

В.И. Жалковский, А.И. Ершов

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОПЕРЕДАЧИ НА КОНТАКТНОЙ СТУПЕНИ С ПРЯМОТОЧНО-ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Разработка и исследование новых скоростных аппаратов и отдельных ступеней контакта для взаимодействия газо-жидкостных систем диктуются необходимостью интенсификации процессов массообмена и повышения производительности технологических установок.

В БТИ имени С.М. Кирова созданы скоростные прямоточно-центробежные тарелки элементного типа [1] для процессов абсорбции и ректификации. Ранее [2] на одноэлементных моделях проведено исследование гидродинамики их и установлено, что минимально допустимыми нагрузками ступени являются среднеосевые скорости газа в контактных элементах 12–14,5 м/сек. Верхний предел скоростей достигается при 26–29 м/сек и определяется вторичным уносом. Задачей данного исследования поставлено изучение массообмена на многоэлементной тарелке. Объектом исследования служил лоток размерами 370×60, по оси которого размещалось пять прямоточно-центробежных элементов с внутренним диаметром контактного патрубка 32 мм.

Опыты проводились при десорбции CO_2 из водного раствора воздухом, когда основное сопротивление массопереносу сосредоточено в жидкой фазе, и при абсорбции NH_3 водой с основным сопротивлением переносу массы в газовой фазе на установках 1 а и б. В обоих случаях тарелка 16 крепилась между фланцами и устанавливалась строго горизонтально. Ниже ее предусматривалась распределительная решетка 17, в верхней части лотка устанавливался объемный сепаратор 15 (рис. 1, а).

Газ к тарелке подавался воздуходувкой 1. Расход газа регулировался заслонкой 2 и определялся по перепаду давлений на диафрагме 3, замеряемому дифманометром 4. Вода из напорного бака 12 подавалась на тарелку через ротаметр 7. Расход воды регулировался краном 13.

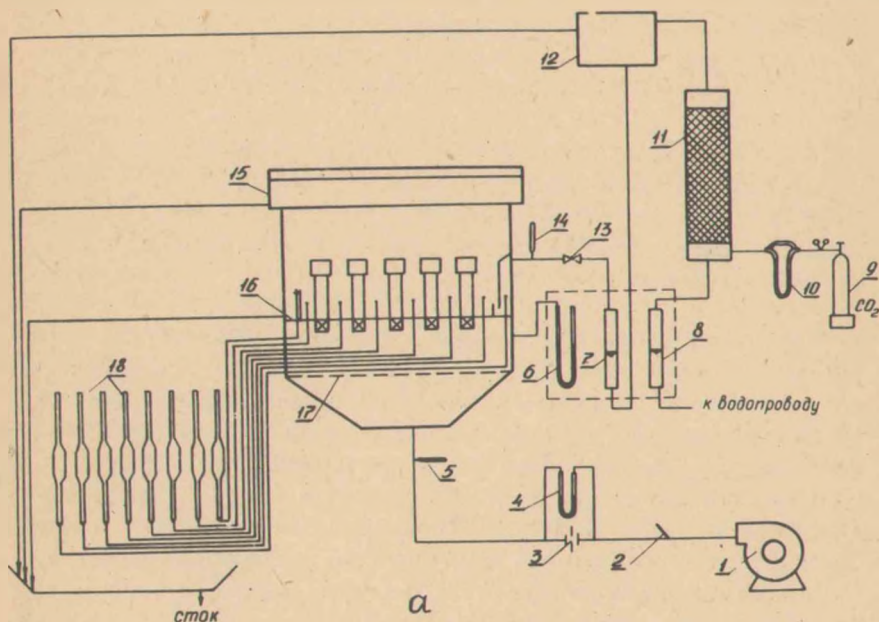
В опытах по десорбции CO_2 (рис. 1, а) жидкая фаза предварительно насыщалась в насадочной колонне 11 углекислым газом, поступающим из баллона 9 через реометр 10, тарированный титрованием раствора на входе тарелки. Расход воды в колонну устанавливался с учетом максимального орошения ступени и замерялся ротаметром 8.

При абсорбции NH_3 водой (рис. 1 б) аммиак, подмешиваемый к воздуху, распыливался форсункой 10. Реометр 9 для определения расхода NH_3 тарировался по времени нейтрализации 300 мл 1N раствора HCl при пропускании аммиака через колбу Дрекслея.

Температуры газа и жидкости на входе тарелки поддерживались постоянной и контролировалась с помощью термометров 5 и 14.

Эффективность массообмена в процессе десорбции определялась по жидкой фазе, при абсорбции анализу подвергались как жидкость, так и газ, что позволило в расчетах исходить из сходимости баланса.

С целью изучения локальной эффективности массообмена на ступени, а также оценки к.п.д. отдельных рядов элементов по длине лотка отбор проб жидкости производился как на входе и выходе тарелки, так и вдоль потока, на высоте 40 мм. В ка-



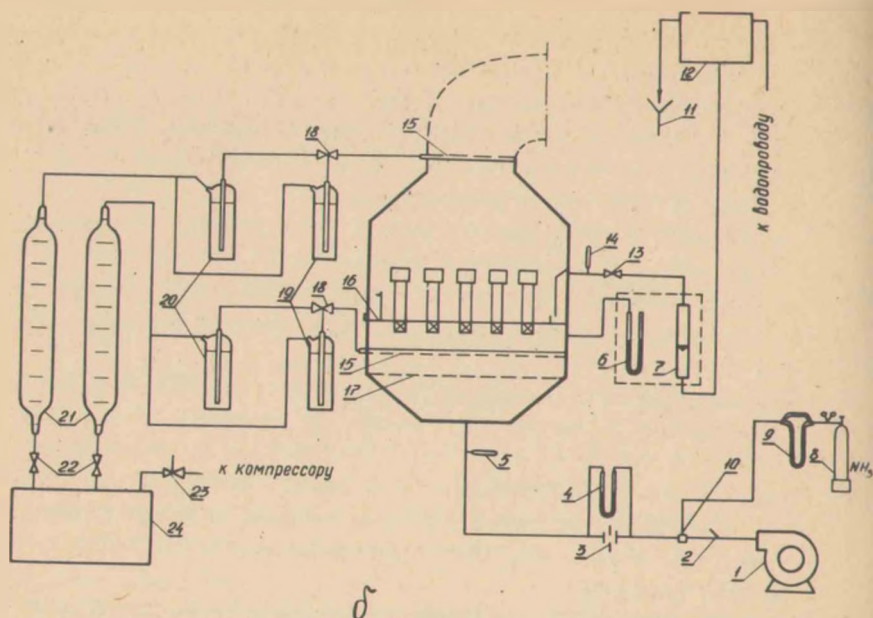


Рис. 1. а) Схема экспериментальной установки для десорбции CO_2 из водного раствора воздухом: 1-воздуходувка, 2-заслонка, 3-диафрагма, 4,6-дифманометры, 5,14-термометры, 7,8-ротаметры, 9-баллон с CO_2 , 10-реометр, 11-насадочная колонна, 12-напорный бак, 13-кран, 15-сепаратор, 16-исследуемая тарелка, 17-распределительная решетка, 18-пипетки для жидкости; б) схема экспериментальной установки для абсорбции NH_3 водой: 1-воздуходувка, 2-заслонка, 3-диафрагма, 4,6-дифманометры, 5-14-термометры, 7-ротаметр, 8-баллон с NH_3 , 9-реометр, 10-форсунка, 11-слив, 12-напорный бак, 13,18,22,23-краны, 15-пробоотборники, 16-исследуемая тарелка, 17-распределительная решетка, 19,20-дрекселя, 21-делительные сосуды, 24-сливной бак.

чеством пробоотборников служили: на входе жидкости и вдоль потока - трубки, имеющие поперечные канавки по ширине лотка, на выходе - корытце, закрепленное на сливной перегородке. Жидкость поступала в пробоотборники самотеком и по соединительным шлангам заполняла калиброванные пипетки 18, объемом 50 мл. Отбор проб в различных точках производился одновременно. Незначительный расход жидкости через пробоотборники позволил принять орошение на тарелке постоянным.

Содержание CO_2 в жидкости определялось по известной методике, добавлением избытка 0,1N раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$ с после-

дующим титрованием его 0,1 N раствором HCl в присутствии фенолфталеина и среде BaCl₂ для подавления диссоциации ионов BaCO₃. Концентрация CO₂ в жидкости на входе тарелки составляла 3 г/л и рассчитывалась по формуле

$$x = \frac{N_k(v_x - v_p)M_{CO_2}}{2v_{пр}}, \text{ г/л,}$$

где N_k - нормальность кислоты, г-экв/л; v_x и v_p - объем HCl, расходуемый, соответственно, на холостое и рабочее титрование, мл; $v_{пр}$ - объем взятой для анализа пробы, мл; M_{CO_2} - молекулярный вес CO₂.

Эффективность массообмена в этом случае рассчитывалась из выражения $E = \frac{x_n - x_k}{x_n - x^*}$, где равновесная концентрация x^* ,

составляющая $\approx$ в 300 раз меньшую величину, чем концентрация на выходе жидкости и 1000 раз, чем на входе, вследствие своей малости принималась равной нулю.

В опытах по абсорбции содержание NH₃ в жидкости определялось непосредственным титрованием 50 мл пробы 0,1 N раствором HCl в присутствии метилоранжа. Расчет концентрации NH₃ в жидкости производился по формуле

$$x = \frac{N_k(v_p - v_o)M_{NH_3}}{v_{пр}}, \text{ г/л}$$

где v_p и v_o - объем кислоты, затрачиваемой, соответственно на титрование раствора и чистой воды.

Анализ газовой фазы на содержание NH₃ производился пропусканием аммиачно-воздушной смеси через колбу Дрекслея, содержащую 25 мл 0,01 N раствора HCl. Дрекслея 20 (рис. 16) служили контрольными, а 19 использовались для уравнивания давления газа в пробоотборниках 15 и свободном пространстве опытных дрекселей. Аммиачно-воздушная смесь отсасывалась с помощью делительных сосудов 21, объем 1 л. Количество аммиака, поглощенного в процессе отбора пробы, определялось прямым титрованием остатка непрореагировавшей HCl раствором 0,01 N NaOH, в присутствии метилового красного и рассчитывалось по формуле

$$y = \frac{(N_k v_k - N_{ш} v_{ш})M_{NH_3}}{1000}, \text{ г/л газа,}$$

где N_K и V_K – соответственно нормальность и объем кислоты, N_{III} и V_{III} – нормальность и объем щелочи.

Эффективность массообмена в процессе абсорбции NH_3 водой рассчитывалась из выражения

$$E = \frac{Y_H - Y_K}{Y_H - Y^*}.$$

Константа равновесия, используемая для нахождения y^* , рассчитывалась по формулам, приведенным в монографии [3].

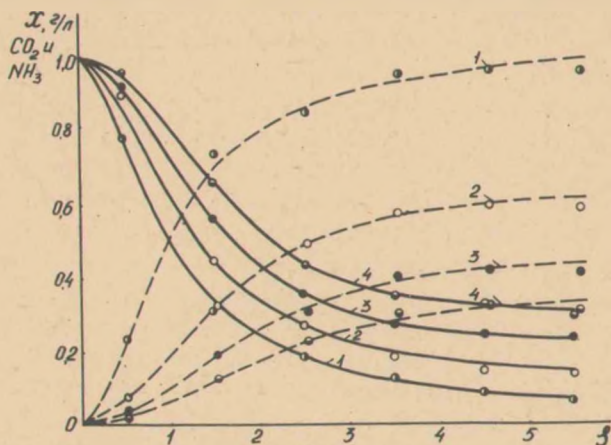


Рис. 2. Распределение концентраций CO_2 и NH_3 (пунктирная линия) в жидкости вдоль потока на тарелке при удельном орошении q ($м^3/м^2 \cdot час$): 1–1,33; 2–2,66; 3–3,99; 4–5,33.

На рис. 2 приведено распределение концентраций CO_2 и NH_3 в жидкости на тарелке. Из рисунка видно, что со стороны входа жидкой фазы концентрации меняются резко, следовательно массообмен в первых рядах элементов протекает интенсивнее. Для абсорбции NH_3 характерно более заметное влияние расхода жидкой фазы. Скачок концентраций у входа свидетельствует о перемешивании жидкости на тарелке.

На рис. 3 представлены зависимости эффективности тарелки от среднеосевой скорости газа в элементах, при различных нагрузках по жидкости, из которых видно, что при десорбции CO_2 из водного раствора воздухом средняя эффективность тарелки составляет 0,73–0,94. Максимум эффективности при средних нагрузках по газу объясняется совместным влиянием циркуляции и уноса.

При абсорбции NH_3 водой эффективность с увеличением скорости вначале падает, а затем растет. Некоторое снижение ее объясняется уменьшением времени контакта фаз с увеличением скорости газа. Последующий рост происходит, очевидно, вследствие дополнительного массообмена в результате прорыва газа под сепарационный колпачок, где он также взаимодействует с жидкостью. Средняя эффективность тарелки в процессе абсорбции NH_3 водой составила 0,41–0,66.

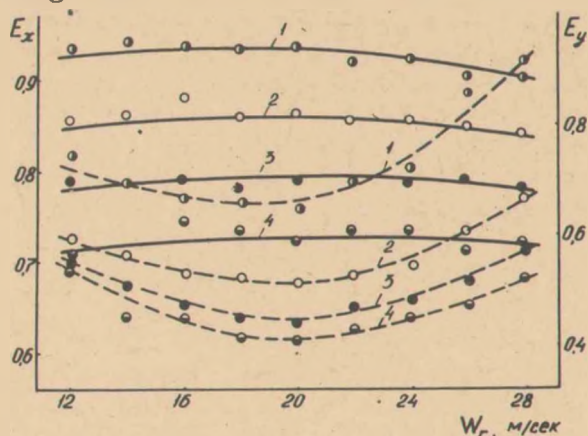


Рис. 3. Эффективность тарелки при десорбции CO_2 воздухом и абсорбции NH_3 водой — пунктирная линия (обозн. по рис. 2).

В ы в о д ы

1. У входа жидкости на тарелку эффективность массообмена в контактных элементах выше, чем у выхода.
2. Получены значения к.п.д. ступени при десорбции CO_2 из водного раствора воздухом и абсорбции NH_3 водой.
3. Контактные ступени с прямоточно-центробежными элементами целесообразно применять в процессах с основным сопротивлением массопереносу в жидкой фазе.

Л и т е р а т у р а

1. А.И. Ершов, И.М. Плехов и др. Авт. свид. СССР № 257439. Бюл. изобр. № 36 (1969).
2. В.И. Жалковский. Химия и хим. технология, вып. 7, (1974).
3. В.М. Рамм. Абсорбция газов, М., "Химия" (1966).