнольдса;

$D$  — эквивалентный диаметр:  $D = 1$  м;

$\omega_r$  — скорость газа на выходе контактной камеры, м/с;

$\rho_r$  — плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_r, \mu_j$  — вязкость соответственно газа и жидкости, кг/м·с;

$Q_j$  — расход жидкости, отнесенный к площади выхода контактной камеры, кг/м<sup>2</sup>·с;

$\frac{V_{эл}}{V}$  — геометрический симплекс;

$V_{эл}$  — объем контактного элемента, м<sup>3</sup>;

$V$  — объем контактной ступени, м<sup>3</sup>.

Отклонение результатов, полученных по уравнению (2), от опытных данных не превышает  $\pm 10\%$ .

Барботажно-прямоточные контактные устройства могут быть использованы при разработке высокоинтенсивных и производительных тепло-массообменных аппаратов. Экспериментальные данные были использованы при разработке промышленных аппаратов для охлаждения углекислого газа в производстве карбамида. Экономический эффект от внедрения аппаратов с барботажно-прямоточными контактными устройствами составил более 100 тыс. руб. в год.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мухленов И. П. Журнал прикладной химии, 1958, № 9.
2. Жаворонков Н. М., Фурмер И. Э. «Кислород», 1947, № 5.
3. Мухленов И. П., Тумаркина Е. С. Журнал прикладной химии, 1955, № 2.