

УДК 621.928; 621.926

НОВОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

*д-р техн. наук, проф. Л.А. СИВАЧЕНКО; Н.В. КУРОЧКИН
(Белорусско-Российский университет, Могилев);
канд. техн. наук, доц. М.А. КИРКОР; Р.А. БОНДАРЕВ
(Могилевский государственный университет продовольствия);
Т.Л. СИВАЧЕНКО*

(Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова, Россия)

Рассматривается новое технологическое оборудование для комплексной переработки пищевого сырья растительного происхождения. Приведена информация о новых образцах технологического оборудования для измельчения, классификации и смешивания растительного сырья; дана оценка перспектив технического использования и рекомендаций по применению их в различных отраслях перерабатывающей промышленности. Исходя из феноменологической оценки стадий переработки сырья растительного происхождения предлагается активизировать технологическую переработку на основе совершенствования механизмов воздействия на обрабатываемую среду. Это направление базируется на адаптивных методах организации рабочего процесса и повышения энергонапряженности оборудования.

Введение. В настоящее время развитие пищевой промышленности стимулирует развитие направления производства ингредиентов, концентратов, добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств, быстрорастворимых продуктов [1]. Отечественная пищевая промышленность имеет большой опыт производства данных видов продукции, однако бурная динамика развития этого направления в мировом масштабе требует создания нового технологического оборудования, что определило цель выполненных работ. Рынок пищевых продуктов испытывает острую потребность в производстве натуральных пищевых добавок, соответствующих международным стандартам качества продуктов питания. Натуральные пищевые добавки представлены, как правило, в виде тонкодисперсных систем – порошков или паст. Порошкообразная форма пищевых ингредиентов имеет ряд преимуществ, таких как удобство хранения и транспортировки, интенсивное растворение, удобство дозировки и купажирования; кроме того, пищевые порошки менее подвержены химико-биологическим преобразованиям по сравнению с эмульсиями, растворами и пастами. К недостаткам порошков можно отнести дополнительные затраты энергии на сушку продукта, жесткий контроль граничного размера частиц в большинстве технологий, высокие адгезионные свойства, пожаро- и взрывоопасность.

Пастообразные продукты представляют собой вязкую тонкоизмельченную массу. Они получили широкое распространение в консервной промышленности в качестве готового продукта, а также во многих пищевых технологиях в качестве полуфабрикатов. К преимуществам пищевых паст можно отнести простоту проведения процесса, исключение процесса сушки, что позволяет сохранить в продукте витамины и биологически активные вещества. Недостатками являются сложность хранения, так как влажная среда создает благоприятные условия для развития бактерий, применение процесса пастеризации, деаэрации, меньший срок хранения по сравнению с порошками.

Таким образом, и пищевые пасты, и тонкодисперсные пищевые порошки обладают как достоинствами, так и недостатками, применение того или иного вида пищевых добавок обусловлено технологией производства конечного продукта, оборудованием, сырьевыми ресурсами.

Обобщив технологии получения пищевых добавок по виду исходного сырья и не заостряя внимание на специфике производства пищевых добавок, можно выделить несколько групп машин и аппаратов. Подготовительные операции – мойка, очистка, инспекция, отделение ферромагнитных и минеральных примесей, упаковка – обладают широким спектром конструкций и видов технологических машин и аппаратов, которые должным образом справляются с поставленной задачей. Однако такие процессы, как измельчение, грохочение, гомогенизация, классификация, смешение, имеют серьезный задел для разработки новых, высокоэффективных образцов оборудования.

Современные технологии производства продуктов питания предъявляют жесткие требования к степени дисперсности и максимальному размеру частиц. Практика использования пищевых порошков показывает, что требуемым является граничный размер частиц порошка в интервале 15...100 мкм [1]. Однако существуют и специфические технологии, что также необходимо учитывать при рассмотрении данного вопроса.

Несоблюдение требований гранулометрического состава пищевых ингредиентов приводит не только к ухудшению качества готовой продукции, необоснованному увеличению времени протекания

технологического процесса и, как следствие, к высоким энергозатратам, но и сказывается на сроке хранения порошков. Доказано, что у частиц одного и того же продукта размером 250 мкм и более по отношению к размерам 50 мкм и менее резко возрастает скорость увлажнения за счет пористости материала, что усугубляет процесс хранения и приводит к порче и потере качества товара [1].

Так как ни процесс измельчения, ни процесс сушки не позволяет получить в полной мере продукт требуемого гранулометрического состава, то для контроля размера частиц пищевых порошков применяется процесс классификации.

Для пищевых паст размер частиц также является ключевым моментом технологии производства. Известно, что для получения оптимальных показателей качества, в частности цвета, а также для предотвращения проявления пороков паст рекомендуется представлять продукт в виде массы с размером частиц 20...30 мкм [2]. В отличие от процесса получения порошков, при производстве паст вместо классификации применяется процесс гомогенизации, как правило, совмещенный с процессом диаэрации.

Для расширения информации о технической базе оборудования для комплексной переработки материалов пищевого применения представим некоторые образцы оборудования, разработанные нами и обладающие необходимой новизной и эффективностью практического применения. Часть из представленного оборудования уже используется в промышленности, другая находится в стадии лабораторных исследований, что, однако, дает нам право представить эти разработки для критической оценки специалистами, тем более что часть из них осуществляется в других отраслях.

В качестве одного из главных критериев их отбора явилось стремление минимизировать эксплуатационные издержки при максимальном сохранении потенциала пищевых материалов, а также получение готового продукта, отвечающего стандартам качества.

Аппаратурное оформление процессов измельчения, классификации в пищевой промышленности представлено широким спектром конструкций машин, причем предложенные конструкции имеют ряд конструктивных преимуществ по сравнению с традиционно применяемыми агрегатами.

Основная часть. Комплексная переработка пищевых процессов основывается на проведении целого ряда взаимосвязанных механических, термических и химических взаимодействий между исходными компонентами. Их эффективное протекание требует учета множества закономерностей и свойств обрабатываемых материалов. В качестве основной гипотезы примем адаптивные методы переработки дисперсных материалов и сред. Суть его сводится к «взаимопониманию» между перерабатываемой средой и рабочими агрегатами, которые оперативно изменяют свои характеристики по мере преобразования структуры пищевых продуктов.

Эта концепция сводится к созданию оборудования с рабочими органами, которые обладают избыточной деформационной способностью или имеют дополнительные степени свободы движения. К первым можно отнести пружинные аппараты многоцелевого назначения, ко вторым – рабочее оборудование на основе многошарнирных элементов.

Особо следует отметить адаптивный механизм реализации переработки материалов при проведении аэродинамических и гидромеханических процессов. В этом случае многофазные потоки материалов организуются и управляются таким образом, чтобы максимально улучшить процесс переработки с минимизацией негативных эффектов, например, адгезионных и электростатических сил, застойных зон, ненужных турбулентностей и др.

Ниже представлены новые технологические агрегаты, основанные на изложенных принципах, предназначенные для использования в различных стадиях переработки пищевых продуктов.

Дробилки ударного действия. С целью дальнейшего совершенствования молотковых дробилок предлагается несколько конструктивных решений этих машин: во-первых, для управления процессом измельчения ротор целесообразно устанавливать под углом и таким образом изменять характер движения материала в рабочей камере, совмещая достоинства дробилок с горизонтальными и вертикальными валами; во-вторых, выполнение бильной системы из отдельных секций, разделенных между собой свободными зонами; в-третьих, целесообразна установка между секциями бильной системы расширительных камер.

Предложенная конструкция (рис. 1) имеет между секциями бильной системы в корпусе так называемые расширительные камеры, которые способствуют снижению окружной скорости потока материала, тем самым увеличивая эффективность работы последующей секции. В первом случае расширительная камера представляет собой вытянутый цилиндрический корпус, имеющий в сечении овальную форму, во втором – корпус представляет собой два усеченных конуса соединенных между собой большими основаниями так, что нижние их основания расположены на одной линии с минимальным расстоянием от концов ударных элементов, а верхняя часть конусов образует расширительную камеру. Также конструкция расширительной камеры позволяет выводить мелкую фракцию материала, установив к ней вытяжную систему. Наклон корпуса измельчителя в сочетании с расширительной камерой обеспечивает

управляемое движение материала и более высокую технологическую и энергетическую эффективность работы дробилки [3]. Выполнение ударных элементов в виде ножей или фрез дает возможность производить переработку волокнистых и пленочных материалов, растительного сырья, пластмасс и др. [3].

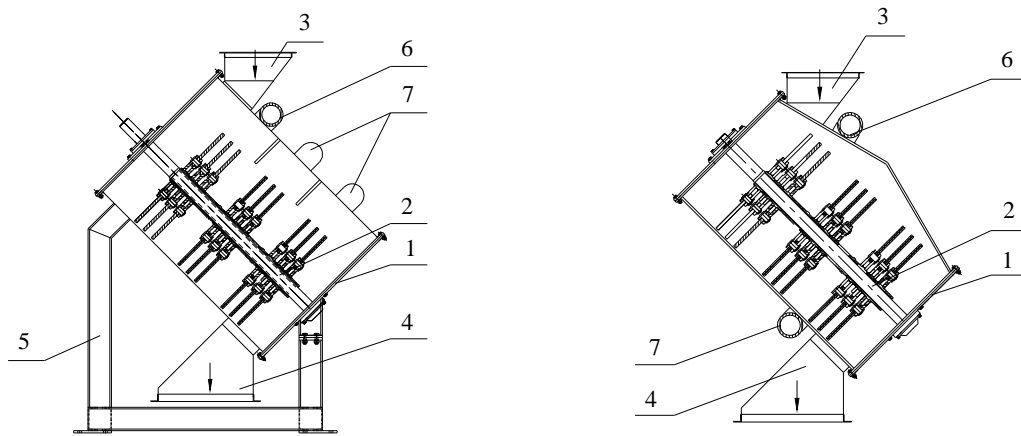


Рис. 1. Дробилка с наклонным ротором:

1 – корпус; 2 – рабочий орган; 3,4 – устройства для загрузки и выгрузки;
5 – рама; 6 – патрубков для ввода дополнительных материалов; 7 – патрубки для вывода мелкой фракции

Данные агрегаты могут применяться для измельчения сырья растительного происхождения (злаки, сахар растительный, какао, кофе и т.д.), проявляющего хрупкие свойства.

Крупность исходных кусков материала желательна не более 50...100 мм, абразивность – не выше средней. При этом крупность частиц в готовом продукте может достигать сотен микрометров и даже менее, при производительности аппаратов от 0,1 до 20 тонн в час.

Пружинный смеситель-диспергатор. Предлагаемая конструкция агрегата предназначена для смешивания, помола и активации компонентов. Основу конструкции составляет дугообразно изогнутый вращающийся пружинный рабочий орган. Механизм его воздействия на частицы обрабатываемого материала приведен на рисунке 4.

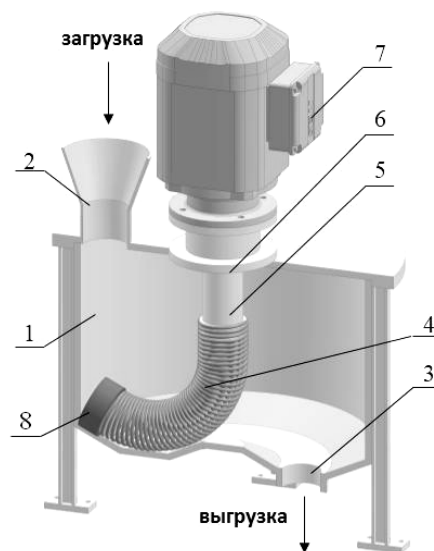


Рис. 2. Смеситель-диспергатор

Смеситель-диспергатор содержит камеру 1 для обработки материала, устройство 2 для загрузки и устройство 3 для выгрузки материала, рабочий орган 4 в виде изогнутой винтовой спирали, один конец которой закреплен на валу 5 опоры 6, на которой установлен приводной электродвигатель 7. Свободный конец спирали 4 посредством оси 8, выполненной на узле крепления 9, установлен в подшипнике 10 опорного ролика 11, имеющего бандаж 12.

Пружинный смеситель-диспергатор (см. рис. 2) предназначен для обработки порошковых составов и жидкотекучих композиций.

Рабочий процесс смесителя-диспергатора осуществляется следующим образом. Камера 1 для обработки материала через загрузочное устройство 2 заполняется исходными компонентами. Включается приводной электродвигатель 7 и через вал 5 опоры 6 приводит во вращение спиральный рабочий орган 4, который через ось 8 опирается на подшипник опорного ролика. При вращении рабочего органа 4 частицы исходного материала попадают в клиновидные пространства, образованные смежными витками, и интенсивно разрушаются. Одновременно рабочий орган в силу возникающих реактивных моментов от взаимодействия с рабочей средой получает поворотное вращательное движение в плоскости своей центральной оси относительно оси привода. При этом опорный ролик перекачивается по поверхности рабочей камеры, а рабочий орган 4 совершает некоторое количество полных вращений по всему рабочему объему камеры 1. Это позволяет производить качественную обработку всего объема загруженного материала. Обработанный до требуемых кондиций и готовый для последующего использования продукт удаляется из аппарата через устройство 3 для выгрузки.

Представленная конструкция также может использоваться при производстве пищевых паст, совмещая процесс измельчения (протирания) и гомогенизации. Отдельного внимания заслуживает возможность применения данного диспергатора в технологии получения шоколадных масс. Применение пружинного диспергатора-смесителя позволяет, во-первых, совместить в себе два технологических процесса, во-вторых, получить более однородную консистенцию за счет диспергирования уже на стадии смешения.

Штифтовый измельчитель. Установка подготовки зерна для вскармливания животным по методу иглопротыкания (рис. 3) содержит установленные в корпусе 1 и вращающиеся навстречу друг другу щеточные валки 2, 3. Исходное зерно поступает в зону обработки через патрубок 4, а удаляется после обработки через выгрузочный лоток 5. Для исключения забивания щеток зерновым материалом в конструкции предусмотрены очистительные устройства 6, 7.

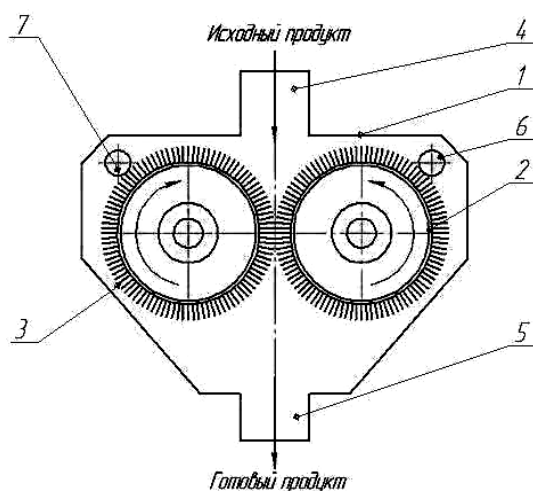


Рис. 3. Валковый измельчитель:

1 – корпус; 2, 3 – щеточные валки; 4 – патрубок подачи продукта; 5 – выгрузочный лоток

Создание оборудования, использующего метод иглопротыкания, являющегося конкурентным для технологии получения зерна, дает возможность отойти от использования при подготовке комбикормов молотковой дробилки и активировать процессы пищеварения у животных при минимальной степени изменения сырья [4].

Технологическая операция тонкого разделения в большинстве случаев производится на таком виде оборудования, как классификатор.

Механические классификаторы. Существует способ грохочения с помощью просеивающей поверхности, выполненной в виде упругих элементов, которые совершают дополнительные колебания в направлении, перпендикулярном к движению материала. Эти колебания позволяют улучшить прохождение материала через просеивающую поверхность, увеличивая при этом удельную производительность поверхности грохочения. При колебании пружинного рабочего органа динамически изменяется размер отверстий и устраняется эффект забивания и залипания просеивающей поверхности материалом с влажностью более 3 % (рис. 4) [5].

Просеивающей поверхностью грохота являются пружины, связанные механизмом колебаний. Подлежащий разделению материал загружается в полость пружин, где под действием вибрации мелкая

(подрешетная) фракция просыпается через зазоры между витками, а крупная (надрешетная) вываливается через нижние отверстия полости пружин. Граница разделения регулируется изменением зазора между витками и находится в диапазоне 0,5...5,0 мм. Агрегат способен работать на материале влажностью 3...8 % с эффективностью разделения 85...96 %. Его производительность составляет 5...50 тонн в час, а энергоёмкость – 0,08...0,12 кВт·ч/т.

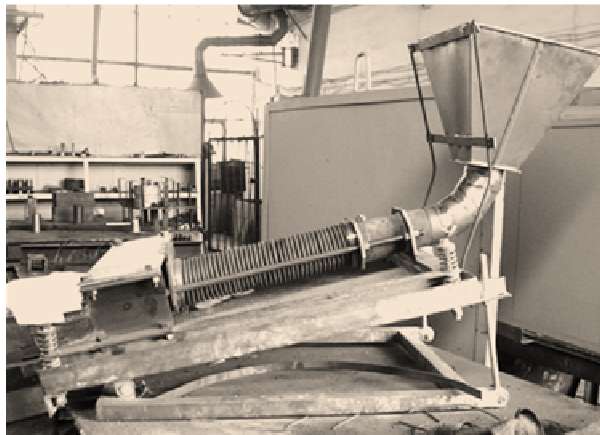


Рис. 4. Промышленный образец пружинного грохота

Применение данного агрегата целесообразно для разделения материалов растительного происхождения с размером частиц от 2 мм до 200 мкм. Также может использоваться как грубая очистка с возвратом на повторную обработку.

При работе с мелкодисперсным материалом большее распространение получили аэродинамические классификаторы. В аэродинамических классификаторах процесс разделения происходит за счет противопоставления массовых сил (сила тяжести, сила инерции) силам аэродинамического сопротивления. С точки зрения соотношения массовых и аэродинамических сил среди аэродинамических классификаторов наибольшим потенциалом обладают центробежные аэродинамические классификаторы. Данная гипотеза подтверждается научными исследованиями многих авторов.

Наибольшее применение в отрасли производства пищевых добавок получили роторные классификаторы. При вращении ротора продукт в зависимости от массы распределяется по радиальному направлению ротора, при этом более тяжелые частицы стремятся к большему радиусу, более мелкие – к меньшему. Это обеспечивает тонкое распределение продукта по поверхности ротора.

Удаление отделенной тонкой фракции происходит путем уноса частиц восходящим аэродинамическим потоком. Положительным фактором является возможность подачи воздушного потока по определенным зонам (по радиусам ротора), что положительно сказывается на процессе. Совокупность конструктивных особенностей роторных классификаторов дает возможность более тонкого разделения смеси с граничным размером $\delta_{гр} = 15...500$ мкм, что выгодно выделяет данный тип оборудования среди аналогов. Точная регулировка дает возможность разделения многокомпонентной порошковой смеси, последовательного выделения нескольких фракций путем изменения частоты вращения ротора.

Общий принцип действия роторных классификаторов сходен. Они, как правило, состоят из рабочей камеры, ротора с приводом, подачи и выгрузкой продукта с помощью аэродинамического потока.

На базе кафедры прикладной механики Могилевского государственного университета продовольствия была разработана конструкция роторного центробежного классификатора для разделения пищевых порошков (рис. 5).

Основным рабочим органом представленного классификатора является ротор, представляющий собой набор дисков с радиальными лопатками [7]. Данный образец имеет довольно высокие показатели качества классификации в интервале размеров от 50 до 350 мкм, отличаются относительно невысокими гидравлическими сопротивлениями, может успешно применяться для разделения пищевых порошков в указанных интервалах.

Результатом дальнейших научных исследований и изучения процесса разделения применительно к пищевым материалам может являться центробежный роторный классификатор с криволинейными лопатками. Основным отличием данной конструкции является рабочий орган [6] (рис. 5, б), который согласно экспериментальным исследованиям позволяет существенно снизить порог разделения 15 до 50 мкм. Поставленная задача достигается за счет уменьшения возможности агрегатирования порошков путем их радиального распределения по поверхности диска совместно с распределением по секторам. Кроме этого

в данной конструкции приняты меры для стабилизации аэродинамического потока в межлопаточном пространстве ротора, заключающейся в применении криволинейных лопаток в междисковом пространстве ротора. Данное техническое решение способствует образованию квазиламинарного режима течения газозвеси по ступеням ротора.

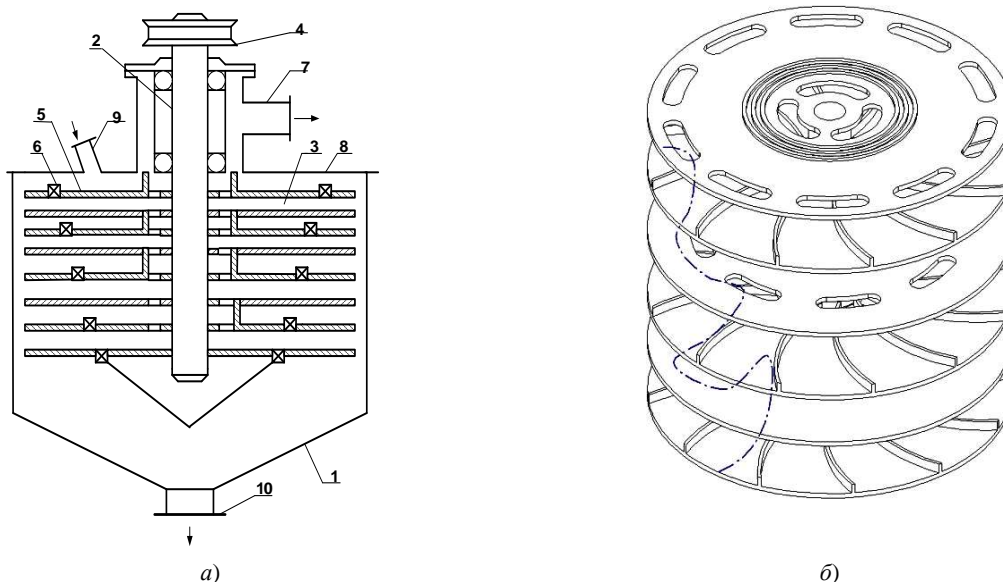


Рис. 5. Роторный центробежный классификатор для разделения пищевых порошков:
 а – классификатор с радиальными лопатками; б – ротор с криволинейными лопатками;
 1 – корпус; 2 – приводной вал; 3 – ротор; 4 – шкив привода; 5 – верхний диск;
 6 – окно; 7 – патрубок вывода мелкой фракции; 8 – крышка;
 9 – патрубок ввода исходного продукта; 10 – патрубок вывода крупной фракции

Принцип работы классификатора. Исходный продукт направляется на верхний диск рабочего органа, где под действием инерциальной силы более тяжелые частицы отесняются к стенке аппарата, а более легкие занимают положение, близкое к всасывающему потоку воздуха. Целевая фракция уносится вместе с воздушным потоком из рабочей камеры и осаждается в циклоне. Грубый продукт осаждается в корпусе классификатора и удаляется из аппарата под действием силы тяжести. Основное отличие данного аппарата заключается в использовании ротора с криволинейными лопатками. Данное техническое решение положительно влияет на качество разделения роторного центробежного классификатора, повышает его коэффициент полезности и достигается более четкая граница разделения.

Заключение. Представленные материалы являются частью исследований, которые проводились рядом организаций. Они не связаны едиными научно-техническими программами, поэтому не могут претендовать на завершенность. Нами предпринята попытка объединить их и дать оценку перспектив и возможностей использования в пищевой промышленности:

- *молотковая дробилка* является универсальным агрегатом для грубого и тонкого измельчения растительных и минеральных материалов производительностью от 0,1 до 20 т/ч и позволяет измельчить продукт до крупности 1...0,5 и даже 0,2 мм. Используется при получении известняковой крупки, измельчении зерна на комбикорм, переработки хлебобулочных изделий;

- *грохот пружинный* является новым технологическим агрегатом для пищевой промышленности. Он отличается высокой виброактивностью просеивающих поверхностей, что позволяет производить эффективное разделение материалов, в том числе и влажных, крупностью от 0,2 до 5 мм. Возможно установка пружинных рабочих органов в сушильные камеры и совмещение процессов сушки и грохочения;

- *пружинные мельницы, смесители и диспергаторы* имеют определенные технологические особенности, что позволят использовать их для помола различных материалов, применять при получении пищевых добавок и красителей, приготовлении кондитерских масс, различных смесей и компонентов, производстве мясокостной муки и т.д. Производительность пружинных агрегатов составляет от 0,05...0,7 т/ч. Эти машины наиболее эффективны для переработки жидкотекучих продуктов;

- *штифтовые измельчители* являются принципиально новым видом оборудования, их технологические возможности еще предстоит выявить. Первые наработки показывают их эффективность и потенциал, что может быть успешно реализовано в пищевой промышленности.

- центробежные роторные классификаторы являются высокоэффективными аппаратами для разделения пищевых полидисперсных порошков для отделения частиц продукта в интервале размеров от 5 до 350 мкм с производительностью по продукту от 0,05 до 0,5 т/ч. Они обеспечивают четкую границу разделения в заявленном диапазоне, что особенно актуально для пищевых порошков, максимальный размер частиц которых жестко регламентируется нормативными документами. В зависимости от специфики производства классификатор может быть выполнен в стандартном варианте, применяемом для сухих малоадгезионных продуктов, а также в варианте, обеспечивающем разделение высокоадгезионных, склонных к слипанию влажных и трудноразделимых продуктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарев, Р.А. Анализ методов классификации тонкодисперсных порошков / Р.А. Бондарев, И.Н. Никитин, М.А. Киркор // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VIII Междунар. науч. конф. студ. и аспирантов: в 2-х ч., Могилев, 26–27 апр., 2012 г. / Мог. гос. ун-т прод.; редкол.: А.В. Акулич [и др.]. – Могилев, 2012. – Ч. 2. – С. 75.
2. Нечаев, А.П. Технологии пищевых производств / А.П. Нечаев, И.С. Шуб. – М.: Колос С, 2005. – 768 с.
3. Харкевич, В.Г. Измельчение высушенных хлебобулочных изделий в установках ударного действия с многозвенным рабочим органом: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.18.12 / В.Г. Харкевич; Мог. гос. ун-т прод. – Могилев, 2010. – 23 с.
4. Сиваченко, Т.Л. Создание волокнисто-стержневых аппаратов для получения наноразмерных композиций / Т.Л. Сиваченко // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: в 3-х ч.: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 13–15 апр. 2010 г. / Белгор. гос. техн. ун-т; редкол.: В.С. Лесовик [и др.]. – Белгород, 2010. – Ч. 3. – С. 220–228.
5. Сиваченко, Л.А. Вибрационные пружинные грохоты / Л.А. Сиваченко, О.В. Голушкова. – Могилев: БРУ, 2006. – 42 с.
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. Центробежный классификатор для разделения полидисперсных материалов: пат. 7793 Респ. Беларусь, МПК7 B07 B7/083 / 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.

Поступила 10.02.2014

NEW TECHNOLOGY EQUIPMENT FOR COMPREHENSIVE FOOD PROCESSING RAW PLANT ORIGIN

L. SIVACHENKO, N. KUROCHKIN, M. KRİKOR, R BONDAREV, T. SIVACHENKO

Currently, the development of food industry development direction stimulates production of ingredients, concentrates and additives, flavorings and processing aids, instant products. Domestic food industry has deep experience in the production of these products, but the dynamics of turbulent development in this direction globally requires the creation of new technological equipment that is the aim of the work performed. On the skeleton of the phenomenological evaluation stages of processing raw materials of vegetable origin are encouraged to strengthen technological processing by improving mechanisms to influence the processing medium. This direction is based on adaptive methods of workflow and increase power density equipment. The article presents information about new samples of technological equipment for grinding, classification and mixing plant material, and assesses the prospects for their use and technical recommendations for their use in various process industries.