



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Шосткинський інститут Сумського державного університету
Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних сил України
Державне підприємство
«Державний науково-дослідний інститут хімічних продуктів»
Виконавчий комітет Шосткинської міської ради
Казенне підприємство «Шосткинський казенний завод «Імпульс»
Казенне підприємство «Шосткинський казенний завод «Зірка»

ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ: НАУКА, ЕКОНОМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО

МАТЕРІАЛИ
III Міжнародної
науково-практичної конференції
(м. Шостка, 23-25 листопада 2016 року)



УДК 661.25

МАССОПЕРЕНОС ПРИ КОНЦЕНТРИРОВАНИИ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ИСПАРЕНИЕМ В ТОКЕ ВОЗДУХА

С.Н.Романько, С.В.Тимофеев, В.К.Лукашев С.О. Бучковець
Шосткинский институт Сумского государственного университета
41100, м. Шостка, вул. Гагаріна, 1
khtms@ishostka.sumdu.edu.ua

Перспективным способом концентрирования серной кислоты, особенно для малотоннажных производств, является способ, в котором кислота нагревается через стенку аппарата, а испарение происходит в поток нейтрального газа (воздуха). Такой способ позволяет проводить концентрирование при температуре ниже температуры кипения кислоты и соответственно использовать низкотемпературные теплоносители для ее нагревания. Одним из основных явлений, определяющих процесс концентрирования серной кислоты, в этом случае является массоперенос от жидкой фазы в движущуюся газовую (парогазовую) фазу. Его особенность связана со свойствами самой серной кислоты и наличием потока нейтрального газа (воздуха). Интенсивность массопереноса при концентрировании серной кислоты характеризуется экспериментально определяемым коэффициентом массоотдачи от жидкой фазы в газовый поток.

При построении математической модели массопереноса исходили из следующих допущений:

– сопротивлением массопереносу со стороны жидкой фазы пренебрегаем, что возможно при достаточно интенсивном ее перемешивании;

– образовавшиеся пары кислоты мгновенно смешиваются с нейтральным газом.

При обработке экспериментальных данных использовали традиционные методы теории подобия, в связи с чем переходили от коэффициента массоотдачи β к диффузионному критерию Нуссельта

$$Nu_d = \frac{\beta' \delta}{D},$$

где δ – внутренний диаметр колбы в ее средней части, м; D – коэффициент молекулярной диффузии пара воды в воздухе, м²/с; $\beta' = \beta RT / \mu_v$ – коэффициент массоотдачи по воде, м/с; R – газовая постоянная, Дж/кмоль гр; T – температура газовой фазы, К; μ_v – масса одного киломоля испаряемого компонента, кг/кмоль. Полученные экспериментальные данные представляли в виде зависимостей критерия Нуссельта от массовой доли воды в растворе кислоты $Nu_d = f(x)$. Анализ этих зависимостей показывает, что с убыванием массовой доли воды в кислоте (повышением концентрации) критерий Nu_d уменьшается. Линейный характер зависимостей $Nu_d = f(x)$ в полулогарифмических координатах свидетельствует, что они описываются показательной функцией вида

$$Nu_d = Nu_{до} e^{kx}, \quad (1)$$

где $Nu_{до}$ и k – экспериментальные коэффициенты. Из уравнения (1) следует, что при $x = 0$ ($k \neq 0$) $Nu_d = Nu_{до}$, то есть по своей физической сущности коэффициент $Nu_{до}$ выражает массоотдачу в газовую фазу при испарении моногидрата H₂SO₄ (100%-ной кислоты). Коэффициент k , представляющий собой тангенс угла наклона прямой

$\ln Nu_d = kx \ln Nu_{до}$, характеризує інтенсивність змінення Nu_d (коефіцієнта масоотдачі).

На основани експериментальних даних було встановлено, що коефіцієнти $Nu_{до}$ і k , входящие в уравнение (1) определяются режимными параметрами процесса концентрирования: v – скоростью воздуха, $t_{го}$ – температурой воздуха, подаваемого в колбу, t_k – температурой жидкой кислоты, x_0 – массовой долей воды в исходной кислоте. С целью возможности обобщения результатов исследования при определении коэффициентов $Nu_{до}$ и k переходили от указанных величин к безразмерным параметрам (x_0 – по своей сущности безразмерная величина, кг воды/кг смеси): $Re = v\delta/\nu$ – критерию Рейнольдса, характеризующего гидродинамический режим в свободном пространстве над кислотой; $\frac{t_{го}}{t_{oc}}$ – относительной температуре поступающего в колбу воздуха; $\frac{t_k}{t_{oc}}$ – относительной температуры жидкой кислоты, где ν – кинематический коэффициент вязкости воздуха, м²/с; t_{oc} – температура поступающего в систему воздуха (окружающей среды), °С. Выбор в качестве характерной температуры t_{oc} , по которой определяли величины, входящие в критерий Re и температурные симплексы $\frac{t_{го}}{t_{oc}}$ и $\frac{t_k}{t_{oc}}$, связан с необходимостью обеспечения независимости безразмерных параметров между собой.

Как следует из экспериментальных зависимостей коэффициентов $Nu_{до}$ и k от безразмерных параметров процесса концентрирования серной кислоты (рис.) коэффициент $Nu_{до}$ с увеличением критерия Re растет практически линейно. Коэффициент k с увеличением Re сначала уменьшается, а при достижении $Re \approx 20$ остается практически постоянным на всем исследованном диапазоне изменения Re (рис.а). С уменьшением массовой доли воды в исходной кислоте коэффициент $Nu_{до}$ уменьшается, а коэффициент k увеличивается почти линейно (рис.б). С увеличением $\frac{t_k}{t_{oc}}$ коэффициент $Nu_{до}$ сначала растет, при $\frac{t_k}{t_{oc}} \approx 10$ проходит через максимум, затем уменьшается. Коэффициент k наоборот сначала уменьшается, примерно при этом значении $\frac{t_k}{t_{oc}}$ достигает минимума, затем увеличивается (рис.в). Наличие экстремумов в обоих зависимостях можно объяснить тем, что в данных условиях при $\frac{t_k}{t_{oc}} \approx 10$ массовая доля воды в кислоте достигает значения, при котором на процесс концентрирования начинает влиять испарение моногидрата H₂SO₄ (происходит переход от простого выпаривания к перегонке).

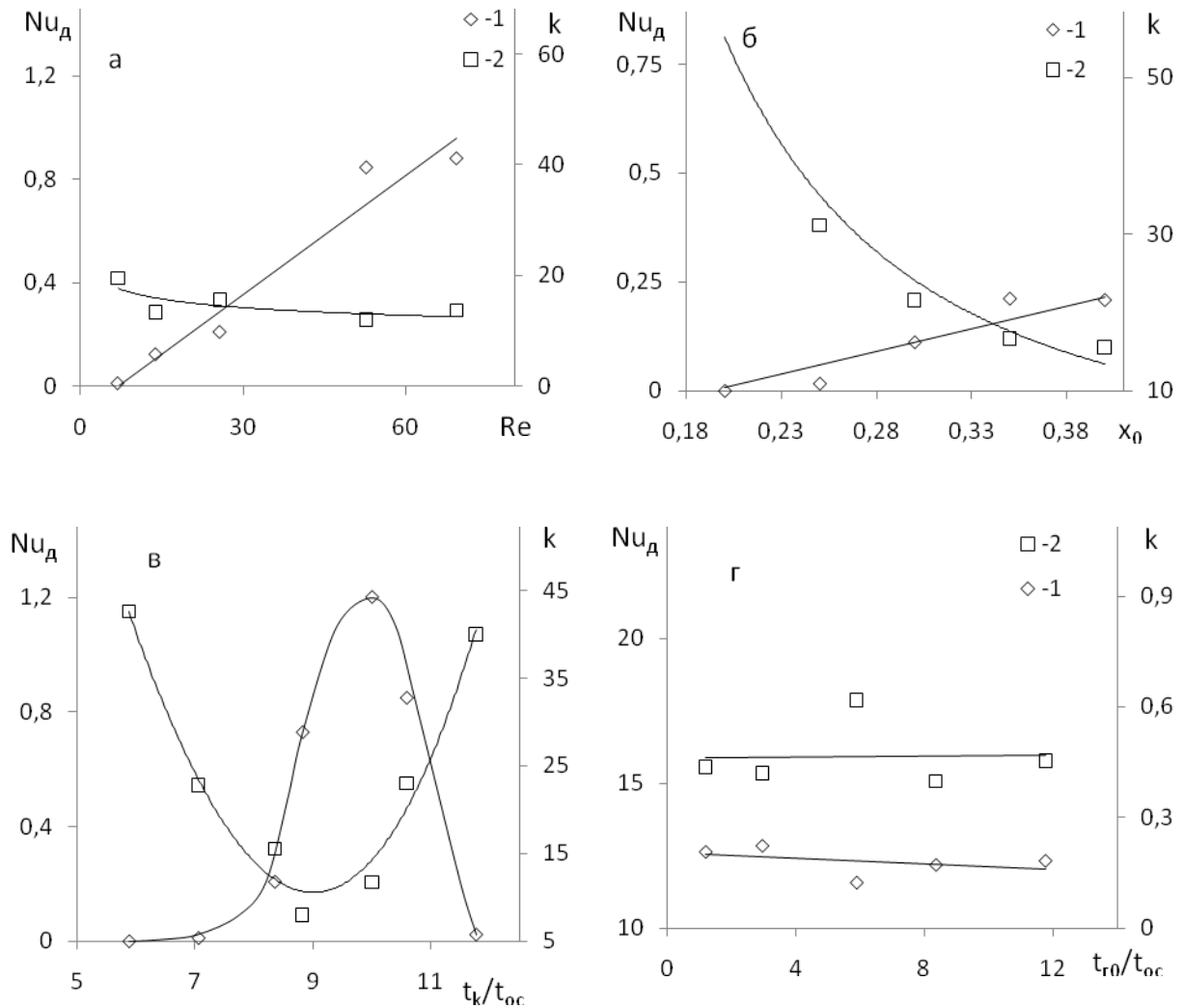


Рисунок 1 – Зависимости коэффициентов $Nu_{до}$ и k от безразмерных параметров процесса концентрирования кислоты: а – критерия Re ($t_{ro}/t_{oc} = 1,18$; $t_k/t_{oc} = 8,35$; $x_0=0,4$): 1 – $Nu_{до} = f(Re)$; 2 – $k = f(Re)$, б – начальной массовой доле воды в кислоте ($Re = 25,7$; $t_{ro}/t_{oc}=1,18$; $t_k/t_{oc}=8,35$): 1 – $Nu_{до} = f(x_0)$; 2 – $k = f(x_0)$, в – симплекса $\frac{t_k}{t_{oc}}$ ($Re = 25,7$; $t_{oc} = 1,18$; $x_0 = 0,4$): 1 – $Nu_{до} = f(\frac{t_k}{t_{oc}})$; 2 – $k = f(\frac{t_k}{t_{oc}})$, г – симплекса $\frac{t_{ro}}{t_{oc}}$ ($Re = 25,7$; $t_{oc} = 8,35$; $x_0 = 0,4$): 1 – $Nu_{до} = f(\frac{t_{ro}}{t_{oc}})$; 2 – $k = f(\frac{t_{ro}}{t_{oc}})$.

При дальнейшем увеличении t_{oc} последнее явление полностью определяет процесс концентрирования. Влияние симплекса $\frac{t_{ro}}{t_{oc}}$ на коэффициенты $Nu_{до}$ и k в исследованном диапазоне его изменения находится в пределах погрешности опытов, что позволяет в расчетах не учитывать температуру воздуха, подаваемого в свободное пространство над кислотой.