

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ НА ЧАСТОТУ ВРАЩЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАССООБМЕНА КОНТАКТНОЙ СТУПЕНИ В РОТОРНОМ БЕСПРИВОДНОМ ДИСПЕРСИОННО-ПЛЕНОЧНОМ МАССООБМЕННОМ АППАРАТЕ

In the article influence of constructive parameters and velocity gas and liquid phases on rotation frequency of rotor and others work characteristics of without drive rotative mass-transfer apparatus are studied.

В химической, пищевой промышленности и в смежных с ними отраслях широко используются колонные теплообменные аппараты с противоточным движением взаимодействующих фаз [1, 2]. С целью интенсификации процессов переноса массы и теплоты, а также увеличения пропускной способности по фазам применяются колонные аппараты с вращающимися роторами, в которых подводимая внешняя механическая энергия используется для образования и обновления межфазной поверхности, турбулизации потоков и сепарации жидкости после контакта с газом (паром).

В настоящее время перспективным является использование роторных бесприводных массообменных аппаратов, в которых используется энергия движения газовой и жидкостной фаз для вращения ротора, диспергирования и сепарации жидкости с образованием развитой контактной поверхности, что позволяет отказаться от установки внешнего привода и приводит к уменьшению капитальных, энергетических и эксплуатационных затрат, снижает утечки продуктов взаимодействия через уплотнения валов и, как следствие, повышает безопасность работы на взрывопожароопасных производствах. Отсутствие внешнего привода дает возможность устанавливать такие аппараты для работы в районах, где отсутствуют энергопередающие линии. Поэтому дальнейшее совершенствование конструкции таких аппаратов и исследования их рабочих характеристик являются актуальными.

В работах [3–10] приведено описание принципа работы и исследованы некоторые рабочие характеристики усовершенствованного роторного бесприводного массообменного аппарата, в котором благодаря наличию жидкостного колеса, жестко закрепленного на валу аппарата над его верхней контактной ступенью, кинетическая энергия подаваемой на орошение жидкости эффективно используется для вращения ротора и образования контактной поверхности с последующей сепарацией жидкой фазы после взаимодействия с газом. Кроме того, наличие вентиляторных колес с малыми проходными сечениями

дает возможность более полного использования энергии газового потока для вращения ротора и диспергирования жидкой фазы. Установленные в аппарате вертикальные прямые лопатки спрямляют газовый поток, увеличивая динамическое давление на лопатках вентиляторных колес.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований частоты вращения ротора и эффективности массообменного процесса на контактной ступени в усовершенствованном бесприводном массообменном аппарате.

Исследования были проведены на системе воздух – вода при $t = 20^\circ\text{C}$.

Массовая плотность орошающей жидкости изменялась от $q_1 = 0,3 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ до $q_2 = 2 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Средняя скорость газа на поперечное сечение аппарата варьировалась от $W_1 = 2,5 \text{ м/с}$ до $W_2 = 3,4 \text{ м/с}$.

Угловая скорость вращения определялась с применением стробоскопического метода «остановки ротора» посылаемыми импульсами света [11].

Эффективность массообменного процесса на ступени контакта определялась методом адиабатического испарения воды в поток воздуха и рассчитывалась по формуле Мэрффи

$$E = \frac{x_1 - x_0}{x_1^* - x_0},$$

где x_0 и x_1 – влагосодержание воздуха на входе в ступень контакта и на выходе из нее; x_1^* – равновесное влагосодержание воздуха на выходе из контактной ступени. Внутренний диаметр корпуса аппарата равнялся 240 мм.

На рис. 1 представлены графические зависимости частоты вращения ротора от средней скорости газа в аппарате.

Согласно приведенным графикам, увеличение скорости газового потока приводит к значительному росту частоты вращения ротора. Очевидно, что с повышением скоростей газа увеличивается динамическое давление на лопатки вентиляторного колеса, возрастает крутящий момент на валу и угловая скорость вращения ротора.

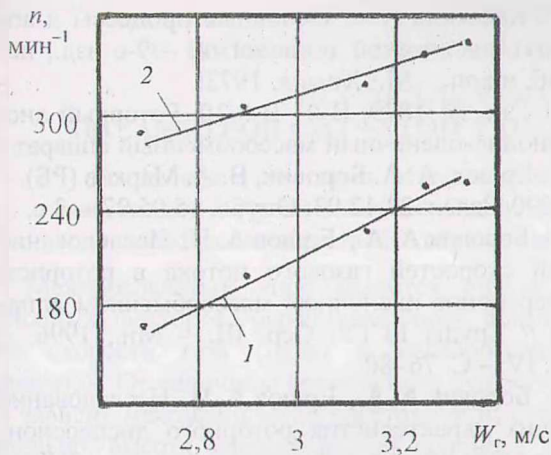


Рис. 1. Зависимость числа оборотов ротора от скорости газа: 1 – прототип; 2 – усовершенствованная конструкция; $q = 0,5 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$; $\mu_{\text{ж}} = 1 \text{ МПа} \cdot \text{с}$

Частота вращения ротора в модернизированном аппарате существенно выше, чем в прототипе, поскольку проходное сечение в плоскости вентиляторного колеса меньше, а скорости и давления газа на лопатках значительно выше.

На рис. 2 приведены графики зависимости частоты вращения ротора от плотности орошающей жидкости. Очевидно снижение частоты вращения при увеличении подачи жидкости на вращающиеся диспергирующие диски контактных ступеней аппаратов, что вызвано возрастанием массы жидкости на дисках и, как следствие, увеличением их инерционности. Кроме того, будет возрастать и тормозящее действие сил трения в подшипниках вала.

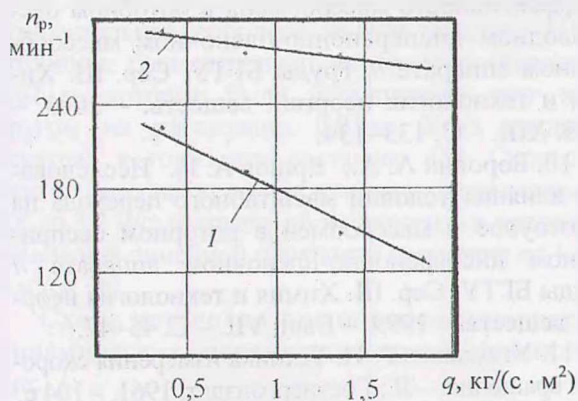


Рис. 2. Зависимость частоты вращения ротора от плотности орошения: $D_A = 240 \text{ мм}$; $W_g = 3 \text{ м}/\text{с}$; 1 – прототип; 2 – усовершенствованная конструкция

Вместе с тем снижение частоты вращения ротора из-за повышения плотности орошения менее существенно для усовершенствованной конструкции аппарата, чем для прототипа. Это

можно объяснить тем, что в модернизированном аппарате используется кинетическая энергия подаваемой на жидкостное колесо жидкости для дополнительного вращения вала с диспергирующими дисками.

На рис. 3 представлены зависимости эффективности массообмена от средней скорости газа в аппарате. Согласно приведенным графикам, увеличение скорости газа способствует повышению эффективности массообменного процесса на контактной ступени. Прежде всего, это связано с возрастанием сил динамического давления на лопатках вентиляторных колес и повышением крутящего момента на валу. При этом частота вращения ротора в модернизированном аппарате существенно выше, чем в базовом варианте при одинаковых скоростях газа и орошении жидкой фазы контактных ступеней. Это обусловлено, во-первых, уменьшением проходного сечения для газа в плоскости вентиляторных колес, ростом скоростей газового потока и давлений на лопатках вентиляторного колеса, во-вторых, спрямляющим действием вертикальных прямых неподвижных лопаток, позволяющих увеличить осевое динамическое давление на лопатках вентиляторных колес, а значит, и частоту вращения ротора.

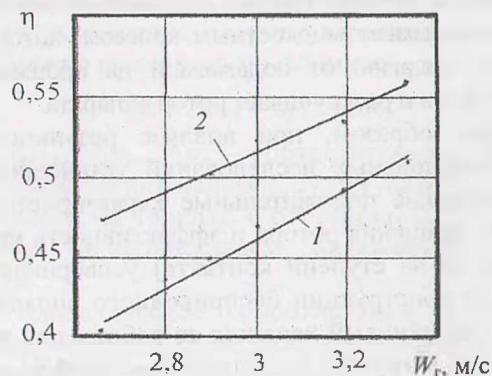


Рис. 3. Зависимость эффективности массообмена от скорости газа: $D_A = 240 \text{ мм}$; $q = 1 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$; 1 – прототип; 2 – усовершенствованная конструкция

Указанные факторы приводят к улучшению диспергирования жидкости вращающимся ротором, увеличению площади межфазной поверхности и к интенсификации процессов переноса массы между газом и жидкостью в зонах массообмена на ступени контакта, особенно в области образования жидкой пленки, стекающей по внутренней поверхности корпуса аппарата.

Увеличение подачи жидкости в массообменный аппарат (рис. 4) приводит к существенному уменьшению эффективности массообмена на ступени контакта по причине значительного снижения частоты вращения ротора (рис. 2) и,

как следствие, к ухудшению диспергирования жидкой фазы и обновлению контактной поверхности, уменьшению площади ее контакта с газовой фазой, а также снижению значений коэффициентов массоотдачи в жидкой фазе.

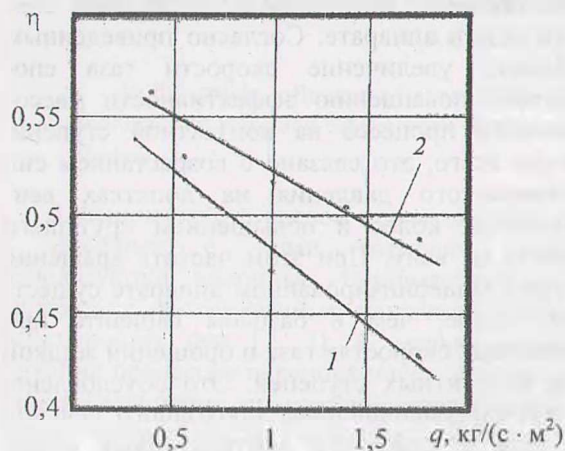


Рис. 4. Зависимость эффективности массообмена от плотности орошения: $D_A = 240$ мм; $W_r = 3$ м/с; 1 – прототип; 2 – усовершенствованная конструкция

Причем это снижение менее существенно для усовершенствованной конструкции аппарата, что объясняется дополнительным вращающим моментом, создаваемым жидкостным колесом, которое получает энергию от подаваемой на орошение жидкой фазы и раскручивает ротор аппарата.

Таким образом, при анализе результатов экспериментальных исследований установлены более высокие положительные характеристики (частота вращения ротора и эффективность массопереноса на ступени контакта) усовершенствованной конструкции бесприводного аппарата и более устойчивый характер ее работы при повышенных нагрузках по газовой и жидкой фазе.

Полученные результаты можно использовать при расчетах, проектировании и оптимизации бесприводных роторных массообменных аппаратов.

Литература

1. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987.

2. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1973.

3. Пат. № 1879, В 01 В 3/30. Роторный дисперсионно-пленочный массообменный аппарат / А. И. Ершов, А. А. Боровик, В. А. Марков (РБ). – № 1090; Заявл. 23.12.93; Опубл. 15.05.97. – 3 с.

4. Боровик А. А., Ершов А. И. Исследование полей скоростей газового потока в роторном дисперсионно-пленочном массообменном аппарате // Труды БГТУ. Сер. III. – Мн., 1996. – Вып. IV. – С. 76–80.

5. Боровик А. А., Ершов А. И. Исследование рабочих характеристик роторного дисперсионно-пленочного массообменного аппарата // Труды БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорганич. в-в. – Мн., 1994. – Вып. II. – С. 83–88.

6. Боровик А. А. Исследование влияния конструктивных параметров на рабочие характеристики роторного бесприводного массообменного аппарата // Труды БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорганич. в-в. – Мн., 1996. – Вып. IV. – С. 66–69.

7. Боровик А. А., Ершов А. И. Разработка математических методов расчета частоты вращения ротора бесприводного дисперсионно-пленочного массообменного аппарата // Труды БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорганич. в-в. – Мн., 1996. – Вып. IV. – С. 62–66.

8. Боровик А. А., Протасов С. К. Усовершенствование конструкции бесприводного роторного массообменного аппарата и исследование его рабочих характеристик // Труды БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорганич. веществ. – 2004. Вып. XII. – С. 117–120.

9. Боровик А. А., Протасов С. К., Мацкевич Д. П. Исследование влияния конструктивных усовершенствований на частоту вращения и эффективность массообмена в роторном бесприводном дисперсионно-пленочном массообменном аппарате // Труды БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорганич. веществ. – 2005. – Вып. XIII. – С. 133–134.

10. Боровик А. А., Ершов А. И. Исследование влияния условий масштабного перехода на брызгоунос и массообмен в роторном бесприводном дисперсионно-пленочном аппарате // Труды БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорганич. веществ. – 1999. – Вып. VII. – С. 45–47.

11. Утямышев Р. И. Техника измерения скоростей вращения. – Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 104 с.