

3. Промтов, М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика / М.А. Промтов. – М.: Машиностроение – 1, 2001. – 260 с.

4. Кафаров, В.В. Основы массопередачи: учебник для студентов вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / В.В. Кафаров. – М.: Высш. Школа, 1979. – 439 с.

5. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов. – 3-е изд.: в 2-х кн.: Массообменные процессы и аппараты. – М.: Химия, 2002. – книга 2. – 368 с.

6. Иванова, Д.Б. Кинетика массообмена при растворении дисперсных материалов в роторно-пульсационном аппарате / Д.Б. Иванова, М.С. Василишин, А.А. Кухленко, О.С. Иванов, С.Е. Орлов, А.Г. Карпов // Химическая технология. – № 2. – 2013. – С. 100 – 103.

7. Иванова, Д.Б. Исследование массообмена при растворении дисперсных материалов в аппарате роторно-пульсационного типа / Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы 4-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, 27 – 29 апреля 2011 г., г. Бийск: Изд-во Алтайского государственного технического университета, 2011. – С. 49–53.

8. Орлов, С. Е. Закономерности течения жидкости в роторно-пульсационном аппарате / С.Е. Орлов, А.А. Кухленко, М.С. Василишин, Д.Б. Иванова // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы 3-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, 28-30 апреля 2010г., г. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – часть 1. С. 26–29.

9. Долинский, А.А. Использование механизмов ДИВЭ при роторно-пульсационной обработке

гетерогенных сред / А.А. Долинский, Г.К. Иваницкий, А.Н. Ободович // Промышленная теплотехника. – Т. 30. – № 4. – 2008. – С. 5 – 13.

10. Долинский, А.А. Оценка эффектов диспергирования включений в роторно-пульсационном аппарате дисково-цилиндрического типа / А.А. Долинский, Б.И. Басок, Т.Л. Грабова // Промышленная теплотехника. – Т. 28. – № 6. – 2006. – С. 37 – 43.

Иванова Дарья Борисовна, младший научный сотрудник лаборатории Процессов и аппаратов химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), 659322, Алтайский край, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, (3854) 30-18-69, сот. 8-913-369-34-59, ivanovadasha84@mail.ru.

Василишин Михаил Степанович, заведующий лабораторией Процессов и аппаратов химических технологий, кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), 659322, Алтайский край, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, (3854) 30-18-37.

Овчаренко Александр Григорьевич, декан механического факультета, доктор технических наук, профессор Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (БТИ АлтГТУ), 659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27, 8-(3854) 43-22-84, shura@bti.secna.ru.

УДК 621.647.23

ИССЛЕДОВАНИЕ БРЫЗГОУНОСА В РОТОРНОМ РАСПЫЛИТЕЛЬНОМ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕ

А.Ф. Сорокопуд¹, К.Б. Плотников¹, Д.В. Резик¹, Д.Б. Иванова²

Представлены результаты экспериментальных исследований брызгоуноса в роторном распылителе пылеуловителе с внутренней циркуляцией и самоорошением жидкостью. Получены закономерности брызгоуноса от основных параметров – скорости газа, скорости истечения жидкости из отверстий, диаметра распыливающих отверстий.

Ключевые слова: брызгоунос, скорость газа, частота вращения распылителя, диаметр отверстий.

Одной из проблем при конвективной сушке пищевых полуфабрикатов являются потери, связанные с уносом частиц продукта с газами [1]. Для минимизации потерь используют различное пылеулавливающее оборудование. Циклоны улавливают частицы размерами бо-

лее 10 мкм на 92–98 %. Эффективность улавливания частиц меньшего размера снижается по мере уменьшения их эквивалентного диаметра. Поэтому циклоны являются, как правило, первой ступенью очистки. Рукавные фильтры улавливают частицы пыли размерами 1 мкм и

менее на 99 %, но их применение ограничивается из-за большого гидравлического сопротивления, невысокой надежности при эксплуатации и недопустимым временем нахождения уловленных частиц пыли на фильтровальной перегородке. Перспективным способом пылеулавливания является мокрый способ, при этом в зависимости от конструкции аппарата могут улавливаться частицы пыли до 1 мкм с эффективностью 99%.

Одним из факторов, ограничивающих верхнюю предельную нагрузку мокрого пылеуловителя по газу, является брызгоунос – количество рабочей жидкости, вынесенной газом из зоны их контакта.

Для определения брызгоуноса необходимо найти значения ограничивающих параметров, которые существенно зависят от конструкции мокрого пылеуловителя.

Согласно [1, 2] перспективными аппаратами для тонкой очистки сушильных газов от пылей пищевых продуктов являются пылеуловители с внешним подводом энергии, позволяющие обеспечить внутреннюю циркуляцию и самоорошение рабочей жидкостью.

В качестве объекта исследования принят роторный распылительный пылеуловитель (РРП), представленный на рисунке 1 [3]. РРП содержит вал 1, подшипниковую опору 2, сепаратор 3, крыльчатку-сепаратор 4, корпус 5, транспортирующий цилиндр 6 с заборным устройством 14. В нижней части пылеуловителя установлен бункер 11 с гидрозатвором 9 и патрубком удаления шлама 10. На корпусе установлен патрубок ввода орошающей жидкости 13.

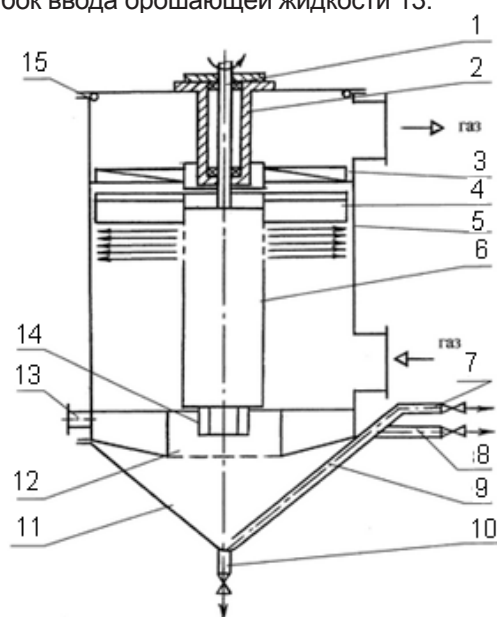


Рисунок 1 – Роторный распылительный пылеуловитель

РРП работает следующим образом. Очищаемый газ вводится в аппарат по патрубку, установленному тангенциально к корпусу 5. Отразившись от слоя жидкости в бункере 11 и сохраняя закрученное движение, газ движется вверх, соприкасается с пленкой рабочей жидкости, стекающей по корпусу 5.

Основной контакт между очищаемым газом и жидкостью осуществляется в зоне диспергирования жидкости через распылительные отверстия. Здесь газ движется вслед за струями и каплями, образованными при диспергировании рабочей жидкости распылителем. Газ контактирует с каплями, струями жидкости в факеле, пленкой жидкости на поверхности пластин пристенного каплеотбойника и внутренней поверхности корпуса. Пройдя факел распыла газ с помощью крыльчатки – сепаратора 4 частично освобождается от капель рабочей жидкости и поступает в сепаратор 3 для дальнейшей очистки от уносимых капель и далее выводится из аппарата по касательному установленному к корпусу патрубку. Таким образом, газ и жидкость в факеле распыленной жидкости движутся в условиях, близких к прямотоку. Газ попадает в зону разряжения, создаваемую движущимися в том же направлении струями и каплями жидкости.

Пристенный каплеотбойник (на рисунке 1 не показан) представляет собой набор вертикально установленных пластин на высоту факела распыла. Пластины изготовлены из нержавеющей стали и установлены под углом 15° - 20° к касательной, проведенной к окружности распылителя, с шагом в 2 раза большим их ширины. В результате этого капли факела распыла (первичные) касательно ударяются о поверхность пластин, и их энергия затрачивается в основном на скольжение капли по пластинкам и перемешивание пленки жидкости на них, а не на дробление на мелкие (вторичные) капли, как при прямом ударе.

Расстояние от центра верхнего ряда отверстий до крыльчатки сепаратора 4 составляло $20 \cdot 10^{-3}$ м, от крыльчатки-сепаратора до сепаратора $15 \cdot 10^{-3}$ м.

Рабочая жидкость заливается в бункер, необходимый ее уровень поддерживается с помощью регулятора, вынесенного за пределы аппарата. Жидкость из бункера заборным устройством 14 с помощью транспортирующего цилиндра 6 поднимается к распыливающим отверстиям и за счет центробежной силы диспергируется на струи и капли, образуя факел распыла. Отразившись от пластин каплеотбойника, рабочая жидкость в виде пленки сте-

кает по внутренней поверхности корпуса 5 в бункер, откуда вновь подается на диспергирование. Подпитка жидкости до заданного уровня компенсирует потери на испарение, унос со шламом и т. п. Подпитка свежей рабочей жидкостью может осуществляться как периодически, так и непрерывно, так же как и отвод шлама через гидрозатвор или патрубок 10. Штуцера 7 и 8 позволяют создать различный уровень рабочей жидкости в аппарате.

Цель работы – исследование брызгоуноса в РРП в зависимости от основных параметров: скорости газа в аппарате, скорости истечения жидкости из отверстий диспергирующего устройства и диаметра этих отверстий.

Как показал обзор литературных данных, именно эти параметры оказывают наибольшее влияние на брызгоунос в аппаратах подобной конструкции.

Количество унесенной из РРП рабочей жидкости определялось сепарационным способом – на выходном газоходе РРП был установлен выносной сепаратор – емкостной каплеуловитель с отбойной пластиной, установленный поперек воздушного потока.

Опыты проводились на системе воздух – вода при температуре $(19 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Объект исследования представлял собой РРП диаметром 0,25 м, диаметр диспергирующего устройства – 0,075 м. В верхней части диспергирующего устройства размещались в 6 рядов в шахматном порядке с шагом $t_{\text{oc}} = t_{\text{ок}} = 2,5 d$ отверстия диаметром $d = 1,4 \cdot 10^{-3}$; $1,7 \cdot 10^{-3}$; $2,0 \cdot 10^{-3}$; $2,2 \cdot 10^{-3}$; $2,5 \cdot 10^{-3}$ м. Как отмечено в [3] 6 рядов распыливающих отверстий достаточно, для того чтобы обеспечить эффективное улавливание пыли факелом распыла. Предварительные испытания показали, что только при частоте вращения распылителя не менее $n = 13,67 \text{ с}^{-1}$ рабочая жидкость со сливной тарелки достигает отверстий истечения и обеспечивается устойчивая поверхность межфазового контакта. Максимальная частота вращения принята $n = 16,67 \text{ с}^{-1}$ из условий устойчивой работы РРП.

Скорость газа в пересчете на полное сечение РРП составляла 1,94 – 3,92 м/с. Все детали РРП и установки, соприкасающиеся с газом и жидкостью, выполнены из нержавеющей стали или специальных пластмасс.

После вывода установки на режим, параметры тщательно контролировались, замеры проводились на стабильных параметрах, опыты выполнялись не менее 2 раз. Полученные результаты обрабатывались на ЭВМ в программе Excel 2007. Результаты обработки представлены на рисунках 2 – 4. Брызгоунос представлен относительной величиной – 1 кг уловленной жидкости на 1 кг прошедшего газа за одно и то же время.

Из представленных на рисунке 2 данных следует, что брызгоунос при $U_g = 1,94$ м/с крайне невелик для всех диаметров отверстий истечения. По мере увеличения скорости газа брызгоунос возрастает достаточно плавно до $U_g = 3,92$ м/с (линия 1) и $U_g = 3,5$ м/с (линии 2, 3, 4). Брызгоунос при $d_0 = 0,0025$ м (линия 5) существенно выше. Следует отметить, что с увеличением диаметра отверстий истечения при постоянных $t_{\text{oc}} = t_{\text{ок}} = 2,5 d_0$ возрастает суммарная площадь отверстий. При прочих равных условиях это приводит к увеличению количества жидкости диспергированной распылителем в свободный объем РРП для создания поверхности межфазного контакта. Этим самым увеличивается вероятность образования различных по природе капель, подверженных уносу: капли, «вырванные» из факела распыленной жидкости; мелкодисперсные вторичные капли образовавшиеся при ударе капель факела о пластинки каплеотбойника и стенку РРП; микрокапли, образовавшиеся при столкновении первичных и вторичных капель и т. п. [4].

Однако брызгоунос при $n = 13,3 \text{ с}^{-1}$ невелик, если за предел принимать величину $e \leq 0,1$ кг/кг.

На рисунке 3 зависимость носит более сложный характер. О незначительном влиянии скорости газа на унос можно говорить для $U_g = 1,92$ – $2,4$ м/с, далее унос существенно зависит от скорости газа. На наш взгляд, это связано с увеличением частоты вращения распылителя до $n = 15 \text{ с}^{-1}$. Это приводит к увеличению скорости истечения жидкости, диспергированной в свободный объем РРП, увеличению количества мелкодисперсных капель, подверженных уносу на всех стадиях их образования. Относительный унос на максимальной скорости высок, но не достигает допустимых значений ($e < 0,1$ кг/кг).

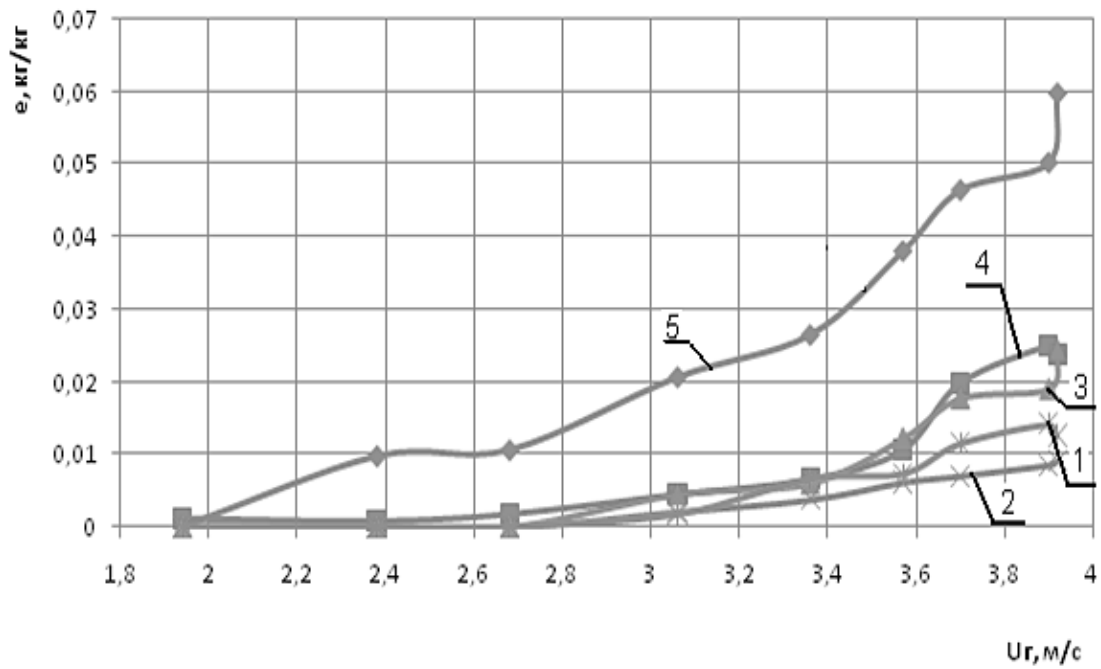


Рисунок 2 – Зависимость относительного брызгоуноса от скорости газа ($n=13.3 \text{ с}^{-1}$)
 1- $d=1.4 \cdot 10^{-3}$ м, 2- $d=1.7 \cdot 10^{-3}$ м, 3- $d=2 \cdot 10^{-3}$ м, 4- $d=2.2 \cdot 10^{-3}$ м, 5- $d=2.5 \cdot 10^{-3}$ м

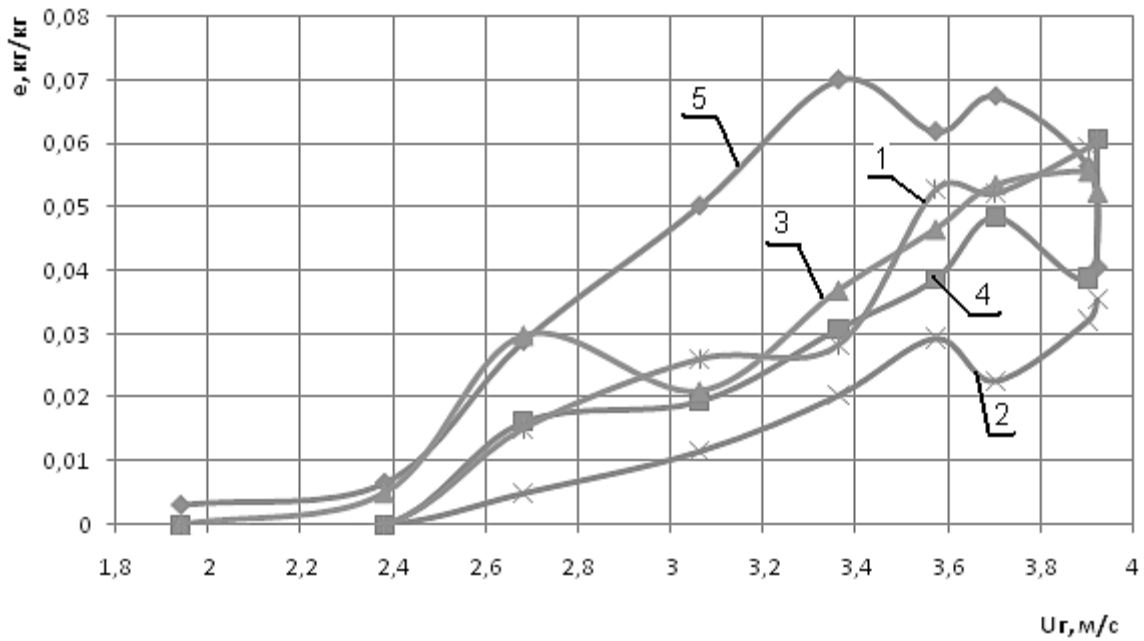


Рисунок 3 – Зависимость относительного брызгоуноса от скорости газа ($n=15 \text{ с}^{-1}$)
 1- $d=1.4 \cdot 10^{-3}$ м, 2- $d=1.7 \cdot 10^{-3}$ м, 3- $d=2 \cdot 10^{-3}$ м, 4- $d=2.2 \cdot 10^{-3}$ м, 5- $d=2.5 \cdot 10^{-3}$ м

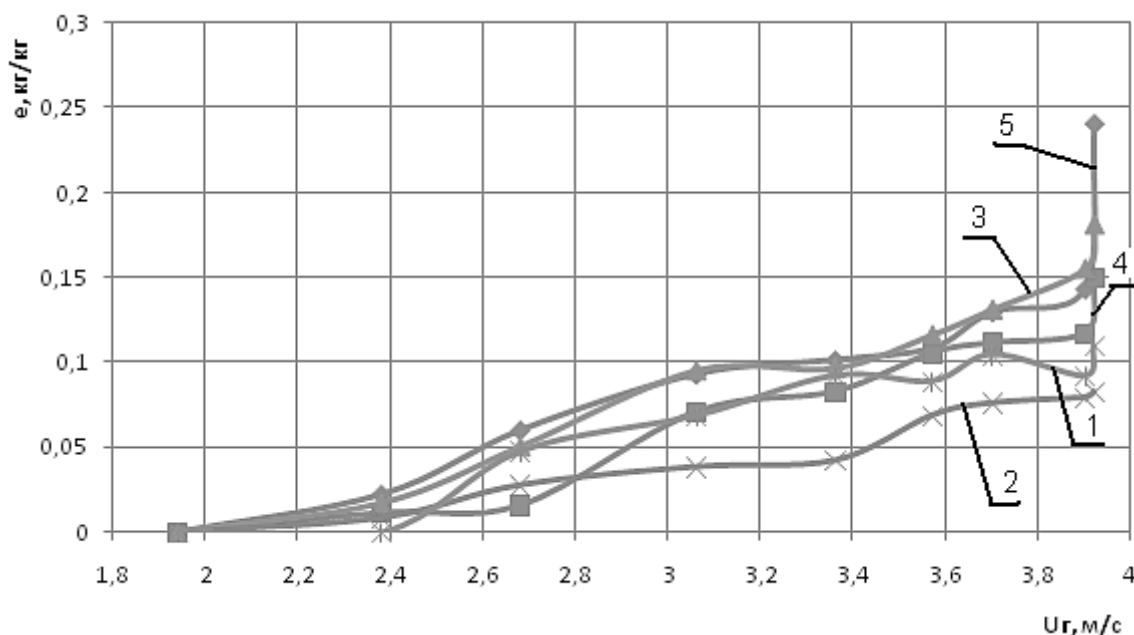


Рисунок 4 – Зависимость относительного брызгоуноса от скорости газа ($n=16,7 \text{ с}^{-1}$)
 $1-d=1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $2-d=1,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $3-d=2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $4-d=2,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $5-d=2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Особо следует рассмотреть линию 5 на рисунке 3, поскольку при $U_g > 3,4$ м/с брызгоунос снижается. На наш взгляд, это объясняется наличием сепарационного эффекта, когда вторичные и др. мелкодисперсные капли «отбиваются» первичными каплями. Вообще при $U_g > 3,5$ м/с зависимость брызгоуноса от скорости газа в аппарате носит сложный характер. О наличии сепарационного эффекта можно говорить и для линий 1-4, при $U_g > 3,5$ м/с.

Данные на рисунке 4 крайне отличаются от данных на рисунках 2 и 3. Лишь распылитель с $d_0=1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ обеспечивает допустимый унос во всем диапазоне скоростей газа. При $d_0=(1,7 \dots 2,5) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ допустимая скорость газа составляет 3,5 м/с при $d_0=0,0017 \text{ м}$ и $d_0=0,002 \text{ м}$, для $d_0=0,0022$ и $0,0025 \text{ м}$ – допустимая скорость газа – 3 м/с. Брызгоунос при $n=16,7 \text{ с}^{-1}$ существенно выше, чем при меньших частотах вращения распылителя. При $U_g > 1,94$ -2,4 м/с брызгоунос не велик, но больше, чем при меньших частотах вращения.

Анализ полученных результатов позволяет предложить следующие рекомендации по расчету и конструированию РРП.

Частота вращения транспортирующего цилиндра принимается из условия $U_{окр} = \omega \cdot R_p \geq 3,14$ м/с, чтобы обеспечить подъем жидкости с тарелки на необходимую высоту к диспергирующим отверстиям. Где R_p – радиус диспергирующего устройства, м.

Диаметр диспергирующих отверстий сле-

дует принимать в диапазоне $d=(1,4 \dots 2,5) \cdot 10^{-3} \text{ м}$. С увеличением d брызгоунос возрастает в исследованном диапазоне параметров. Однако при выборе d необходимо учитывать скорость растворения уловленных частиц пыли. Чем менее растворимы частицы, тем больше должен быть диаметр отверстий.

Скорость вращения транспортирующего цилиндра существенно влияет на брызгоунос: с увеличением скорости вращения унос возрастает. С точки зрения снижения брызгоуноса и повышения эксплуатационной надежности РРП следует принимать минимально возможную скорость, т. е. $U_{окр} = 3,12 \dots 3,16$ м/с.

При $U_{окр} = 3,12 \dots 3,16$ м/с скорость газа в РРП с позиций допустимого брызгоуноса ($e \leq 0,1 \text{ кг/кг}$) может достигать 3,98 м/с.

С точки зрения брызгоуноса, как одного из параметров, определяющих верхнюю предельную нагрузку РРП по газу, исследованная конструкция обеспечивает широкий диапазон нагрузок по газу. При $n=13,3$ и $15, \text{ с}^{-1}$ скорость газа 3,98 м/с не является предельной и может быть существенно увеличена. Это свидетельствует о перспективности исследуемой конструкции РРП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варваров В.В., Проблемы улавливания пылевидных фракций в технологии сыпучих пищевых продуктов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1988. -136 с.
2. Сорокопуд А.Ф., Максимов С.А., Даниленко

М.И. Техничко-экономические предпосылки выбора рационального пылеуловителя. Хранение и переработка сельхоз сырья. – 2002. – № 10. – С. 64-66.

3. Пат. РФ 229610, В 01 D 47/16. Роторный пылеуловитель / Сорокопуд А.Ф.; и др. заявл. 08.04.2005; опубл. 10.04.2007.

4. Сорокопуд А.Ф. и др. Исследование брызгоуноса в роторном распылительном аппарате / ТОХТ. –2001. – Т. 35, №3. – С. 321-326.

Сорокопуд А.Ф., доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Кемеровского технологического института пищевой промышленности (ГОУ ВПО КемТИПП), 650003 Кемеровская область, г. Кемерово, пр. Ленинградский д. 30 кв. 32, 8-903-941-70-52.

Плотников К.Б., аспирант кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Государственного образовательного учреждения высшего

профессионального образования Кемеровского технологического института пищевой промышленности (ГОУ ВПО КемТИПП), 650003 Кемеровская область, г. Кемерово, пр. Ленинградский д. 30 кв. 32, 8-904-961-26-49, plotnikov-kb@mail.ru.

Резик Д.В., студент гр. ПМ-81 ГОУ ВПО КемТИПП Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Кемеровского технологического института пищевой промышленности (ГОУ ВПО КемТИПП, 650003 Кемеровская область, г. Кемерово, пр. Ленинградский д. 30 кв. 32, 8-904-379-82-62.

Иванова Д.Б., младший научный сотрудник лаборатории «Процессов и аппаратов химических технологий» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН, ул. Социалистическая, 1, Бийск, 659322, Россия. Тел. (3854) 30-18-69.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СИЛИКАГЕЛЕЙ ДЛЯ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

А. И. Макарычева, Ю. М. Волкова, Ю.Г. Слизов, Г. Л. Рыжова
Национальный исследовательский Томский государственный университет

Осуществлено геометрическое модифицирование поверхности силикагеля методом гидротермальной обработки. Исследованы структурные характеристики модифицированных образцов и установлено, что проводимая обработка водяным паром при повышенных температурах и давлениях приводит к уменьшению удельной поверхности и расширению пор силикагеля. Проведена количественная оценка хроматографических свойств и возможностей их применения в газовой хроматографии в качестве сорбентов для разделения углеводов и кислородсодержащих органических соединений.

Ключевые слова: газовая хроматография, силикагель, геометрическое модифицирование, гидротермальная обработка.

Широкое применение в качестве адсорбентов и носителей неподвижных фаз для газовой хроматографии находят геометрически модифицированные силикагели с малой удельной поверхностью и крупными порами. Попытки провести геометрическое модифицирование путем одной термической обработки однородно-пористых силикагелей в отсутствие водяного пара не приводят к значительным изменениям в их пористой структуре, в то время как гидротермальная обработка позволяет в широких пределах варьировать пористую структуру и свойства данных хроматографических материалов [1, 2].

В настоящей работе представлены результаты изучения влияния условий гидротермального модифицирования силикагелей на их структурные характеристики и хроматографические свойства.

В качестве исходных силикагелей для дальнейшего геометрического модифицирования были использованы образцы, синтезированные [3] путем обработки серной кислотой раствора жидкого стекла, отмытые от солей, высушенные и просеянные до однородной фракции 0,14–0,20 мм. Согласно проведенному анализу на автоматическом газоадсорбционном анализаторе TriStar II (3020),