

Р. А. Халитов, И. Н. Степанов, И. А. Латыпов,
А. Ф. Махоткин, К. Р. Валеева

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРВОЙ ПО ХОДУ ГАЗА СТУПЕНИ ВИХРЕВОЙ КОЛОННЫ ДЕНИТРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ КИСЛОТ

Ключевые слова: вихревая контактная ступень, денитрация отработанных кислот, гидравлическое сопротивление, брызгоунос, удерживающая способность.

Представлены результаты экспериментальных исследований гидравлического сопротивления, брызгоуноса и удерживающей способности первой по ходу газа ступени вихревой колонны денитрации отработанных кислотных смесей. Проведенные исследования показали, что разработанная конструкция вихревой контактной ступени обладает широким диапазоном устойчивой работы и большой пропускной способностью по газу и жидкости.

Keywords: vortex contact stage, denitration of waste acids, hydraulic resistance, entrainment, retention capacity.

Results of experimental studies of hydraulic resistance, splash-ash and the holding capacity of the first as the gas vortex stage columns denitration acid mixtures. Studies have shown that the developed design of the vortex contact stage has a wide range of stable work and a large pass-Noah capacity for gas and liquid.

Недостатком действующих в промышленности колонн денитрации является невысокая степень отгонки азотной кислоты и оксидов азота на первой по ходу пара (газа) ступени [1,2]. Вытекающая из колонн денитрации отработанная серная кислота не должна содержать азотную кислоту и оксиды азота. Однако существующие колонны денитрации не обеспечивают полной отгонки соединений азота, особенно в первой по ходу пара (газа) ступени. Поэтому на заводах отрасли в технологических регламентах производств установлено содержание соединений азота в пределах 0,03-0,05 % масс. Для полного удаления соединений азота можно использовать денитрирующие агенты, восстанавливающие их до азота, однако процесс восстановительной денитрации является длительным (5-40 мин) и для его осуществления необходимо дополнительное оборудование. Кроме того, в процессе восстановительной денитрации серная кислота охлаждается, что приводит к увеличению расхода природного газа и снижению производительности концентратора серной кислоты [3].

В этой связи надо стремиться к максимальной отгонке соединений азота в колонне денитрации, особенно на первой по ходу пара (газа) ступени. На первую по ходу пара (газа) ступень подается перегретый пар при температуре 200-250°C, и полнота отгонки соединений азота в значительной степени зависит от способа взаимодействия газовой и жидкой фаз на этой ступени.

Нами разработана новая конструкция вихревой колонны денитрации отработанных кислот [4], представленная на рис.1. Колонна изготовлена из высококремнистого чугуна – ферросилида марки ЧС – 15. Первая по ходу пара (газа) ступень колонны выполнена в виде вихревого устройства с двумя тангенциальными патрубками входа газа. Вторые и последующие по ходу газового потока ступени состоят из царг, на которых установлены завихрители и контактные патрубки. Описание конструкции этих ступеней представлено в работе [5].

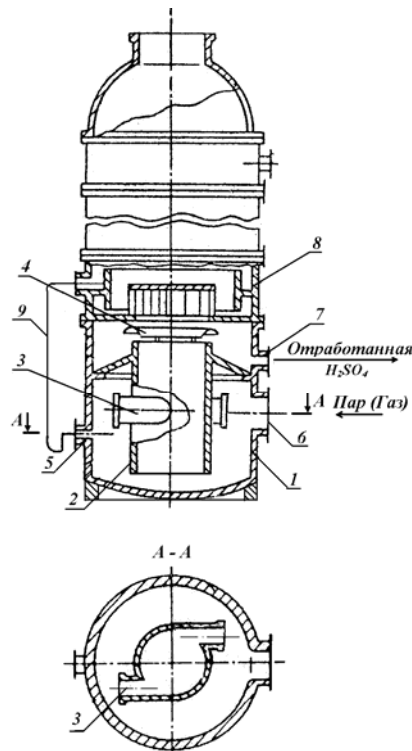


Рис. 1 - Вихревая колонна денитрации: 1 – корпус; 2 – первая по ходу газа ступень; 3 – патрубок; 4 – каплеотбойник; 5 – патрубок входа кислоты; 6 – патрубок входа пара (газа); 7 – патрубок выхода кислоты; 8 – вихревая ступень; 9 – линия перетока кислоты

Первая ступень работает следующим образом. Отработанная серная кислота, содержащая остатки азотной кислоты и оксидов азота, по линии перетока кислоты 9 через патрубок 5 поступает на первую по ходу пара (газа) вихревую ступень колонны. Газовый поток входит в днище через патрубок 6. Серная кислота заполняет нижнюю часть днища, образуя при этом гидрозатвор и исключая про-

скок пара при работе колонны через зазор между контактным патрубком и днищем колонны.

Газовый поток проходит через тангенциальные патрубки 3 вихревого устройства 2, приобретает вращательное движение и раскручивает при этом кислоту, поступающую в вихревое устройство. В области сопряжения корпуса вихревого устройства с тангенциальными патрубками происходит интенсивное взаимодействие пара с жидкостью. Газовый поток дробит жидкость на капли, которые движутся по пересекающимся траекториям, сталкиваются между собой, сливаются и вновь дробятся. При этом развивается значительная площадь поверхности контакта фаз с высокой скоростью обновления. В верхней части вихревого устройства под каплеотбойником 4 происходит сепарация жидкости из закрученного газожидкостного потока. Вся кислота, поступающая в нижнюю часть днища, контактирует с газом и отводится из царги колонны через патрубок 7. Благодаря этому достигается повышение полноты отгонки азотной кислоты и оксидов азота из отработанной серной кислоты. Такая организация взаимодействия фаз в вихревом газожидкостном потоке позволяет повысить производительность колонны.

Проводились исследования следующих гидродинамических характеристик первой ступени: гидравлического сопротивления сухой и орошаемой ступени, брызгоуноса жидкости со ступени и удерживающей способности по жидкой фазе. Исследовалась масштабная модель ступени в соотношении 1:3 к промышленному образцу. Исследования проводились в широком диапазоне изменения режимных параметров: расход воздуха изменялся от 400-1200 м³/ч, что соответствовало изменению скорости газа в патрубках входа газа от 5 до 20 м/с; объемный расход подаваемой в вихревое устройство жидкости l изменялся в диапазоне 0,05 до 1,2 м³/ч, что соответствовало изменению плотности орошения тарелки ($S_{\text{тар}} = 0,0863 \text{ м}^2$), $L = l/S_{\text{тар}}$ от 0,63 до 13,78 м³/м²·ч. Соотношение нагрузок по фазам L/G изменялось от 0,1 до 6 кг/кг.

Зависимость изменения гидравлического сопротивления вихревого устройства от скорости газа в щелях (патрубках входа газа) представлена на рис.2.

Гидравлическое сопротивление сухой ступени $\Delta P_{\text{сух}}$ пропорционально $W_{\text{щ}}^{1,5}$, что соответствует развитому турбулентному режиму движения газового потока. Гидравлическое сопротивление орошаемой ступени ($\Delta P_{\text{ор}}$) возрастает с увеличением плотности орошения ступени. Гидравлическое сопротивление орошаемой ступени находится в пределах 0,7-2 кПа. При этом в вихревом устройстве наблюдается развитый турбулентный вихревой режим движения газожидкостного потока. На основе обработки экспериментальных данных получено уравнение для расчета гидравлического сопротивления орошаемой ступени:

$$\Delta P_{\text{ор}} = 0,167 + 0,04L + 0,052 W_{\text{щ}} + 0,167 L^2 - 0,002 \times W_{\text{щ}} \cdot L + 0,0011 W_{\text{щ}}^2, \text{ кПа} \quad (1)$$

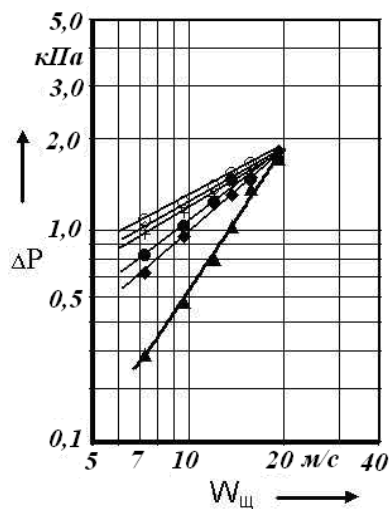


Рис. 2 - Зависимость гидравлического сопротивления от скорости газа в щелях завихрителя при следующих плотностях орошения ступени (L , м³/м²·ч): ♦ - 0,63; Δ - 2,19; × - 2,98; * - 3,77; • - 4,7; + - 7,25; ◇ - 10,42; ○ - 13,78; ▲ - $\Delta P_{\text{сух}}$

Результаты исследования брызгоуноса из вихревой ступени представлены на рис.3.

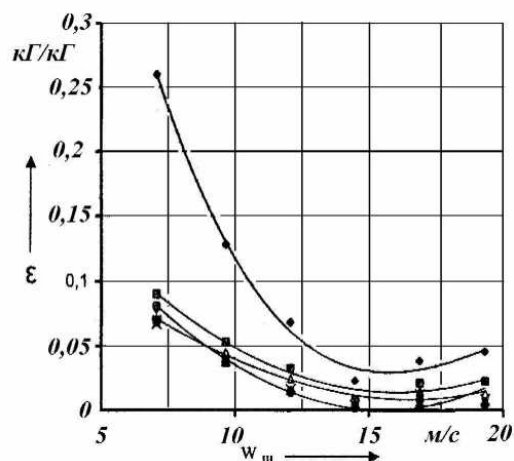


Рис. 3 - Зависимость относительного брызгоуноса жидкости со ступени от скорости газа в щелях при следующих плотностях орошения ступени (L , м³/м²·ч): ♦ - 0,63; ■ - 1,33; Δ - 2,19; × - 2,98; * - 3,77; + - 7,25; ◇ - 10,42; ○ - 13,78

Брызгоунос жидкости на ступенях зоны денитрации нежелателен, так как он приводит к продольному перемешиванию жидкости в колонне и снижению движущей силы процесса. Величину межтарельчатого относительного уноса жидкости (ϵ) (равную 0,1 кг жидкости на 1 кг жидкости подаваемой на ступень) принимают за верхнюю границу оптимального режима работы контактной ступени [5]. Повышенный брызгоунос жидкости со ступени ($\epsilon > 0,1$) наблюдается при расходах жидкости $L < 0,2$ м³/м²·ч и газа $W_{\text{щ}} < 10$ м/с. При этом вихревое устройство работает в неустойчивом, пульсирующем режиме, основная часть жидкости движется в виде

газожидкостного потока в центре вихревого устройства и уносится газовым потоком на вышележащую ступень. С увеличением скорости газа в патрубках наблюдается снижение относительного брызгоуноса со ступени. В диапазоне скоростей газа $W_{щ} = 12,0 - 20,0$ м/с наблюдается минимум брызгоуноса $\varepsilon < 0,05$. При этих скоростях газа и различных расходах жидкости наблюдается устойчивое вихревое вращательное движение газожидкостного потока по стенке вихревого устройства и надежная сепарация фаз в межтарельчатом пространстве.

В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение для расчета относительного брызгоуноса со ступени: (при $L = 2 - 14$ м³/м²·ч)

$$\varepsilon \cdot 10^3 = 285 - 14 \cdot L - 30 \cdot W_{щ} - 0,675 \cdot L^2 + 0,16 W_{щ} \cdot L + 0,88 W_{щ}^2, \text{ кг/кг}; \quad (2)$$

Результаты исследования удерживающей способности вихревого устройства представлены на рис.4.

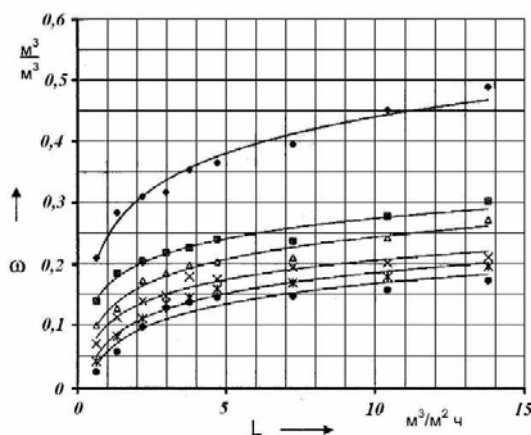


Рис. 4 - Зависимость объемной концентрации жидкости от плотности орошения ступени при следующих скоростях газа в щелях ($W_{щ}$, м/с): ♦ - 7,25; ■ - 9,66; Δ - 12,08; × - 14,49; ★ - 16,91; • - 19,32

Распределение жидкости и газа в газожидкостном потоке характеризуется удерживающей способностью по дисперсной фазе ω , под которой понимается количество дисперсной фазы (q , м³) удержанной в данный момент в единице объема (V , м³) сплошной фазы. Объемная концентрация жидкой фазы:

$$\omega = \frac{q}{V_{ВКУ}}, \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3},$$

где $V_{ВКУ}$ – объем вихревого контактного устройства.

Удерживающая способность имеет большое значение для проведения процессов массопередачи,

так как определяет величину поверхности контакта фаз и время контакта. Как видно из рис.4 с увеличением скорости газа в щелях наблюдается снижение объемной концентрации жидкости в вихревом устройстве. Увеличение плотности орошения ступени приводит к возрастанию объемной концентрации жидкой фазы. При скоростях газа в щелях вихревого устройства $W_{щ} = 10-15$ м/с и плотностях орошения $L = 0,3-14$ м³/м²·ч достигается достаточно высокая объемная концентрация жидкой фазы в вихревом устройстве $\omega = 0,2-0,3$. Этому же диапазону расходов газовой и жидкой фаз соответствует низкий брызгоунос жидкости со ступени $\varepsilon < 0,05$ и невысокое гидравлическое сопротивление $\Delta P = 1-1,5$ кПа.

В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение для расчета объемной концентрации жидкой фазы:

$$\omega \cdot 10^3 = 585 - 35,34 \cdot L - 62,5 \cdot W_{щ} - 1,16 \cdot L^2 - 0,6 W_{щ} \cdot L + 1,82 W_{щ}^2, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (3)$$

Проведенные экспериментальные исследования показали устойчивую работу первого по ходу газа вихревого устройства в широком диапазоне изменения нагрузок по газовой и жидкой фазам.

Литература

1. Степанов И.Н. Анализ закономерностей процесса денитрации 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. Степанов И.Н. Интенсификация процесса денитрации отработанных кислот в условиях производства нитратов целлюлозы / И.Н.Степанов, Р.А.Халитов, А.Ф.Махоткин // Вестник казанского технологического университета. – Казань: 2013. Т.16 – № 23 – С.57 – 60.
3. Халитов Р. А. Предотвращение туманообразования при концентрировании отработанной серной кислоты / Р. А. Халитов, О. В. Царева, Е. А. Махоткина // Вестник казанского технологического университета. – Казань: 2010. - № 10. – С. 293 – 299.
4. Патент РФ, № 2045322 RU, Б.И. № 28, 1995 г. Колонна концентрирования и денитрации кислот /Халитов Р.А., Газизов Ф.М. Махоткин А.Ф.Иванов Г.А.Мартынов С.Н; заявитель и патентообладатель –Халитов Р.А. №5036630/26 заявл. 09.04.92 опубл. 10.10.95 Бюл. №28.
5. Халитов Р. А. Исследование гидродинамических характеристик вихревой контактной ступени для интенсификации процесса денитрации 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.
6. Александров, И.А. Влияние уноса жидкости на эффективность тарелок полного перемешивания /И.А.Александров // Химия и технология топлив и масел, 1966, №12. – С. 37-39.