

Р. А. Халитов, И. Н. Степанов, А. Ф. Махоткин

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССООТДАЧИ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ ВИХРЕВОЙ КОНТАКТНОЙ СТУПЕНИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ДЕНИТРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ КИСЛОТ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА НИТРАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Ключевые слова: вихревая контактная ступень, денитрация отработанных кислот, массоотдача в газовой фазе.

Представлены результаты экспериментальных исследований массоотдачи в газовой фазе вихревой контактной ступени колонны денитрации отработанных кислот. Проведенные исследования показали, что разработанная конструкция вихревой контактной ступени обладает высокой эффективностью массоотдачи в жидкой фазе с широким диапазоном изменения нагрузок по газовой и жидкой фазам.

Keywords: vortex contact stage, denitration of waste acids, mass transfer in the gas phase.

Results of experimental investigations of mass transfer coefficients in the gas phase of the vortex contact stage columns denitration of waste acids. Studies have shown that the developed design of the vortex contact stage has a high efficiency mass transfer coefficients in the liquid phase in a wide range of the load on the gas and liquid phases.

Анализ физико-химических основ процесса денитрации отработанных кислот показал, что в колонне денитрации протекают различные тепломассообменные процессы, осложненные химическими реакциями в газовой и жидкой фазах [1,2]. В зоне осушки колонны денитрации происходит абсорбция паров воды 92%-ной серной кислотой. Сопротивление массопередаче в этой зоне сосредоточено в основном в газовой фазе. В этой связи проведены исследования массоотдачи в газовой фазе разработанной вихревой контактной ступени. Конструкция и принцип работы вихревой контактной ступени подробно описаны в работе [2].

Исследование массоотдачи в газовой фазе производилась методом абсорбции аммиака водой. Методика эксперимента широко описана в литературе [3]. На рис.1 представлена зависимость коэффициента массоотдачи в газовой фазе от скорости газового потока в контактной трубке. Увеличение скорости газа в контактной обечайке приводит к росту коэффициентов массоотдачи без характерного излома, разделяющего два гидродинамических режима работы вихревой контактной ступени.

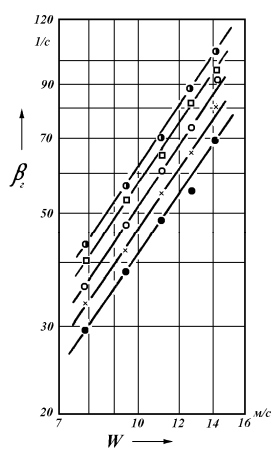


Рис. 1 - Зависимость коэффициента массоотдачи в газовой фазе (β_g) от скорости газового потока в контактной трубке ($W_{кн}$) при различных плотностях орошения ступени (L , $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$): • - 30,0; × - 45,6; о - 69,5; Δ - 90,5; ● - 118

Это можно объяснить тем, что при низких скоростях газа жидкость сильно турбулирована и интенсивность массообмена достаточно велика.

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента массоотдачи от изменения массового отношения расхода фаз (L/G). Наблюдаемое возрастание β_g с увеличением L/G объясняется возрастанием удельной поверхности контакта фаз.

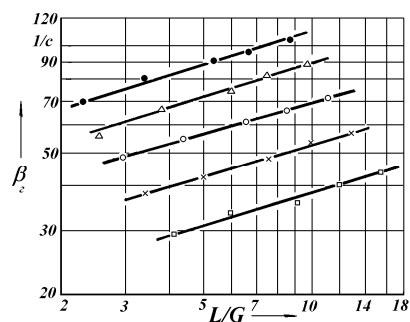


Рис. 2 - Зависимость коэффициента массоотдачи в газовой фазе (β_g) от отношения массовых расходов фаз (L/G) при различных скоростях газового потока в контактной трубке: • - 6,28; × - 9,44; о - 12,58; Δ - 15,73; ● - 17,8

На рис. 3 представлено изменение эффективности ступени (η) в газовой фазе от расхода фаз. Эффективность вихревой ступени возрастает с увеличением скорости газа и расхода жидкости.

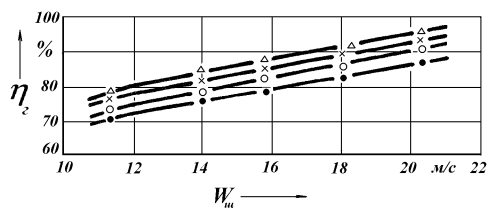


Рис. 3 - Зависимость степени приближения к равновесию (η) от отношения массовых расходов фаз (L/G) при различных скоростях газового потока в контактной трубке: • - 6,28; × - 9,44; о - 12,58; Δ - 15,73

Обобщение результатов эксперимента по массоотдаче производилось отысканием степенной зависимости типа:

$$Nu_r = A \cdot Re_r^n \cdot Pr_r^m \quad (1)$$

где $Nu_r = \beta_F \cdot l' / D$ - число Нуссельта; $Re_r = W \cdot l'' / \nu_r$ - число Рейнольдса; $Pr_r = \nu_r / D$ - число Прандтля; l' и l'' - характерные линейные размеры, м; W - скорость газа, м/с.

Это уравнение учитывает как режимные и геометрические параметры исследуемого объекта, так и физико-химические свойства системы. Поскольку мы проводили эксперимент только на одной системе воздух-вода, то число Pr из уравнения (1) исключается.

В выражении для Nu_r используются коэффициенты массоотдачи, отнесенные к боковой поверхности контактной обечайки $F_{ко}$. Путем перебора различных вариантов было определено, что наилучшую сходимость экспериментальных и расчетных значений чисел обеспечивают характерные линейные размеры $l' = D_{ко}$ и $l'' = S$, которые определяются по выражению:

$$S = q / F_{ко}. \quad (2)$$

В качестве характерной скорости газа W для числа Re_r выбрана скорость газа в контактной обечайке ($W_{ко}$). Тогда:

$$Nu_r = \frac{\beta_r \cdot S}{D} \quad (3)$$

$$Re_r = \frac{W_{ко} D_{ко}}{\nu_r} \quad (4)$$

В результате обработки экспериментальных данных было получено критериальное уравнение расчета коэффициентов массоотдачи в газовой фазе в вихревой контактной ступени:

$$Nu_r = 1,33 \cdot 10^{-3} Re_r^{1,41} \quad (5)$$

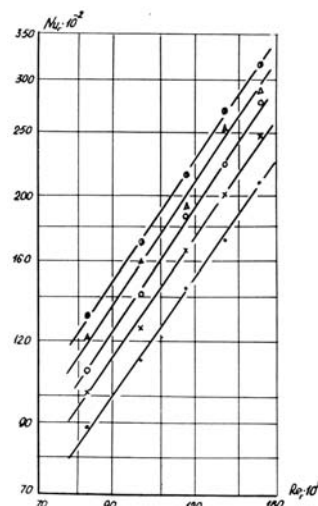


Рис. 4 - Сравнение экспериментальных и расчетных значений по уравнению (5)

Зависимость расчетных значений Nu_r от числа Re_r приведена на рис. 4. Точками нанесены экспериментальные значения.

Литература

1. Степанов И.Н. Анализ закономерностей процесса денификации отработанных кислот в условиях производства нитратов целлюлозы /И.Н.Степанов, Р.А.Халитов, А.Ф.Махоткин // Вестник казанского технологического университета. – Казань: 2013. Т.16 – № 19 – С.116 - 118.
2. Халитов Р. А. Исследование гидродинамических характеристик вихревой контактной ступени для интенсификации процесса денификации отработанных кислот в условиях производства нитратов целлюлозы / Р.А.Халитов, И.Н.Степанов, А.Ф.Махоткин // Вестник казанского технологического университета. – Казань: 2014. Т.17 – № 1 – С.263 - 265.
3. Рамм, В.М. Абсорбция газов / В.М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с.

© Р. А. Халитов – д-р техн. наук, проф. кафедры ОХЗ КНИТУ; И. Н. Степанов – аспирант КНИТУ; А. Ф. Махоткин – д-р техн. наук, проф., зав. кафедры ОХЗ КНИТУ, romanova_rg@mail.ru.

© R. A. Khalitov – Doctor of Technical Sciences, Professor from the department of Chemical Plant Machinery of KNRTU; I. N. Stepanov – postgraduate student of KNRTU; A. F. Mahotkin – Doctor of Technical Sciences, Full Professor from the department of Chemical Plant Machinery of KNRTU, romanova_rg@mail.ru.