УДК 620.9.001.12/.18

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУЙНО-БАРБОТАЖНЫХ КОНТАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

И.Р. КАЛИМУЛЛИН*, И.Н. МАДЫШЕВ, А.В. ДМИТРИЕВ*****

***АНО ПРЦПК «Энергетик», г. Казань**
****Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) «КНИТУ», г. Нижнекамск**
*****Казанский государственный энергетический университет**

Предложена конструкция струйно-барботажных контактных элементов для массообменных аппаратов энергетической и химической промышленности, обладающих низким гидравлическим сопротивлением. Рассмотрены основные закономерности их работы.

Ключевые слова: энергоэффективность, массообмен, контактные элементы.

Россия располагает масштабным неиспользованным потенциалом энергосбережения, который, по способности решать проблему обеспечения экономического роста страны, сопоставим с приростом производства всех первичных энергетических ресурсов.

Энергоемкость Российской экономики существенно превышает (в расчете по паритету покупательной способности) аналогичный показатель в США, в Японии и развитых странах Европейского Союза. Энергоемкость валового внутреннего продукта России в 2,5 раза выше среднемирового уровня и в 2,5 – 3,5 раза выше, чем в развитых странах [1].

Само понятие «энергетическая эффективность» зачастую трактуется в России довольно однобоко, рассматривая зачастую только повышение энергоэффективности за счет использования более современного электрооборудования и совершенствования генерирующих мощностей электрических станций.

Рис. 1. Внешний вид струйно-барботажное контактное устройство для массообменных аппаратов по заявке на полезную модель № 2015119123

При этом не учитывается, что в большом количестве массообменных процессов в энергетике используется традиционное массообменное оборудование, энергетическая и технологическая эффективность которого уже не соответствует современным требованиям. Так классические барботажные тарельчатые и насадочные аппараты для

© И.Р. Калимуллин, И.Н. Мадышев, А.В. Дмитриев

очистки газов от примесей могут эффективно работать при скоростях газового потока, не превышающих 2–2,5 м/с. При увеличении скоростей потока выше указанных значений происходит «захлебывание» аппарата и значительное снижение эффективности массообменного процесса [2]. Кроме того, такие «классические» массообменные аппараты отличаются высоким гидравлическим сопротивлением, что требует дополнительных затрат энергии на преодоление сопротивления контактных элементов и жидкости движущемуся потоку газа [2]. Причем, большая часть энергии в аппаратах этого типа расходуется на создание такого избыточного давления, которое позволило бы газу преодолеть сопротивления самих контактных элементов (тарелок или насадок) и слоя жидкости на них.

Таким образом, можно сделать вывод, что точное выполнение государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» будет возможно только при активном внедрении в энергетическую промышленность новых массообменных аппаратов и контактных устройств, сочетающих в своей конструкции высокие массообменные характеристики и низкое гидравлическое сопротивление.

Примером такой конструкции может быть струйно-барботажное контактное устройство для массообменных аппаратов, показанное на рис. 1. Устройство представляет собой систему ячеек квадратной формы. В днище ячеек выполнены отверстия диаметров d. Ячейки установлены в аппарате в шахматном порядке, причем шахматность установки соблюдается и в плоскости поперечного сечения, и по высоте аппарата.

Схема установки ячеек в вертикальной плоскости и схема взаимодействия потоков показаны на рис. 2 [3].

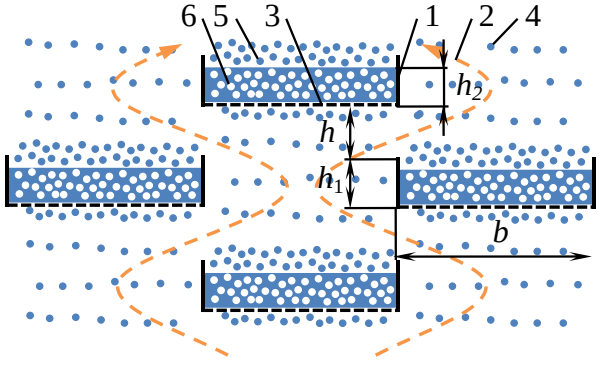
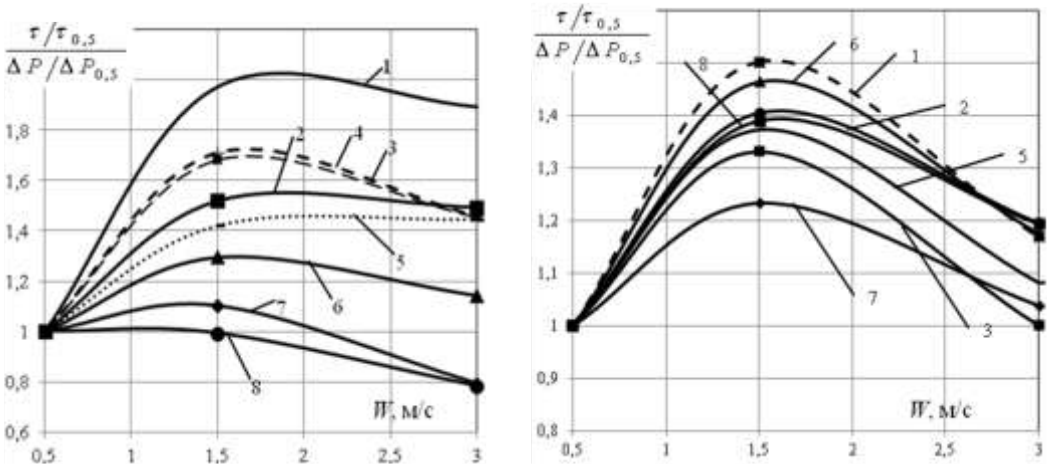


Рис. 2. Схема взаимодействия потоков пара и жидкости в струйно-барботажных контактных устройствах: *1* – корпус контактного устройства; *2* – поток пара; *3* – перфорированная пластина; *4* – капли, образованные перфорированным устройством; *5* – капли, вылетающие из жидкости; *6* – пузыри

Ячейки устанавливаются в аппарате на расстоянии h друг от друга. При работе массообменного аппарата жидкость подается на ячейки сверху через распределительное устройство и заполняет каждую ячейку до уровня h_2. Ячейки выполняются квадратными со стороной b. Через отверстия в днищах ячеек жидкость стекает на нижележащие ячейки в виде струй, которые при падении распадаются на капли. Расход жидкой фазы, количество и расположение отверстий рассчитываются таким образом, чтобы создать в пространстве между ячейками завесу из струй капель жидкости. Жидкая фаза падает в виде струй и капель на поверхность нижележащих ячеек и вызывает активное перемешивание жидкости. Кроме того, падающие капли увлекают за собой в слой жидкости отдельные пузырьки газа, и создается своеобразный

«обратный барботаж», вызывающий дополнительную интенсификацию процесса за счет перемешивания жидкости и дополнительного контакта фаз на поверхности пузырьков.

Одновременно с этим в аппарате происходит восходящее движение газового потока. Движение газа происходит по *z*-образной траектории, огибающей каждую ячейку. В отличие от аппаратов традиционных конструкций, поток газа не теряет энергию, барботируя через слой жидкости. Вся поверхность межфазного взаимодействия обеспечена прохождением газа через струйно-капельную завесу. Часть процесса перехода массы между фазами происходит в слое жидкости, куда газ увлекается при падении капель и всплывает обратно в виде пузырьков. Такая схема взаимодействия потоков требует значительно меньших затрат энергии на транспортировку газа, поэтому для движения газа можно использовать не энергозатратные компрессоры, а значительно более экономичные газодувки и дымососы.



а) *б*)

Рис. 3. Зависимость безразмерного симплекса $(\tau/\tau_{0,5})/(\Delta P/\Delta P_{0,5})$ от скорости потока в контактном элементе размером 100х100 мм с 9-ю отверстиями:
а – в слое жидкости на поверхности контактного элемента; *б* – в падающих струях.
1 – d = 4, $h1$=$h2$; *2* – d = 4, $h2$=0,5$h1$; *3* – d = 6, $h2$ = $h1$; *4* – d = 5, $h2$ = $h1$;
5 – d = 6, $h2$ = 0,5$h1$; *6* – d = 4, $h2$ = 0,25$h1$; *7* – d = 6, $h2$ = 0,25$h1$; *8* – d = 5, $h2$ = 0,25$h1$

Расчет гидродинамики и массообмена в предложенной конструкции контактных устройств осложнен разнообразием форм контакта фаз, сложностью учета распада струй на капли и необходимостью учета интенсификации массообмена падением капель на поверхность жидкости. Для расчета необходимых параметров моделировалось взаимодействие в программном комплексе *SolidWorks* потоков жидкости и газа на примере системы «воздух-вода» на ячейках разных размеров при различных скоростях газового потока. Целью расчета было определение касательных напряжений на границе раздела фаз τ. Согласно известной гидродинамической аналогии между процессами переноса импульса и переноса массы, величина касательных напряжений может качественно характеризовать эффективность массопереноса между фазами [4].

Для простоты анализа гидродинамики и массообмена в предлагаемой конструкции аппарата анализировались безразмерный симплекс $(\tau/\tau_{0,5})/(\Delta P/\Delta P_{0,5})$, где $\tau_{0,5}$ – касательные напряжения на границе раздела фаз при скорости газа W = 0,5 м/с;

τ – касательные напряжения при текущей скорости газа; $\Delta P_{0,5}$ – гидравлическое сопротивление аппарата при скорости газа W = 0,5 м/с; ΔP – гидравлическое сопротивление при текущей скорости газа. Использование такого симплекса позволяет комплексно анализировать гидродинамическое сопротивление аппарата и его массообменные характеристики. Так как характер взаимодействия фаз в падающих струях и в интенсифицированном падением струй слое жидкости значительно отличаются друг от друга, то и расчет характеристик процесса производился по отдельности.

Как видно из графиков на рис. 3, отношение касательных напряжений к гидравлическому сопротивлению имеет выраженный максимум при скоростях газового потока равных 1,5 м/с. На основании этого можно предположить, что именно при таких скоростях газа эффективность аппарата с предложенными контактными элементами будет максимальной. Несмотря на то, что скорость газа, а следовательно и удельная пропускная способность аппаратов с предлагаемыми элементами, будет относительно невысока, использование таких контактных элементов будет экономически и энергетически эффективно благодаря их низкому гидравлическому сопротивлению в массообменных аппаратах, работающих при атмосферном давлении и под вакуумом.

Summary

The article describes the design of the jet-bubble contact elements for mass transfer devices of electric-power and chemical industry. These contact elements have a low flow resistance. The article presents the main patterns of their work.

Keywords: energy efficiency, mass transfer, contact elements.

Литература

1. Государственная программа Российской Федерации: Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года: Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.12.2010. № 2446-р.

2. Скобло А.И., Молоканов Ю.К. Шелкунов А.И., Владимиров В.А. Процессы и аппараты нефтепереработки и нефтехимии. М.: ООО Недра-Бизнес-центр, 2000.

3. Заявка на полезную модель № 2015119123. Струйно-барботажное контактное устройство для тепломассообменных процессов / Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Мадышев И. Н., Сагдеева Г. С., Николаев А. Н.; заявитель Мадышев И. Н., Дмитриев А. В. № 2015116792; заявл. 30.04.2015.

4. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. М.: Химия, 1971. 296 с.

Поступила в редакцию 22 сентября 2015 г.

Калимуллин Ильдар Рамилевич – канд. техн. наук, старший методист Автономной некоммерческой организации «Поволжский региональный центр подготовки кадров «Энергетик». Тел: 8(917)2868125. E-mail: ildarkalimullin@gmail.com.

Мадышев Ильнур Нашлович – старший преподаватель кафедры «Машины и аппараты химических производств» Нижнекамского химико-технологического института (филиала) Казанского научно-исследовательского технологического университета (КНИТУ). Тел: 8(987)2686235. E-mail: ildarkalimullin@gmail.com.

Дмитриев Андрей Владимирович – д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Теоретические основы теплотехники» (ТОТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: ieremiada@gmail.com.