

УДК 622.276.63

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАССООБМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТНЫХ ТАРЕЛОК С ЗАКРУЧЕННЫМИ ГАЗОЖИДКОСТНЫМИ ПОТОКАМИ

Голубев В.Г., Садырбаева А.С., Калменов М.У., Беков Н.К.

Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова (160012, РК, г.Шымкент, пр. Тауке-хана, 5), e-mail [a.sadyrbaeva@mail.ru](mailto:a.sadyrbaeva@mail.ru)

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования массообменных характеристик контактных тарелок, имеющих закрученные газожидкостные потоки. Сопоставлены зависимость высоты единиц переноса в газовой фазе в аппарате с контактным элементом от скорости газа при  $n = 1000$  об/мин и различных нагрузках по жидкости, зависимость высоты единиц переноса в газовой фазе в аппарате с контактным элементом от нагрузки по жидкости при  $W_G=2,25$  м/с и различных частотах вращения ротора, а также зависимость высоты единиц переноса в жидкой фазе в аппарате с контактным элементом от скорости газа при  $n = 1000$  об/мин и различных нагрузках по жидкости и зависимость высоты единиц переноса в газовой фазе в аппарате с контактным элементом от нагрузки по жидкости при  $W_G=2,25$  м/с и различных частотах вращения ротора. Оценены достоинства и недостатки. Модернизация колонного оборудования и, в первую очередь, массообменных контактных тарелок, даст возможность повысить технологические его показатели, улучшить качественные и сэкономить потребление энергии, уменьшая циркулирующий объем жидкой фазы.

**Ключевые слова:** исследование, газожидкостные потоки, массообменные характеристики, аппараты, эффективность, единицы переноса, частота.

## INVESTIGATION OF MASS TRANSFER CHARACTERISTICS OF CONTACT PLATES WITH SWIRLING GAS-LIQUID FLOWS

Golubev V.G., Sadyrbaeva A.S., Kalmenov M.U., Bekov N.K.

M. Auezov South-Kazakhstan University (160012, Kazakhstan, Shymkent, Tauke khan avenue, 5), e-mail [a.sadyrbaeva@mail.ru](mailto:a.sadyrbaeva@mail.ru)

**Abstract.** The paper presents the results of a study of the mass transfer characteristics of contact plates having swirling gas-liquid flows. The dependence of the height of the transfer units in the gas phase in the apparatus with a contact element on the gas velocity at  $n = 1000$  rpm and various liquid loads, the dependence of the height of the transfer units in the gas phase in the apparatus with a contact element on the liquid load at  $WG=2.25$  m/s and various rotor rotation frequencies are compared, as well as the dependence of the height of the transfer units in the liquid phase in the apparatus with a contact element on the gas velocity at  $n = 1000$  rpm and various liquid loads and the dependence of the height of the transfer units in the gas phase in the apparatus with a contact element on the liquid load at  $WG = 2.25$  m/s and various rotor speeds. The advantages and disadvantages are evaluated. Modernization of column equipment and, first of all, mass transfer contact plates, will make it possible to increase its technological indicators, improve quality and save energy consumption by reducing the circulating volume of the liquid phase.

**Keywords:** research, gas-liquid flows, mass transfer characteristics, apparatuses, efficiency, transfer units, frequency.

**Введение.** Процессы массопередачи, использующие центробежные силы при взаимодействии различных фаз, отмечаются эффективностью, вызванную использованием центробежных ускорений, как одним из простых способов, позволяющих осуществлять интенсификацию массообмена [1-4]. В аппаратах такого типа массообмен осуществляется в

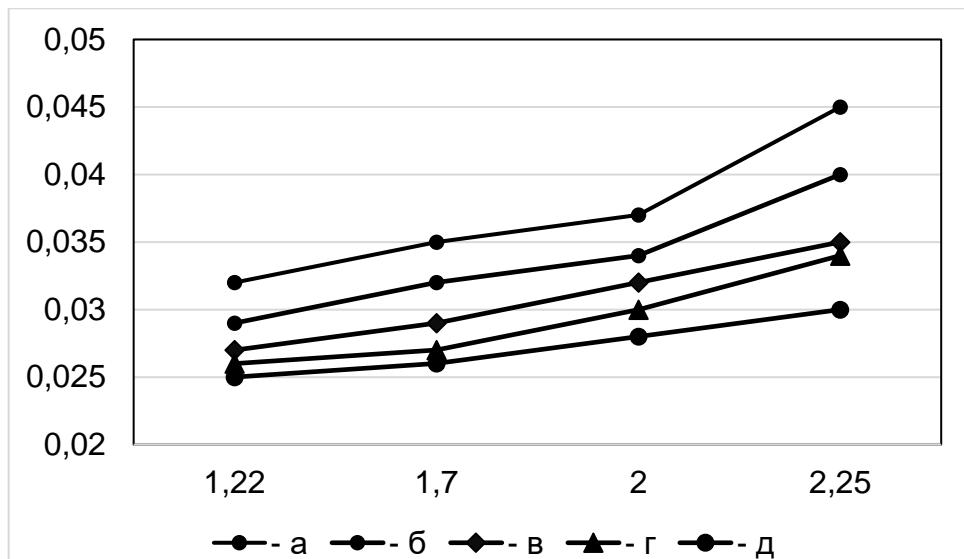
газовых пузырьках, мелких каплях и пленочной жидкости, которые образовываются механическим способом за счет конструктивных устройств.

**Актуальность.** Сопоставляя эффективность типового колонного оборудования и современных массообменных устройств очевидны преимущества последних, которые работают стабильно при небольшой плотности орошения с ограниченным периодом вхождения в стабильный режим. Большим достоинством таких аппаратов является то, что в них можно осуществлять автономную регулировку расхода газовой и жидкой фаз, а также центробежного ускорения. Это позволяет осуществлять оптимизацию самих процессов массообмена с целью получения исходного продукта. Именно использование центробежных ускорений позволяет равномерно распределять фазовый контакт, при помощи разнообразных контактных устройств с учетом свойств фаз при контакте.

**Обсуждение.** Закономерности массообмена с применением центробежных конструкций контактного типа изучались авторами работы [4-7], размер которых составлял диаметр порядка 200мм. Кинетика массообмена они определяли при помощи высоты единицы переноса.

Данными авторами [4,8] была создана модельная система, с помощью которой производилась оценка сопротивления, создаваемая газовой фазой. С помощью данной системы изучался процесс десорбции аммиака из водного раствора в поток воздуха. На рисунке 1 представлена зависимость высоты единицы переноса  $h_G$  от скорости газа при различных нагрузках по жидкости. На основании графика очевидно, что возрастание скорости газа снижает эффективность массоотдачи, а увеличение плотности орошения приводит к ее возрастанию [4,9].

На рисунке 2 представлена зависимость  $h_G$  от нагрузочной способности жидкой фазы при различном числе оборотов ротора. Результаты исследований позволили выяснить уменьшение единиц переноса с возрастанием плотности и возрастания количества оборотов ротора [10]. Таким образом, интенсивность массоотдачи увеличивается, а значит и значение  $h_G$ , которое становится от 25 до 30мм, при количестве оборотов ротора, равное 5000 об/мин. Типовые насадочные колонны осуществляют процесс абсорбции при высоте единиц переноса, равных 400-600 мм.



а -  $2,2 \text{ м}^3/\text{с}$ ; б -  $3,3 \text{ м}^3/\text{с}$ ; в -  $4,4 \text{ м}^3/\text{с}$ ; г -  $5,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ; д -  $6,6 \text{ м}^3/\text{с}$

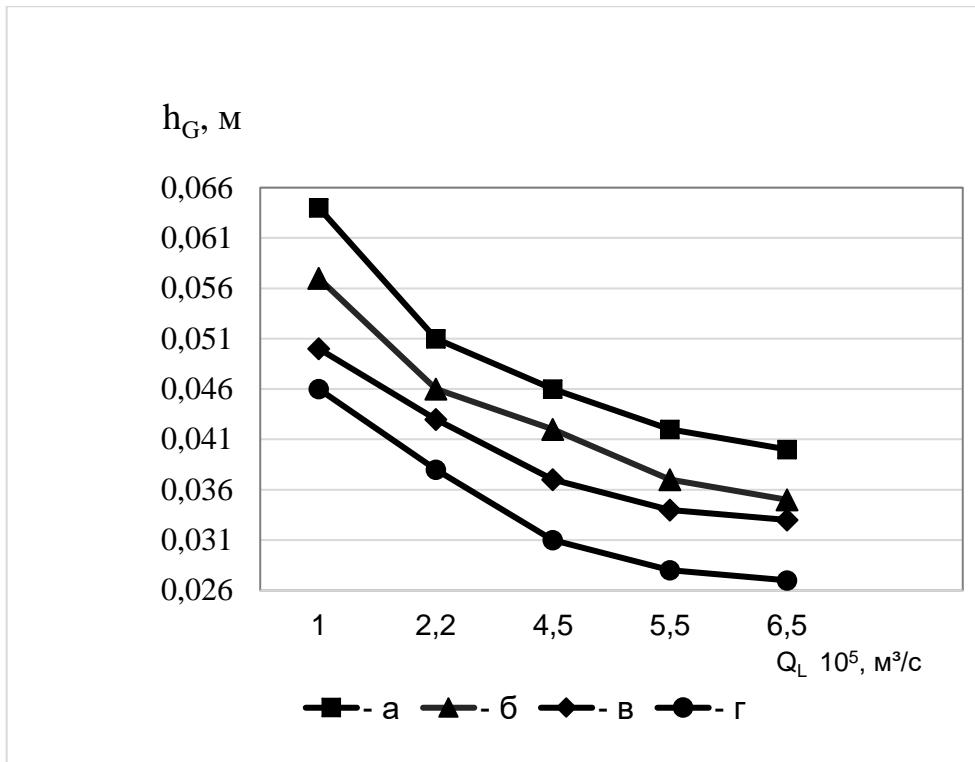
Рисунок 1 - Зависимость высоты единиц переноса в газовой фазе в аппарате с контактным элементом типа 1 от скорости газа при  $n = 1000$  об/мин и различных нагрузках по жидкости:  $Q_L 10^5$  [4,9].

Точность данного выражения, описывающего результаты экспериментов, составляют  $\pm 10\%$ .

В следующем примере представлены результаты исследования массоотдачи при десорбции диоксида углерода из воды в воздух, с контролем сопротивления в жидкой фазе. Зависимость  $h_L$  от скорости газа, отраженные на рис.3 показали, что при увеличении расхода газа высота единиц переноса в жидкости также увеличивается. Установлено инертное отношение эффективности массоотдачи к плотности орошения и значения  $h_L$  от нагрузки жидкой фазы, но их снижение с возрастанием вращательной скорости [4]. Это утверждение продемонстрировано на рис.3 [4]. При увеличении количества оборотов ротора от 2 тыс до 5 тыс.об/мин, значение  $h_L$  снижается в 3 раза от 30 до 10 мм. Обобщая эти результаты очевидно, что среднее значение  $h_L$  при  $\min$  массоотдаче в жидкости в центробежных аппаратах находится в диапазоне 15-20 мм, а в типовых колоннах оно достигает при десорбции углекислого газа примерно 100-200 мм [4].

Для выполнения расчета, касающегося эффективности массоотдачи в газовой фазе, предлагается корреляционная зависимость:

$$h_G/d_e = 1,522 Re_G^{0,39} Re_L^{-0,3} Fr^{-0,11} Sc_G^{0,66} \quad (1)$$



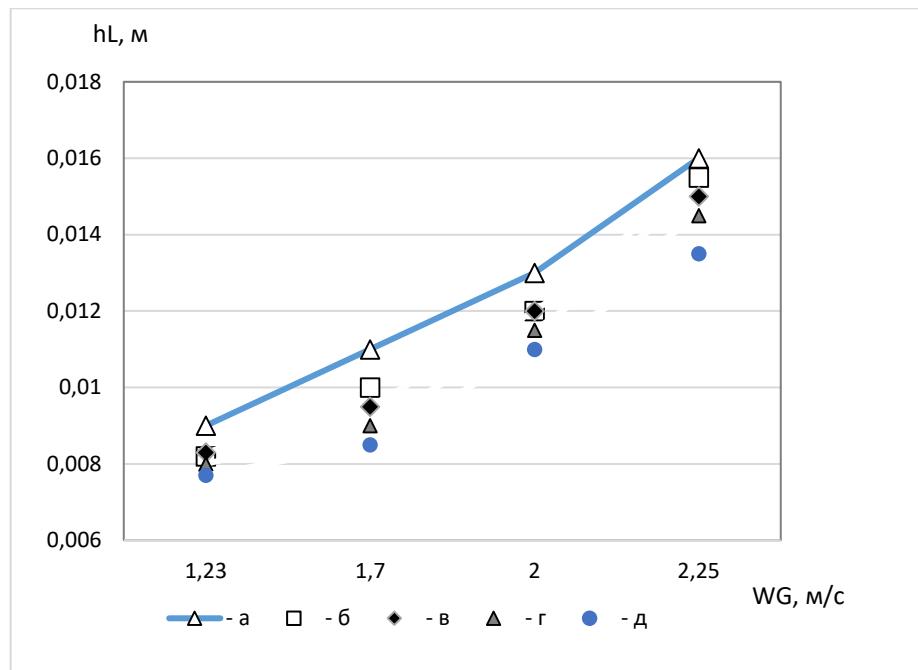
а - 2000 об/мин; б - 3000 об/мин; в - 4000 об/мин; г - 5000 об/мин

Рисунок 2 – Зависимость высоты единиц переноса в газовой фазе в аппарате с контактным элементом типа 1 от нагрузки по жидкости при  $W_G=2,25$  м/с и различных частотах вращения ротора  $n$ .

Эффективность коэффициентов массоотдачи в жидкости предложено определять по следующему корреляционному выражению [4]:

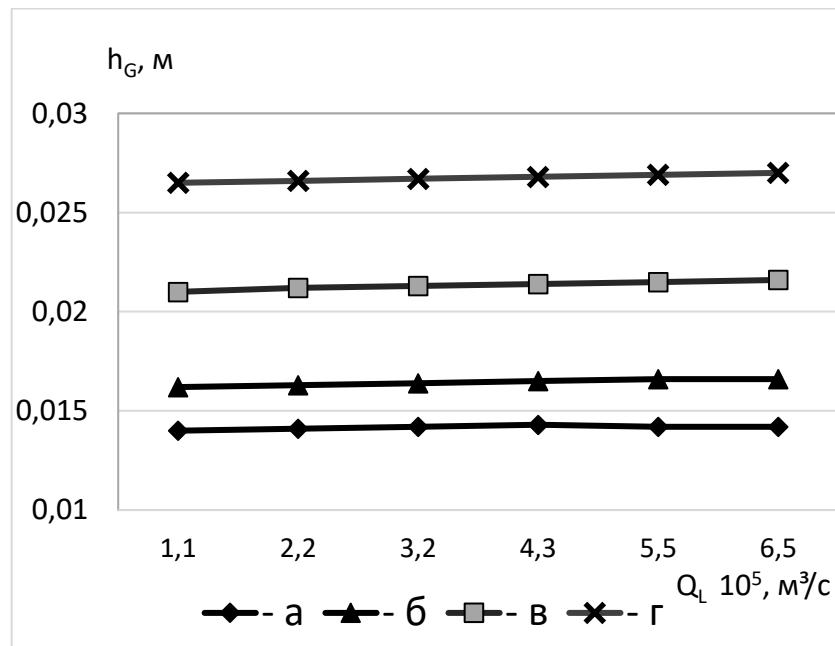
$$h_L/d_e = 0,181 \cdot 10^{-3} Re_G^{0,59} Re_L^{-0,42} Fr^{-0,11} Sc_G^{0,5} \quad (2)$$

Следовательно, массоотдача в жидкости аппаратов центробежного типа на порядок больше, чем у массообменного оборудования колонного типа, что дает предпосылки для использования их в ряде технологий. Сюда же можно включить и высокую интенсивность тепло и массообмена, перемешиваемость и качественное обновление в процессах барботажа [9-12].



а - 2,2 м<sup>3</sup>/с; б - 3,3 м<sup>3</sup>/с; в - 4,4 м<sup>3</sup>/с; г - 5,5 м<sup>3</sup>/с; д - 6,6 м<sup>3</sup>/с

Рисунок 3 – Зависимость высоты единиц переноса в жидкой фазе в аппарате с контактным элементом типа 1 от скорости газа при  $n = 1000$  об/мин и различных нагрузках по жидкости:  $Q_L 10^5$  [4].



а - 2000 об/мин; б - 3000 об/мин; в - 4000 об/мин; г - 5000 об/мин

Рисунок 4 – Зависимость высоты единиц переноса в газовой фазе в аппарате с контактным элементом типа 1 от нагрузки по жидкости при  $W_G=2,25$  м/с и различных частотах вращения ротора  $n$  [82].

В выражении определения числа Нуссельта  $Nu = ad_n/\lambda_r$  и числа Рейнольдса  $Re = w_n d_n / \nu_r$ , в работе [10] доказывается преимущества барботажных конструкций, использующих вращающиеся потоки, а также делается вывод о том, что показатели массообмена корректируются растворимостью газа и массообменом, осуществляемым в жидкости. Данное утверждение сделано на основе экспериментальных исследований по водной абсорбции диоксида азота, степень поглощения которого составляет 12-13%, что явно незначительно и говорит о несовершенстве процесса, объясняемым как незначительным периодом использования газа, так и незначительной растворимостью  $NO_2$  в  $H_2O$ . Данные обстоятельства требуют учета времени нахождения газовой фазы в слое, имеющем вращение, а также период протекания эффективной фазы самого процесса. Хорошие результаты показали исследования при улавливании аэрозолей, улавливаемых на 100% [9-11].

**Выводы.** Таким образом, закручивая в единый вихревой слой газ и жидкость, появляется возможность активизировать работу аппаратов барботажного типа, отличающихся устойчивой работой и существенно высокими скоростями потоков газа, достигающих около 5 м/с. Кроме того, они имеют развитую поверхность между фазами, стабильные габариты пузырьков газа, компактны, эффективный тепломассобмен в газовом потоке и небольшую материалоемкость.

### Список литературы

1. Сиренко В.И., Гидродинамика и массообмен в роторном аппарате центробежного типа // Сиренко В.И., Кулов Н.Н., Тютюнников А.Б. Теоретические основы химической технологии. – М., 1992, т.26, №2, -с.163.
2. Борисов И.И., Халатов А.А., Центробежные контакторы: основные типы и практическое применение. Обзор // Промышленная теплотехника. – 2007.-29, №2., 29-31 с.
3. Войнов Н.А., Николаев Н.А., Кустов А.В. и др. Вихревые контактные ступени для ректификации // Химия растительного сырья. 2008. №3., 173 с.
4. Борисов И.И., Халатов А.А., Шевцов С.В. Пылеулавливание в вихревом барботажном аппарате // Промышленная теплотехника. - 1995.-17, № 1-3., 21-25 с.
5. Казаков В. И., Кормановский Д. Г. Влияние геометрических характеристик газораспределительных устройств на гидродинамику вращающегося барботажного слоя // Процессы переноса в аппаратах энергохимических производств. - Новосибирск: Изд-во Ин-та теплофизики СО АН СССР, 2005. - С. 125-137.
6. Шиляев М. И., Дорохов А. Р. К расчету скорости вращения центробежно-барботажного слоя // Теплофизика и аэромеханика. - 1998. - 5, № 2. - С. 189-194.

7. Хафизов Ф.Ш. Использование кавитационно-вихревых эффектов в процессе абсорбционной очистки технологических газов от сероводорода / Ф.Ш. Хафизов, В.Г. Афанасенко, А.Ш. Хайбрахманов, И.Ф. Хафизов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2017. - №11. - С. 49-52.
8. Борисов И.И., Халатов А.А., Гидродинамика, тепло- и массообмен во вращающихся барботажных потоках. Доклады Национальной Академии Наук Украины, 2008. №3., 84-89 с.
9. Борисов И.И., Халатов А.А., Трение вращающегося барботажного потока о торцы вихревой камеры // Промышленная теплотехника. – 2004.-11, №2.,329-331 с.
10. Хафизов Ф.Ш. Применение аппаратов вихревого типа в процессе очистки газов от вредных примесей / Ф.Ш. Хафизов, В.Г. Афанасенко, И.Ф. Хафизов, А.Ш. Хайбрахманов, Е.В. Боев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2018. - №8. – С. 8-9.