

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МЕЛЬНИЦЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ПРИНЦИП ВИХРЕВОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

В статье рассмотрены методы и классы измельчения. Сделан краткий обзор существующих конструкций роторных мельниц. Результатом исследования является изобретение новой конструкции роторно-вихревой мельницы.

**Ключевые слова:** методы измельчения, классы измельчения, роторно-вихревые мельницы, процесс измельчения, траектории, частицы.

A.A. Kostylev

## THE DESIGN DEVELOPMENT OF THE MILL USING THE VORTEX CRUSHING PRINCIPLE

The methods and classes of crushing are considered in the article. The short review of the existing rotor mill designs is made. The research result is the invention of the new design of the rotor-vortex mill.

**Key words:** crushing methods, crushing classes, rotor-vortex mills, crushing process, trajectories, particles.

**Введение.** Традиционные методы получения порошковой формы пищевых продуктов из сырья растительного происхождения предполагают, как правило, следующую последовательность операций: предварительное измельчение, сушку продукта в аппаратах конвективного, радиационного или контактного типа и последующее измельчение высушенного материала в мельнице. Наиболее энергоемким и одним из основных является процесс измельчения. Так как процесс измельчения является весьма распространенным и встречается во многих производственных отраслях, то и оборудование для осуществления этого измельчения должно быть разнообразно настолько, насколько разнообразны и сами материалы.

**Перспективные методы измельчения, классы измельчения и машины для измельчения.** Скорость и производительность, а также качественные показатели многих технологических процессов зависят от величины поверхности обрабатываемых твердых материалов; при этом увеличение их поверхности путем уменьшения размеров кусков (дробление) повышает скорость процесса, а также увеличивает выход и повышает качество конечного продукта.

Из вышесказанного ясно, что дробление или измельчение – это уменьшение размеров кусков, а вот процесс измельчения мелких кусков называется размолом (помол).

В зависимости от размера кусков исходного сырья и конечного продукта измельчение условно делят на несколько классов (табл.) [1].

## Классы измельчения

Класс измельчения	Размер кусков до измельчения $d_H$ , мм	Размер кусков после измельчения $d_K$ , мм
Дробление		
Крупное	1000	250
Среднее	250	20
Мелкое	20	1-5
Помол		
Грубый	1-5	0,1-0,04
Средний	0,1-0,04	0,005-0,015
Тонкий	0,1-0,04	0,001-0,005
Коллоидный	-0,1	-0,001

В настоящее время для различных отраслей промышленности имеет важное значение получение тонкого и сверхтонкого размола частиц в деле интенсификации и коренного изменения технологических процессов производства в различных направлениях промышленности (химической, пищевой).

На первый взгляд, процесс переработки сырья путем его измельчения не кажется очень сложным. С одной стороны, оно так и есть, дробление материалов на крупные куски осуществляется довольно простыми машинами, в которых используются несложные методы и процессы. Но когда требуется тонкое измельчение, к примеру помол с фракцией в несколько десятков микрон, и при этом материал имеет низкую температуру плавления и разнородную структуру, чтобы разобратся, как же измельчить такой продукт, нужно разобратся с существующими способами измельчения.

Для измельчения материалов используются различные способы измельчения: твердый материал можно разрушить и измельчить до частиц желаемого размера раздавливанием, раскалыванием, разламыванием, резанием, распиливанием, истиранием, ударом и различными комбинациями этих способов.

На практике в большинстве случаев происходит комбинированное воздействие измельчающих усилий, например раздавливания с истиранием, удар с раздавливанием и истиранием; иногда к главным усилиям присоединяются побочные-изгибающие и разрывающие. В промышленности (горнорудной, химической и др.) из перечисленных способов используют раскалывание, разламывание, раздавливание, истирание и удар [1].

Процесс измельчения может осуществляться в различных типах машин. Ни в одном аппарате не удастся применить какой-либо метод измельчения в чистом виде. Тем не менее каждый агрегат характеризуется по какому-либо одному, преобладающему в нем принципу. Так, например, шаровые барабанные мельницы используют для размола принцип удара, хотя в них имеет место также получение пыли за счет истирания между шарами и раздавливания материала весом шаровой загрузки. Последние два метода измельчения играют меньшую роль, почему и говорят о шаровой мельнице как о мельнице ударной.

Машины для измельчения подразделяют на дробилки и мельницы. Дробилки и мельницы выполняют одни и те же функции. Но дробилками обычно называют машины, применяемые для измельчения крупнозернистого материала с кратностью дробления в пределах 4–20. Начальный размер кусков может достигать в этих агрегатах до 200–1000 мм в поперечнике. Под мельницами подразумевают агрегаты, предназначенные для получения порошкообразного материала с конечными размерами частиц не больше 0,2–0,5 мм. Агрегаты эти работают с высокой кратностью измельчения, достигающей до 300–500 [2].

Перспективным направлением в создании мельниц для тонкого помола материалов, имеющих среднюю твердость, является принцип измельчения за счет создания в помольной камере вихревого потока несущей среды. Чтобы осуществить измельчение в этом потоке, необходимо обеспечить высокое значение скоростей движения частиц материала перед ударом, которые могут быть достигнуты в аппаратах вихревого типа.

При измельчении растительного пищевого сырья нужно учитывать следующие факторы: не допускать перегрева продукта, так как могут измениться его физико-химические свойства; продукт, измельченный до нужной фракции, должен сразу выводиться из помольной камеры, чтобы обеспечить монодисперсность фракции, а также сократить энергозатраты.

**Совершенствование конструкции роторно-вихревой мельницы тонкого помола.** Изучив некоторые известные устройства [3–5], в которых применен принцип вихревого измельчения, и обозначив их основные недостатки, была поставлена задача создать конструкцию, которая бы исключала известные недостатки за счет применения новых конструктивных решений.

Для выполнения поставленных задач предлагается: закрутку несущей среды, предварительное измельчение и первоначальное ускорение частиц осуществлять в полном роторе, имеющем лопасти переменного сечения. Частицы, ускоренные механически, за счет взаимодействия с ротором, выбрасываются из него на внутреннюю поверхность второго ротора, имеющего по крайней мере 8 проточек по касательной к окружности, а создаваемое давление внутренним ротором проталкивает несущую среду вместе с предварительно измельченным материалом через проточки второго ротора (внешнего), при этом наиболее мягкие частицы (уже измельченные до нужной фракции во внутреннем роторе, а также между двумя роторами) сразу выводятся вихрем из помольной камеры в разгонную, что позволяет избежать чрезмерного измельчения и повышенного нагрева продукта. При выходе несущей среды с измельчаемым материалом из второго (внешнего) ротора создается вихрь, несущий материал к периферии помольной камеры, на которой установлена футеровка с проточками, имеющими форму прямоугольной трапеции, в которых выходная боковая сторона трапеции расположена под углом 90° относительно ее основания, на которой в свою очередь возникают малые вихри и более твердый материал измельчается за счет многократного взаимодействия с футеровкой, для уменьшения нагрева износостойких вставок (футеровки) применена водяная рубашка охлаждения [6].

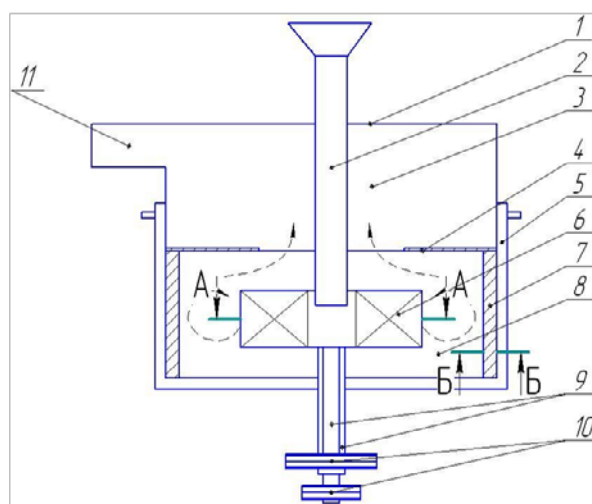


Рис. 1. Роторно-вихревая мельница тонкого помола РВМТП

Устройство, изображенное на рисунке 1, содержит корпус (1), трубу ввода (2) для подвода измельчаемого материала и воздуха, разгонную камеру (3), диафрагмированную крышку (классификатор) (4), водяную рубашку охлаждения (5), устройство из двух роторов (6), износостойкие вставки (футерованная боковая поверхность) (7), помольную камеру (8), валы (9), шкивы (10), выходной патрубок (11).

Для того чтобы измельчаемые частицы беспрепятственно перемещались по оптимальной скачкообразной многоугольной траектории, а именно по траектории, близкой к вписанному в боковую поверхность квадрату. Если вписать в окружность квадрат, а затем вписать в этот квадрат окружность, то диаметры двух окружностей относятся как 1:0,71 (рис. 2). Это условие является существенным, так как при его нарушении в большую сторону меняется механизм измельчения частиц. Чем более стесненные условия создаются для материала при увеличении диаметра ротора, тем ближе условия измельчения к истиранию, сопровождаемому интенсивным нагревом материала. С другой стороны, при уменьшении диаметра ротора ускорение частиц становится менее эффективным [3].

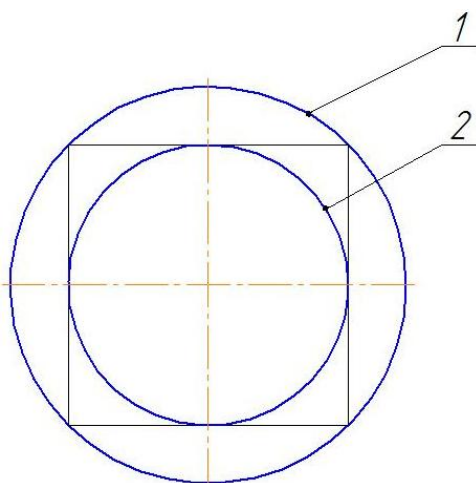


Рис. 2. Расположение ротора в помольной камере

Устройство, изображенное на рисунке 2, содержит помольную вихревую камеру (1), ротор (2).

Используя метод визуального наблюдения, можно описать, как движутся частицы в вихревой помольной камере РВМТП. Мелкие частицы в вихревой помольной камере движутся по концентрическим окружностям или равновесным траекториям и логарифмическим спиралям (рис. 3). Более крупные частицы под действием центробежных сил двигаются на периферии вихревой помольной камеры, где при взаимодействии с футеровкой происходит процесс самоизмельчения (рис. 4) (измельчение при соударении частиц друг с другом).

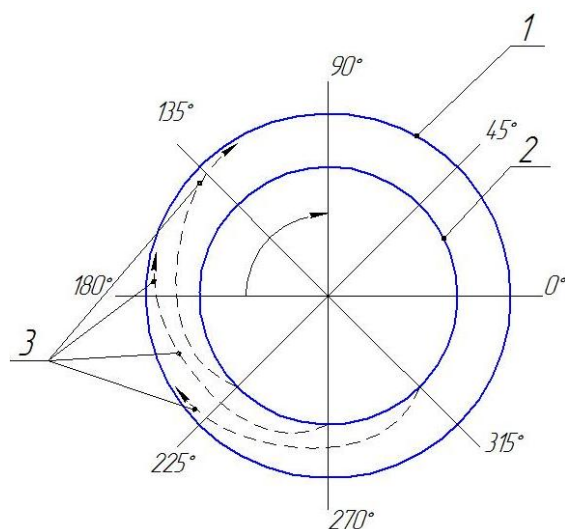


Рис. 3. Траектория движения частиц в вихревой помольной камере РВМП

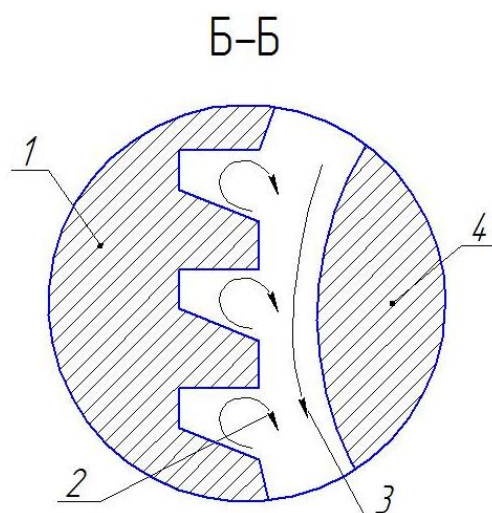


Рис. 4. Траектория движения частиц на поверхности футеровки (разрез Б-Б)

Устройство, изображенное на рисунке 3, содержит помольную вихревую камеру (1), ротор (2), частицы измельчаемого материала (3).

Устройство, изображенное на рисунке 4, содержит футеровку (1), ротор (4), траекторию движения частиц на профилированной поверхности (футеровке) (2), направление вращения вихря и ротора в вихревой помольной камере (3).

На рисунках 5 и 6 графически показаны зависимости, которые удалось получить в ходе визуального исследования работы РВМП.

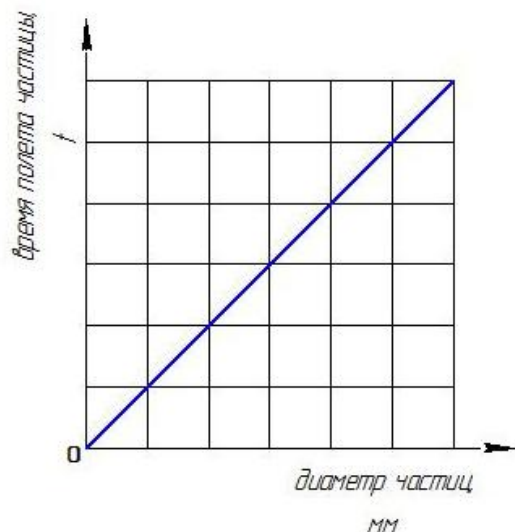


Рис. 5. Зависимость относительного времени полета от диаметра частицы



Рис. 6. Зависимость относительного размера фракции от скорости вращения ротора

## Выводы

К основным результатам, полученным в процессе исследования, относятся:

1. На основе анализа существующих методов измельчения сделан вывод об отсутствии роторно-вихревых мельниц, которые позволяли бы получать измельченный материал высокой монодисперсности при заданном размере фракции, а также не перегревать сырье в процессе помола.

2. Используя конструктивные технологические приемы, основанные на комплексном применении различных способов измельчения, создана оригинальная конструкция роторно-вихревой мельницы тонкого помола.

3. Выявлены следующие закономерности, влияющие на процесс и степень измельчения:

- фракционный состав измельчаемого материала на 75–85 % определяется зазором для выхода в классификаторе;
- соотношение диаметров помольной камеры и наружного ротора должно быть 1:0,71 (рис. 2) соответственно (это условие необходимо для того, чтобы происходил процесс самоизмельчения, а не истирания;
- число оборотов вращения роторов РВМТП прямо пропорционально влияет на степень измельчения материала (рис. 6).

### Литература

1. *Сиденко П.М.* Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия. 1977. – С. 23–25.
2. *Ромадин В.П.* Пылеприготовление. – М.: Госэнергоиздат. 1953. – 519 с.
3. Пат. 2386480 Российская Федерация, МПК В02С13/14. Вихревой измельчитель для каскадного измельчения / *Д.А. Ким, Н.А. Романов, А.И. Яворский*. – Заявитель и патентообладатель ООО «Научно-производственное предприятие "ВМ"». – № 2008115813/03; заявл. 21.04.2008; опубл. 20.04.2010.
4. Пат.2057588 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> В02С19/06. Способ вихревого измельчения и вихревая мельница для его осуществления / *С.О. Аман, М.А. Гольдштик, А.В. Лебедев* [и др.]. – Заявитель и патентообладатель – Акционерное общество закрытого типа "Вихревые технологии". – № 5012098/33; заявл. 22.11.1991; опубл. 10.04.1996.
5. Пат. 990295 Российская Федерация, МПК<sup>5</sup> В02С13/14. Центробежная дробилка / *Э.Р. Багян, Б.Т. Баканов, И.А. Тер-Азарьев*. – Заявитель и патентообладатель Фрунзенский политехнический институт. – № 3296961; заявл. 20.05.1981; опубл. 23.01.1983.
6. Заявка 2012147619 Российская Федерация. Роторно-вихревая мельница тонкого помола / *А.А. Костылев, В.Н. Невзоров, Т.В. Ступко*. – Заявитель ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет». – № 2012147619; заявл. 08.11.2012.

