

УДК 621.928

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РОТОРНОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПОРОШКОВ

Бондарев Р.А., аспирант *

Киркор М.А., к.т.н.

Могилевский государственный университет продовольствия

Тел. (0222) 45-35-78

Аннотация – данная работа посвящена анализу возможности применения в качестве рабочего органа классификатора ротора с криволинейными лопатками.

Ключевые слова – роторный классификатор, тонкодисперсные порошки, криволинейные лопатки, граничный размер.

Постановка проблемы. Центробежные роторные классификаторы весьма часто применяются для разделения тонкодисперсных порошковых систем, в том числе при особо тонкой классификации [1]. Обладая довольно высокими показателями качества разделения и возможностью точной регулировки, они находят все большее применение в различных отраслях промышленности, от медицины до промышленности строительных материалов. В пищевой промышленности роторные классификаторы также являются одними из основных аппаратов для разделения порошков в интервалах размеров частиц от 20 до 100 мкм.

Однако, высокие темпы развития пищевой промышленности, совершенствование пищевых технологий и применение новых видов сырья и добавок требуют более совершенного оборудования для разделения порошков.

Анализ развития пищевой промышленности показывает, что все большее применение находят технологии производства, использующие пищевые добавки и ингредиенты. В большинстве случаев данные добавки представлены в виде тонкодисперсных порошковых систем. При этом размеры частиц порошка оговариваются нормативными документами и стандартами. Следовательно, к оборудованию для разделения тонкодисперсных порошков предъявляются жёсткие требования контроля размера частиц готового продукта.

© Бондарев Р.А., аспирант, Киркор М.А., к.т.н., доцент

* *Научный руководитель – к.т.н., доцент Киркор М.А.*

По мнению авторов, для порошковых пищевых добавок оптимальным является размер частиц порошка 40-100 мкм [2]. Однако, по технологическим требованиям различных производств необходимо, чтобы размеры частиц лежали в определенных диапазонах. Так, при производстве сахара рекомендуется получать следующий гранулометрический состав: размеры кристаллов от 0,63 до 1,0 мм; содержание мелких кристаллов (0,25-0,315 мм) – не более 4 %, содержание сахарной пыли (размер кристаллов менее 0,25 мм) – не более 1 % [3].

При этом очевидно, что с развитием пищевых технологий порог разделения по граничному размеру значительно снижается и не входит в пределы эффективной работы существующих роторных классификаторов.

Следовательно, совершенствование конструкций роторных классификаторов, направленное на получение четкой границы разделения в интервалах от 5 до 20 мкм, является весьма актуальной задачей.

Анализ иных исследований. Проблемой повышения эффективности роторных центробежных классификаторов традиционно занимаются такие крупные научные центры, как: Томский государственный университет (РФ), Белгородский государственный университет имени В.Г. Шухова (РФ), Кубанский государственный университет (Украина), Ивановский государственный университет (РФ), Беларуский государственный технологический университет (РБ), Могилевский государственный университет продовольствия (РБ) и другие.

Изучение процесса центробежной роторной классификации имеет различные направления и задачи. Проблемой получения четкой границы разделения в интервалах размеров частиц 5-20 мкм в строительной промышленности занимаются в БГТУ имени Шухова. Повышение эффективности разделения материалов в роторном центробежном классификаторе пытаются достичь за счет применения переменного поля скоростей на поверхности ротора [4]. Безусловно, данное направление является весьма перспективным. Однако, в пищевой промышленности, где разделяемые порошки являются высокоадгезионными, склонными к агрегатированию, по сравнению со строительными материалами (мел, мрамор, песок), применение данного принципа может отрицательно сказаться на качестве готового порошка, так как увеличивается возможность образования агрегатов при снижении скорости движения частиц за счет их столкновения.

Повышение эффективности процесса разделения за счет применения пульсирующего поля скоростей активно изучается в ТГУ. Способ разделения тонкодисперсных порошков, основанный на

классификаторе с пульсирующим полем скоростей, является эффективным при граничном размере разделения 5 мкм [5].

Однако данная установка имеет значительные гидродинамические сопротивления, что приводит к высоким затратам энергии. Кроме этого встречное движение двух воздушных потоков, один из которых является пульсирующим, приводит к технической сложности данной установки.

Формулировка целей статьи. Целью данной статьи является анализ возможности повышения эффективности разделения пищевых тонкодисперсных порошков за счет изменения геометрических параметров ротора и влияние их на характер движения продукта в межлопаточном пространстве ротора.

Основная часть. Разделение порошковых систем в интервалах размеров частиц до 20 мкм относится к процессу особо тонкой классификации. Известно, что при создании оборудования для особо тонкого разделения необходимо учитывать следующие особенности: устойчивое обеспечение баланса массовых и аэродинамических сил, при котором характерные для разделения размеры частиц находились бы в микрометровой зоне [1]; учет изменения поведения частиц порошка, приводящее к агломерации, слипанию, налипанию на рабочие части оборудования [1].

Таким образом, для проведения процесса особо тонкой классификации необходимо создать условия взаимодействия инерционных и аэродинамических сил, которые бы препятствовали преобладанию электростатических сил и сил сухого трения.

Проблема агрегатирования заключается в том, что масса частицы имеет довольно малое значение, при котором силы инерции не всегда могут противостоять электростатическим силам и силам сухого трения. Аэродинамические силы, зависящие от размеров частицы, также не могут обеспечить четкой границы разделения за счет малых размеров частицы, наличия пограничного слоя на поверхности и лопатках ротора.

Следствием вышеперечисленного является снижение эффективности роторных центробежных классификаторов в интервале размеров частиц до 20 мкм. Снижение эффективности, как правило, выражено в выбросе целевой фракции с грубым продуктом, либо в проскоке грубого продукта в целевую с увеличением скорости воздуха.

Анализ выборки конструкций роторных центробежных классификаторов показал (рис. 1), что большинство существующих конструкций используют в качестве рабочего органа ротор с лопатками.

■ Лопатки присутствуют ■ Лопатки отсутствуют

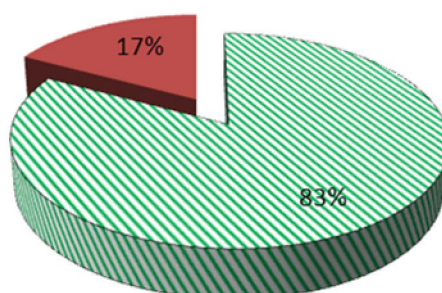


Рис. 1. Процентное соотношение числа авторских свидетельств роторных классификаторов по наличию лопаток.

При этом в подавляющем большинстве случаев лопатки выполнены прямолинейными, расположенными либо радиально, либо тангенциально.

Однако весьма перспективным является использование в классификаторах роторов с криволинейными лопатками.[6]. Роторы с криволинейными лопатками широко применяются в технике. Наибольшее применение они получили в конструкциях центробежных вентиляторов, турбин и турбокомпрессоров. В данных машинах они служат в качестве рабочих колес и сообщают механическую энергию воздушному потоку.

В зависимости от угла выхода (радиуса кривизны) различают три типа рабочих лопаток: лопатки, загнуты назад, лопатки, оканчивающиеся радиально и лопатки загнутые вперед [7].

Для применения в роторных классификаторах наиболее перспективны роторы с лопатками, загнутыми назад, так как в данном случае имеет место более цельная структура аэродинамического потока в межлопаточном пространстве ротора, отсутствуют турбулизации и вихреобразование.

Применение криволинейных лопаток для роторов классификатора существенно меняет характер движения частиц в межлопаточном пространстве ротора. Частицы продукта совершают сложное движение, состоящее из переносного вращательного движения и относительного вращательного движения. При применении прямолинейных лопаток относительное движение является прямолинейным. Следовательно, при применении криволинейных лопаток существенно меняется картина взаимного расположения инерционных сил. Для описания движения продукта по поверхности ротора составим схему сил, действующих на частицу тонкой фракции (рис. 2).

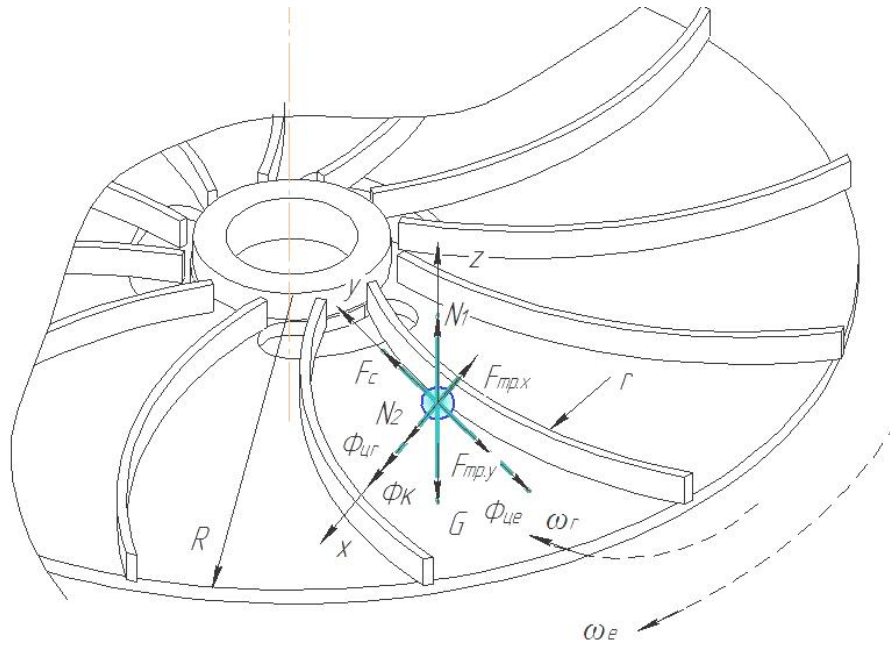


Рис. 2. Схема сил, действующих на частицу.

Составим уравнения суммы сил относительно осей X, Y и Z с учетом того, что частица движется по поверхности диска к центру ротора, где происходит отвод мелкой фракции воздушным потоком.

Сумма проекций сил на ось X представлена в уравнении 1:

$$m \left(\frac{dv_x}{dt} \right) = \Phi_{цр} + N_2 + \Phi_k - F_{тр,x}, \quad (1)$$

где m – масса частицы, кг;

v_x – проекция скорости движения частицы на ось X, м/с;

$\Phi_{цр}$ – сила инерции от центробежного ускорения относительного движения, Н;

N_2 – реакция опоры (лопатки), Н;

Φ_k – сила инерции от поворотного ускорения (Кориолиса), Н;

$F_{тр,x}$ – проекция силы трения на ось X, Н.

Сумма проекций сил на ось Y представлена в уравнении 2:

$$m \left(\frac{dv_y}{dt} \right) = -\Phi_{це} + F_c - F_{тр,y}, \quad (2)$$

где m – масса частицы, кг;

v_y – проекция скорости движения частицы на ось Y, м/с;

$\Phi_{це}$ – сила инерции от центробежного ускорения переносного движения, Н;

F_c – сила аэродинамического сопротивления, Н;

$F_{тр,y}$ – проекция силы трения на ось Y, Н.

Сумма проекций сил на ось Z представлена в уравнении 3:

$$0 = G - N_1, \quad (3)$$

где G – сила тяжести частицы, Н;
 N_1 – реакция опоры (диска), Н.

Анализ полученных уравнений показывает, что при применении криволинейных лопаток наблюдается движение частиц не только вдоль радиуса ротора, но и тангенциально. Из уравнения 2 видно, что за счет появления центробежного ускорения относительного движения и ускорения Кориолиса сила инерции стремится двигать частицу от лопатки к периферии. Таким образом, в межлопаточном пространстве можно выделить два сектора (прилегающий к лопатке и периферийный). Очевидно, что частицы, обладающие большей массой, будут стремиться к периферийному сектору, а частицы меньшей массы – к сектору, прилегающему к лопатке. Данное явление существенно уменьшает контакт частиц продукта и создает альтернативные силы классификации, способствующие разрушению агломератов продукта.

Аэродинамический анализ ротора с криволинейными лопатками, произведенный с помощью современных средств вычислительной техники, показывает, что при вращении ротора аэродинамический поток в межлопаточном пространстве ведёт себя более целостно, отсутствуют завихрения, которые негативно влияют на процесс. Схема движения воздуха в межлопаточном пространстве ротора представлена на рис. 3.

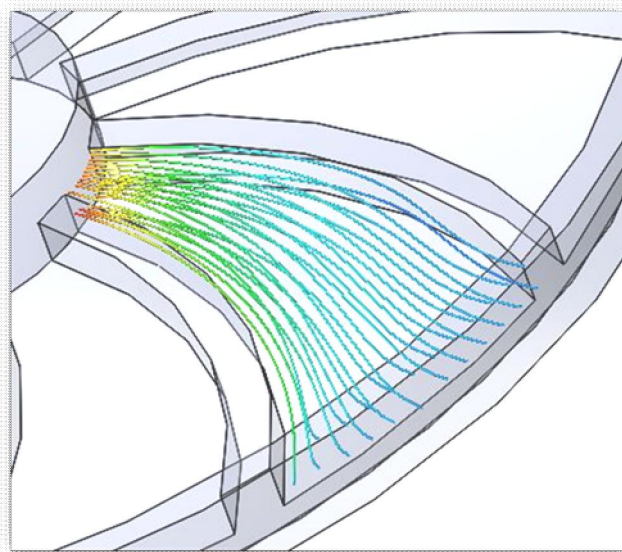


Рис. 3. Распределение скоростей воздушного потока в межлопаточном пространстве ротора.

Анализ распределения скоростей воздушного потока также показал, что в секторе, прилегающем к лопатке ротора, скорость воздушного потока выше, чем в периферийном секторе, что обуславливается инерционными силами воздушного потока.

Кроме этого, ротор с криволинейными лопатками будет создавать насосный эффект классификатора, который можно либо сопоставлять с движением запыленного потока, либо противопоставлять ему посредством изменения направления вращения ротора.

Выводы. Проанализировав конструкцию ротора классификатора с криволинейными лопатками, можно прийти к следующим выводам: характер движения частицы при относительном и переносном вращательных движениях за счет криволинейной лопатки позволяет распределять продукт по размерам фракции не только по радиусу ротора, но и по секторам межлопаточного пространства, что практически невозможно у роторов с прямолинейными лопатками.

Кроме этого, как было определено ранее, частицы грубой фракции (крупнее граничного размера) за счет силы инерции от относительного центробежного ускорения попадают в периферийный сектор межлопаточного пространства ротора, где скорость воздушного потока ниже, чем в секторе, прилегающем к лопатке. Попадание частицы в периферийный сектор лопатки приводит к снижению силы аэродинамического сопротивления, благодаря чему частица сбрасывается с поверхности ротора в грубый продукт.

Наличие насосного эффекта также может повлиять на качество процесса. В случае движения воздушных потоков ротора и подачи продукта в одном направлении уменьшается нагрузка на воздуходувную машину, что приводит к сокращениям затрат энергии. В случае встречного движения данных потоков увеличивается время пребывания продукта в рабочей камере, что положительно сказывается на качестве готового продукта.

Предполагается, что применение в центробежных классификаторах ротора с криволинейными лопатками позволит получать четкую границу разделения в интервале размеров частиц от 5 до 20 мкм при наименьших затратах энергии и ресурсов по сравнению с аналогами.

Проверка представленной гипотезы и дальнейшие исследования данного направления являются обоснованными и перспективными.

Литература:

1. Мизонов В.Е. Аэродинамическая классификация порошков/ В.Е. Мизонов, С.Г. Ушаков. – М.: Химия, 1989. – 160с.

2. Сафранова Л.А. Применение пищевых добавок в индустрии напитков/ Л.А. Сафранова. – СПб.: Профессия, 2006. – 249с.

3. Липская Н.И. Качество сахара и пути его повышения(рекомендации)/ Н.И. Липская, Т.И. Турбан. – Минск: НПЦНАНБ по продовольствию, 2008. – 78с.

4. Александрова Е.Б. Центробежный сепаратор с переменным полем скоростей в зоне классификации: автореферат диссертации канд. тех. наук: 05.02.13/ Е.Б. Александрова; БГУ им. Шухова – Белгород, 2007. – 22 с.

5. Садретдинов Ш.Р. Моделирование гидродинамики и процессов разделения порошковых материалов в пневматических центробежных аппаратах: автореферат диссертации канд. тех. наук: 05.18.07/ Ш. Р. Садретдинов; ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» – Томск, 2011. – 24с.

6. Центробежный классификатор для получения тонкодисперсных порошков: МПК (2009) B07B7/083; B01D45/00 / М.А. Киркор, Р.А. Бондарев; заявитель Мог.гос. ун-т. прод. – № а 20121640; заявл. 28.11.2012.

7. Соломахова Т.С. Центробежные вентиляторы. Аэродинамические схемы и характеристики: Справочник. / Т.С. Соломахова, К.В. Чебышева – М.: Машиностроение, 1980. – 176с.

ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНОГО КЛАСИФІКАТОРА ДЛЯ РОЗПОДІЛУ ХАРЧОВИХ ПОРОШКІВ

Бондарев Р. О., Киркор М. О.

Анотація - ця робота присвячена аналізу можливості застосування у якості робочого органу класифікатора ротора з криволінійними лопатями.

EFFICIENCY FRACTIONATION PROCESSES IN THE ROTOR OF THE CLASSIFIER

R. Bondarev, M. Kirkor,

Summary

This work is devoted to the analysis of possible use as a working member of the classifier rotor with curved blades.