

Подоплелов Евгений Викторович,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: uch_sovet@angtu.ru

Тикунова Наталья Сергеевна,

студентка гр. ТМ-22, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

Филиппов Максим Анатольевич,

студент гр. ТМ-22, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО БАРБОТАЖНОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ 1,2-ДИХЛОРЭТАНА

Podoplelov E.V., Tikunova N.S., Filippov M.A.

GAS DISTRIBUTION DEVICE OF A BUBBLING REACTOR FOR PRODUCING 1,2-DICHLOROETHANE

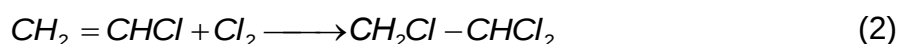
Аннотация. В работе предложено новое газораспределительное устройство для реактора жидкофазного хлорирования этилена, позволяющее обеспечить присутствие в газовой фазе капель аэрозоля с ингибитором. Наличие ингибитора в газовой фазе позволит снизить выход побочных продуктов.

Ключевые слова: 1,2-дихлорэтан, барботажный реактор, газораспределительное устройство.

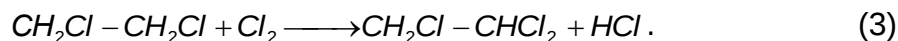
Abstract. A new gas distribution device for an ethylene liquid-phase chlorination reactor is proposed, which makes it possible to ensure the presence of aerosol droplets with an inhibitor in the gas phase. The presence of an inhibitor in the gas phase will reduce the yield of side products.

Keywords: 1,2-dichloroethane, bubbling reactor, gas distribution device.

В настоящее время основную часть 1,2-дихлорэтана получают жидкофазным хлорированием этилена в среде синтезируемого продукта. В процессе получения 1,2-дихлорэтана возможно образование побочных продуктов [1, 2] в результате протекания реакций заместительного хлорирования этилена с последующим присоединением к образовавшемуся винилхлориду хлора (1, 2):



и заместительного хлорирования 1,2-дихлорэтана до трихлорэтана (3):



Скорость реакций образования побочных продуктов в жидкой фазе ниже, чем в газовой. В жидкой фазе образование побочных продуктов происходит преимущественно по второму направлению. Выход побочных продуктов высших хлорпроизводных этана уменьшается в присутствии ингибитора – хлорида железа (III), возрастает с повышением концентрации хлора в 1,2-дихлорэтаноле и увеличением времени контакта между фазами [3, 4].

Для получения 1,2-дихлорэтана в химической промышленности используются барботажные реакторы с газораспределительными устройствами для ввода хлора и этилена [5]. Хлор вводится в нижнюю часть реактора, а выше в образовавшийся раствор хлора вводится этилен. В барботажном реакторе в га-

зовой фазе (в пузырях этилена) отсутствует ингибитор побочных реакций FeCl_3 , что создает условия для протекания побочных реакций заместительного хлорирования 1,2-дихлорэтана. С целью снижения скорости побочных реакций в газовой фазе предлагается установить на газораспределительном устройстве для ввода этилена (1) насадки (2) (рисунок 1), которые по конструкции схожи с эжекторами. При использовании таких насадок этилен будет эжектировать раствор хлора в 1,2-дихлорэтано с ингибитором FeCl_3 , который в виде капель аэрозоля распределится в пузырях этилена. На выходе из эжектора будем иметь мелкодисперсную газожидкостную смесь, представляющую собой аэрозоль 1,2-дихлорэтана с ингибитором FeCl_3 в газообразном этилене. Наличие ингибитора в газовой фазе позволит снизить образование побочных продуктов. В присутствии аэрозоля увеличится влагосодержание внутри пузыря этилена, а, следовательно, и плотность пузырей. В результате снизится скорость всплытия пузырей этилена и увеличится время пребывания пузыря в барботажном слое, т.е. время контакта этилена с раствором хлора. Замедление всплытия пузырей позволит увеличить газосодержание в зоне реакции и поверхность контакта фаз.

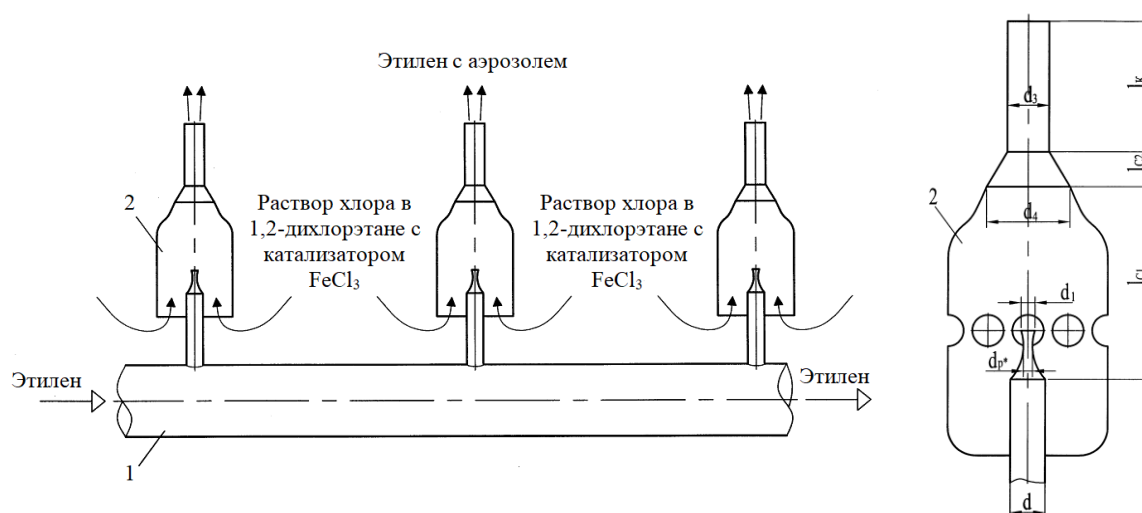


Рисунок 1 – Эжекционное газораспределительное устройство для ввода этилена

Для расчета газораспределительного устройства принципиально применимы расчетные уравнения, относящиеся к расчету газоструйных эжекторов с малой степенью сжатия эжектируемого потока. При этом предполагается, что в движущемся потоке, состоящем из этилена и раствора 1,2-дихлорэтана, жидкая фаза равномерно распределена в объеме газовой фазы и скорости жидкой и газовой фаз одинаковы по сечению. Расчет выполнялся по методике, приведенной в работе [6]. В качестве исходных данных принимались: давление этилена перед соплом $P_{ЭТ}=10$ ата, массовый расход этилена через одно сопло

$M_{ЭТ}=0,035$ кг/с, объемный расход этилена через одно сопло $V_{ЭТ}=125$ м³/ч (при нормальных условиях), число сопел: 24, общий расход этилена 3000 м³/ч (при нормальных условиях), температура этилена перед соплом $T_{ЭТ}=200$ °С, температура дихлорэтана перед эжектором $T_{ДХЭ}=800$ °С, давление дихлорэтана перед эжектором $P_{ДХЭ}=2$ ата, давление среды на выходе из эжектора $P_C=2,1$ ата, удельный объем дихлорэтана $\nu_{ДХЭ}=0,0008$ м³/кг.

При $\frac{P_{ДХЭ}}{P_{ЭТ}} = \frac{2}{10} = 0,2$ по газодинамическим таблицам [6] находим коэффициент

$\lambda=1,48$ и $\frac{f_0}{f_1} = 0,75$, где f_0 – площадь критического сечения сопла Лавалья,

f_1 – площадь выходного сечения сопла Лавалья.

Изменение давления дихлорэтана в эжекторе:

$$\Delta P_C = P_C - P_{ДХЭ} = 2,1 - 2 = 0,1 \text{ ата}$$

Критическое отношение давлений:

$$\Pi = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 0,546,$$

где $k=1,3$ – показатель адиабаты для этилена.

Оптимальное отношение сечений:

$$\left(\frac{f_2}{f_0} \right)_{\text{опт}} = \frac{k \cdot \Pi}{2} \cdot \frac{\varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \lambda}{\frac{\Delta P_C}{P_{ЭТ}}} = \frac{1,3 \cdot 0,546}{2} \cdot \frac{0,95 \cdot 0,975 \cdot 1,48}{\frac{0,1}{10}} = 49,$$

где φ_1, φ_2 – коэффициенты скорости, f_2 – площадь поперечного сечения камеры смешения эжектора.

Удельный объем этилена перед эжектором:

$$\nu_{ЭТ} = \frac{R \cdot T_{ЭТ}}{P_{ЭТ}} = \frac{297 \cdot 293}{1000000} = 0,087 \text{ м}^3/\text{кг},$$

где R – индивидуальная газовая постоянная, Дж/(кг·град).

Отношение удельных объемов дихлорэтана и этилена:

$$\frac{\nu_{ДХЭ}}{\nu_{ЭТ}} = \frac{0,0008}{0,087} = 0,009.$$

Отношение удельного объема этилена на выходе к удельному объему этилена на входе в эжектор:

$$\frac{\nu_C}{\nu_{ЭТ}} = \frac{P_{ЭТ} (273 + T_{ДХЭ})}{P_C \cdot (273 + T_{ЭТ})} = \frac{10 \cdot (273 + 80)}{2,1 \cdot (273 + 20)} = 6.$$

Поскольку объемный расход дихлорэтана намного меньше объемного расхода этилена на выходе из эжектора, то уравнение для расчета коэффициента эжекции принимает вид:

$$\frac{\Delta P_c}{P_{\text{ДХЭ}}} = \frac{f_0}{f_2} \cdot \frac{P_{\text{ЭТ}}}{P_{\text{ДХЭ}}} \left[\varphi_1 \varphi_2 k \Pi \lambda - \left(\frac{1}{\varphi_3} - 0,5 \right) k \Pi \varepsilon \frac{f_0}{f_2} \frac{v_c}{v_{\text{ЭТ}}} (1+u) \right],$$

где $u = M_{\text{ДХЭ}} / M_{\text{ЭТ}}$ – коэффициент эжекции, равный отношению массовых расходов эжектируемого дихлорэтана и рабочей среды – этилена; $\varphi_3 = 0,83$; $\varepsilon = 0,65$. Откуда коэффициент эжекции $u=11$. Таким образом, массовый расход дихлорэтана в 11 раз превышает расход этилена.

При расходе этилена на промышленном реакторе 3000 м³/ч расход дихлорэтана с растворенным катализатором через эжектор составит 25 м³/ч. Большая часть этого дихлорэтана на выходе из эжектора принимает вид аэрозоля, капли которого содержат катализатор FeCl₃. Таким образом, применение нового газораспределительного устройства для ввода этилена обеспечит присутствие в газовой фазе капель аэрозоля с ингибитором, что будет способствовать снижению скорости протекания побочных реакций и увеличению выхода целевого продукта – 1,2-дихлорэтана.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Рожков, В.И.** Закономерности жидкофазного хлорирования этилена / В.И. Рожков, О.А. Зайдман, Э.В. Сонин // Химическая промышленность. – 1991. – № 7. – С. 398-340.
2. **Подоплелов, Е.В.** Кинетика и селективность процесса жидкофазного хлорирования этилена в барботажном реакторе / Е.В. Подоплелов, Петрушин Г.А., Петрушина А.Д. // Вестник Ангарского государственного технического университета. – 2023. – № 17. – С. 95-99.
3. **Подоплелов, Е.В.** Массообмен между газом и жидкостью при получении дихлорэтана / Е.В. Подоплелов, А.В. Бальчугов, Б.А. Ульянов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2006. – Т. 49. – № 8. – С. 92-96.
4. **Подоплелов, Е.В.** Тепло– и массообмен при образовании пузыря в барботажном реакторе хлорирования этилена / Е.В. Подоплелов, А.В. Бальчугов, Б.А. Ульянов // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2006. – Т. 1. – № 1. – С. 186-189.
5. **Подоплелов, Е.В.** Исследование процесса перемешивания в барботажном реакторе жидкофазного хлорирования этилена / Е.В. Подоплелов, А.В. Бальчугов, В.Ю. Рахманин, А.В. Подоплелова // В сборнике: Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-26). Сборник трудов XXVI Международной научной конференции: в 2-х частях. Под общей редакцией А.А. Большакова. – 2013. – С. 61-62.
6. **Соколов, Е.Я.** Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.