

приводит лишь к углублению деструктивных изменений и, как следствие, ухудшению показателя разбухания плит.

Путем решения задачи оптимизации были получены следующие параметры термообработки: температура -  $170^{\circ}\text{C}$ , время - 2,5 часа. Показатели качества плит при данных параметрах составляли: плотность -  $700\text{кг/м}^3$ ; предел прочности при изгибе - 36,7 МПа; разбухание - 7,5%. Анализ образцов на содержание свободного формальдегида (методом WKI) позволил отнести их к классу токсичности E1. Эти значения отвечают требованиям мировых стандартов на плиты MDF. По сравнению с получением плит MDF сухого способа производства мокрый способ имеет следующие преимущества: 1) достигается экономия энергии на размол за счёт снижения степени помола волокна с 35-45 ДС до 20-22 ДС; 2) сокращается расход связующих веществ в 3 раза; 3) повышается водостойкость плит и снижается их токсичность. Это подтверждает целесообразность перепрофилирования предприятий на выпуск плит типа MDF.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Перспективы развития производства древесностружечных и древесноволокнистых плит средней плотности в Северной Америке / Экспресс-информ. : Зарубежный опыт. Плиты и фанера. - М. : ВНИПИЭИлеспром, 1988.
2. Современное оборудование для изготовления плит средней плотности / Экспресс-информ. : Зарубежный опыт. Плиты и фанера. - М. : ВНИПИЭИлеспром, 1986.
3. Пен Р.З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства. - Красноярск : КГУ, 1982.
4. Соловьёва Т.В. Химические превращения лигноуглеводной матрицы древесины в производстве древесноволокнистых плит / Труды БГТУ, сер. 4. Химия и химическая технология органических веществ - 1994.-Вып. II.- С. 114-119.

УДК 621.928.1:66.074.615

В.А.Марков, доцент

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНО-СЕПАРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

The results of experimental trials of the designs for separation of gas flows from drops are represented in article. The designs are used in the separators and apparatus for absorption.

Среди сепараторов циклонного типа для отделения капельной жидкости от газового (парового) потока широкое применение нашли устрой-

ства элементного типа, в частности устройства, выполненные в виде цилиндрического патрубка с завихрителем в нижней его части и узлом сепарации в верхней [1,2]. По конструктивному исполнению предпочтительнее лопастные завихрители с прямыми лопатками, поскольку они проще в изготовлении по сравнению с тангенциальными или лопастными завихрителями, выполненными с профилированными лопатками. Что касается конструктивного исполнения узла сепарации, то меньшим гидравлическим сопротивлением обладает недиафрагмированный узел сепарации, представляющий собой, например, отверстия различной формы в стенке патрубка, расположенные на некотором расстоянии от завихрителя.

Проведенные исследования [3] на системе вода-воздух показали высокую эффективность разделения фаз этими конструкциями. Однако данные о влиянии вязкости жидкости на эффективность сепарации и гидравлическое сопротивление отсутствуют. В этой связи проведены экспериментальные исследования по изучению влияния конструктивных характеристик и газожидкостных нагрузок на эффективность сепарации (отток) жидкости разной вязкости. Опыты проводились на системе вода-воздух и водные растворы глицерина-воздух в пределах изменения вязкости жидкости  $(1,0-390) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  при атмосферном давлении. Количество отсепарированной жидкости измерялось отдельно для каждого ряда отверстий. При этом режимные и конструктивные параметры изменялись в пределах: число рядов отверстий -  $m = 1-5$ ; число круглых отверстий в ряду -  $n = 12-24$ , щелевидных -  $n = 3$ ; отношение суммарной площади отверстий в ряду к площади элемента  $\sum f_{\text{от}} / f_{\text{п}} = 0,07 - 0,21$ ; число Рейнольдса по газовой фазе -  $Re_{\text{г}} = (3,2-8,75) \cdot 10^4$ , по жидкой -  $Re_{\text{пл}} = 0,6-2280$ ; угол закрутки завихрителя -  $\beta = 30^\circ-60^\circ$ . Отверстия располагались по высоте элемента с шагом  $0,3 d$  ( $d$  - внутренний диаметр элемента, равный  $0,045 \text{ м}$ ). Нижний ряд отверстий был выполнен на расстоянии  $2,4 d$  от завихрителя. Для щелевидных отверстий отношение суммарной длины отверстий в ряду к длине периметра элемента составляло  $0,7$ .

На рис.1, где представлены некоторые результаты сравнительных исследований, показано, что эффективность сепарации  $\phi_{\text{ж}}$  (доля отсепарированной жидкости — отношение количества отсепарированной жидкости к общему количеству, поступающей в элемент), с увеличением вязкости жидкости заметно снижается как для элементов, выполненных с узлом сепарации в виде щелей или круглых отверстий, так и в виде колпачка. Увеличение газовых нагрузок приводит к некоторому повышению эффективности сепарации. Кроме того, установлено, что при одинаковом отношении  $\sum f_{\text{от}} / f_{\text{п}}$  эффективность сепарации выше у щелевидных отверстий по сравнению с круглыми. Это объясняется тем, что периметр для оттока

жидкости больше у первых. Увеличение отношения  $\sum f_{от}/f_{п}$  приводит к росту  $\varphi_{ж}$ , а повышение нагрузок по жидкости наоборот - к снижению  $\varphi_{ж}$ . Увеличение угла наклона лопастей завихрителя негативно сказывается на эффективности сепараци.

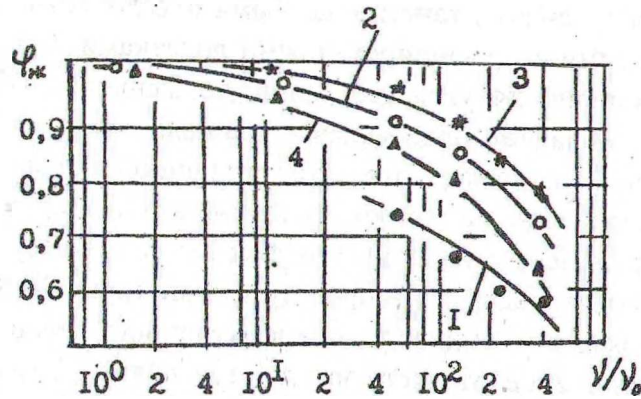


Рис. 1. Влияние вязкости жидкости на долю отсепарированной жидкости ( $m=5$ ,  $q=1,0 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{ч})$ ,  $\beta=30^\circ$ ). Элемент с круглыми отверстиями  $\sum f_{от}/f_{п}=0,18$ : 1-  $W_n=10,2 \text{ м/с}$ ; 2- 20,3; 3- 28,6; 4- элемент с колпачком ( $\delta=5 \text{ мм}$ ),  $W_n=20,3 \text{ м/с}$

Сравнивая результаты, полученные при исследовании эффективности сепарации элементов с круглыми отверстиями и элементов со щелями, следует отметить, что последние предпочтительнее.

Обработку экспериментальных данных по уносу дисперсной фазы А.М. Кутепов [4,5] предложил проводить используя критерий циклонного процесса, определяющий условия сепарации газо (паро)-жидкостных систем в поле действия центробежных сил

$$C_y = D^2 U^2 \frac{\rho_d - \rho_g}{\rho_g \nu_g^2}, \quad (1)$$

где  $D$  - диаметр циклонного сепаратора, м;  
 $U$  - окружная скорость газа (пара) в сепараторе, м/с;  
 $\rho_d, \rho_g$  - плотность дисперсной фазы и газа,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $\nu_g$  - коэффициент кинематической вязкости газа,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Однако, как показывают расчеты по (1), численные значения  $C_y$  имеют порядок  $\sim 10^{12}$ , т.е. приходится оперировать с большими числами. Поэтому полученные нами результаты эксперимента аппроксимированы простым выражением, позволяющим рассчитать долю отсепарированной жидкости  $\varphi_{ж}$ :

$$\varphi_{ж} = A_0 Re_2^a q^b \left( \frac{v_{жк}}{v_0} \right)^c \left( \frac{F_{от}}{f_n} \right)^d (tg\beta)^k, \quad (2)$$

где  $Re_2 = \frac{\omega_n d}{v_2}$  - число Рейнольдса ( $\omega_n$  - среднерасходная скорость газа в элементе, м/с);

$F_{от}$  - суммарная площадь отверстий для оттока жидкости в узле сепарации, м<sup>2</sup>;

$v_{жк}$  - коэффициент кинематической вязкости жидкости, м<sup>2</sup>/с.

Значение  $v_0$  принято равным  $10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

Численные значения коэффициентов, входящих в зависимость(2), приведены в таблице 1.

Табл.1. Значения коэффициентов в выражении (2)

Коэффициенты	$A_0$	a	b	c	d	k
Элемент со щелями	$1,65 \cdot 10^{-2}$	0,40	-0,188	-0,183	0,483	-0,63
Элемент с круглыми отверстиями	$16,5 \cdot 10^{-2}$	0,20	-0,240	-0,140	0,520	-0,21

При сопоставительном анализе опытных и расчетных по (2) значений среднее относительное отклонение не превышает 17 %.. Наряду с экспериментальными исследованиями эффективности сепарации были проведены также замеры гидравлического сопротивления "сухих" и орошаемых сепарационных устройств как с лопастными завихрителями, так и с тангенциальными, выполненными в виде щелей, суммарная площадь которых для прохода газового потока равна площади поперечного сечения патрубка (количество щелей принято равным шести). Замеры последнего осуществлялись U-образным манометром в том же диапазоне изменения режимных и конструктивных параметров, что и при исследовании эффективности сепарации. Очевидно, что гидравлическое сопротивление элементов, выполненных с узлом сепарации в виде щелей или отверстий при равных остальных геометрических параметрах, практически будет одинаковым. Поэтому измерение осуществлялось для элементов со щелями.

Из рис.2. следует, что численные значения гидравлического сопротивления существенно зависят от скорости газового потока и угла наклона лопаток завихрителя. С увеличением нагрузок по жидкости и ее вязкости сопротивление элементов также возрастает. Гидравлическое сопротивление сепарационных устройств с тангенциальными щелями несколько выше устройств с лопастными завихрителями, у которых угол наклона лопаток больше  $\sim 30^\circ$ - $35^\circ$ .

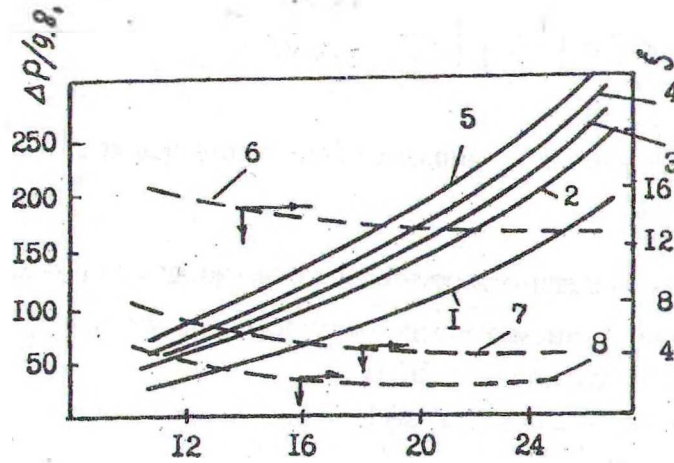


Рис.2. Влияние режимных и конструктивных параметров на гидравлическое сопротивление элемента: 1,2- $q=0$ ,  $\beta=30^\circ$  и  $45^\circ$  соответственно; 3,4-  $q=0,8 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{ч})$ ,  $q=1,3 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{ч})$  соответственно при  $\beta=45^\circ$  и  $v/v_0=72$ ; 5-  $q=0,8 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{ч})$ ,  $\beta=45^\circ$  и  $v/v_0=205$ ; 6,7,8-  $q=0$ ,  $\beta=30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  соответственно

В результате обработки опытных данных получены зависимости для расчета коэффициентов сопротивления "сухих" ( $\xi_{\text{сух}}$ ) и орошаемых ( $\xi_{\text{ор}}$ ) элементов:

для элементов, завихритель которых выполнен с тангенциальными щелями,

$$\xi_{\text{сух}} = 33,01 \text{ Re}_r^{-0,124}; \quad (3)$$

для элементов с лопастными завихрителями

$$\xi_{\text{сух}} = 225,2 \text{ Re}_r^{-0,32} (\text{tg}\beta)^{0,5}. \quad (4)$$

Гидравлическое сопротивление орошаемых элементов определяется по формуле

$$\xi_{\text{ор}} = \xi_{\text{сух}} + \Delta\xi, \quad (5)$$

где  $\Delta\xi$  - разность между коэффициентами сопротивления орошаемого элемента и "сухого".

Для расчета  $\Delta\xi$  получено выражение

$$\Delta\xi = 0,107 + 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ Re}_{\text{пл}} + 9,9 \cdot 10^{-3} (v/v_0). \quad (6)$$

Среднее относительное отклонение опытных и расчетных величин по (3) - (6) не превышает 10-15 %.

Следует отметить, что численные значения коэффициентов сопротивления "сухих" элементов несущественно отличаются от орошаемых,

особенно для невязких жидкостей, в соотношениях  $\frac{L}{G} < 1,0$  кг жидкости /кг газа, поэтому для этих условий можно принять  $\xi_{ор} = \xi_{сух}$ .

Полученные зависимости позволяют сделать расчет геометрических параметров узла сепарации этих элементов (без учета вторичного уноса) и могут быть рекомендованы при их проектировании и изготовлении для отделения капель жидкости от газовой фазы в массообменных аппаратах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ершов А.И., Плехов И.М. Новые конструкции сепараторов для очистки промышленных газов. - Минск: БелНИИТИ, 1973.
2. Левданский Э.И., Плехов И.М., Ершов А.И. Центробежные сепараторы. - М.: НИИТЭХИМ, 1983. - № 2. - С. 57.
3. Марков В.А. Экспериментальные исследования эффективности разделения газожидкостной смеси // Химическая промышленность. - 1991. - №1. - С. 54-55.
4. Кутепов А.М. Расчет сепараторов циклонного типа // Химическая промышленность. - 1964. - №4. - С. 55-58.
5. Николаенко А.А., Кутепов А.М., Тютюнников А.Б. Разработка и исследование центробежных сепараторов для тепло- и массообменных аппаратов // Труды МИХМ. - М., 1969. - Т.1. - Вып.1. - С. 243-247.

УДК 66.015.23.66.048

А.И.Ершов, профессор;

А.А.Боровик, асс.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ МАССООБМЕНА НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНКИ В АППАРАТЕ РОТОРНОГО ТИПА

In the article film mass-transfer of contact stage of rotative without drive dispersive-film mass-transfer apparatus are considered.

В сравнении с существующими конструкциями контактных устройств [1,2], использующих энергию газового потока для вращения диспергирующих элементов, разработанный нами роторный бесприводной массообменный аппарат [3,4] отличается рядом преимуществ. В частности, важным достоинством такого аппарата является то, что массообменный процесс протекает как между образующимися в результате диспергирования каплями жидкой фазы и газовым потоком, так и на поверхности стекающей по стенке пленки.

Ранее проведенные исследования эффективности массообмена [4] дают возможность установить зависимость КПД ступени контакта в целом