

УДК 621.928

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ РОТОРНОГО ТИПА

В.А. Шуляк, М.А. Куркор, А.Г. Смусенок

Приведены конструкции и описаны принципы действия двух аппаратов роторного типа для центробежной классификации полидисперсных материалов. Проведены экспериментальные исследования по разделению пищевой кальциевой добавки, получены новые данные по потребляемой аппаратами мощности и фракционному составу порошков. В результате математической обработки полученных данных выявлено и получено в явном виде уравнение, наиболее точно описывающее распределение частиц по размерам на всем интервале их диаметров. На основании фракционного состава полученных порошков определено значение качества классификации и проведено сравнение представленных аппаратов по этой характеристике и потребляемой мощности. С учетом этих двух параметров определены значения параметра энергетической эффективности и выявлены условия проведения процесса, при которых один аппарат имеет преимущество перед другим.

Введение

В настоящее время полидисперсные материалы играют важную роль в производстве продуктов питания. Обычно такие материалы используют в качестве пищевых добавок, которые могут быть либо искусственного, либо натурального происхождения. Искусственные пищевые добавки характеризуются, как правило, более низкой стоимостью, большей функциональностью. Однако при одинаковых потребительских свойствах предпочтение отдается натуральным продуктам без искусственных добавок. Поэтому актуальной является разработка новых способов производства качественных и дешевых натуральных пищевых продуктов. Один из путей в этом направлении – глубокая и комплексная переработка натурального сырья, которая включает в себя процессы измельчения и классификации.

В пищевой промышленности разделение порошкового материала на фракции осуществляется, как правило, ситовым методом, который сухим способом принципиально не позволяет выделить частицы с размерами менее 100 мкм. Однако для развития производства пищевых добавок данные параметры порошков недопустимы, так как предел чувствительности человека для многих порошков составляет 8 – 20 мкм. Также в зависимости от размера частиц в продуктах могут проявляться пороки (для пищевых суспензий и паст это мучнистость, песчанность, расслоение), которые проявляются уже при размерах частиц 20 – 50 мкм. Соответственно для того, чтобы повысить качество пищевых продуктов с использованием добавок отечественного производства, а соответственно, и снизить импорт зарубежных продуктов, необходимо, чтобы размер частиц порошка был меньше 20 мкм.

В настоящее время существуют множество способов классификации порошков на фракции по размерам частиц: инерционный, магнитный, циклонный и др. Применение же процесса центробежной классификации в аппаратах роторного типа позволяет выделять из порошка частицы с меньшими размерами и повысить четкость их разделения, что невозможно в аппаратах других типов.

Исследования в данной области являются актуальным вопросом для народного хозяйства нашей страны, т.к. они позволят расширить ассортимент пищевых продуктов, выпускаемых с применением пищевых порошков, повысить их вкусовые характеристики, придать продуктам новые потребительские свойства. Это, в свою очередь, позволит наладить выпуск конкурентоспособных отечественных пищевых порошков и сократить импорт зарубежных аналогов.

Описание установок и экспериментальные исследования

Основным критерием оптимизации конструкций аппаратов для фракционирования порошков является достижение наибольших качественных характеристик готового продукта при минимальных затратах энергии на его получение. Десятилетние исследования авторов в этой области позволили создать несколько аналогичных по принципу действия, но различных по конструктивному решению аппаратов для центробежной классификации. С целью выявления наиболее энергоэффективной конструкции классификатора нами было проведено сравнение двух типов роторных аппаратов по двум параметрам: мощности, потребляемой аппаратом на проведение процесса, и качественным характеристикам процесса. Отличие аппарата первого типа (рис. 1а) (с верхним вводом) и второго типа (рис. 1б) (с нижним вводом исходного двухфазного потока) заключается не только в направлении подачи исходного двухфазного потока, но и в конструкции основного рабочего органа. Так, в рабочем органе классификатора первого типа заборные окна выполнены в виде сегментов и снабжены отбойными козырьками, в то время как в аппарате второго типа поток исходной аэросмеси поступает на рабочий орган классификатора в виде сплошного кольца.

Принцип действия аппарата первого типа состоит в следующем: от внешнего электропривода посредством клиноременной передачи 1 приводится во вращение ротор 2. При достижении параметров рабочего режима через патрубок загрузки исходного материала 3 подается газозвесь, содержащая полидисперсный материал, подлежащий разделению. Поток аэросмеси попадает на верхний диск 4 и через сегментное окно 5 в нем поступает на первую ступень сепарации, где, за счет противодействия центробежной силы и силы аэродинамического давления, самые мелкие частицы отводятся с частью газового потока в патрубок 6, а частицы с размерами крупнее заданного граничного зерна отбрасываются к стенке корпуса 7 и поступают на вторую ступень сепарации. На этой ступени мелкие частицы отводятся с частью газового потока в патрубок 6, а частицы с размерами крупнее заданного граничного зерна отбрасываются к стенке корпуса 7, после чего выводятся через патрубок 8. Для усиления эффекта разделения между дисками 4 смонтированы радиальные лопасти 9, при этом усиливается насосный эффект ротора 2 [1].

Классификатор второго типа работает следующим образом: поток исходной аэросмеси подается через входной патрубок 1 в корпус аппарата 2. Проходит обтекатель 3 и кольцевым потоком поступает в кольцевое заборное окно 4 рабочего органа 5. Частицы крупнее граничного размера за счет действия центробежных сил отбрасываются к стенке корпуса и отводятся из аппарата через патрубок вывода крупной фракции 6. Частицы же мельче граничного размера выводятся из классификатора через отверстия в верхней крышке ротора 5 и патрубок вывода мелкой фракции 7.

Сравнение аппаратов по потребляемой мощности проводили при одинаковых кинематических и расходных характеристиках процесса. Частота вращения рабочего органа классификатора n изменялась от 250 до 2500 об/мин с шагом 250 об/мин. График зависимости потребляемой мощности от частоты вращения ротора при фиксированных значениях расхода воздуха Q представлен на рис. 2.

Из рисунка 2 следует, что аппарат первого типа по затратам энергии на проведение процесса примерно на 20% эффективнее аппарата второго типа.

Следующим критерием оценки данных аппаратов является комплексный показатель - качество классификации. Для определения этого показателя были проведены опыты по центробежной классификации пищевой кальциевой добавки «допинат» при одинаковых параметрах процесса. На основании этих экспериментальных исследований с использованием известных методик [2, 3] были построены дифференциальные и интегральные кривые распределения частиц по размерам. Так как в большинстве случаев целевым продуктом является мелкая фракция, то определение качественных характеристик проводилось на основании кривых разделения именно для этой фракции. Кривая разделения

$\varphi(\delta)$ показывает зависимость доли узкой фракции с размерами от δ_i до δ_{i+1} , выносимой в мелкий продукт, от среднего размера этой фракции δ .

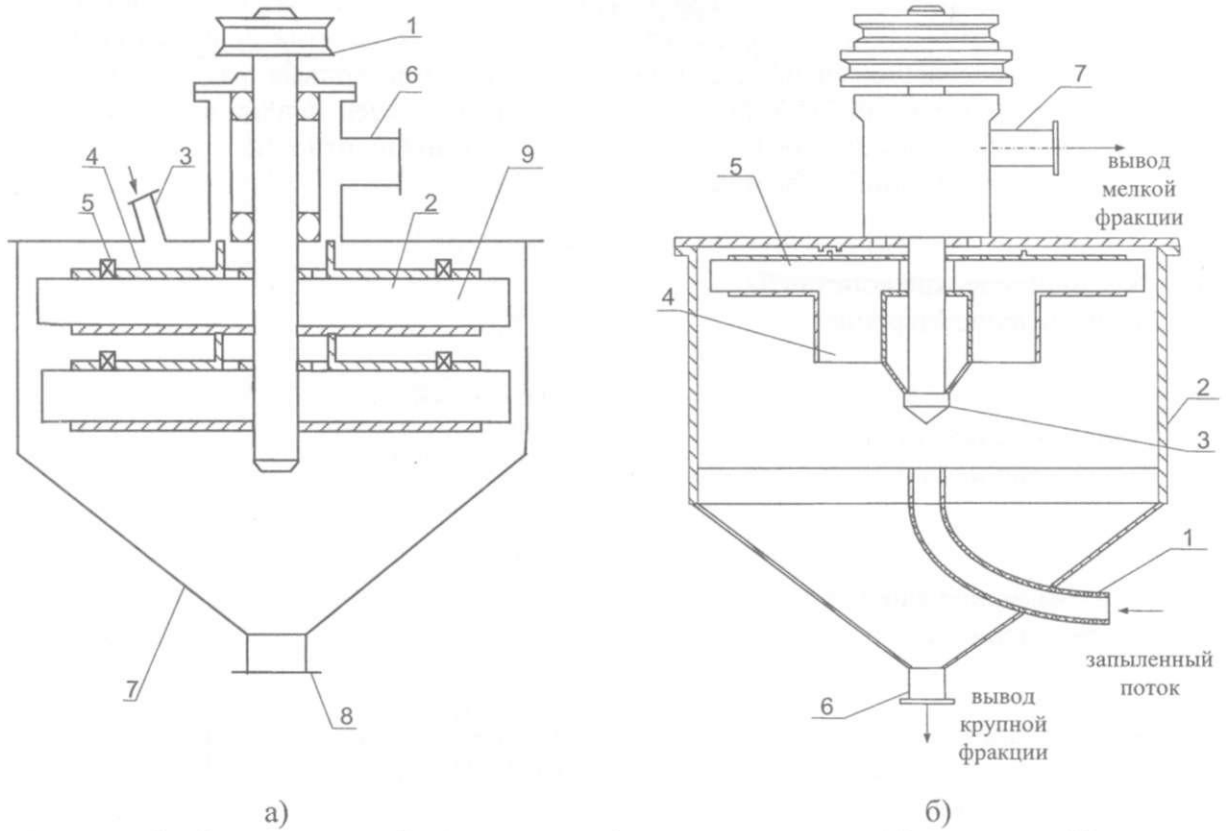


Рисунок 1 - Схемы центробежных классификаторов первого (а) и второго (б) типов

Одной из важнейших характеристик кривой разделения является граничный размер фракции $\delta_{гр}$, то есть размер частиц, которые при классификации исходного продукта разделяются поровну между мелкой и крупной фракциями.

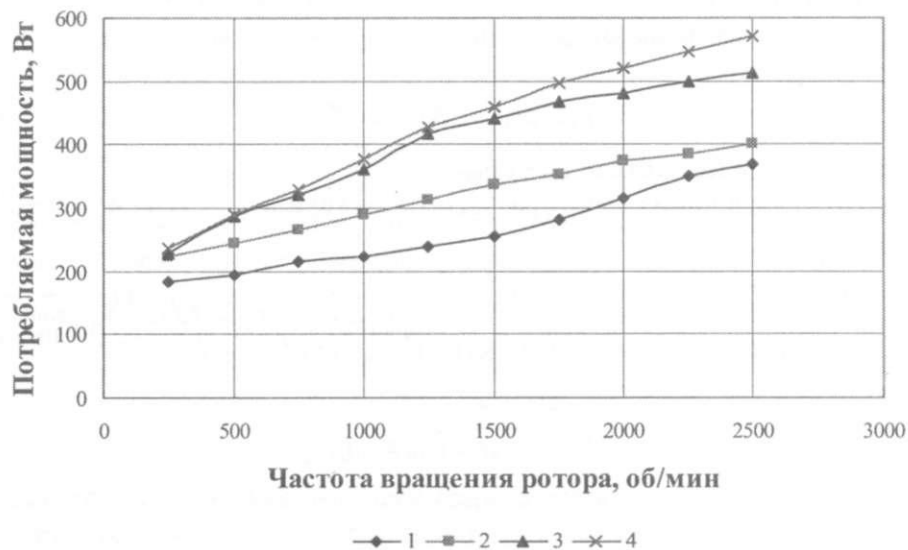


Рисунок 2 - Зависимость потребляемой мощности от частоты вращения ротора для 2-х типов аппаратов:

- 1 – аппарат первого типа при $Q = 0$; 2 – аппарат первого типа при $Q = 0,008 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 3 – аппарат второго типа при $Q = 0$; 4 – аппарат второго типа при $Q = 0,008 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для простоты определения качественных характеристик процесса кривые разделения были построены по относительному размеру δ' , который определяется отношением текущего размера к граничному. Для определения качественных характеристик процесса необходимо знать закон распределения, наиболее точно описывающий кривые разделения на всем диапазоне диаметров частиц фракции. Для этого был проведен анализ законов, наиболее часто встречающихся в литературе [4, 5]. К этим законам можно отнести:

Распределение Розина – Раммлера

$$R(\delta) = \exp(-B \cdot \delta^N), \quad (1)$$

где B и N – эмпирические константы.

Распределение Мартина:

$$R(\delta) = \exp(-B_2 \cdot \delta), \quad (2)$$

где B_2 – эмпирическая константа.

Распределение Годэна – Андреева:

$$R(\delta) = 1 - B_3 \cdot \delta^{N_3}, \quad (3)$$

где B_3 и N_3 – эмпирические константы.

Распределение Белоглазова:

$$R(\delta) = 1 - \frac{A \cdot B_4 \cdot \delta^{N_4}}{1 + B_4 \cdot \delta^{N_4}}, \quad (4)$$

где A , B_4 и N_4 – эмпирические константы.

Проанализировав данные законы, было выявлено, что наиболее точно на всем интервале диаметров частиц их распределение описывает закон Розина – Раммлера. Поэтому для определения качественных характеристик кривые разделения по относительному размеру были описаны этим законом распределения.

После математической обработки безразмерных кривых разделения было установлено, что константа B практически не изменяется и ее значение равно 0,7, а константа C является функцией частоты вращения. С учетом найденных зависимостей закон распределения Розина – Раммлера примет вид

$$\ln \varphi(\delta') = -0,7 \cdot \delta'^{2,6(\Gamma_n^2 - 1)^{-0,24}}, \quad (5)$$

где Γ_n – симплекс подобия по частоте $\Gamma_n = n/n_{\max}$,

n_{\max} – частота вращения ротора, соответствующая максимальному значению коэффициента C .

На основании полученной зависимости были обработаны кривые разделения в безразмерном виде и определены значения КПД классификатора:

$$\eta = \int_0^1 \varphi(\delta') d\delta', \quad (6)$$

степени проскока

$$\varepsilon = \int_1^{\delta'_{\max}} \varphi(\delta') d\delta', \quad (7)$$

и качества классификации [5]

$$K_k = \frac{\eta}{\varepsilon}. \quad (8)$$

Значения показателя качества классификации для двух типов аппаратов, в зависимости от параметров процесса, представлены на рис. 3.

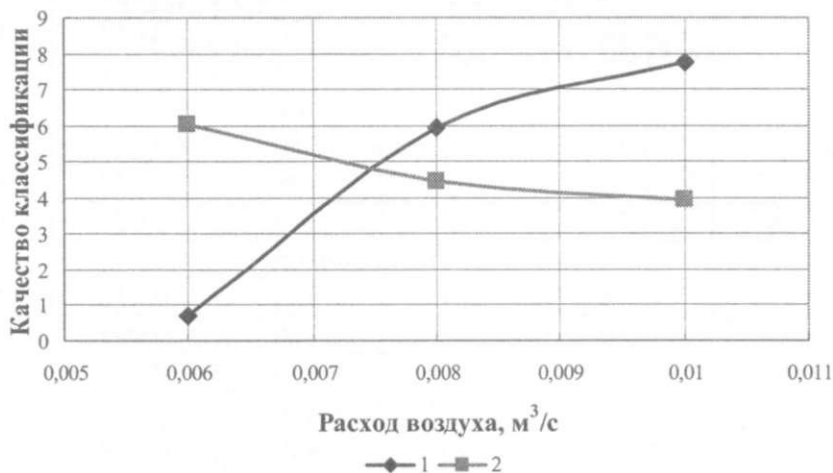


Рисунок 3 - Зависимость качества классификации от расхода воздуха при частоте вращения ротора 1000 об/мин:
1 – аппарат первого типа; 2 – аппарат второго типа.

Анализ данных на рис.3 показывает, что качество классификации для аппарата первого типа возрастает с увеличением расхода воздуха, в то время как этот параметр для аппарата второго типа уменьшается.

Для сравнения энергетической эффективности двух типов аппаратов нами был введен единый обобщенный комплексный параметр энергоэффективности классификатора, который определялся выражением

$$\Omega_k = \frac{K_k}{Eu_m}, \quad (9)$$

где $Eu_m = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5}$ – критерий Эйлера для роторных аппаратов;

ρ – плотность двухфазного потока, кг/м³;

n – частота вращения ротора, об/с;

d – диаметр ротора, м.

Для сопоставления аппаратов по предложенному параметру были найдены соотношения параметров энергетической эффективности аппаратов при одинаковых параметрах проведения процесса и конструктивных размерах рабочих органов. Тогда, с учетом выражения (6), получим соотношение

$$\frac{\Omega_{k1}}{\Omega_{k2}} = \frac{K_{k1} \cdot N_2}{N_1 \cdot K_{k2}}, \quad (10)$$

где K_{k1} и K_{k2} – качество классификации для аппарата первого и второго типа соответственно;
 N_1 и N_2 – потребляемая мощность для аппарата первого и второго типа соответственно, Вт.

В таблице 1 приведены значения качества классификации, потребляемой мощности и параметра энергетической эффективности аппаратов двух типов при одинаковых значениях расхода воздуха и частоты вращения ротора.

Таблица 1 - Сравнение двух конструкций центробежных классификаторов

Q, м ³ /с	K _{к1}	K _{к2}	N ₁ , Вт	N ₂ , Вт	Ω ₁	Ω ₂	Ω ₁ /Ω ₂
n = 500 об/мин							
0,006	3,23	5,73	225	252	0,009	0,013	0,63
0,008	5,25	4,61	244	290	0,013	0,009	1,35
0,01	7,42	5,87	254	292	0,017	0,012	1,45
n = 750 об/мин							
0,006	3,78	6,38	258	316	0,029	0,04	0,73
0,008	6,2	4,85	265	328	0,047	0,029	1,58
0,01	3,75	5,78	278	340	0,028	0,034	0,81
n = 1000 об/мин							
0,006	0,71	6,04	274	365	0,012	0,079	0,16
0,008	5,92	4,46	289	376	0,097	0,056	1,73
0,01	7,75	3,94	296	386	0,125	0,048	2,57
n = 1250 об/мин							
0,006	4,6	6,75	296	420	0,144	0,149	0,967
0,008	5,2	7,71	312	428	0,155	0,167	0,925
0,01	4,47	4,14	318	442	0,131	0,087	1,5

Из таблицы видно, что при малых расходах воздуха (0,006 м³/с) аппарат второго типа примерно на 20% эффективнее, чем аппарат первого типа. Однако при увеличении расхода воздуха (0,008 и 0,01 м³/с), а следовательно, и единичной производительности аппарата по твердой фазе этот параметр у аппарата первого типа резко возрастает. Причем соотношение параметров энергетической эффективности классификаторов колеблется от 0,16 (при частоте вращения 1000 об/мин и расходе воздуха 0,006 м³/с) до 2,57 (при частоте вращения 1000 об/мин и расходе воздуха 0,01 м³/с).

Заключение

Разработанные типы аппаратов могут найти применение в пищевой промышленности для получения тонкодисперсных порошков с максимальными размерами 20 – 100 мкм. Полученное уравнение распределения с достаточной точностью описывает фракционный состав порошков на любом интервале их размеров. Аппарат первого типа имеет преимущества при работе с аэросмесями с малой концентрацией твердой фазы. Аппарат второго типа имеет более четкую границу разделения при работе с аэросмесями высокой концентрации.

Литература

1. Центробежный классификатор для разделения полидисперсных материалов: пат. 7793 Респ. Беларусь, МПК7 В07 В7/083. / В.А. Шуляк, М.А. Киркор; заявитель Мог. гос. ун-т. прод. – № а 20020944; заявл. 26.11.2002 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 1. – С. 58 – 59.
2. Ушаков, С.Г. Алгоритм построения кривых разделения процессов классификации / С.Г. Ушаков, Ю.Н. Муромкин // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 1977. – т. 20, № 4 – С.604 – 605.
3. Градус, Л.Я. Руководство по дисперсному анализу методом микроскопии / Л.Я. Градус. – М.: Химия, 1979. – 232 с.
4. Белоглазов, И.Н. К характеристике распределения частиц по крупности в сложной дисперсной системе / И.Н. Белоглазов, М.И. Курочкина // Журнал прикладной химии. – 1991. – № 10. – С. 2079 – 2082.
5. Мизонов, В. Е. Аэродинамическая классификация порошков / В.Е. Мизонов, С. Г. Ушаков. – М.: Химия, 1989. – 160с.

Поступила в редакцию 04.04.2006