

ИССЛЕДОВАНИЕ БРЫЗГОУНОСА В РОТОРНОМ РАСПЫЛИТЕЛЬНОМ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕ

А. Ф. Сорокопуд, К. Б. Плотников, Д. В. Резик

Представлены результаты экспериментальных исследований брызгоуноса в роторном распылительном 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, пылеуловитель.

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 более 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.

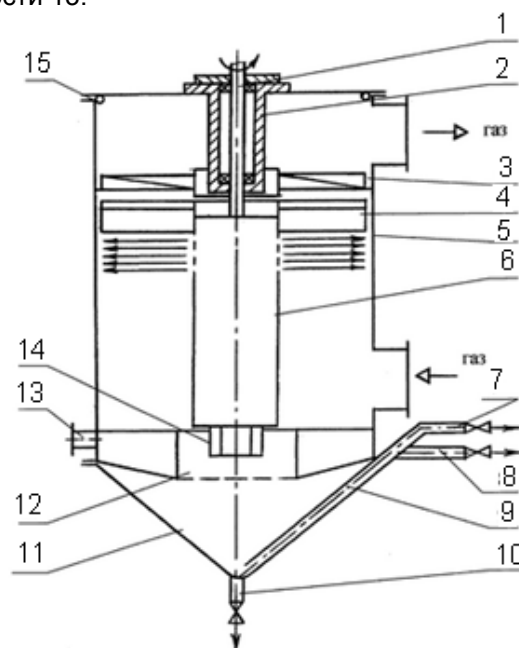


Рисунок 1 – Роторный
распылительный пылеуловитель

РРП работает следующим образом. Очищаемый газ вводится в аппарат по патрубку, установленному тангенциально к корпусу 5. Отражившись 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 дис-

пергировании 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 касательно установленному к корпусу патрубку. Таким образом, газ и жидкость в факеле распыленной жидкости движутся в условиях близких к прямоходу. 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 стекает 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, также как и отвод шлама через гидрозатвор или патрубков 10. Штуцера 7 и 8 позволяют создать различный уровень рабочей жидкости в аппарате.

Цель работы – исследование брызгоуноса в РРП в зависимости от основных пара-

метров: 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 ± 1 °С. 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 $t_{oc} = t_{ок} = 2,5$ 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 $n = 13,67$ с⁻¹ рабочая жидкость со сливной тарелки достигает отверстий истечения и обеспечивается устойчивая поверхность межфазового контакта. Максимальная частота вращения принята $n = 16,67$ 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 марок 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 – кг уловленной жидкости на кг прошедшего газа за одно и тоже время.

Из представленных на рисунке 2 данных следует, что брызгоунос при $U_g = 1,94$ м/с крайне не велик 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 $t_{oc} = t_{ок} = 2,5 d_0$ 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].

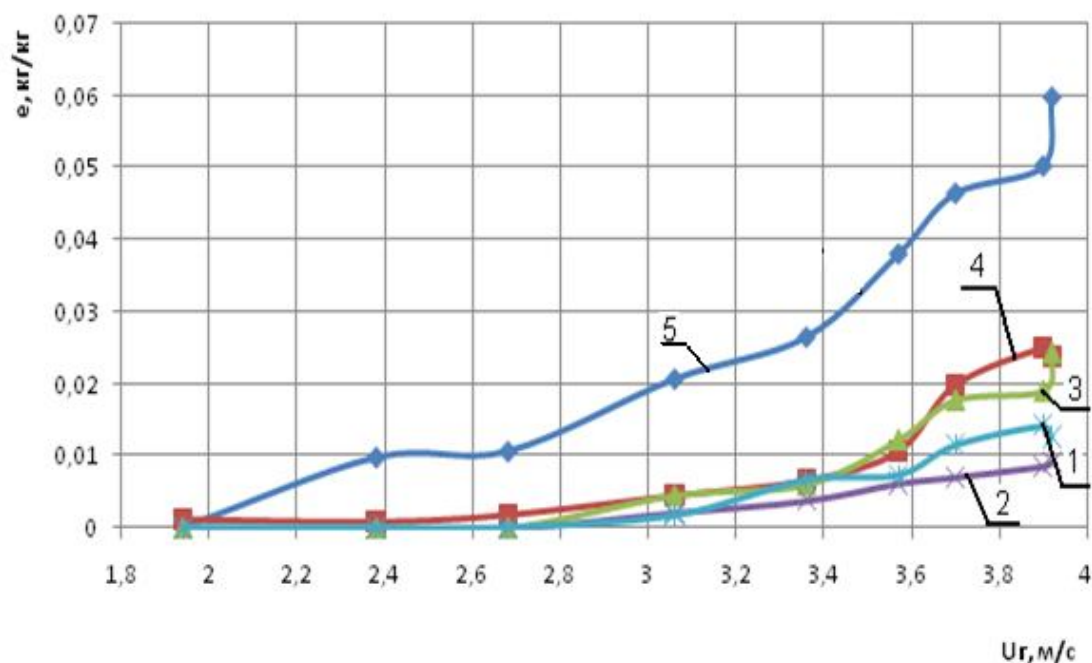


Рисунок 2 – Зависимость относительного брызгоуноса от скорости газа ($n=13,3 \text{ с}^{-1}$):
 $1-d=1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $2-d=1,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $3-d=2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $4-d=2,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $5-d=2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

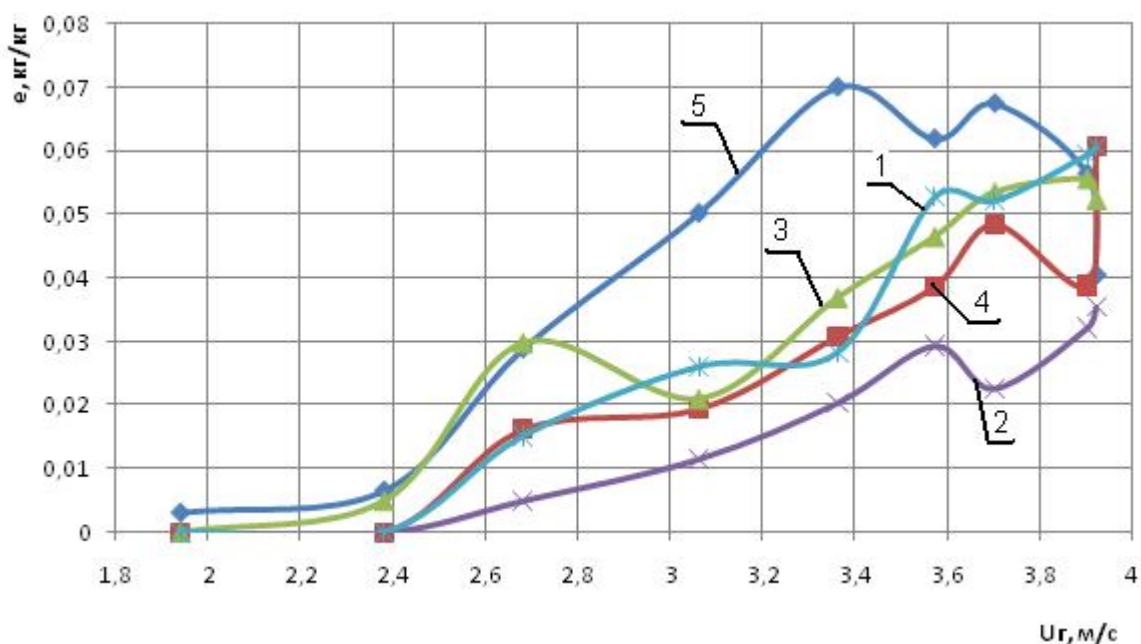


Рисунок 3 – Зависимость относительного брызгоуноса от скорости газа ($n=15 \text{ с}^{-1}$):
 $1-d=1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $2-d=1,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $3-d=2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $4-d=2,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $5-d=2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

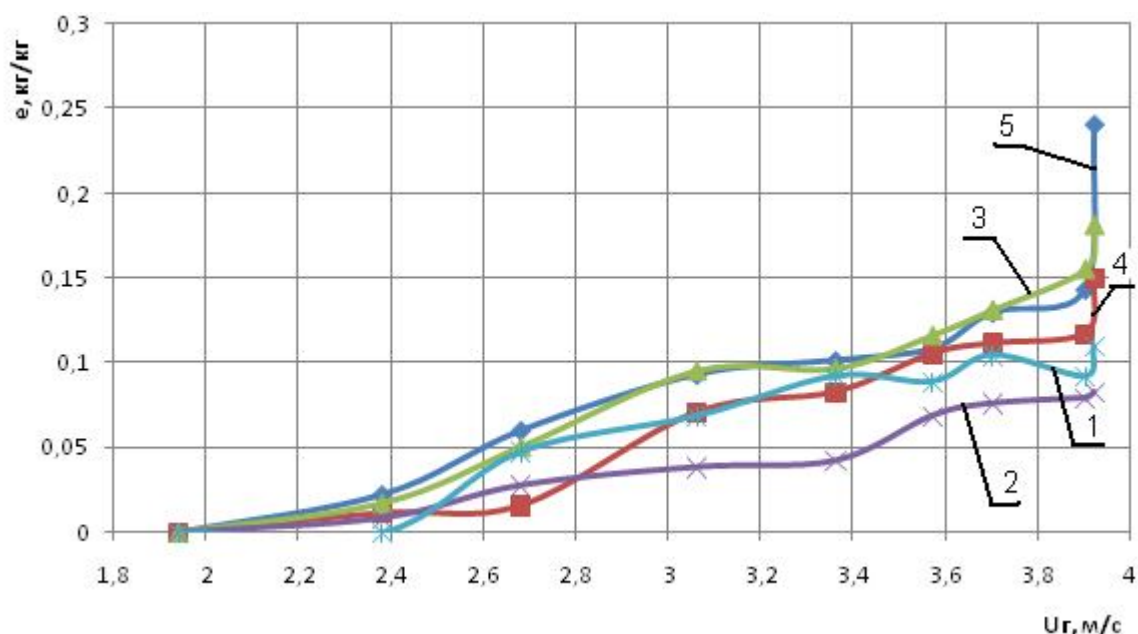


Рисунок 4 – Зависимость относительного брызгоуноса от скорости газа ($n=16,7 \text{ с}^{-1}$):
 1- $d=1,4 \cdot 10^{-3}$ м, 2- $d=1,7 \cdot 10^{-3}$ м, 3- $d=2 \cdot 10^{-3}$ м, 4- $d=2,2 \cdot 10^{-3}$ м, 5- $d=2,5 \cdot 10^{-3}$ м

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 $U_g = 1,92 \dots 2,4$ 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).

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 рисунках 2-3. Лишь распылитель с $d_0=1,4 \cdot 10^{-3}$ м обеспечивает допустимый унос во всем диапазоне скоростей газа. При $d_0=(1,7 \dots 2,5) \cdot 10^{-3}$ м допустимая скорость газа составляет 3,5 м/с при $d_0=0,0017$ м и $d_0=0,002$ м, для $d_0=0,0022$ и $0,0025$ м – допус-

тимая 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.

1. 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.

2. Диаметр диспергирующих отверстий следует принимать в диапазоне $d=(1,4 \dots 2,5) \cdot 10^{-3}$ 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.

3. 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. $U_{окр}=3,12-3,16$ м/с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ БРЫЗГОУНОСА В РОТОРНО РАСПЫЛИТЕЛЬНОМ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕ

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 $3,98 \text{ м/с}$ 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 / В.В. Варваров.– Воронеж: Изд-во ВГУ, 1988 - 136 с.

2. Сорокопуд, А.Ф. Техничко-экономические предпосылки выбора рационального пылеуловителя / А.Ф. Сорокопуд, С.А.Максимов, М.И. Даниленко // 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. Исследование брызгоуноса в роторном распылителем аппарате. / Сорокопуд А.Ф. и др. - ТОХТ, том 35, №3, 2001.- С. 321-326.

Сорокопуд А.Ф., д.т.н., профессор кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» ФГБОУ ВПО КемТИПП, тел.: 8(384-2) 39-68-48;

Плотников К.Б., аспирант кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» ФГБОУ ВПО КемТИПП, тел.: 8(384-2) 39-68-48;

Резик Д.В., студент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» ФГБОУ ВПО КемТИПП, тел.: 8(384-2) 39-68-48.