

УДК 621.928.3/9:66.04.37

С. К. Протасов, доцент (БГТУ); А. А. Боровик, доцент (БГТУ); А. П. Яровой, аспирант (БГТУ)

СЕПАРАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ МАССООБМЕННЫХ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ ТАРЕЛЬЧАТОГО ТИПА

В работе рассмотрена новая конструкция сепарационного устройства для массообменных тарелок с невысоким гидравлическим сопротивлением. При скорости газа до 2,6 м/с на сечение колонны капельный брызгоунос из сепарационного устройства практически отсутствует, а на скорости газовой фазы 3 м/с брызгоунос в пределах допустимого. На основании экспериментальных исследований получены уравнения для определения относительного брызгоуноса и гидравлического сопротивления массообменной тарелки в зависимости от скорости газа и плотности орошения.

In work the new design separation devices for mass-transfer plates with rather low hydraulic resistance is considered. Till speeds of gas of 2,6 m/s on column section drop ablation from separation devices practically is absent, and at speeds of a gas phase to 3 m/s carry-over of liquid rather moderated. On the basis of the spent experimental researches the settlement equations for definition relative carry-over of liquid and hydraulic resistance mass-transfer plates depending on speed of gas and irrigation density are received.

Введение. При прохождении газа (пара) через слой жидкости на контактных тарелках массообменных аппаратов образуются капли, которые уносятся газовым потоком. При повышенных нагрузках по газу капельный брызгоунос становится массовым, нарушается противоточное движение фаз и существенно уменьшается движущая сила процессов переноса, а также возрастают потери ценных продуктов. Для снижения брызгоуноса увеличивают диаметр колонн либо межтарельчатое расстояние, т. е. габариты аппарата, что приводит к возрастанию капитальных и энергетических затрат. С целью снижения капельного уноса без существенного увеличения размеров аппарата над (или под) массообменными тарелками устанавливают сепараторы различных конструкций (каплеотбойники, брызгоуловители и др.).

Основная часть. После проведенного анализа существующих конструкций брызгоуловителей и каплеотбойников в БГТУ на кафедре процессов и аппаратов химических производств разработана новая конструкция сепаратора для массообменных тарелок (рис. 1, а и б), являющаяся развитием устройства, описанного в работах [2, 3].

Сепаратор состоит из ряда параллельных горизонтально расположенных плоских пластин 5, установленных друг над другом таким образом, что над полотном 2 массообменной тарелки образуются два и более одинаково ориентированных скатов с проходами между отбойными пластинами для газожидкостного потока. Кроме того, в отличие от конструкции тарелки для теплообменного аппарата [2] сепаратор включает разделительную перегородку б.

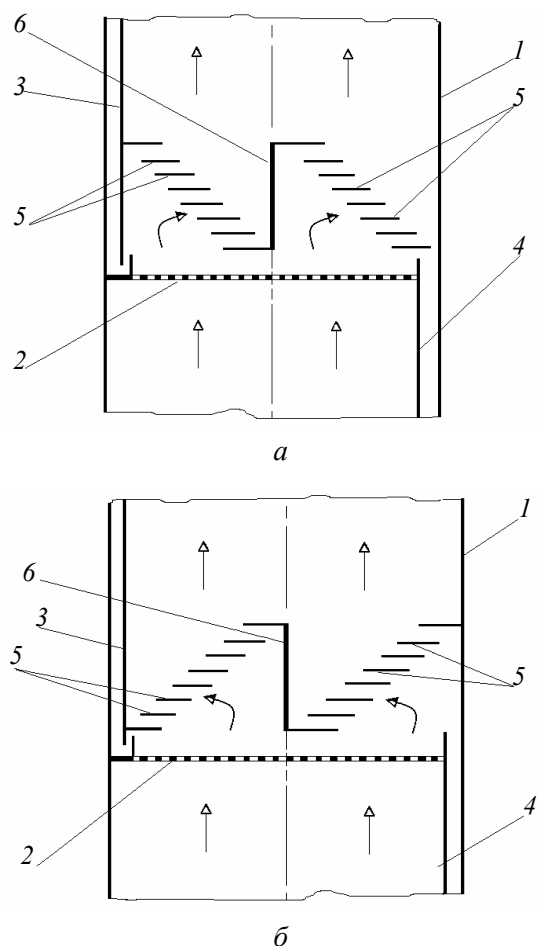


Рис. 1. Массообменная тарелка с сепарационным устройством:

- а – прямая ориентация скатов;
- б – обратная ориентация скатов;
- 1 – цилиндрический корпус; 2 – полотно массообменной тарелки; 3 – переливное устройство вышерасположенной тарелки; 4 – переливное устройство для слива жидкости; 5 – плоские пластины; б – разделительные перегородки

Массообменная тарелка 2, установленная в цилиндрическом корпусе 1 колонны содержит переливное устройство 3 вышерасположенной тарелки и переливное устройство 4 для слива жидкости. Жидкость из переливного устройства 3 поступает на полотно тарелки 2 и по нему перетекает к переливному устройству 4.

Газовая фаза поднимается по колонне снизу вверх и барботирует через слой жидкости на тарелке с образованием пены и капель. При этом часть капель жидкости уносится вверх газовым потоком в виде газожидкостного потока. Попадая в зазоры между пластинами 5, газожидкостной поток дважды меняет направление своего движения. Благодаря большей инерционности, чем газ, одна часть капель ударяется о пластины и, отражаясь от них, возвращается на полотно тарелки. Другая часть капель образует на поверхности пластин 5 пленку, которая под действием проходящего в зазорах между пластинами 5 газового потока выбрасывается из скатов в виде капель и струек. Причем для тарелки, схема которой представлена на рис. 1, а, выбрасываемая жидкость двигается к поверхности корпуса 1 или к поверхности разделительной перегородки б, достигнув которых стекает вниз в виде пленки. Жидкая пленка, двигаясь по поверхности корпуса 1, проходит зазор, образованный корпусом колонны и нижней отбойной пластиной крайнего ската, и удаляется по переливному устройству 4 на нижележащую тарелку. Жидкость, стекающая по поверхности разделительной перегородки б, достигает нижней отбойной пластины ската, откуда сливается на полотно тарелки 2. Для контактной тарелки, схема которой представлена на рис. 1, б, выбрасываемая из скатов жидкость в виде капель и струек двигается к поверхности переливного устройства 3 либо к поверхности разделительной перегородки б, попадая на которые, стекает вниз в виде пленки и по нижним отбойным пластинам 5 каждого ската сливается на полотно тарелки 2. Очищенный от жидкости газ, имеющий значительно меньшую плотность, плавно поворачивается и уходит на вышележащую тарелку, где взаимодействие фаз повторяется.

При этом разделительная перегородка б препятствует проскоку газокapельного потока между скатами сепаратора и полностью направляет его в зазоры между пластинами 5. Кроме того, перегородка б не позволяет жидкости, отделенной от газа одним скатом, попасть в зону сепарации другого ската. Таким образом организуется циркуляция (возврат) унесенной газом жидкости на массообменной тарелке. Причем направление движения отсепарированной жидкости совпадает с общим направлением движения жидкой фазы на полотне тарелки 2 для схемы а

и противоположно для схемы б (рис. 1). Следовательно, время пребывания в зоне контакта на полотне тарелки 2, возвращаемой сепарационным устройством жидкости, существенно больше для тарелки, выполненной по схеме б, чем по схеме а. Поэтому схема б предпочтительнее для массообменных процессов, в которых основное диффузионное сопротивление переносу вещества сосредоточено в жидкой фазе (например, при абсорбции плохо растворимых газов). В противном случае рекомендуется использовать схему а. Кроме того, совместное движение и взаимодействие газа и жидкости в сепараторе создают дополнительную зону контакта фаз и интенсифицируют массообмен. Применение двух или более скатов небольшой высоты уменьшает высоту сепаратора и колонны в целом, что позволяет снизить капитальные затраты.

Вторым этапом работы стало исследование рабочих характеристик массообменной тарелки с установленным над ней сепаратором. Одним из основных параметров, характеризующих эффективность разделения газовой и жидкой фаз в сепараторе, является относительный унос жидкости, который представляет собой отношение массового расхода унесенной из сепаратора жидкости к массовому расходу газового потока, проходящего через поперечное сечение колонны. Другой важной рабочей характеристикой является гидравлическое сопротивление массообменной тарелки с сепаратором, поскольку именно гидравлическое сопротивление, т. е. потери давления в газе, характеризует энергетические затраты на проведение процесса и определяет изменение условий (давления) по высоте колонны.

Исследования относительного брызгоуноса и гидравлического сопротивления были проведены на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 2. В качестве массообменной тарелки использовалась барботажная тарелка 2 ситчатого типа, широко применяемого в промышленных колонных аппаратах. Сепарационное устройство было установлено по схеме а рис. 1 и размещено на высоте 0,07 м над полотном тарелки 2. При этом угол наклона скатов сепаратора составил 45° , а расстояние между пластинами 5 (рис. 1, а) – 0,01 м. Доля свободного сечения тарелки – 7%, а диаметр перелива – 0,168 м. Исследования проводились на системе воздух – вода при температуре 20°C в колонном аппарате с внутренним диаметром 240 мм. При этом скорость газа по сечению колонны изменялась в пределах от 0,6 до 3,4 м/с, а линейная плотность орошения – от 1 до 9 $\text{м}^3/(\text{м}\cdot\text{ч})$. Установка работает следующим образом. Жидкость подается в аппарат из емкости 5 с помощью насоса 4. Регулирование и

определение расхода жидкости осуществляется с помощью крана 6 и ротаметра 7 соответственно. Газ в колонну нагнетается газодувкой 8. Расход газовой фазы регулируется задвижкой 9 и определяется с помощью дифференциального манометра 10, сопряженного с измерительной диафрагмой 11. Гидравлическое сопротивление массообменной тарелки с сепаратором измеряется с помощью дифференциального манометра 14. Унесенная из сепаратора жидкость отделяется от газа в объемном сепараторе 12, а ее объем определяется с помощью мерного сосуда 13.

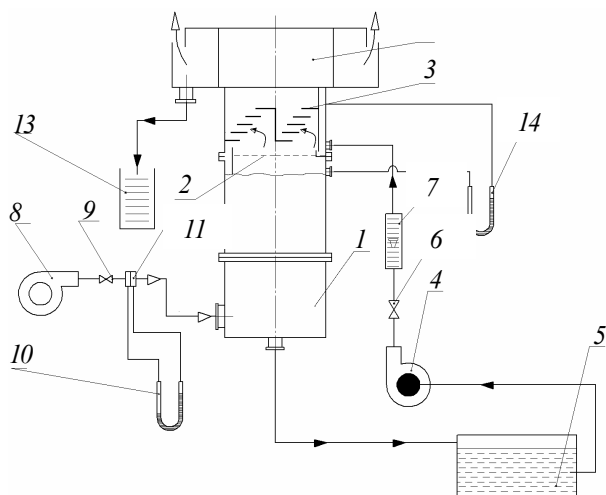


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

1 – цилиндрический корпус; 2 – полотно массообменной тарелки; 3 – плоские пластины; 4 – насос; 5 – емкость с жидкостью; 6 – кран; 7 – ротаметр; 8 – газодувка; 9 – задвижка; 10, 14 – дифференциальные манометры; 11 – диафрагма; 12 – объемный сепаратор; 13 – мерная емкость

Брызгоунос жидкости. Экспериментально исследовали влияние средней скорости газа W_r в колонне и линейной плотности орошения q на величину капельного уноса жидкости. Результаты исследований представлены на рис. 3 в логарифмических координатах в виде графической зависимости относительного брызгоуноса e от средней скорости газа W_r в аппарате при различных плотностях орошения q . Можно отметить, что с возрастанием W_r брызгоунос жидкости увеличивается, что связано с ростом динамического давления газового потока на капли. С увеличением плотности орошения брызгоунос возрастает, что вызвано уменьшением проходного сечения для газовой фазы, а значит, возрастанием скорости воздуха в зазорах между каплями и его динамического давления на жидкую фазу.

Опытные данные обработаны с применением ЭВМ и получена аппроксимационная зависи-

мость для расчета относительного брызгоуноса e в зависимости от средней скорости газа W_r и плотности орошения q

$$e = 5,82 \cdot 10^{-5} W_r^{4,5} q^{2,58}. \quad (1)$$

Среднее квадратичное отклонение опытных и расчетных величин составляет 32,3%.

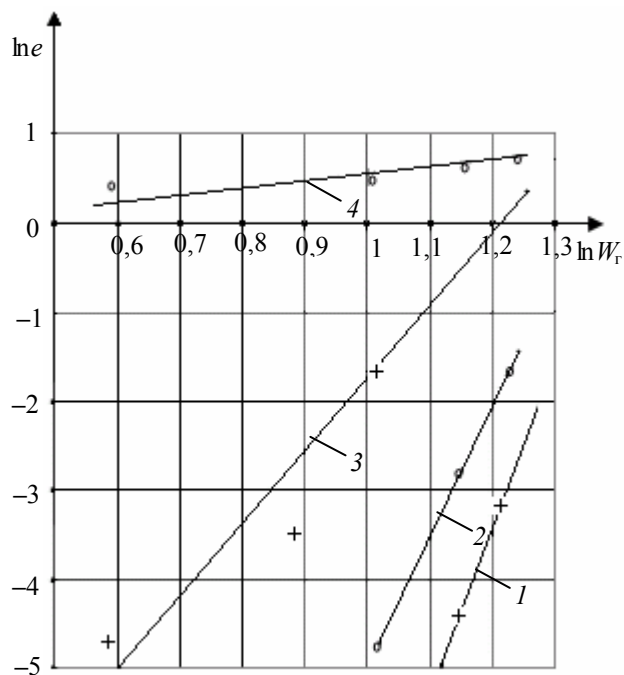


Рис. 3. Зависимость относительного уноса от скорости газа на массообменной тарелке с сепаратором при различной плотности орошения q , $\text{м}^3/(\text{м}\cdot\text{ч})$:
1 – 1; 2 – 3; 3 – 5; 4 – 7

Визуально установлено, что при повышенных скоростях газа ($W_r > 3$ м/с) значительная часть капель жидкости, выбрасываемых из зазоров между отбойными пластинами 5 левого ската (рис. 1, а), перебрасывается через разделительную перегородку 6 и попадает в зону сепарации правого ската. Увеличение массы жидкости в этой зоне приводит к уменьшению проходного сечения для газа и существенному росту брызгоуноса, что снижает эффективность разделения фаз в сепарационном пространстве. Поэтому с целью снижения указанного отрицательного эффекта предлагается увеличить высоту разделительной перегородки 6, что позволит не допустить попадания отделяемых от газа капель жидкости в другую зону сепарации. Кроме того, для снижения вторичного уноса перегородку 6 предлагается выполнить перфорированной.

Гидравлическое сопротивление. Гидравлическое сопротивление массообменной тарелки с сепаратором исследовали при различных

скоростях газа W_r на сечение аппарата и плотностях орошения q .

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 4 в виде графической зависимости потерь давления ΔP от средней скорости газа W_r в аппарате для различных плотностей орошения q . При этом установлено, что увеличение скорости газа приводит к росту гидравлического сопротивления тарелки: это объясняется увеличением динамического давления газового потока на жидкую фазу. С увеличением плотности орошения потери давления возрастают, что вызвано уменьшением проходного сечения для газа и ростом его динамического давления на жидкую фазу.

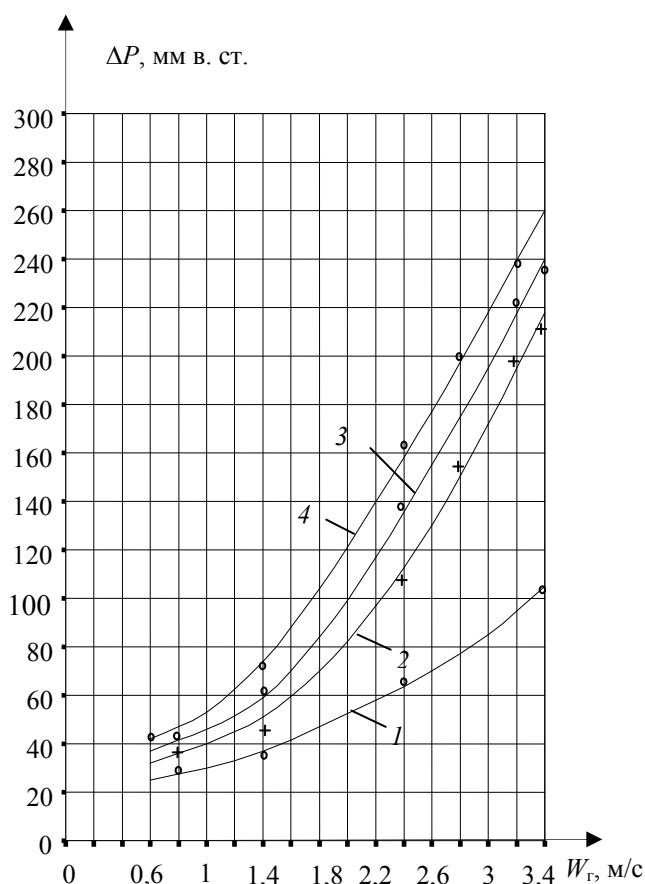


Рис. 4. Зависимость гидравлического сопротивления массообменной тарелки с сепаратором от скорости газа при плотности орошения q , м^3 ($\text{м}\cdot\text{с}$):
1 – 1; 2 – 3; 3 – 5; 4 – 7

При аппроксимации опытных данных на ЭВМ получена зависимость для расчета гидравлического сопротивления ΔP , мм в. ст., ситчатой тарелки с сепарационным устройством в зависимости от средней скорости газа W_r и плотности орошения q

$$\Delta P = 31,19 W_r^{1,09} q^{0,354} . \quad (2)$$

Среднее квадратичное отклонение экспериментальных и расчетных данных составляет 15,5%.

Заклучение. Разработана новая конструкция сепаратора для массообменных тарелок. Сепарационное устройство не только эффективно разделяет фазы при скоростях газа до 3 м/с на сечение колонны, но и создает дополнительную поверхность фазового контакта, а также организует направленное (прямое или обратное) циркуляционное движение жидкости на полотно тарелки при относительно невысоком гидравлическом сопротивлении тарелок.

На основании проведенных экспериментальных исследований построены графические зависимости относительного брызгоуноса и гидравлического сопротивления от скорости газа и плотности орошения. При обработке опытных данных на ЭВМ получены расчетные зависимости для нахождения относительного брызгоуноса и потерь давления в газовой фазе.

Визуально установлено, что при повышенных нагрузках по газовой фазе значительная часть отделяемых от газа капель перебрасывается через разделительную перегородку и попадает в другую зону сепарации. Для устранения данного эффекта предлагается увеличить высоту разделительной перегородки, а ее саму изготавливать перфорированной.

В дальнейшем предполагается экспериментально исследовать брызгоунос и гидравлическое сопротивление тарелки с сепаратором, установленным по схеме б рис. 1, а также изучить их массообменные характеристики.

Литература

1. Боровик, А. А. Исследование гидродинамических параметров ситчатой тарелки с коническим пластинчатым отбойником / А. А. Боровик, С. К. Протасов, Д. И. Мисюля // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – Минск: БГТУ, 2007. – Вып. XV. – С. 122–126.

2. Тарелка для теплообменного аппарата: патент на вынаходства № 12315 / С. К. Протасов, А. А. Боровик.

3. Протасов, С. К. Исследование гидродинамических параметров ситчатой тарелки с новым каплеотбойником / С. К. Протасов, А. А. Боровик, Н. П. Матвейко // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 25–27 ноября 2009 г.: в 2 ч. – Минск, 2009. – Ч. 1. – С. 47–50.

Поступила 31.03.2010