УДК 621.929:62-137

Д.М. Бородулин

МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В НЕПРЕРЫВНОДЕЙСТВУЮЩЕМ СМЕСИТЕЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА

В статье рассмотрены методы интенсификации процесса смешения сыпучих компонентов, удовлетворяющие современные потребности в различных отраслях промышленности. Автор приводит некоторые результаты своих теоретических и экспериментальных исследований, направленных на решение основных проблем в области смешения сыпучих компонентов.

Интенсификация процесса смешения, центробежный смеситель, рециркуляция материалопотоков, диспергирование частиц.

Введение

В различных отраслях промышленности одной из основных стадий технологии является процесс смешивания дисперсных материалов, в ряде случаев с их одновременным увлажнением. К числу таких производств относят получение комбинированных продуктов питания, комбикормов, заменителей цельного молока, гранулирование порошков, выработка минеральных удобрений, строительных и шихтовых материалов.

Сегодня в промышленности наибольшее распространение получила периодическая схема смесеприготовления, когда композиции готовят в червячно-лопастных, барабанных и центробежных смесителях периодического действия. При этом как качество композиций, так и интенсивность процесса не удовлетворяют современным требованиям. Одной из основных проблем при этом является равномерное распределение различных добавок (витамины, БАД, наполнители, стабилизаторы, ароматизаторы и т.п.), вносимых в малых количествах (0,5÷2 %) по всему объему смеси. В ряде случаев необходимо получать качественную смесь при соотношении смешиваемых компонентов 1:500 и выше. Поэтому интенсификация процесса смешивания является актуальной задачей.

Это говорит о необходимости проектирования новых конструкций смесителей, удовлетворяющих данным требованиям. Многолетний опыт работы исследователей как в теоретическом, так и в практическом плане позволил разработать целые классы смесительного оборудования для переработки сыпучих материалов [13, 15, 19, 20, 31, 32, 34].

Объекты и методы исследований

Наиболее подходящими аппаратами для смешивания дисперсных материалов с большим соотношением исходных компонентов являются центробежные смесители (ЦС) непрерывного действия, которые отличаются от других конструкций высокой производительностью при малой энерго- и материалоемкости. Ряд таких смесителей разработан в Кемеровском технологическом институте пищевой промышленности с участием автора [15, 19, 22, 25, 26, 28] и отвечает всем вышеперечисленным требованиям за счет организации направленной структуры движения материальных потоков.

В центробежных смесителях непрерывного действия (СНД) смешивание сыпучих материалов происходит, как правило, в тонких разреженных слоях, движущихся по поверхности вращающегося ротора, при пересечении потоков, имеющих различные направления, их соударении с препятствиями и т.д. При движении потока материала, которое начинается от центра аппарата к периферии, на частицы действуют различные силы: центробежные, внешнего трения, кориолисовы, силы взаимодействия частиц, тяжести, а также аэродинамические. Движение потока материала с большой скоростью способствует разрушению конгломератов частиц при соударении их о препятствия и стенки аппарата. Можно отметить тот факт, что в центробежных СНД по этой же причине, а также ввиду интенсивного внутреннего и внешнего трения обычно изменяется фракционный состав смешиваемых материалов, особенно если их частицы непрочные.

Роторы и статоры центробежных СНД, как правило, представляют собой простые тела вращения (диски, цилиндры, полые усеченные конусы), реже с более сложным профилем (параболоиды, торовые и сферические оболочки). Также их рабочими органами могут быть лопасти, диспергирующие ножи и т.п. Нами предложено условно разделять центробежные СНД на аппараты с вертикальным и горизонтальным расположением ротора. Классификация ЦС непрерывного действия представлена в виде блок-схемы на рис. 1.

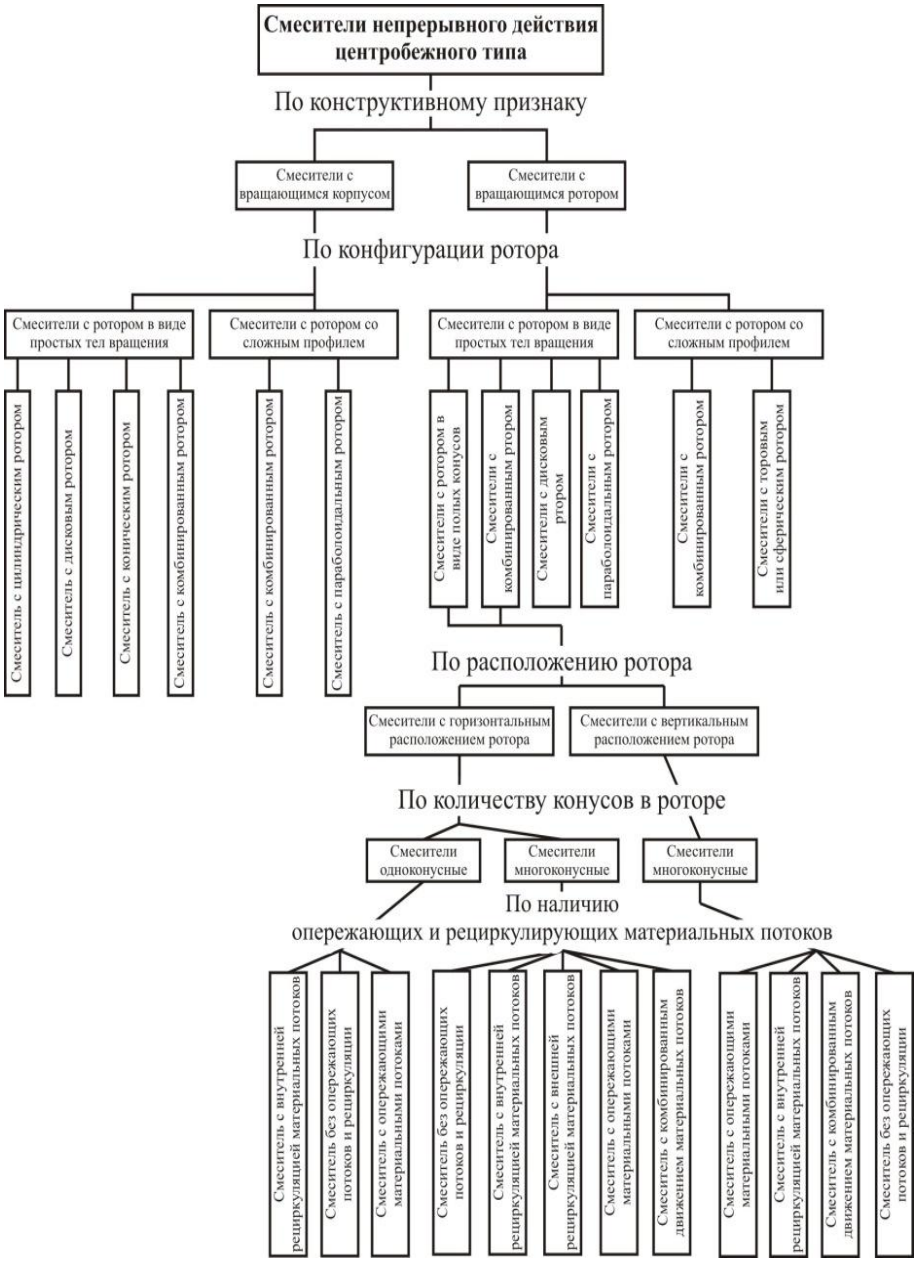

Рис. 1. Классификация смесителей непрерывного действия центробежного типа

Основной недостаток рассмотренных автором центробежных смесителей [1, 5] заключается в недостаточно интенсивном силовом воздействии на перерабатываемые материалы, вследствие чего в них в ряде случаев не удается получить конечный продукт заданного качества. Центробежные силы, действующие на частицы материала, имеют в этих аппаратах однонаправленное действие.

Анализ известных центробежных конструкций аппаратов [22, 25, 26, 28, 31] показывает, что они, как правило, имеют зону перевода подлежащих переработке фаз в разреженное состояние, в которой происходит наложение и контакт дисперсных потоков, их смешивание. Это является положительным моментом, так как переработка материалов в дисперсном виде значительно упрощается, причем затраты энергии при этом невелики. Однако наличие в аппарате такой зоны не гарантирует получения качественного конечного продукта, например, смеси твердого и жидкого материалов. Это объясняется тем, что разреженные потоки сыпучих материалов имеют в различных точках неодинаковые концентрации вещества в единице объема. Поэтому в разных точках взаимодействия дисперсных систем будет иметь место неодинаковое соотношение фаз. В рассмотренных конструкциях [1, 5, 31, 33, 35] под действием приложенных центробежных сил частицы перерабатываемых фаз движутся лишь в одном направлении, практически не имеют поперечных составляющих скоростей. В случае же наложения разреженных потоков процесс проникновения одного факела частиц в другой будет заторможен в самом начале зоны взаимодействия, не распространяясь на весь объем потоков. Дальнейшая переработка последних должна включать интенсивное силовое воздействие на частицы материала, обеспечивающее возникновение поперечных перемещений, перпендикулярных направлению движения.

Исследованиям интенсификации процесса смешения сыпучих компонентов, а также разработке новых конструкций центробежных смесителей посвящены работы [1, 5, 11, 14, 31, 33–35]. В частности, Ю.И. Макаров провел анализ [21] опубликованных работ и материалов различных конференций, в результате чего ему удалось сформулировать девять основных проблем в области создания смесительных агрегатов. Их решение позволило бы значительно интенсифицировать процесс смешения и тем самым удовлетворить современные потребности в различных отраслях промышленности.

Результаты и их обсуждение

В настоящей работе автор приводит некоторые результаты своих теоретических и экспериментальных исследований в области смешения сыпучих компонентов, направленных на решение четырех основных проблем.

1. Повышение эффективности процесса смешивания.

2. Разработка смесительных агрегатов для получения высококачественных смесей при соотношении смешиваемых компонентов от 1:100 до 1:1000 и выше.

3. Создание СНД центробежного типа для приготовления сыпучих смесей, исходные компоненты которых содержат конгломераты.

4. Разработка центробежных смесителей с возможностью введения малых количеств жидких добавок в смешиваемую массу.

Далее разберем их подробнее.

1. Повышение эффективности процесса смешивания достигается: за счет выбора оптимальных режимов работы СНД центробежного типа экспериментально либо с использованием математических моделей; совершенствования рабочих органов смесителей как по конструкции, так и по механике их движения в смешиваемой массе [33]; организации внутренних рециклов движения материалопотоков в рабочем объеме аппарата, тем самым увеличивается его сглаживающая способность.

Для решения первой и второй задач в смесительно-дозировочной лаборатории Кемеровского технологического института пищевой промышленности проведены экспериментальные исследования процессов смешения, позволяющие выбрать наиболее рациональные режимные, конструктивные и технологические параметры работы центробежных СНД [1, 5–9, 11, 14, 17].

В настоящее время в различных отраслях промышленности наиболее широко используются условные схемы разреженных потоков [12], приведенные на рис. 2. В производственных условиях разреженные потоки конической формы формируются, как правило, с помощью распыливающих устройств форсуночного типа, причем твердые частицы разбрасываются путем введения газового потока. Вместе с тем достаточно широко используется формирование разреженных потоков различных фаз дисковыми и коническими устройствами.

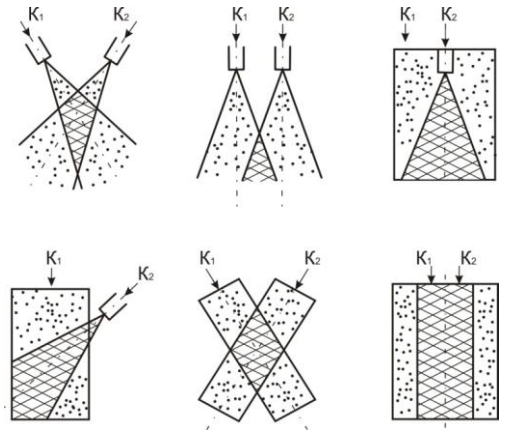

Рис. 2. Условные схемы взаимодействий дисперсных материалов в аппаратах пищевой и химической технологии

На рис. 3 показаны разработанные автором настоящей работы схемы взаимодействующих потоков, полученных с помощью распыливающих дисков, полых конусов, различных устройств или их комбинации друг с другом. Благодаря этому процесс смешивания на внутренней поверхности вращающегося ротора происходит в тонких разреженных слоях, которые, покидая последний, благодаря наличию различных внутренних устройств смесителя пересекаются в пылевоздушном пространстве над ротором. В результате этого создается дополнительное продольное перемещение и турбулизация смешиваемых частиц относительно друг друга, что приводит к улучшению качества получаемой смеси. Помимо этого, необходимо, чтобы СНД центробежного типа обладал большой сглаживающей способностью для устранения отклонений концентраций во входных потоках, вызванных флуктуациями в работе объемных дозаторов.

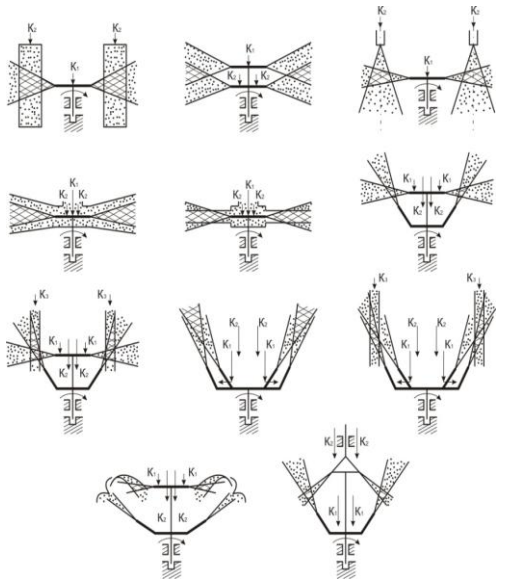

Рис. 3. Новые схемы взаимодействий дисперсных разреженных материалов в аппаратах центробежного типа

Для достижения данной цели (решения третьей задачи) наряду с подбором рациональных конструктивных и режимных параметров работы центробежных смесителей предлагается использовать такой эффективный технологический прием интенсификации различных процессов, как рециркуляция.

Автором настоящей работы теоретически и экспериментально доказано, что использование рециклов материальных потоков увеличивает инерционность смесителя и тем самым его сглаживающую способность [2, 3, 5, 10, 14, 16, 18]. Например, смеситель [23], не имеющий рециркуляции материалопотоков, позволяет получать сглаживающую способность флуктуаций питающих потоков, равную $S = 2 \div 3$, а его усовершенствованная конструкция [27] с наличием рециркуляции – $S = 5 \div 10$.

С учетом данных исследований автором под руководством проф. В.Н. Иванца разработан ряд конструкций СНД центробежного типа с внешними или внутренними рециркулирующими материалопотоками [24–28, 30].

2. Разработка смесительных агрегатов для получения высококачественных смесей при соотношении смешиваемых компонентов от 1:100 до 1:1000 и выше.

В настоящее время в различных отраслях промышленности при смешивании компонентов, входящих в смесь в соотношениях 1:1000 и более, используются смесители периодического действия серийных типов, которые фактически непригодны для этой цели. Неэффективность данных аппаратов пытаются компенсировать значительным увеличением времени проведения процесса смешивания, которое достигает 12 часов. Это приводит к значительному увеличению энергопотребления и, как следствие, удорожанию готовой смеси. Для решения данной проблемы была разработана оригинальная конструкция СНД центробежного типа, работающего по методу последовательного разбавления смеси [27]. Реализация данного метода (рис. 4) осуществляется в нем за счет того, что компонент, входящий в состав смеси в весьма малых количествах, смешивается на верхнем роторе с примерно таким же количеством другого. Затем полученная смесь направляется на нижний ротор, где она смешивается с большим по содержанию компонентом. Проведенные эксперименты [6, 16] показали, что центробежный СНД новой конструкции позволяет получать витаминизированную муку (соотношение смешиваемых компонентов достигало 1:1100) хорошего качества, поскольку значение коэффициента неоднородности смеси при этом не превышало 6÷7 % и составило V_C = 3,05 % (по кальцию) и V_C = 3,18 % (по витамину С). При этом удельные энергетические затраты 0,4 (кВт×ч)/кг.

3. Создание СНД центробежного типа для приготовления сыпучих смесей, исходные компоненты которых содержат конгломераты.

В ряде производств возникает потребность получения высококачественных смесей из компонентов, которые в процессе смешения образуют мелкие конгломераты из однородных частиц. Последние оказывают значительное влияние на процесс смесеприготовления и в итоге вызывают ухудшение качества конечного продукта. Конгломераты возникают при наличии прочных связей между частицами вследствие электростатических, адсорбционных, химических, межмолекулярных и других сил сцепления. В процессе смесеприготовления под действием внешних сил конгломераты способны распадаться на более мелкие, разрушение которых впоследствии гораздо труднее. На основании этого можно сделать вывод, что процесс смешения мелкозернистых материалов необходимо проводить совместно с диспергированием. В этом случае можно добиться улучшения качества готовой смеси, повышения эффективности и интенсивности процесса смесеприготовления. При совмещении данных процессов в одном СНД наблюдается положительный эффект, так как при этом непрерывно разрушаются связи между частицами исходных компонентов, в результате чего обеспечивается их взаимная независимость и легкоподвижность относительно друг друга. Помимо этого, измельчение частиц позволяет получить исходные компоненты более однородного состава, а готовую смесь с заданным качеством. Интенсивное диспергирование достигается лишь в том случае, если сыпучие ингредиенты в процессе смешения испытывают высокие внутренние напряжения, способные разрушать как частицы, так и силы сцепления между ними. Поэтому для приготовления высококачественных смесей из высокодисперсных материалов целесообразнее всего использовать центробежные смесители-диспергаторы [26, 27]. В данных аппаратах за счет взаимодействия диспергирующих ножей и исходных компонентов, содержащих конгломераты, достигается полное разрушение последних. Анализ экспериментальных данных [4, 5], полученных на новом центробежном смесителе-диспергаторе, позволяет сделать вывод, что дисперсность частиц материала при частоте вращения лопастей от n = 14÷20 $с^{-1}$ уменьшается в 3,2÷4 раза за счет работы режущих кромок диспергирующих ножей. При этом удельные затраты энергии не превышали 2 (Вт×ч)/кг.

4. Разработка центробежных смесителей с возможностью введения малых количеств жидких добавок в смешиваемую массу.

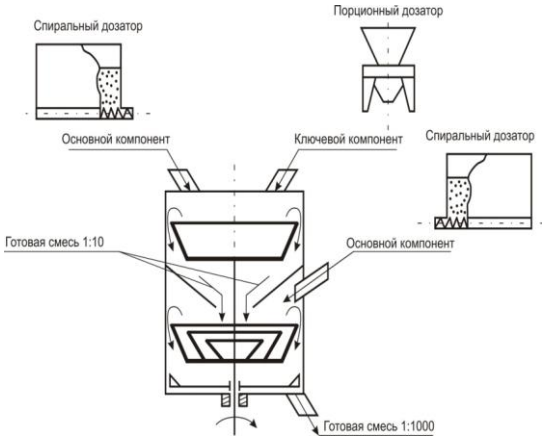

Рис. 4. Схема смесительного агрегата, работающего по методу последовательного разбавления смеси

В настоящее время в серийно выпускаемых смесителях ввод малых количеств жидких добавок производится в сплошной слой сыпучего материала. В результате образуются конгломераты, которые приходится разрушать при помощи диспергирующих ножей и других устройств [32]. Эффективность распределения жидкости по всему объему смешиваемой массы в этом случае весьма низкая. Нами предлагается ввод жидкой фазы осуществлять методом распыления в тонкие разреженные слои сыпучей смеси. Жидкость, внесенная таким образом, имеет повышенные по сравнению с обычным вводом поверхность контакта и поверхностную активность, в результате чего достигается лучшая ее адгезия с частицами сыпучего материала. Помимо этого, высокодисперсный компонент при смешивании в быстровращающемся роторе переходит в пылевоздушное пространство, т.е. происходит сегрегация смеси. Ввод жидкой фазы предлагаемым способом нейтрализует данный процесс, что в конечном итоге заметно улучшает качество готовой смеси. Для достижения данной цели Д.М. Бородулин разработал оригинальную конструкцию центробежного СНД [24], в которой процесс смешивания осуществляется в два этапа, что способствует повышению интенсивности проведения процесса и повышению качества получаемой смеси. На первом этапе исходные компоненты подвергаются предварительному смешиванию в приемно-распределительном устройстве с жидкостью, распыляемой тонкими слоями диском. На втором этапе происходит окончательное смешивание в тонких разреженных слоях.

За счет того, что смешивание на первом этапе происходит под воздействием вращающихся лопастей при достаточно большой циркуляции материалов, удается:

– хорошо сглаживать пульсации входных материальных потоков, что позволяет укомплектовывать смеситель недорогими и простыми по конструкции дозаторами объемного типа (например, порционными);

– получить на первом этапе смешивания достаточно однородную структуру смеси без конгломератов, которые могут образоваться при вводе в сыпучие компоненты жидкой фазы.

Организация опережающего материального потока на втором этапе смешения и проведение процесса в тонких разреженных слоях позволяют:

– добиться равномерной удельной загрузки конусов ротора, что способствует равной толщине слоя материала на них;

– проводить процесс смешивания на уровне микрообъемов и отдельных частиц.

По результатам анализа экспериментальных данных [9] можно сделать следующий вывод. Введение небольшого количества жидкости 4 % с вязкостью 50 Па×с на стадии смешения высокодисперсных компонентов, значительно отличающихся по гранулометрическому и плотностному составу по отношению к основному потоку материала, приводит к тенденции снижения коэффициента неоднородности при ее добавлении в получаемую смесь. Это подтверждает тот факт, что добавка жидкости ведет к уменьшению сегрегации получаемой смеси в пылевоздушном пространстве и, как следствие, к повышению качества конечного продукта.

Выводы

Высокая интенсивность процесса смешивания сыпучих компонентов в ЦС может быть обеспечена только при соблюдении следующих условий.

1. Совмещение процессов смешения сыпучих материалов и их диспергирования в одном СНД дает положительный эффект, так как при этом непрерывно разрушаются связи между частицами исходных компонентов, в результате чего обеспечивается их взаимная независимость и легкоподвижность относительно друг друга. Помимо этого, измельчение частиц позволяет получить исходные компоненты более однородного состава, а готовую смесь с заданным качеством.

2. Для получения качественных смесей с соотношением смешиваемых компонентов 1:1000 необходимо проводить процесс смешивания в оригинальной конструкции СНД центробежного типа, работающей по методу последовательного разбавления смеси, которая позволяет получать смеси заданного качества с минимальными металло- и энергозатратами по отношению к аналогам.

3. Высокое сглаживание флуктуаций питающих потоков, вызванных неравномерной подачей исходных компонентов дозаторами, достигается за счет совершенствования рабочих органов смесителей и организации внутренних рециклов движения материалопотоков в рабочем объеме аппарата. Благодаря этому процесс смешивания на внутренней поверхности вращающегося ротора происходит в тонких разреженных слоях, которые, покидая последний, пересекаются в пылевоздушном пространстве над ротором. В результате создается дополнительное продольное перемещение и турбулизация смешиваемых частиц относительно друг друга, что приводит к улучшению качества получаемой смеси.

4. С целью минимизации явления сегрегации получаемой смеси в пылевоздушном пространстве ЦС и, как следствие, повышения ее качества на стадии смешения необходим ввод небольшого количества жидкости для сыпучих компонентов, значительно отличающихся по гранулометрическому и плотностному составу.

Список литературы

1. Бакин, И.А. Интенсификация процессов смешивания при получении комбинированных продуктов в аппаратах центробежного типа: дис. … докт. техн. наук: 05.18.12 / Бакин Игорь Алексеевич. – Кемерово, 2009. – 320 с.

2. Бакин, И.А. Математический анализ работы центробежного смесительного агрегата на основе кибернетического подхода / И.А. Бакин, Д.М. Бородулин, И.А. Саблинский // Деп. рук. Указатель ВИНИТИ «Депонированные рукописи». – М., 2002. – № 17-В2002. – 16 с.

3. Бакин, И.А. Математическая модель движения направленных материалопотоков в конусном смесителе / И.А. Бакин, С.А. Ратников, Д.М. Бородулин // Деп. рук. Указатель ВИНИТИ «Депонированные рукописи». – М., 2001. – № 2551-В2001. – 15 с.

4. Бородулин, Д.М. Определение затрачиваемой мощности на смешивание сухих комбинированных продуктов питания / Д.М. Бородулин, С.А. Ратников // Молодые ученые Сибири: материалы Всероссийской молодеж. науч.-практ. конф. – Улан-Удэ, 2003. – С. 145–148.

5. Бородулин, Д.М. Разработка и исследование непрерывнодействующего смесительного агрегата центробежного типа для получения сухих комбинированных продуктов: дис. … канд. техн. наук: 05.18.12 / Бородулин Дмитрий Михайлович. – Кемерово, 2003. – 231 с.

6. Бородулин, Д.М. Анализ работы смесителя центробежного типа для получения многокомпонентных сыпучих композиций методом последовательного разбавления / Д.М. Бородулин, С.А. Ратников // Химическая промышленность сегодня. – 2007. – № 1.– С. 33–34.

7. Бородулин, Д.М. Определение влияния геометрических и режимных параметров центробежного смесителя на качество получаемой смеси / Д.М. Бородулин // Пищевые технологии: VIII Всероссийская конференция молодых ученых с международным участием. – Казань, 2007. – С. 110–113.

8. Бородулин, Д.М. Определение рациональных рабочих параметров центробежного смесителя с перфорированными конусами / Д.М. Бородулин // Деп. рук. Указатель ВИНИТИ «Депонированные рукописи». – М., 2007. – № 100-В2007. – 14 с.

9. Бородулин, Д.М. Влияние жидкости и гранулометрического состава на процесс смешивания комбинированных кормов в смесителе непрерывного действия / Д.М. Бородулин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 11. – С. 53–55.

10. Бородулин, Д.М. Прогнозирование сглаживающей способности центробежного смесителя на основе корреляционного анализа / Д.М. Бородулин, А.А. Андрюшков // Техника и технология пищевых производств. – 2009. – № 4. – С. 39–42.

11. Бородулин, Д.М. Определение рабочих параметров перфорированных конусов центробежного смесителя / Д.М. Бородулин, С.А. Ратников // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 6. – С. 73–75.

12. Бытев, Д.О. Расчет движения сыпучих материалов в аппаратах со сложным движением рабочего органа / Д.О. Бытев, А.И. Зайцев, Ю.И. Макаров // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 1981. – Т. 24. – № 3. – С. 372–377.

13. Зайцев, А.И. Современные конструкции и основы расчета смесительных аппаратов с тонкослойным движением сыпучих материалов / А.И. Зайцев, Д.О. Бытев, В.А. Северцев // Обзорная информация. Серия: Хим.-фарм. пром. – М.: Изд-во ЦБНТИ Мед. пром., 1984. – 23 с.

14. Иванец, В.Н. Интенсификация процесса смешивания высокодисперсных материалов направленной организацией потоков: автореф. дис. … докт. техн. наук: 05.18.12 / Иванец Виталий Николаевич. – Одесса, 1989. – 32 с.

15. Иванец, В.Н. Новые конструкции центробежных смесителей непрерывного действия для переработки дисперсных материалов / В.Н. Иванец, И.А. Бакин, Д.М. Бородулин // Известия вузов. Пищевая технология. – 2003. – № 4. – С. 94–97.

16. Иванец, В.Н. Анализ работы центробежных смесителей непрерывного действия на основе математических моделей / В.Н. Иванец, И.А. Бакин, Д.М. Бородулин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 5. – С. 75–77.

17. Иванец, В.Н. Определение рациональных конструктивных параметров ротора смесителя непрерывного действия центробежного типа / В.Н. Иванец, Д.М. Бородулин, А.Н. Жуков, А.С. Волков // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 9. – С. 77–78.

18. Иванец, В.Н. Анализ частотно-временных характеристик смесителя непрерывного действия центробежного типа // В.Н. Иванец, Д.М. Бородулин, А.Н. Жуков // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 2. – С. 52–54.

19. Иванец, В.Н. Тенденции развития смесительного оборудования непрерывного действия центробежного типа / В.Н. Иванец, Д.М. Бородулин, А.А. Андрюшков // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 1. – С. 67–71.

20. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 215 с.

21. Макаров, Ю.И. Проблемы смешивания сыпучих материалов // Журн. Всесоюз. хим. общ-ва им. Д.И. Менделеева. – 1988. – Т. 33. – № 4. – С. 384.

22. Пат. 2132725 Российская Федерация, МПК B01 F7/26. Центробежный смеситель / Иванец В.Н., Бакин И.А., Федосенков Б.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО КемТИПП. – № 97110628/25; заявл. 24.06.1997; опубл. 10.07.1999, Бюл. № 19. – 5 с.

23. Пат. 2174436 Российская Федерация, МПК 7 B01 F7/26. Центробежный смеситель порошкообразных материалов / Саломатин Г.Г., Пындак В.И.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный университет». – № 2000117378/12; заявл. 03.07.2000; опубл. 10.10.2001, Бюл. № 16. – 4 с.

24. Пат. 2191063 Российская Федерация, МПК 7 B01 F7/26. Центробежный смеситель / Ратников С.А., Бородулин Д.М., Иванец Г.Е., Белоусов Г.Н., Бакин И.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО КемТИПП. – № 2001102922/12; заявл. 31.01.2001; опубл. 20.10.2002, Бюл. № 29. – 6 с.

25. Пат. 2207186 Российская Федерация, МПК B01 F7/26. Центробежный смеситель / Иванец В.Н., Бакин И.А., Бородулин Д.М., Зверев В.П.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО КемТИПП. – № 2001130371/12; заявл. 09.11.2001; опубл. 27.06.2003, Бюл. № 18. – 3 с.

26. Пат. 2216394 Российская Федерация, МПК B01 F7/26. Центробежный смеситель / Иванец В.Н., Бакин И.А., Белоусов Г.Н., Бородулин Д.М., Волков А.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО КемТИПП. – № 2002130106/12; заявл. 10.11.2002; опубл. 20.11.2003, Бюл. № 32. – 6 с.

27. Пат. 2207901 Российская Федерация, МПК 7 B01 F7/26. Центробежный смеситель / Иванец В.Н., Бакин И.А., Бородулин Д.М., Зверев В.П.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО КемТИПП. – № 2001120866/12; заявл. 25.07.2001; опубл. 10.07.2003, Бюл. № 19. – 7 с.

28. Пат. 2200055 Российская Федерация, МПК B01 F7/26. Центробежный смеситель / Иванец В.Н., Ратников С.А., Иванец Г.Е., Бородулин Д.М., Белоусов Г.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО КемТИПП. – № 2000128252/12; заявл. 13.10.2000; опубл. 10.03.2003, Бюл. № 7. – 10 с.

29. Пат. 2246343 Российская Федерация, МПК H B01 F7/26. Центробежный смеситель / Иванец В.Н., Бакин И.А., Волков А.С., Жуков А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО КемТИПП. – № 2003133055/15; заявл. 11.11.2003; опубл. 20.02.2005, Бюл. № 5. – 7 с.

30. Пат. 2361653 Российская Федерация, МПК B01 F7/26. Центробежный смеситель / Ратников С.А., Бородулин Д.М., Селюнин А.Н., Сибиль А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО КемТИПП. – № 2008115038/15; заявл. 16.04.2008; опубл. 20.07.2009, Бюл. № 20. – 3 с.

31. Harwood C., Walanski K., Luebcke E., Swanstrom C. The performance of continuous mixers for dry powders // Powder Technology. – 1975. – № 11. – P. 289–296.

32. Irvin F. Mixing and more: The continuous co-rotating, overlapping twin-screw mixer // Powder and Bulk Engineering Magazine. – 1999. – № 12.

33. Marikh K., Berthiaux H., Mizonov V., Barantseva E. Experimental study of the stirring conditions taking place in a pilot plant continuous mixer of particulate solids // Powder Technology. – 2005. – № 157. – P. 138–143.

34. Muzzio F.J., Alexander A., Goodridge C., Shen E., Shinbrot T. Handbook of Industrial Mixing. Science and Practice // John Wiley & Sons, Inc., 2004. – 220 p.

35. Patricia M. Portillo, Marianthi G. Ierapetritou, Fernando J. Muzzio. Effects of rotation rate, mixing angle, and cohesion in two continuous powder mixers – A statistical approach // Department of Chemical and Biochemical Engineering, Rutgers University, Piscataway, NJ 08854, United States. Powder Technology. – 2009. – № 194. – P. 217–227.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел./факс: (3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

D.M. Borodulin

METHODS OF INTENSIFICATION OF DISPERSED MATERIAL MIXING IN THE CONTINUONS CENTRIFUGAL MIXER

The article deals with the methods of intensification of loose components mixing satisfying modern requirements for various industries. The author presents some results of theoretical and experimental researches aiming at solving basic problems in the field of loose components mixing.

Intensification of mixing, centrifugal mixer, recirculation of material streams, particles dispersion.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru