

УДК 66.015.23

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ СТУПЕНЕЙ

© *А.В. Кустов**, *Н.А. Артищева*, *В.Г. Межов*, *Ю.Д. Алашкевич*

*Сибирский государственный технологический университет, пр. Мира, 82,
Красноярск, 660049 (Россия), e-mail: alexkust@rambler.ru*

Анализ возможных путей интенсификации массообмена в системе газ – жидкость показывает, что использование для проведения таких процессов новых конструкций модернизированных барботажных и насадочных аппаратов уже не обеспечивает существенного повышения удельной производительности, эффективности и технологической гибкости установок. В связи с этим доказано, что наложение на систему взаимодействующих фаз центробежного ускорения является в ряде случаев наиболее простым способом интенсификации тепло- и массообмена. Вращение потока способствует дроблению пузырьков газа на ступени и предотвращает капельный унос. Вихревые ректификационные колонны не уступают по своим массообменным параметрам установкам насадочного типа, однако более производительны, менее металлоемки и масштабируемы, обладают широким диапазоном устойчивой работы, предотвращают новообразование примесей за счет небольшого объема жидкости на ступени и малого времени пребывания в зоне контакта. При достижении сравнительно низкого сопротивления на вихревой ступени эти аппараты способны работать под вакуумом, обеспечивают высокую производительность и позволяют за счет снижения температуры увеличить летучесть смеси, например при очистке этанола и метанола, предотвращают новообразование эфиров и альдегидов в производстве гидролизного спирта, обеспечивая тем самым высокие показатели качества и выхода продукта.

Ключевые слова: этанол, ректификация, контактная ступень, режимы течения, критическая скорость, коэффициент массоотдачи.

Введение

Ректификация широко используется в технологиях комплексной переработки древесины, в лесохимической промышленности при получении продуктов потребления, при восстановлении экстракционных растворов в процессах извлечения биологически активных веществ из растительного сырья, в технологии химической переработки древесины при производстве этанола, при переработке нарастающих природных отходов газификацией и использования синтез-газа для получения биополимера на стадии регенерации растворителей (хлористый метилен, гипохлорит натрия, гексан и т.д.), где также востребованы высокоэффективные и производительные ректификационные колонны.

В основном ректификации подлежат многокомпонентные смеси, как правило, азеотропные, имеющие близкую температуру кипения, что обуславливает использование для их разделения многоступенчатых ректификационных колонн. При этом применяются различные способы ректификации, такие как азеотропная, экстрактивная, молекулярная, дробная, парциальная.

Ключевыми проблемами в промышленном производстве при ректификации являются высокий расход теплоносителей, низкая разделяющая способность ректификационных аппаратов и контактных ступеней, их большие габариты и металлоемкость, существенные потери продуктов переработки из-за недостаточного полного разделения смесей, вследствие несовершенства дефлегматоров. Есть проблемы, связанные с достижением требуемого вакуума в колоннах из-за высокого сопротивления контактных ступеней. В ряде случаев требуются мобильные ма-

Кустов Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры механики, e-mail: alexkust@rambler.ru

Артищева Нина Анатольевна – старший преподаватель кафедры механики, e-mail: pina626-24@mail.ru

Межов Виктор Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики, e-mail: viktor-mezhov@yandex.ru

Алашкевич Юрий Давыдович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов промышленных технологий, e-mail: mарт@sigtu.ru

* Автор, с которым следует вести переписку.

лотоннажные установки для опытных производств (ректификация эфирного и талового масла, разделение растворителей в процессах выделения биополимера, экстракции растительного сырья) небольшой производительности, обладающей быстрой настройкой на новые смеси. В этой связи создание высокоэффективных неметаллоемких контактных ступеней, позволяющих интенсифицировать процесс разделения при сравнительно низком гидравлическом сопротивлении, является актуальным.

Несмотря на обширную информацию по исследованию и конструированию ректификационных колонн с вихревыми контактными ступенями, ее явно недостаточно. Данные по конструированию вихревых контактных ступеней с низким гидравлическим сопротивлением, в большей степени, носят рекламный характер.

Вихревые контактные ступени в основном создавались для процессов сепарации. Для проведения ректификации разработаны и апробированы только прямоточно-вихревые контактные устройства, которые обладают большой производительностью, но имеют высокое гидравлическое сопротивление 1500–4500 Па и большую металлоемкость.

Экспериментальная часть

Исследовались конструкции контактных ступеней с тангенциальными завихрителями, представленные на рисунке 1.

В зависимости от нагрузки по пару (газу), на контактных ступенях наблюдается определенный гидродинамический режим течения газа и жидкости. Визуальное наблюдение за перемещением струй газа, выходящих из каналов осевых и тангенциальных завихрителей, показывает их некоторое различие в траектории движения. Для осевых завихрителей струя газа при выходе из каналов устремляется вверх, а в тангенциальных – к периферии аппарата. Поэтому при малых расходах газа, когда сила инерции незначительна, на ступени с осевыми завихрителями наблюдается брызгоунос. Кроме того, с целью обеспечения газо-содержания по всему объему жидкости на ступени ширина каналов для прохода газа в осевых завихрителях должна быть выполнена равной толщине вращающегося газожидкостного слоя [1].

При увеличении расхода наблюдается струйное течение газа. При ширине канала $\delta_0 < (0,5-2)$ мм во всем объеме жидкости на ступени наблюдаются пузырьки газа; при $\delta_0 > 2$ мм отмечается граница между движущимися в жидкости струями и пеной, размещенной в верхней части ступени.

С дальнейшим увеличением расхода наблюдается пенный режим, в котором зона жидкости со струями газа исчезает, образуется сплошная подвижная пена.

При достижении определенной критической скорости газа в каналах ($u_{кр}$) наблюдается кольцевой режим, сопровождающийся вращением газожидкостного слоя с начальной полостью, визуальной фиксируемой при диаметре у основания 20 мм.

Характерные режимы течения на контактной ступени с тангенциальным завихрителем представлены на рисунке 2.

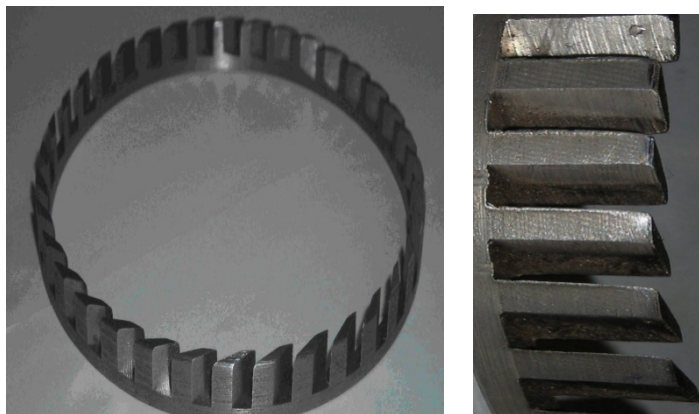
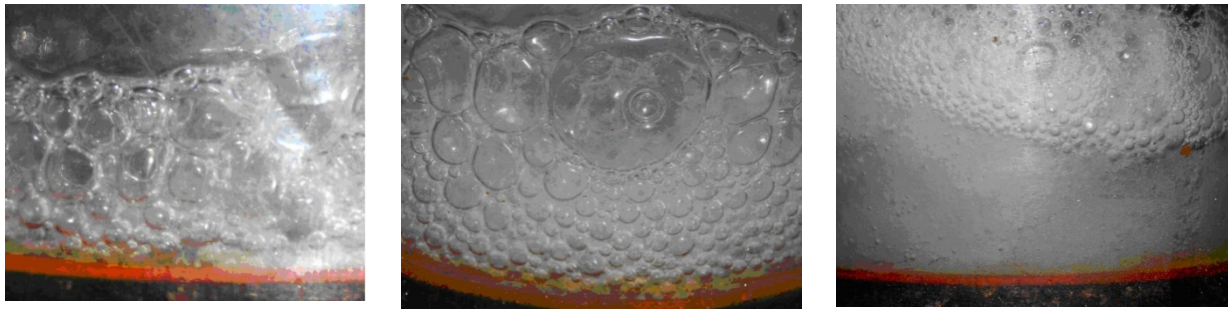
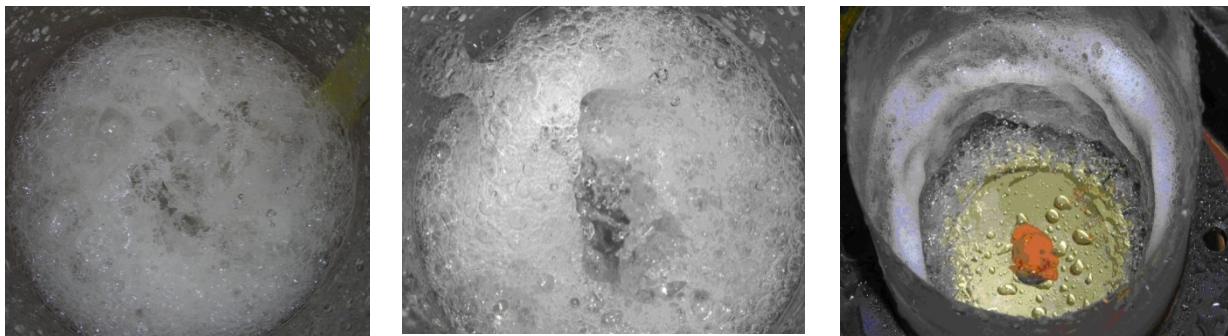


Рис. 1. Конструкции исследованных завихрителей

Вид ступени сбоку



Вид ступени сверху



а

б

в

Рис. 2. Режимы газожидкостной смеси на ступени $D_c = 114$ мм $R_s = 44$ мм. Режимы: *а* – пенный; *б* – кольцевой; *в* – пленочный

Обсуждение результатов

Критическая скорость газа, прежде всего, зависит от геометрических размеров завихрителя (величины зазора каналов, их количества) и обобщается (рис. 3) коэффициентом крутки f/F , где $f = \delta_0 \cdot l \cdot n$ – площадь каналов для выхода газа; δ_0 – ширина канала; l – высота канала; n – количество каналов; $F = 0,785 \cdot D_c^2$ – площадь сечения ступени. С увеличением f переход в кольцевой режим течения осуществляется при меньшей скорости газа, что обусловлено увеличением поверхности контакта газа с жидкостью.

Обработка полученных данных позволила получить зависимость для расчета u_k на контактной ступени [2]:

$$u_k = 0,0065 (f/F)^{-0,8} (H/D_c)^{0,7} (\rho(1-\varphi)/\rho_f). \quad (1)$$

Расчет по уравнению (1) позволяет определить критическую скорость газа с относительной погрешностью 15% при $R_s > 60$ мм.

Таким образом, для создания вращательного движения газожидкостного слоя на тарелке при минимальной скорости газа в каналах необходимо увеличивать фактор крутки f/F и радиус, уменьшать объем жидкости на ступени.

Параметрами газожидкостного слоя являются толщина и высота вращающегося газожидкостного слоя. Указанные величины необходимы для расчета основных гидродинамических характеристик ступени и конструирования переточных устройств. Характерные зависимости H от скорости газа в каналах при разных факторах крутки представлены на рисунке 4. Зависимость толщины газожидкостного слоя на ступени от скорости газа в каналах представлена на рисунке 5.

Высота слоя жидкости в начале кольцевого режима практически одинакова для контактных ступеней с разным фактором крутки и зависит от объема жидкости на тарелке. С увеличением скорости газа в каналах происходит рост высоты и снижение толщины газожидкостного слоя.

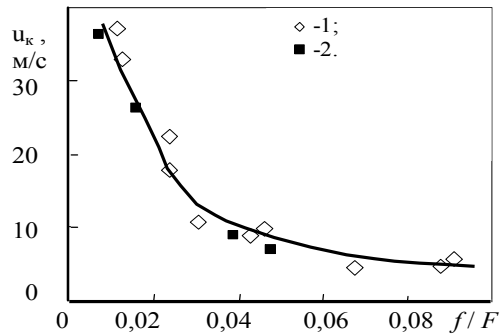


Рис. 3. Зависимость критической скорости газа от фактора крутки на системе воздух – вода $D_c = 100$ мм, $V = 200$ мл; $t = 15$ °С. Экспериментальные точки (1–2): 1 – плоская тарелка с лопастным завихрителем при $n = 9–36$ шт., $\delta_0 = 1$ мм, $l = 10$ мм; 2 – коническая тарелка с лопастным завихрителем при $n = 16$, $\delta_0 = 1$ мм, $l = 26$ мм

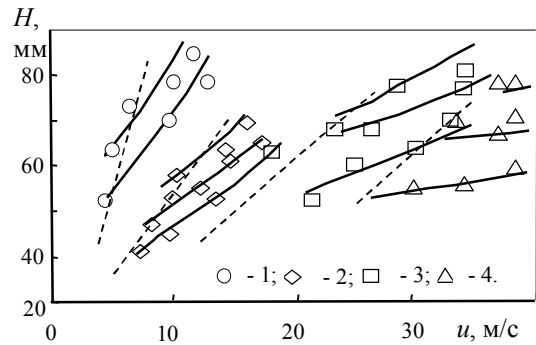


Рис. 4. Зависимости высоты вращающегося газожидкостного слоя от скорости газа в канале $D_c = 110$ мм и $V = 100; 200; 300$ мм. Точки (1–4): 1 – $f/F = 0,09$; 2 – $0,045$; 3 – $0,022$; 4 – $0,011$. Пунктирная линия – начало кольцевого режима

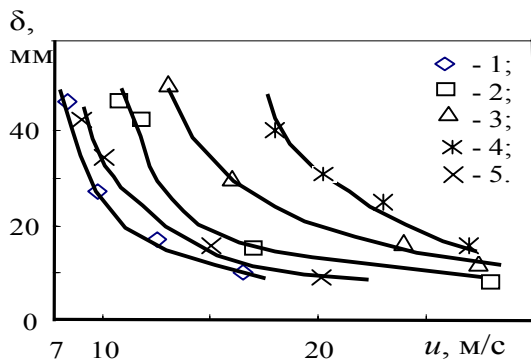


Рис. 5. Зависимости толщины вращающегося газожидкостного слоя от скорости газа в канале $D_c = 110$ мм, $t = 15$ °С, $V = 200$ мл. Точки (1–3) контактная ступень с тангенциальным завихрителем: 1 – $f/F = 0,031$; 2 – $0,021$; 3 – $0,015$. Точки (4–5) контактная ступень с осевым многолопастным завихрителем: 4 – $f/F = 0,031$; 5 – $0,011$

Для оценки высоты вращающегося газожидкостного слоя получено [2] выражение в виде:

$$H = C u^{0,46}, \quad (2)$$

где константа C в уравнении (2) определяется из начальных условий при $u = u_k$; $H = H_0/(1-\varphi)$ – высота газожидкостного слоя на ступени; $H_0 = V/(0,785 D_c^2)$ – высота столба жидкости на ступени.

Газосодержание. В начале кольцевого режима величина газосодержания на ступени с тангенциальным завихрителем не зависит от фактора крутки (рис. 6) и с увеличением объема жидкости на контактной ступени снижается.

Согласно полученным данным, с ростом скорости газа в каналах завихрителя наблюдается снижение газосодержания (рис. 7), что вызвано уменьшением диаметра пузырьков.

Для оценки величины газосодержания получено соотношение:

$$\varphi = C u^{-n} (\sigma / \sigma_0)^{0,25}, \quad (3)$$

где σ_0 – коэффициент поверхностного натяжения воды при температуре 20 °С; $n = 0,8$ для ступени с тангенциальным завихрителем и $n = 1,2$ – лопастным завихрителем. Величина константы C определяется из начальных условий.

Согласно обработке, представленной на рисунке 7б, наибольшее влияние на параметр φ оказывает параметр $f/F \cdot u$, который по размерности совпадает с удельным расходом газа.

Диаметр пузырьков газа на контактной ступени. Влияние конструктивных и технологических параметров контактной ступени с осевым многолопастным завихрителем показано на рисунке 8. Согласно данным, большое влияние на величину пузырька оказывает режим течения и фактор крутки. Изменение числа каналов практически не влияет на размер газового пузыря.

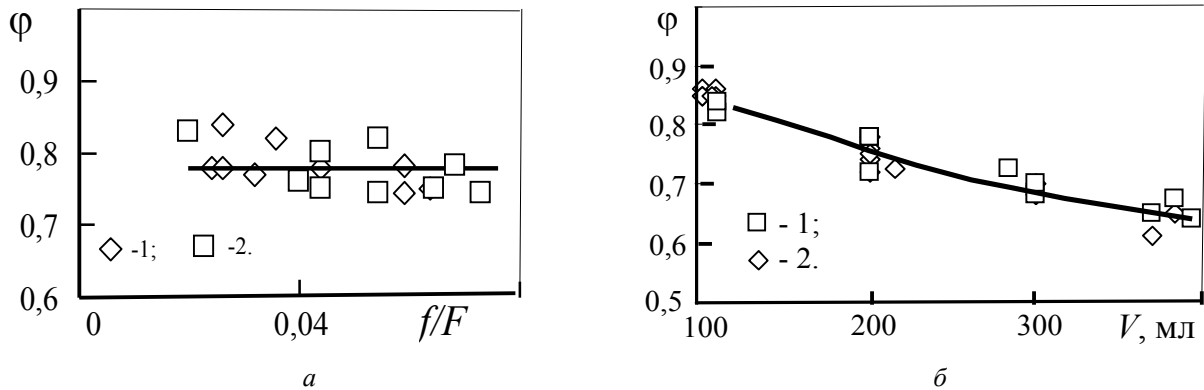


Рис. 6. Зависимость газосодержания на контактной ступени от фактора крутки (а) и объема жидкости на ступени (б) в начале кольцевого режима при $R_s = 44$ мм, $D_c = 100$ мм
 а – при $V = 200$ мл; $u = u_k$. Точки (1–2): 1 – ступень с тангенциальным завихрителем при $\delta_0 = 0,7-2$ мм, $n = 9-36$ шт.; 2 – ступень с лопастным завихрителем при $\delta_0 = 0,7-2$ мм, $n = 9-36$ шт.; б – Точки (1–2) согласно рисунку 6а

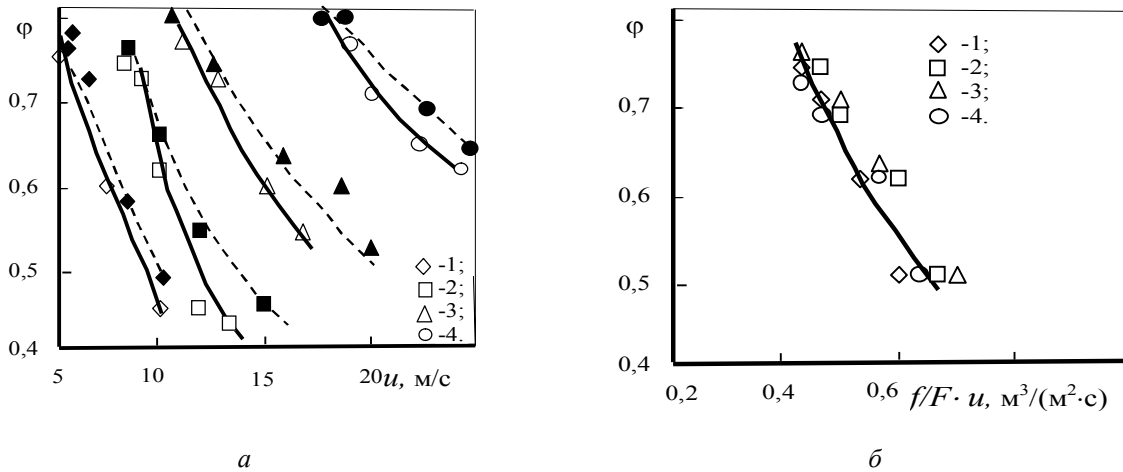


Рис. 7. Зависимости газосодержания от скорости газа в каналах (а) и параметра $f/F \cdot u$ (б) при $R_s = 44$ мм, $D_c = 100$ мм $V = 200$ мл. Точки (1-4): 1 – $f/F = 0,089$; 2 – $0,04$; 3 – $0,032$; 4 – $0,022$. Сплошные линии и прозрачные точки для конической ступени с лопастным завихрителем и темные точки для ступени с тангенциальным завихрителем при $n = 16$ шт., $l = 26$ мм, $\delta_0 = 1$ мм

Результаты расчета размера пузырьков газа по уравнению (4), рекомендованному для турбулентного потока [4], позволяют наиболее адекватно определять диаметр пузырьков при работе контактной ступени

$$d_n = 3,48 \left(\frac{\sigma^3}{\xi^3 \cdot \rho_{ж}^3 \cdot \varepsilon^2} \right)^{\frac{1}{5}}, \tag{4}$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; ξ – коэффициент сопротивления; ε – диссипация энергии, Вт/кг.

Диссипация энергии, входящая в уравнение (4), рассчитывалась по формуле $\varepsilon = E_{вн}/m$.

В предположении, что диссипация энергии происходит за счет внешнего трения о стенки и дно ступени ($E_{внеш}$) и внутреннего трения слоев жидкости и пузырьков газа ($E_{вн}$), можно записать [2]

$$E_{\text{вн}} = Q_{\text{г}} \rho_{\text{г}} \frac{u_{\text{г}}^2}{2} + Q_{\text{жс}} \rho H_{\text{жс}} g - Q_{\text{г-жс}} \rho_{\text{г-жс}} H_{\text{г-жс}} g - J \frac{w^2}{2} - \tau_{\text{г-жс}} f R w, \quad (5)$$

где $Q_{\text{г}}$, $Q_{\text{жс}}$, $Q_{\text{г-жс}}$ – расходы газа (пара), жидкости и газо-жидкостной смеси соответственно, м³/с; $\rho_{\text{г}}$, ρ , $\rho_{\text{г-ж}}$ – плотность газа (пара), жидкости и газо-жидкостной смеси соответственно, кг/м³; $u_{\text{г}}$ – скорость газа, м/с; H_0 – высота столба жидкости, м; H – высота газожидкостного столба, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; w – угловая скорость вращения газожидкостной смеси, с⁻¹; $\tau_{\text{г-жс}}$ – касательные напряжения на границе контакта жидкости и газа, Па; f – площадь контакта, м²; R_3 – радиус завихрителя, м.

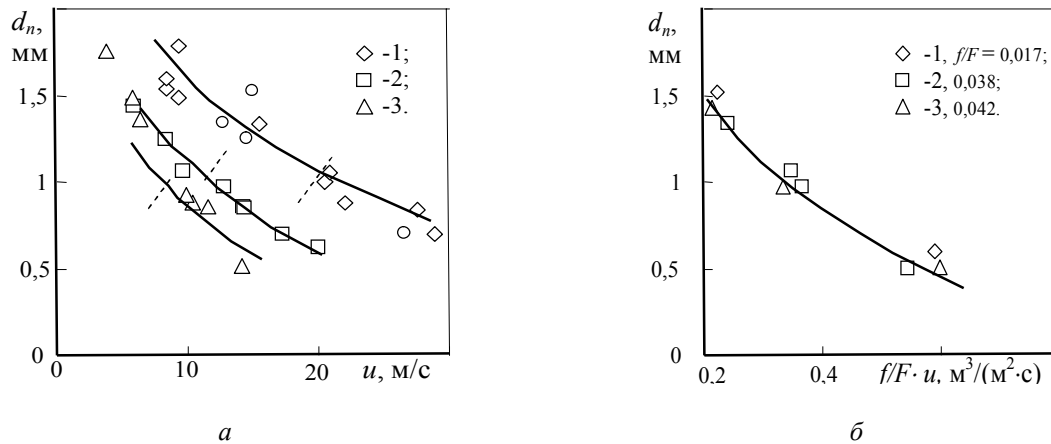


Рис. 8. Зависимость среднеповерхностного диаметра пузырьков газа от скорости газа в каналах (а) и параметра $f/F \cdot u$ (б) $D_c = 100$ мм, $R_3 = 44$ мм; $l = 8$ мм, $V = 200$ – 400 мл. Температура воды 15 °С.

Экспериментальные точки (1-3): 1 – $\delta_0 = 0,5$ мм, $n = 45$ шт, $f/F = 0,017$; 2 – 1, 45, 0,038; 3 – 2, 30, 0,042

Расчетные значения диаметра пузырьков газа, проведенные по изложенной методике, имеют большую величину (рис. 9, пунктирная линия) в сравнении с опытными. Это позволяет предположить, что дробление пузырьков газа на ступени обеспечивается не только силами внутреннего трения между вращающимися газожидкостными слоями, но и за счет давления, вызванного силами инерции. Исходя из общей зависимости для мощности [5]:

$$N = F \cdot v, \quad (6)$$

где F – действующая сила, Н; v – скорость, м/с.

Можно определить величину энергии, создаваемой силой инерции:

$$N = m \cdot \omega^3 \cdot R^2, \quad (7)$$

где m – масса жидкости на контактной ступени, кг; R – радиус завихрителя, м; ω – угловая скорость газожидкостного слоя, с⁻¹.

Сравнение экспериментальных и расчетных значений диаметра газового пузыря представлено на рисунке 9. Сплошная линия на рисунке 9 – значение диаметра пузыря с учетом мощности, создаваемой силой инерции.

Как видно, учет мощности, создаваемой силой инерции (зависимость (7)) в выражении (5) позволяет приблизить расчетные значения диаметра пузыря к экспериментальным.

Исследование массообмена на вихревых устройствах при ректификации. Как показали исследования адиабатной ректификации гидролизного этилового спирта, эффективность контактных ступеней в барботажном режиме составила $E_y = 0,3$ – $0,4$ (рис. 10), что не противоречит известным данным [3]. В кольцевом режиме течения эффективность контактной ступени возрастает в 1,7–2,0 раза, что вызвано увеличением межфазной поверхности и турбулентностью. Дальнейшее увеличение скорости пара при пленочном режиме не приводит к резкому повышению эффективности ступени, что также отмечалось в работе [6].

Величина эффективности, рассчитанная через число теоретических и действительных тарелок с использованием измеренной концентрации этанола в паре на верхней (21) ступени колонны (точки 3 на рисунке 8), составила $E_y = 0,5$ – $0,75$.

Эти средние значения эффективности, полученные по результатам работы всех ступеней колонны, согласуются с данными для отдельных ступеней (точки 1 и 2 соответственно на 5-й и 12-й ступени) и, таким образом, подтверждают достоверность представляемых величин.

Характерные значения межфазной поверхности контакта на ступени и коэффициента массоотдачи в жидкой фазе β_x от скорости пара представлены на рисунке 11. Наблюдается неодинаковый рост величин межфазной поверхности $a = (4-7) \times 10^3 \text{ м}^{-1}$ и коэффициента массоотдачи $\beta_x = (3-4) \times 10^{-3} \text{ м/с}$, с увеличением скорости пара, что подтверждает известное представление о влиянии на массообмен не только гидродинамики ступени, но и тепловых эффектов.

Согласно полученным данным, показанным на рисунке 12, с увеличением тангенса угла наклона равновесной кривой m , эффективность контактной вихревой ступени возрастает.

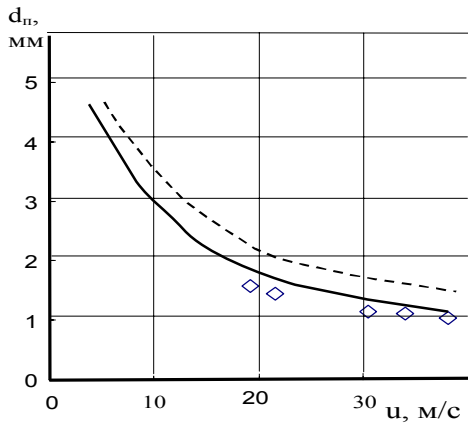


Рис. 9. Зависимость среднеповерхностного диаметра пузыря от скорости газа в каналах тангенциального завихрителя. Экспериментальные точки: $D = 330 \text{ мм}$, $\delta_0 = 15 \text{ мм}$, $l = 15 \text{ мм}$, $n = 8 \text{ шт.}$, $V = 2 \text{ л.}$ Пунктирная линия – расчет по уравнению (5) без учета выражения (7); сплошная линия – расчет по уравнению (5) с учетом выражения (7)

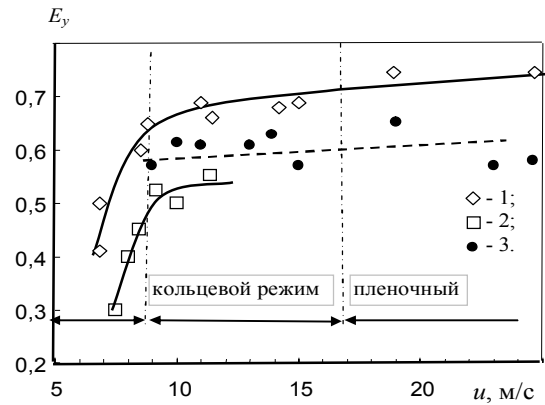


Рис. 10. Зависимость эффективности контактной вихревой ступени с тангенциальным завихрителем от скорости паров этилового спирта в каналах при $D_c = 0,1 \text{ м}$, $R_3 = 0,44$, $n = 36 \text{ шт.}$, $\delta_0 = 1 \text{ мм}$, $V = 150 \text{ мл}$, $R_\phi = 0,8 - 1,5$. Экспериментальные точки (1-3): 1 – $m = 1$; 2 – $0,2$; 3 – $0,75$

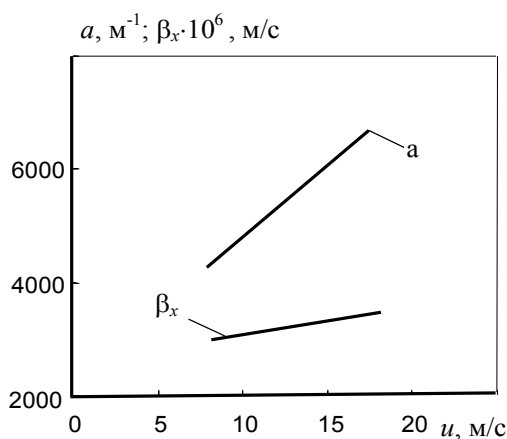


Рис. 11. Зависимость межфазной поверхности и коэффициента массоотдачи от скорости газа в каналах завихрителя при $D_c = 0,1 \text{ м}$, $n = 36 \text{ шт.}$, $\delta_0 = 1 \text{ мм}$, $V = 150 \text{ мл}$, $R_\phi = 0,8-1,5$; $m = 2,5$

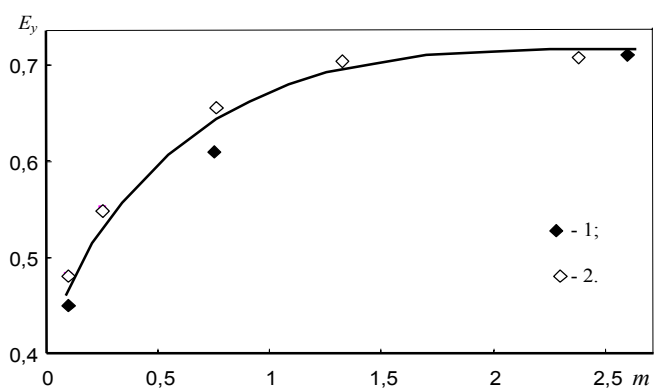


Рис. 12. Зависимость эффективности вихревой ступени от тангенса угла наклона равновесной кривой $D_c = 0,1 \text{ м}$, $n = 36 \text{ шт.}$, $\delta_0 = 1 \text{ мм}$, $V = 150 \text{ мл}$, $R_\phi = 0,8-1,5$. Экспериментальные точки (1-2): 1 – [4]; 2 – данные авторов

В результате анализа зависимости доли сопротивления массопереносу паровой фазы r от концентрации смеси этанол-вода (рис. 13) и данных по эффективности ступени, представленных на рисунке 12, был сделан вывод, что вихревые контактные ступени наиболее эффективны при разделении смесей, у которых основное сопротивление массопередачи сосредоточено в жидкой фазе. Обработка экспериментальных данных, согласно рисунку 14б, позволила определить коэффициенты в уравнении (4) для расчета числа единиц переноса.

$$1/N_{oy} = 0,7 Pr_n^{0,5} + 0,026 \lambda Pr_{жс}^{0,4}, \quad (8)$$

где N_{oy} – число единиц переноса; Pr_n , $Pr_{ж}$ – критерии Прандтля в паровой и жидкой фазах; $\lambda = mG/L$ – фактор массообмена.

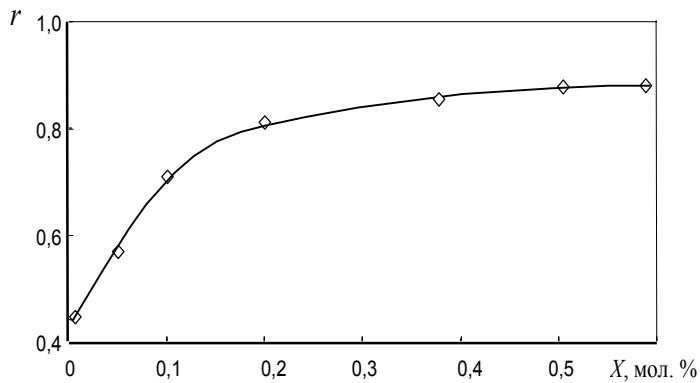


Рис. 13. Зависимость доли сопротивления массопередачи паровой фазы от концентрации этанола в смеси $D_c = 0,1$ м, $n = 36$ шт, $\delta_o = 1$ мм, $V = 150$ мл, $R_\phi = 0,8-1,5$

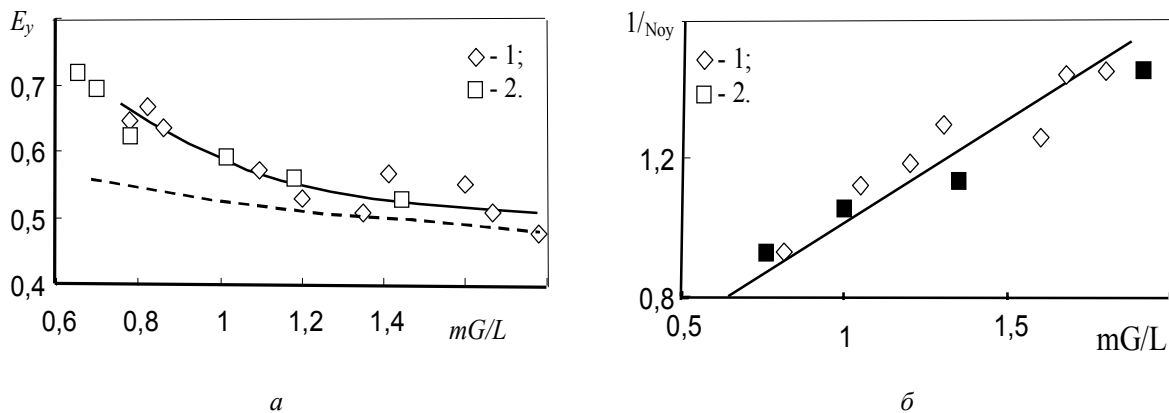


Рис. 14. Зависимость эффективности контактных ступеней и числа единиц переноса от фактора массообмена $m = 0,7$; $n = 36$; $\delta_o = 1$ мм; $R_\phi = 0,8-3$; $V = 150$ мл. Экспериментальные точки (1–2): 1 – данные авторов; 2 – данные работы [7]

Как установлено (рис. 11а), эффективность контактной ступени снижается при уменьшении фактора массообмена λ .

При $\lambda > 1$ для расчета эффективности контактной ступени наиболее приемлемо уравнение (9), предложенное в работе [8] на основе модели идеального перемешивания (пунктирная линия на рисунке 11а)

$$E_y = \frac{N_{oy}}{1 + N_{oy}}. \quad (9)$$

В области низких значений параметра mG/L наиболее адекватно экспериментальные точки описываются уравнением типа

$$E_y = 1 - \frac{1 + \lambda}{\lambda + \exp[N_{ov} \cdot (1 + \lambda)]}, \quad (10)$$

полученное [8] на основе модели идеального вытеснения.

При адиабатной ректификации эффективность контактных ступеней составляет 0,5–0,75 и с увеличением тангенса угла наклона равновесной кривой возрастает, поэтому вихревые контактные ступени наиболее эффективны при наличии основного сопротивления массопереносу в жидкой фазе. Увеличение межфазной поверхности на вихревой контактной ступени с ростом скорости пара при ректификации этилового спирта технического не приводит к одинаковому росту массоотдачи на ней.

Выводы

1. В результате экспериментальных исследований, полученных на гидродинамическом стенде, и при ректификации технического этилового спирта установлены режимы течения газожидкостной смеси на контактных ступенях с тангенциальными и осевыми завихрителями и их границы. Выявлена зависимость для расчета скорости газа в каналах, обеспечивающая начало вращательного движения смеси, и установлено, что для обеспечения вращения жидкости при минимальной скорости газа в каналах необходимо увеличивать фактор крутки, радиус завихрителя и уменьшать объем жидкости на ступени.

2. При адиабатной ректификации гидролизного этилового спирта эффективность контактных ступеней составила 0,5–0,8 и с увеличением тангенса угла наклона равновесной кривой возрастает. В этой связи вихревые контактные ступени наиболее эффективны при наличии основного сопротивления массопереносу в жидкой фазе. Увеличение межфазной поверхности на вихревой контактной ступени с ростом скорости пара при ректификации не приводит к одинаковому росту массоотдачи на ней.

Список литературы

1. Кустов А.В. Гидродинамика и массообмен на вихревых ректификационных ступенях при переработке растительного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2010. 22 с.
2. Войнов Н.А., Николаев Н.А., Кустов А.В. Гидродинамика и массообмен в вихревой ректификационной колонне // Химическая промышленность. 2008. №4. С. 730–735.
3. Рамм В.М. Абсорбция газов. М., 1975. 665 с.
4. Овчинников А.А. Динамика двухфазных закрученных турбулентных течений в вихревых сепараторах. Казань, 2005. 288 с.
5. Кустов А.В., Алашкевич Ю.Д., Мартыновская С.Н., Букельманов И.И., Шакуро А.Р. Определение диаметра газовых (паровых) пузырьков на вихревой ступени при ректификации // Хвойные бореальной зоны. 2015. №3-4. С. 160–163.
6. Коротков Ю.Ф. Гидродинамические закономерности в массообменном аппарате вихревого типа // Труды Казанского химико-технологического института. Вып. 45. 1970. С. 26–31.
7. Ульянов Б.А. Поверхность контакта фаз и массообмен в тарельчатых ректификационных аппаратах. Иркутск, 1982. 130 с.
8. Черных Г.Н. Исследование кинетики массопередачи при ректификации тройной и бинарной смесей в условиях восходящего прямотока: дис. ... канд. техн. наук. М., 1975. 156 с.

Поступило в редакцию 21 апреля 2016 г.

После переработки 16 июня 2016 г.

*Kustov A.V.**, *Artischeva N.A.*, *Mezhov V.G.*, *Alashkevich Yu.D.* STUDY OF VORTEX RECTIFICATION STEPS

Siberian State Technological University, pr. Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049 (Russia), e-mail: alexkust@rambler.ru

Analysis of possible ways to intensify mass transfer in gas – liquid system show that the use of such processes for new designs and upgraded packed bubble devices no longer provides a significant increase in specific productivity, efficiency and flexibility of the process units. In this regard, it is proved that the application of a system of interacting phases is the centrifugal acceleration in some cases, the easiest way to intensify heat and mass transfer. Rotating flow contributes to the fragmentation of gas bubbles on stage and prevent droplet entrainment. Vortex distillation columns are not inferior to their mass transfer parameters settings nozzle type, however, are more productive, less metal, and are scalable, have a wide range of stable operation, prevent tumor impurities due to the small volume of liquid in the stage and the short residence time in the contact zone. Upon reaching a relatively low resistance to the vortex step, these devices are capable of working under vacuum, provide high performance and allow by lowering the temperature to increase the volatility of the mixture, for example in the purification of ethanol and methanol, prevent tumor esters and aldehydes in the production of the hydrolysis alcohol, thereby providing a high performance product quality and yield.

Keywords: ethanol, distillation, the contact level, flow regimes, the critical speed, the mass transfer coefficient.

References

1. Kustov A.V. *Gidrodinamika i massoobmen na vikhrevykh rektifikatsionnykh stupeniakh pri pererabotki rastitel'nogo syr'ia: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Hydrodynamics and mass transfer in the vortex of distillation steps in the processing of vegetable raw materials: Abstract. Dis. ... Cand. tehn. sciences]. Krasnoyarsk, 2010, 22 p. (in Russ.).
2. Voinov N.A., Nikolaev N.A., Kustov A.V. *Khimicheskaya promyshlennost'*, 2008, no. 4, pp. 730–735. (in Russ.).
3. Ramm V.M. *Absorbtsiya gazov.* [Absorption of gases]. Moscow, 1975, 665 p. (in Russ.).
4. Ovchinnikov A.A. *Dinamika dvukhfaznykh zakruchennykh turbulentnykh techenii v vikhrevykh separatorakh.* [The dynamics of the two-phase swirling turbulent flows in vortex separators]. Kazan', 2005, 288 p. (in Russ.).
5. Kustov A.V., Alashkevich Yu.D., Martynovskaia S.N., Bukel'manov I.I., Shakuro A.R. *Khvoynye boreal'noi zony*, 2015, no. 3-4, pp. 160–163. (in Russ.).
6. Korotkov Iu.F. *Trudy Kazanskogo khimiko-tekhnologicheskogo instituta*, no. 45, 1970, pp. 26–31. (in Russ.).
7. Ul'ianov B.A. *Poverkhnost' kontakta faz i massoobmen v tarel'chatykh rektifikatsionnykh apparatakh.* [The surface of the contact phase and mass transfer in plate distillation apparatus]. Irkutsk, 1982. 130 p. (in Russ.).
8. Chernykh G.N. *Issledovanie kinetiki massoperedachi pri rektifikatsii troinoi i binarnoi smesei v usloviakh voskhodiashego priamotoka: dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Study of mass transfer kinetics during rectification triple and binary mixtures under asc-forward flow ducting: dis. ... Cand. tehn. sciences]. Moscow, 1975, 156 p. (in Russ.).

Received April 21, 2016

Revised June 16, 2016

* Corresponding author.