

## КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯРНО-СТРУКТУРИРОВАННЫХ НАСАДОК

Регулярно-структурированная насадка – это один из вариантов внутреннего контактного устройства массообменной насадочной колонны, которое позволяет увеличить эффективность массопередачи между газом и жидкостью. Ее конструкция обладает высокой удельной поверхностью, низким гидравлическим сопротивлением, способностью равномерно распределять фазы по сечению аппарата вследствие однообразных каналов, образующих насадку, а также работать при более высоких нагрузках. Все это дает преимущество данному устройству при проведении процессов абсорбции, десорбции. Для подтверждения указанного, было принято решение провести экспериментальное исследование наиболее часто встречаемых в промышленности конструкций регулярно-структурированной и нерегулярной насадок.

Для этого были разработаны три регулярно-структурированные насадки (зигзагообразная, волнообразная, сотообразная) и одна нерегулярная – кольца Рашига. Конструкции и принцип работы описаны в работе [1].

Экспериментальная работа включала сравнительное исследование гидродинамических и массообменных характеристик при трех плотностях орошения  $U \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ : 0,003; 0,0036; 0,0043.

В результате исследований установлено, что наименьшее гидравлическое сопротивление имеет зигзагообразная насадка (до 300 Па/м), а наибольшее сотообразная (до 1200 Па/м). Данные по гидравлическому сопротивлению двух других укладываются в промежуток между двумя описанными [1].

Исследование эффективности массопередачи проводилось при десорбции  $\text{CO}_2$  из воды и насыщение воздуха парами воды. Для первой из них основное сопротивление массопередачи сосредоточено в жидкой фазе ( $E_{\text{ж}}$ ), для второй – в газовой ( $E_{\text{г}}$ ). Данные об эффективности массопередачи, полученные на других системах, укладываются в интервале между двумя указанными выше.

Исследование массопередачи показало, что наиболее эффективной конструкцией на всем промежутке изменения средней скорости противоточного движения газа была зигзагообразная насадка ( $E_{\text{ж}} = 0,85-0,95$  и  $E_{\text{г}} = 0,75-0,95$ ) [2].

На основании полученных результатов выполнено технико-экономическое сравнение различных видов насадки.

В качестве критерия при этом были приняты удельные энергозатраты  $J$ , Вт 1 с / м<sup>3</sup>. Определено, что наиболее энергоэффективной является зигзагообразная насадка ( $J = 50\text{--}260$  Вт 1 с/м<sup>3</sup>) [3].

Следующий этап работы заключался в исследовании влияния геометрических параметров энергоэффективной насадки на гидродинамику и массопередачу. Нами было спроектировано и разработано дополнительно две зигзагообразных насадки, где варьируемым параметром был размер длины стороны поперечного сечения канала (12 мм, 17 мм, 22 мм). Их мы условно обозначили: 3-12, 3-17, 3-22.

Результаты исследований показали высокую эффективность массопередачи по жидкости  $E_{ж}$  и газу  $E_{г}$  для насадки 3-12. Диапазон эффективной работы этой конструкции укладывается в промежуток 0–2,6 м/с [4].

Для эффективной работы колонны необходимо знать диапазон допустимых нагрузок по газу. Его верхний предел определяется по относительной величине брызгоуноса. Исследование показало, что с уменьшением стороны треугольного канала относительная величина брызгоуноса снижается. Поэтому для 3-12 она наименьшая на всем промежутке скоростей по газу. В итоге нами был установлен диапазон допустимых нагрузок по газу 0–4,2 м/с, который находится в пределах по допускаемой величине брызгоуноса равной 0,001% или 10 г/м<sup>3</sup> [5].

Данные экспериментальных исследований, полученные для разработанных насадок 3-12, 3-17, 3-22 позволили выполнить технико-экономическое сравнение по методике, изложенной в работе [3]. В результате этого удалось установить, что канал с размером стороны треугольника 17 мм является оптимальным.

Для возможности масштабирования и использования полученных данных для расчета промышленных аппаратов нами были использованы методы теории подобия. Известно, что на интенсивность массопередачи и гидродинамику наибольшее влияние оказывают критерии Рейнольдса для газа  $Re_y$  и жидкости  $Re_x$ , а также симплекс геометрического подобия  $\Gamma$ . Определяющим при этом являются диффузионный критерий Нуссельта для жидкости  $Nu'_x$  (основное сопротивление массопередачи в жидкости и газе) и гидродинамический критерий Эйлера  $Eu$ . В результате расчета получены критериальные уравнения (1, 2):

$$Nu'_x = Re_y^{0,247} \cdot Re_x^{-1,079} \quad (1)$$

$$Eu = Re_y^{-0,312} \cdot Re_x^{1,554} \quad (2)$$

В уравнениях (1, 2) был опущен симплекс геометрического подобия  $\Gamma$ , который приравнивается к единице из-за полученного показателя степени близкого к нулю [6].

Для углубленного изучения гидродинамики было проведено компьютерное моделирование течения жидких пленок для оптимального размера канала 17 мм. Нами выбрано две жидкости с большой разницей по вязкости: вода и 50% раствор NaOH. Их вязкость отличается в 50 раз. В качестве материала насадки использовалась кислотоупорная керамика. Толщина пленки на входе в канал принималась 0,5 мм [7].

На первом этапе были определены скорость пленки на входе, при которой полностью смачиваются стенки канала, а также изменение скорости и толщины пленки по длине канала [7].

На втором этапе исследовано влияние противоточного движения газа на гидродинамику пленки по длине канала и определены границы гидродинамических режимов. Изменений характера течения пленки при скорости воздуха меньше 13 м/с для воды и меньше 8 м/с для щелочи не наблюдалось. Для воды стабильный режим пленочного течения сохранялся при скорости газа до 16,0 м/с. В диапазоне 16,0...16,92 м/с устанавливался режим подвисяния. При скорости 16,95 м/с происходило разрушение пленки воды с интенсивным уносом. Для щелочи верхняя граница скорости газа, при которой реализуется пленочный режим течения, составляет 12,0 м/с. На поверхности пленки жидкости появляется рябь, которая увеличивается по длине канала с повышением скорости газового потока. При скорости газа 12,50...12,75 м/с начинается подвисяние, а выше 12,75 м/с – режим захлабывания и уноса [7].

Заключительной стадией работы было исследование влияния перфорации цилиндрического канала регулярно-структурированной насадки на основные параметры движения пленки. В результате получена математическая модель, позволяющая определять оптимальные соотношения геометрических и режимных параметров пленочного движения жидкой фазы в перфорированном цилиндрическом канале под воздействием закрученного газового потока [8].

В данной работе выполнен полный комплекс экспериментальных исследований основных характеристик регулярно-структурированных насадок, а также получены критериальные зависимости и разработана математическая модель для их расчета. Результаты данной работы могут служить ориентиром для исследователей в данной области, а также могут быть рекомендованы для инженерных расчетов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мытько Д.Ю., Вайтехович П.Е. Гидравлическое сопротивление регулярных насадок массообменных аппаратов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Строительство. Прикладные науки. – 2020. – № 8. – С. 33–38.
2. Вайтехович П.Е., Мытько Д.Ю. Сравнительный анализ эффективности регулярных насадок для массообменных аппаратов // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, гео-экология. – 2020. – № 2. – С. 44–49.
3. Вайтехович П.Е., Мытько Д.Ю. Технико-экономическое обоснование и выбор оптимальной насадки // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2021. – № 1. – С. 69–73.
4. П. Е. Вайтехович, Д. Ю. Мытько, А. М. Волк. Влияние геометрических параметров регулярной структурированной насадки на гидродинамику и массообмен // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2021. – № 2. – С. 67–71.
5. Мытько Д.Ю., Вайтехович П.Е. Исследование относительного брызгоуноса в массообменном аппарате с зигзагообразной регулярно-структурированной насадкой // Вестн. витебск. гос. техн. ун-та. Химическая технология и экология. – 2021. – № 2 (41). – С. 132–40.
6. Вайтехович П.Е., Мытько Д.Ю. Подобие процессов гидродинамики и массопередачи в регулярной структурированной насадке // Вестн. полоц. гос. ун-та. Промышленность. Прикладные науки. – 2022. – № 3. – С. 114–119.
7. Мытько Д.Ю., Вайтехович П.Е. Моделирование пленочного течения жидкости в канале регулярно-структурированной насадки // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2022. – № 8. – С. 14–17.
8. Волк А.М., Мытько Д.Ю. Исследование пленочного течения жидкости в перфорированном цилиндрическом канале регулярно-структурированной насадки // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2022. – № 6. – С. 3–6.