

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ И БЕЗОПАСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РОТОРНЫХ МАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

А.А. Боровик, А.И. Ершов

Белорусский государственный технологический университет

Ключевые слова: массообмен, дисперсионно-пленочный, ротор, поток, влагосодержание, эффективность.

The results of complex investigation of hidrodinamic and mass-transfer characteristics of rotative dispersive-film mass-transfer apparatus are given.

В данной работе приводятся результаты исследования гидродинамических и массообменных характеристик роторного дисперсионно-пленочного массообменного аппарата, в котором энергия движения газового потока используется для вращения ротора, диспергации и сепарации жидкой фазы, что позволяет отказаться от установки внешнего привода с электрическим питанием, приводит к снижению энергетических и капитальных затрат и дает возможность широкого использования таких аппаратов во взрыво- и пожароопасных производствах.

С целью преобразования поступательного движения газа во вращательное движение ротора на валу установлено вентиляторное колесо с жестко закрепленными разгонными дисками, которые снабжены прямыми лопатками, предназначенными для диспергирования и сепарации жидкой фазы.

Исследования проводились на экспериментальной установке, включающей в себя модель роторного дисперсионно-пленочного массообменного аппарата, газодувку с воздухопроводами, насос с

системой трубопроводов и баком для жидкости, объемный сепаратор, вспомогательное оборудование и измерительные приборы. В задачу исследований входило установление диапазона устойчивой работы новой конструкции, который определяется величиной брызгоуноса, гидравлического сопротивления, частотой вращения ротора и эффективностью массообмена. В опытах применялись две жидкости с разными физическими свойствами: вода с вязкостью 1 мПа·с и раствор глицерица с вязкостью 76 мПа·с.

На первоначальном этапе изучался брызгоунос жидкости газовым потоком в зависимости от расходных характеристик каждой из фаз. При этом определялась величина относительного уноса жидкости, рассчитываемая по формуле

$$\Phi = \text{Ly}/L, \quad (1)$$

где Ly - количество унесенной жидкости, кг/с; L - количество поступающей в аппарат жидкости, кг/с.

При обработке опытных данных нами установлено, что для системы вода-воздух при скорости газа по сечению аппарата 3.35 м/с величина относительного уноса приближается к 10%, а для системы раствор глицерина-воздух величина относительного брызгоуноса 10% достигается при скорости газа 4.4 м/с по сечению аппарата. Следовательно, данные скорости можно принять за предельно допустимые нагрузки по газовой фазе. Результаты исследований по брызгоуносу представлены на рис. 1.

На втором этапе устанавливалась зависимость гидравлического сопротивления одной контактной ступени от скорости газа и расхода жидкости. Полученные результаты представлены на рис. 2. Согласно приведенному графику, в диапазоне устойчивой работы, т.е. при скоростях газа от 2.0 м/с до 3.35 м/с на сечение аппарата для системы вода-воздух и от 2.0 м/с до 4.4 м/с для системы раствор глицерина-воздух, потери напора не превышают 150 Па.

При изучении влияния нагрузок по газу и жидкости на числа оборотов ротора применялся стробоскопический способ измерения частоты вращения вала. Путем изменения частоты вспышек стробоскопа удавалось "остановить ротор", следовательно, в этот

момент времени частота вращения ротора равнялась частоте вспышек стробоскопа.

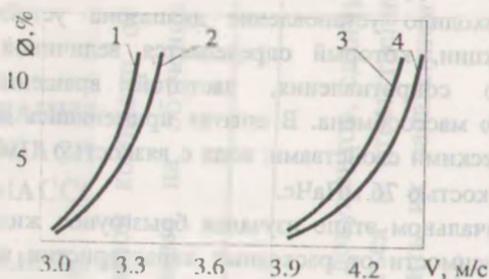


Рис. 1. Зависимость брызгоуноса от скорости газа: (1 мПа с) 1 - 50 кг/ч; 2 - 110 кг/ч; (76 мПа с) 3 - 50 кг/ч; 4 - 110 кг/ч.

Установлено, что число оборотов ротора сильно зависит от скорости газа и расхода жидкости. В частности, с повышением скорости газа увеличивается динамическое давление на лопасти, что приводит к возрастанию числа оборотов ротора.

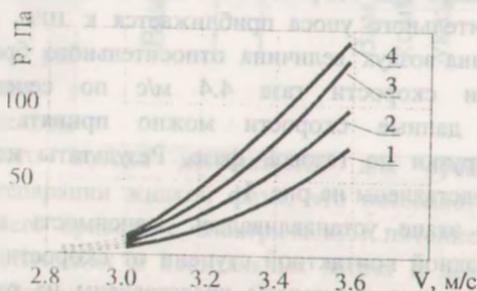


Рис. 2. Влияние скорости газа на величину потерь: (1 мПа с) 1 - 50 кг/ч; 3 - 110 кг/ч; (76 мПа с) 2 - =50 кг/ч; 4 - 110 кг/ч.

С другой стороны, при увеличении подачи жидкости на диспергирующий диск возрастает масса и, следовательно, инерция раскручиваемой среды, что приводит к заметному снижению числа оборотов. Результаты представлены на рис. 3.

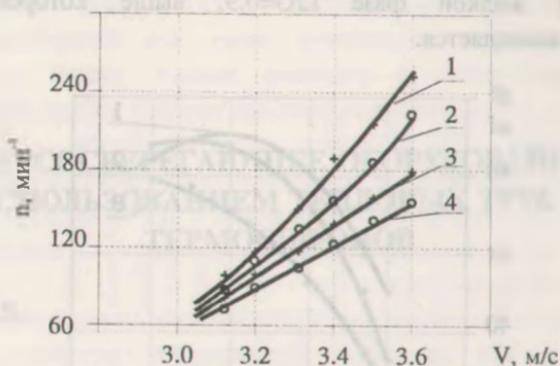


Рис. 3. Влияние скорости газа на число оборотов ротора: (1 МПа с) 1 - 50 кг/ч; 3 - 110 кг/ч; (76 МПа с) 2 - 50 кг/ч; 4 - 110 кг/ч.

При исследовании массообменных характеристик контактной ступени аппарата ее эффективность, или КПД, определялась как отношение прироста влагосодержания в результате взаимодействия газа с жидкостью к максимально возможному приросту влагосодержания при температуре воздуха в помещении:

$$E = (X_{\text{вых}} - X_{\text{вх}}) / (X_{\text{вых}^*} - X_{\text{вх}}), \quad (2)$$

где $X_{\text{вх}}$ - влагосодержание входящего в аппарат воздуха, кг/кг; $X_{\text{вых}}$ - влагосодержание выходящего из аппарата воздуха, кг/кг; $X_{\text{вых}^*}$ - равновесие влагосодержания воздуха на выходе из аппарата, кг/кг.

Полученные результаты представлены на рис. 4. Согласно рис. 4, с увеличением нагрузок по газу эффективность массообмена возрастает. Данный эффект можно объяснить тем, что с возрастанием скорости газа увеличивается частота вращения ротора, а следовательно, улучшается диспергирование жидкости, что приводит к увеличению площади межфазной поверхности и интенсификации массообмена.

Вместе с тем, из рис. 4 видно, что в области повышенных расходов жидкости происходит снижение эффективности массообмена из-за увеличения инерционности ротора и ухудшения диспергации жидкой фазы. На основании этих результатов можно выделить условный предел

нагрузки по жидкой фазе $L/G=0.9$, выше которого процесс массообмена замедляется.

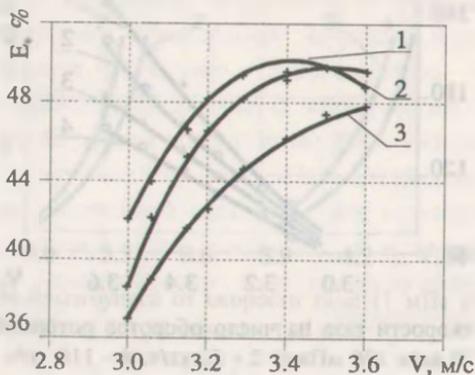


Рис. 4. Зависимость КПД ступени контакта от скорости газа: (1 мПа с) 1 - 50 кг/ч; 2 - 110 кг/ч; 3 - 170 кг/ч.

Следует отметить, что эффективность контактной ступени в рабочем диапазоне не ниже 40% не уступает КПД статических контактных устройств и сопоставима с КПД роторных аппаратов с внешним приводом.

Таким образом, в результате проведенных исследований для данной конструкции роторного дисперсионно-пленочного массообменного аппарата получены следующие результаты:

1) установлена зависимость брызгоуноса от скорости газа и расхода жидкости, согласно которой верхний предел нагрузок по газовой фазе равен 3.35 м/с на сечение аппарата для системы вода-воздух и 4.4 м/с для системы раствор глицерина-воздух;

2) получена зависимость потерь напора от режимных параметров, из которой следует, что гидравлическое сопротивление контактной ступени при рабочих скоростях газа не превышает 150 Па;

3) определена зависимость частоты вращения ротора от скоростей газа и расходов жидкой фазы;

4) установлена эффективность контактной ступени в зависимости от режимных параметров.