

**АГРЕГАТЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСИ
ИЗ КОМПОНЕНТОВ, СКЛОННЫХ К СЕГРЕГАЦИИ:
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ. ЧАСТЬ I**

В. Мансур, В. Ф. Першин

*Кафедра «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»,
pershin.home@mail.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: весовое дозирование; двухстадийное дозирование; качество смеси; технология «нонмиксинг»; технология Loss-in-Weight; точность дозирования; упорядоченная загрузка компонентов.

Аннотация: Рассмотрены основные способы дозирования и смешивания, а также устройства для их реализации. Показано, что основной причиной, препятствующей повышению точности дозирования, являются динамические воздействия на датчик веса, поскольку вес материала определяется во время его движения. Проведен анализ двухстадийной технологии весового непрерывного дозирования. Отмечено, что с точки зрения повышения точности дозирования, данная технология является наиболее перспективной. Намечены пути совершенствования двухстадийной технологии дозирования и устройств для ее реализации. Показана необходимость рассматривать процессы дозирования компонентов и их смешивание совместно с учетом их взаимосвязи.

Введение

Дисперсные системы состоят из твердых частиц, капель или пузырьков газа (дисперсная фаза), распределенных в какой-либо среде (дисперсионной). Основные виды дисперсных систем: аэрозоли, суспензии, эмульсии, золи, гели, порошки, волокнистые и т.д. Таким образом, сыпучие материалы или порошки являются дисперсными системами. В дальнейшем будем использовать термин сыпучие материалы, поскольку данный термин наиболее четко определяет отличие данных материалов от вязных дисперсных систем. Вязные дисперсные системы возникают при контакте частиц дисперсной фазы, приводящем к образованию структуры в виде каркаса или сетки. Такая структура ограничивает текучесть дисперсной системы и придает ей способность сохранять форму. В технике под сыпучим материалом подразумевают дисперсную систему, состоящую из твердых частиц произвольной формы, находящихся в контакте. Пространство между частицами в сыпучем материале заполнено газом, а иногда частично жидкостью [1]. Под процессом смешивания (или смешения) принято понимать такой механический процесс, в результате которого первоначально находящиеся раздельно ком-

поненты после их равномерного распределения в смешанном объеме образуют однородную смесь. Обратным ему является процесс сегрегации, приводящей к разделению смеси на отдельные компоненты. Разработано много способов и устройств для приготовления смесей. В работе [1] предложена следующая классификация смесителей:

- по характеру протекания процесса во времени (смесители периодического и непрерывного действия);
- природе силового воздействия на частицы (смесители гравитационные, центробежные, пневматические, электромагнитные и т.д.);
- механизму смешивания частиц: циркуляционные; объемного или диффузионного смешивания; прямоточные;
- конструктивными особенностями: барабанные; шнековые; ленточные; лопастные и т.д.;
- по способу управления: с ручным автоматическим или программным управлением.

Процесс приготовления смесей реализуется в агрегатах, состоящих из дозаторов компонентов и смесителя. Агрегат (от лат. *aggregatus* – соединенный, собранный) – сложная машина, включающая несколько машин, соединенных в одно целое.

К наиболее значимым физико-механическим параметрам сыпучих материалов относятся следующие: гранулометрический состав; влажность; гигроскопичность; насыпная плотность; температуры плавления и воспламенения; коррозионная стойкость и ряд других, характеризующих механические свойства [1]. На характер движения сыпучих материалов, наибольшее влияние оказывают коэффициенты внешнего трения покоя и движения; внутреннего трения покоя и движения. Способы и приборы для определения указанных выше характеристик сыпучих материалов, а также методики и приборы для определения коэффициентов достаточно подробно представлены в работе [2].

Описание способов дозирования и конструкции дозаторов дано в работах [2, 3]. В результате анализа научно-технической литературы и результатов экспериментальных исследований установлено, что основной причиной, снижающей точность непрерывного весового дозирования, являются динамические воздействия на датчик веса [4, 5]. В данной работе рассмотрены варианты дальнейшего совершенствования двухстадийной технологии дозирования [6 – 8], поскольку, используя данную технологию, возможно полностью исключить динамические воздействия на датчик веса и повысить точность дозирования.

Способы приготовления смесей сыпучих материалов и конструкции смесителей для реализации этих способов рассмотрены в работах [9, 10]. Анализ показывает, что далеко не все способы и устройства могут быть адаптированы для приготовления смесей из компонентов, склонных к сегрегации. Кроме этого, практически нет исследований, в которых учитывается точность дозирования на качество готовой смеси, поэтому необходимо более подробно проанализировать две основные составляющие агрегата для приготовления смесей из компонентов склонных к сегрегации, а именно, дозаторы и смесители, а также рассмотреть основные причины и закономерности процесса сегрегации.

Непрерывное дозирование сыпучих материалов

Основная цель непрерывного весового дозирования заключается в обеспечении фиксированного (заданного) количества вещества, переносимого потоком в единицу времени. Основными характеристиками дозаторов являются производительность и погрешность дозирования, то есть отклонение производительности от заданных значений за определенный промежуток времени.

В современных технологиях получения новых конструкционных и функциональных материалов широко используются наноматериалы для улучшения эксплуатационных характеристик. Массовая доля наноматериалов обычно составляет не более десятых долей процента от общей массы. Практический опыт производства и использования наноматериалов показал, что пределы допускаемой погрешности дозаторов, рассчитанные по пробам, которые отбираются из непрерывного потока в течение 6 минут, что соответствует ГОСТам, не обеспечивают требуемые показатели качества готового продукта [11]. В связи с данным обстоятельством необходимо повысить точность непрерывного весового дозирования порошкообразных материалов, особенно за промежутки времени не более 1 минуты. Для того чтобы решить эту задачу, необходимо проанализировать причины погрешностей непрерывного дозирования и предложить пути их устранения.

В настоящее время фирмы, производящие дозаторы, используют два основных способа непрерывного весового дозирования [12, 13]. В первом производительность дозирования определяется и управляется в результате взвешивания сыпучего материала (порошка), который находится в движении, на ленте транспортера (рис. 1) [12]. Весы с дозирующей лентой состоят из ленточного конвейера 1 с приводом постоянного тока 2 и цифровым тахометром 3. Датчик веса 4 установлен под лентой транспортера. Иногда используют ленточный контейнер, один край которого шарнирно соединен с основанием, а второй установлен на весовую платформу или датчик веса. Сигнал от датчика 4 подается на контроллер 5, где вычисляется реальная производительность дозатора и сравнивается с заданным значением. Управляющий сигнал с контроллера подается на привод 2, который изменяет скорость движения ленты, следовательно, и производительность дозатора.

Во втором способе [13] взвешивают материал, который находится в бункере, и производительность дозатора определяют как разницу двух последующих измерений веса бункера с материалом (рис. 2), которые выполняют через фиксированные промежутки времени. Данный способ называют Loss-in-Weight (убывание в весе).

Устройство состоит из малого бункера 1, в нижней части которого расположен шнек 2 с приводом вращения 3. Бункер установлен на весоизмерительную платформу с датчиками 4. Сигнал, подающийся с весоизмерительного датчика на контроллер 5, усиливается, масштабируется и сравнивается с заданным значением, зависящим от требуемой производительности дозатора. Над малым бункером 1 установлен большой бункер 6 с шибером 7. Система работает следующим образом. Из большого бункера 6 в малый бункер 1 подается порция сыпучего

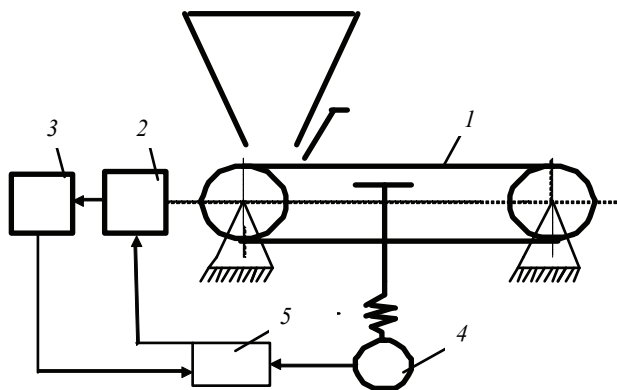


Рис. 1. Схема весового ленточного дозатора

материала, после чего шибер 7 закрывается. С весоизмерительного датчика 4 подается сигнал на контроллер 5, где фиксируется начальный вес материала в бункере 1. Включается привод 3, и шнеком 2 материал непрерывно выгружается из бункера 1. Через определенное время Δt с весоизмерительного датчика 4 подается сигнал на контроллер 5. Контроллер рассчитывает вес материала в бункере 1, который должен быть через отрезок времени Δt при заданной производительности, и сравнивает данное значение с показаниями датчика 4. Если вес материала в бункере 1 больше, чем расчетное значение, то контроллер 5 подает управляющий сигнал на привод 3 и увеличивает скорость вращения шнека; если меньше – скорость уменьшается. Когда вес материала в бункере 1 достигает минимального значения (примерно 0,1 от первоначального), контроллер 5 подает управляющий сигнал на шибер 7 и осуществляется загрузка очередной порции материала из бункера 6 в бункер 1. После этой операции цикл дозирования повторяется. В период загрузки очередной порции шнек 2 вращается с постоянной угловой скоростью.

Для производительности Q в любой момент времени, за фиксированный интервал времени Δt , должно выполняться условие

$$Q = P/\Delta t, \quad (1)$$

где P – вес материала, вышедшего из дозатора за интервал времени Δt , в течение которого отбирают отдельные порции зернистого материала, для экспериментального определения весовой производительности дозатора и его точности. Численное значение Δt зависит от методики расчета точности непрерывного дозирования.

В промышленности используются многочисленные конструкции для реализации данных способов дозирования. Несмотря на существенную разницу между указанными способами, их объединяет общая причина возникновения погрешности дозирования – динамические воздействия на весовой датчик, поскольку взвешивание материала осуществляется во время его движения. Следует обратить особое внимание на то, что блок управления фиксирует уже допущенную погрешность в производительности дозатора и только потом пытается компенсировать эту ошибку.

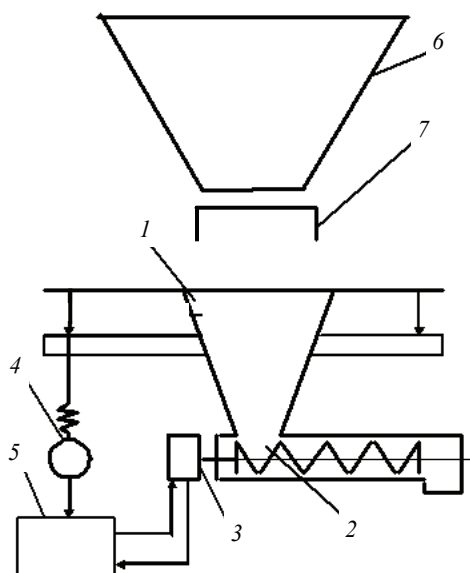


Рис. 2. Схема весового дозатора Loss-in-Weight

В работе [13] даны результаты по определению свойств биомассы, влияющих на точность и производительность дозатора. Рассмотрены принципы проектирования и выбора дозаторов. В работе [14] частицы биомассы (75...1000 мкм) подавали со скоростью 9,0...66,5 мг/мин с помощью устройства подачи частиц. Частицы самотеком подавались через инъекционную трубку, скорость подачи регулировалась изменением скорости толкателя. Частицы подавали на весы, а показания массы непрерывно регистрировались блоком управления. Исследованы факторы, влияющие на воспроизводимость и стабильность скорости подачи, то есть точность дозирования.

Стабильная непрерывная микроподача мелкодисперсных когезионных порошков в последнее время приобрела важность во многих областях [15]. Тем не менее на практике проблема осталась из-за скопления порошка, вызванного межчастичным взаимодействием. В данной статье представлен новый способ подачи мелкодисперсного когезионного порошка, приводимого в действие импульсной силой инерции и силой акустического излучения одновременно в ультразвуковом поле стоячей волны. Форсунки с разным диаметром выходного отверстия изготавливали из стекла. Движение порошка через отверстие форсунки в стержневом режиме осуществлялось за счет импульсной силы инерции. Сила акустического излучения разрушала стержень на большое количество мелких агломератов, которые случайным образом ударялись друг о друга. Таким образом, устранялась агрегация порошков. Минимальные значения производительности составляли 0,4 мг/с, что значительно меньше, чем у существующих вибрационных питателей с малыми капиллярами. Информация о точности дозирования отсутствовала.

В работе [16] предложены прогностические модели на основе данных о свойствах материалов фармацевтической промышленности. Модели адаптированы для весовых дозаторов Loss-in-Weight и порошков – безводной лактозы; стеарата магния; кроскармеллозы натрия; микрокристаллической целлюлозы. Показано, что, используя только данные о конфигурации питателя, эти модели для конкретных материалов могут точно прогнозировать производительность. Недостаток их заключается в том, что для каждого конкретного материала должен быть разработан свой вариант модели.

Метод оценки стационарных характеристик подачи порошка с потерей веса (Loss-in-Weight) предложен в работе [17]. На рисунке 3 продемонстрировано применение данного метода на примере дозатора Tron KT35 при дозировании трех фармацевтических порошков: Fast Flo Lactose, Avicel PH-102, Ceolus KG-802 среднего размера частиц и насыпная плотность которых равны соответственно 100 мкм и 0,58 г/см³; 100 мкм и 0,30 г/см³; 50 мкм и 0,21 г/см³. Дозатор состоит из трех частей: собственно дозатора (LIW Feeder); весовой платформы (Load cell); гравиметрического контроллера (Controller). Объемный дозатор установлен на платформе для взвешивания, которая измеряет массу питателя и его бункера для порошка. Весовая платформа периодически передает информацию о весе дозатора и находящегося в нем порошка в гравиметрический контроллер. Используя разницу по весу, измеренному платформой, деленную на промежуток времени между соседними взвешиваниями, контроллер определяет мгновенную производительность, которую сравнивают с заданным значением.

Выявлены и детально изучены три режима отклонений от заданной производительности для дозаторов, реализующих технологию Loss-in-Weight [18]. Во-первых, исследована чрезмерная изменчивость массового расхода относительно заданного значения, затем – неточное дозирование (например, постоянная избыточная или недостаточная производительность) относительно заданного значения.

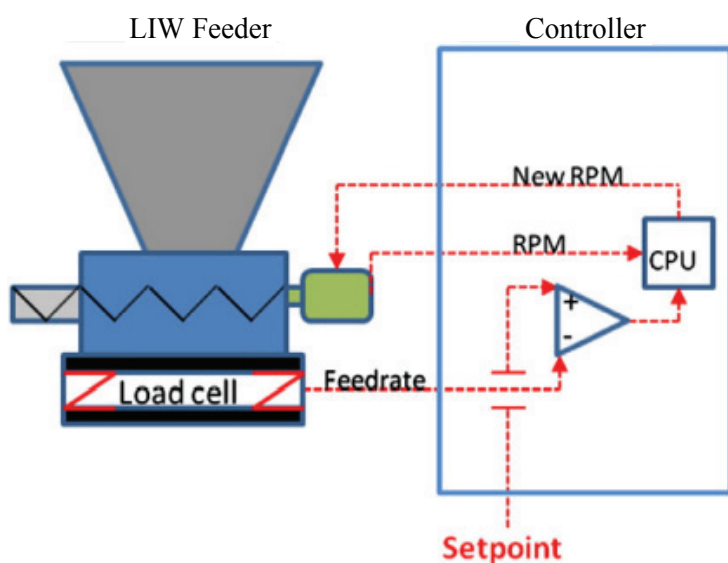


Рис. 3. Схема дозатора Tron KT35

Далее изучены переходные возмущения, которые часто возникают из-за наполнения бункера, внешних воздействий на весы и/или изменений свойств материала и потока. Проведены эксперименты по непрерывному процессу прямого сжатия с использованием двух режимов управления питателями: локального (управление отдельным питателем) и режима соотношения (управление системой в дополнение к управлению отдельным питателем). Доказано, что режим соотношения более эффективен, чем локальный, для подачи смеси в последующий процесс. Использование контроля соотношения в подаче лекарственных и вспомогательных веществ уменьшило неоднородность с 5,1 до 2,1 %. Показано, что режим управления соотношением как точность, так и прецизионность во время возмущений.

Система измерения массового расхода на основе изображений представлена в работе [19]. Масса, массовый расход и размеры частиц успешно контролировались в режиме реального времени с помощью разработанной видеометрической системы, состоящей из высокоскоростной технологической камеры, сопряженной с программным обеспечением для анализа. Система протестирована в режиме управления с обратной связью для автоматического достижения желаемой производительности, за счет регулирования скорости подачи материала, измеренного системой анализа изображений. Разработанная видеометрическая система может служить универсальным инструментом и обеспечить ценной информацией о процессе в режиме реального времени, которая необходима для современного непрерывного производства фармацевтической продукции.

Более конкретная информация о весовых дозаторах непрерывного действия имеется на интернет-сайтах ведущих мировых фирм, выпускающих их [12, 13].

Выше отмечалось, что основным препятствием повышения точности весового непрерывного дозирования являются динамические нагрузки на датчик веса, поскольку вес материала определяют, когда он находится в движении. В целях уменьшения динамических воздействий на весовой датчик разработана двухстадийная технология непрерывного весового дозирования. Данная технология заключается в следующем [4]. На первой стадии формируются отдельные порции

материала с определенным весом ΔP , которые через равные промежутки времени ΔT подаются в специальное устройство; на второй – устройство преобразует отдельные порции материала в непрерывный поток. Производительность дозатора определяется по формуле

$$Q = \Delta P / \Delta T. \quad (2)$$

Для формирования отдельных порций можно использовать практически любой весовой порционный дозатор, который выпускается серийно. Анализ характеристик порционных дозаторов и дозаторов непрерывного действия, которые выпускают ведущие мировые фирмы, показал, что всегда точность порционных дозаторов выше. Это можно объяснить тем, что в данных дозаторах динамические нагрузки на весоизмерительную систему намного меньше, чем в дозаторах непрерывного действия. Разработан ряд усовершенствованных способов двухстадийного дозирования и устройств для их реализации [6 – 8].

На настоящий момент самая высокая точность непрерывного весового дозирования достигнута при использовании способа непрерывного весового дозирования сыпучего материала и устройства для его осуществления [8]. Схема дозатора показана на рис. 4. Устройство состоит из основания 1; подвижной платформы 2; шарнира 3; лотка 4; передней 5 и задней 6 опор; вибратора 7; бункера 8; основного шнека 9; дополнительного шнека 10; приводов вращения основного 11 и дополнительного 12 шнеков; весовой платформы 13; блока управления 14; узлов загрузки 15 и выгрузки 16. Устройство работает следующим образом. В блок управления вводятся данные: заданная производительность дозатора Q , г·с⁻¹; вес отдельной порции материала ΔP , г. В блоке управления рассчитывается промежуток времени ΔT , с. Блок управления фиксирует вес бункера с материалом, приводов и шнеков и подает команду на включение привода 11 вращения основного шнека. Блок управления, определив вес материала в бункерах, обработав сигнал, поступающий с весоизмерительного устройства 13, вычисляет вес материала, поступившего из основного бункера в лоток 4, как разницу между исходным весом и его текущим значением, между подачей отдельных порций в лоток 4. Когда вес материала, поступившего в лоток 4, достигает значения разности $\Delta P - \delta P_{\text{осн}}$, блок управления выключает привод 11 и привод 12 дополнительного шнека 10. Отклонение веса порции от среднего значения $\delta P_{\text{осн}}$ определяется экспериментально для конкретного сыпучего материала, производительности основного питателя $Q_{\text{осн}}$ и веса отдельной порции ΔP . Если $\delta P_{\text{осн}}$ не определено, то его принимают равным $0,1\Delta P$. В качестве дозируемых материалов использовали углеродные волокна и трубки:

– «Таунит» – углеродные нановолокна с конической ориентацией слоев (внешний диаметр 30...60 нм, насыпная плотность 0,4...0,6 г/см³);

– «Таунит-М» – коаксиальные углеродные нанотрубки (диаметр 8...15 нм, насыпная плотность 0,03...0,05 г/см³);

– «Таунит-МД» – длинные коаксиальные углеродные нанотрубки (диаметр 30...60 нм, насыпная плотность 0,03...0,05 г/см³).

Кроме этого, применяли катализаторы для производства углеродных нанотрубок:

– NiMg (размер частиц 80...140 мкм, насыпная плотность 0,356 г/см³);

– CoMoMgAl (размер частиц 50...80 мкм, насыпная плотность 0,062 г/см³);

– CoMoMgAlFe (размер частиц 50...140 мкм, насыпная плотность 0,048 г/см³).

Погрешности дозирования экспериментально определяли при производительности дозатора 0,1...1 г/с. Точность определения веса отдельной порции (точность весовой платформы) составляла 0,001 г. В качестве блока управления

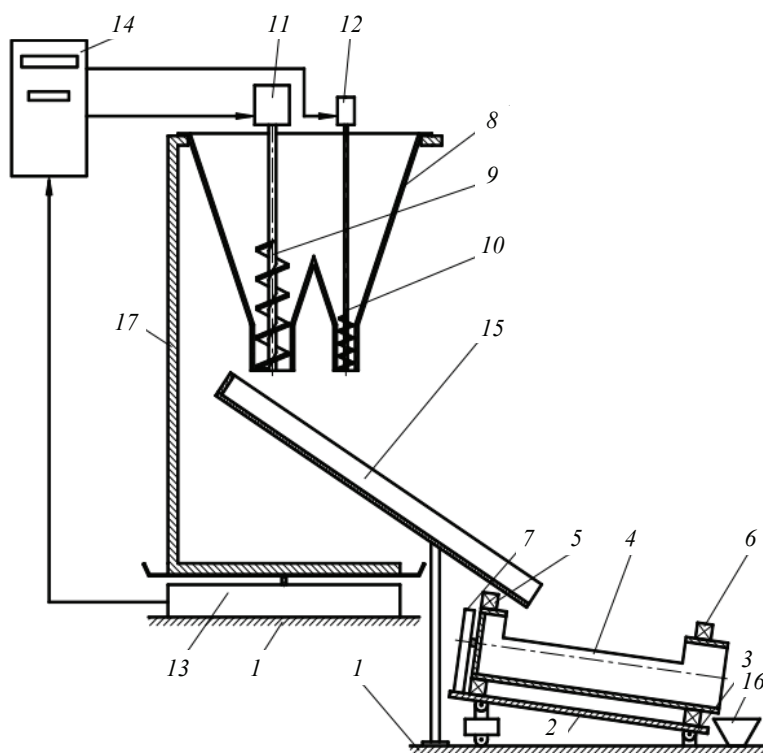


Рис. 4. Схема устройства для двухстадийного непрерывного весового дозирования

использовали персональный компьютер. В процессе экспериментов фиксировали вес каждой порции. В блок управления вводились значения заданной производительности дозатора Q , $\text{г}\cdot\text{с}^{-1}$, и ориентировочное значение ΔP . Это значение рассчитывалось из условия $\Delta T = 30$ или $\Delta T = 60$ с, чтобы максимально корректно сравнить погрешности, которые возникали при использовании прототипа и предлагаемого способа дозирования. Из непрерывного потока сыпучего материала отбирали пробы, которые затем взвешивали и проводили статистическую обработку результатов по общепринятым методикам. В результате анализа экспериментальных данных установлено, что при заданной производительности дозирования $q = 0,05$ $\text{г}/\text{с}$ погрешность непрерывного дозирования составила 0,6 %, а при производительности $q = 0,5$ $\text{г}/\text{с}$ – 0,25 %.

Результаты предварительных экспериментальных исследований показали, что при использовании двухстадийной технологии дозирования можно полностью исключить динамические воздействия на датчик веса. Принципиальное отличие нового способа дозирования заключается в том, что окончательное формирование порции осуществляется объемным способом, взвешивание порции порошка проводится после окончательного формирования порции, то есть когда материал находится в состоянии покоя. Обеспечение заданной весовой производительности дозатора происходит за счет того, что отрезок времени ΔT между подачей соседних порций рассчитывается из условия

$$\Delta T = \Delta P / Q. \quad (3)$$

Ранее отмечалось, что при реализации весового дозирования, во всех используемых в настоящее время способах, блок управления фиксирует отклонение производительности дозатора от заданного значения и только после этого дает ко-

манду на исправления этой ошибки. При данной последовательности операций (формирование порции материала, определение веса порции ΔP , расчет отрезка времени ΔT) отклонений производительности дозатора от заданного значения нет, поскольку значение ΔT на каждом цикле определяется по формуле (3), что гарантирует обеспечение условия (2).

Список литературы

1. Процессы и аппараты химической технологии. Т. 2. Механические и гидромеханические процессы / Д. А. Баранов, В. Н. Блиничев, А. В. Вязьмин [и др.] ; под ред. А. М. Кутепова. – М. : Логос, 2001. – 600 с.
2. Каталымов, А. В. Дозирование сыпучих и вязких материалов / А. В. Каталымов, В. А. Любартович. – Л. : Химия, 1990. – 240 с.
3. Весовое дозирование зернистых материалов / С. В. Першина, А. В. Каталымов, В. Г. Однолько, В. Ф. Першин. – М. : Машиностроение, 2009. – 260 с.
4. Пат. 2138783 Российская Федерация, МПК G01F 11/00. Способ непрерывного дозирования сыпучих материалов / В. Ф. Першин, С. В. Барышникова ; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. – № 98110906/28 ; заявл. 02.06.98 ; опубл. 27.09.99, Бюл. № 27.
5. Двухстадийное непрерывное дозирование при производстве и использовании углеродных наноматериалов / В. Ф. Першин, А. М. Воробьев, В. М. Нечаев [и др.] // Хим. и нефтегазовое машиностроение. – 2018. – № 6. – С. 12 – 14.
6. Пат. 2251083 Российская Федерация, МПК J01B 11/00. Способ непрерывного дозирования сыпучих материалов и устройство для его осуществления / В. Ф. Першин, С. В. Барышникова, Д. К. Каляпин, А. А. Осипов ; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. – № 2003109774/28 ; заявл. 07.04.2003 ; опубл. 27.04.2005, Бюл. № 12. – 10 с.
7. Полезная модель к пат. 113353 Российская Федерация, МПК G01 F11/00. Устройство для непрерывного двухстадийного дозирования углеродных материалов / С. В. Першина, А. И. Ди Джиннаро, В. Г. Однолько, А. А. Осипов, В. Ф. Першин, П. М. Явник ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». – № 2011126102/28 ; заявл. 24.06.2011 ; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 4.
8. Пат. 2691786 Российская Федерация, МПК G01F 11/00. Способ непрерывного весового дозирования сыпучего материала и устройство для его осуществления / В. Ф. Першин, Т. Х. К. Алсайяд, А. Г. Ткачев, А. А. Баранов, А. А. Осипов ; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. – № 2018128803 ; заявл. 31.10.2018 ; опубл. 18.06.2019, Бюл. № 17. – 12 с.
9. Макаров, Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.
10. Конструирование и расчет машин химических производств / Ю. И. Гусев, И. Н. Карасев, Э. Э. Кольман–Иванов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
11. Improving the Accuracy of Two-Stage Weight Feeding Technology of Bulk Solids / T. Alsayyad, V. Pershin, A. Pasko, T. Pasko // AIP Conference Proceedings. – 2017. – Vol. 1899, No. 1. – P. 060011. doi: 10.1063/1.5009882
12. Low Capacity Weighbelt Feeder. – Текст : электронный // Ramsey. – URL : <http://www.thermo-ramsey.com> (дата обращения: 21.05.2022).
13. Coperion K-Tron Feeders. – Текст : электронный // Coperion. – URL : <https://www.coperion.com/en/products-services/process-equipment/feeders> (дата обращения: 21.05.2022).
14. Dai, J. Biomass Feeding for Thermochemical Reactors / J. Dai, H. Cui, J. R. Grace // Progress in Energy and Combustion Science. – 2012. – Vol. 38, No. 5. – P. 716 – 736. doi: 10.1016/j.pecs.2012.04.002

15. Molinder, R. Feeding Small Biomass Particles at Low Rates / R. Molinder, H. Wiinikka // Powder Technology. – 2015. – Vol. 269. – P. 240 – 246. doi: 10.1016/j.powtec.2014.09.010
16. Development of Feed Factor Prediction Models for Loss-in-Weight Powder Feeders / F. Tahira, J. Palmerb, J. Khooc [et al.] // Powder Technology. – 2019. – Vol. 364. – P. 1025 – 1038. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.09.071>
17. Engisch, W. E. Method for Characterization of Loss-in-Weight Feeder Equipment / W. E. Engisch, F. J. Muzzio // Powder Technology. – 2012. – Vol. 228. – P. 395 – 403. doi: 10.1016/j.powtec.2012.05.058
18. Hanson, J. Control of a System of Loss-in-Weight Feeders for Drug Product Continuous Manufacturing / J. Hanson // Powder Technology. – 2018. – Vol. 331. – P. 236 – 243. doi: 10.1016/j.powtec.2018.03.027
19. Videometric Mass Flow Control: A New Method for Real-Time Measurement and Feedback Control of Powder Micro-Feeding Based on Image Analysis / L. Madarász, Á. Kőte, M. Gyürkés [et al.] // International Journal of Pharmaceutics. – 2020. – Vol. 580. – P. 119223. doi: 10.1016/j.ijpharm.2020.119223.
20. Производство графеносодержащих суспензий и концентратов каскадной эксфолиацией графита / Р. А. Аль-Джарах, А. М. Аль-Машхадани, В. Мансур [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 139 – 152. doi: 10.17277/vestnik.2022.01.pp.139-152

Apparatus for Preparing a Mixture from Components Prone to Segregation: Current Status and Prospects. Part I

V. Mansur, V. F. Pershin

*Department of Technological Processes, Devices and Technosphere Safety,
pershin.home@mail.ru; TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: weight dosing; two-stage dosing; mixture quality; non-mixing technology; Loss-In-Weight technology; dosing accuracy; ordered loading of components.

Abstract: The main methods of dosing and mixing, as well as installations for implementing these methods are considered. It is shown that the main reason that hinders the increase in dosing accuracy is the dynamic effects on the weight sensor, since the weight of the material is determined during its movement. The analysis of the two-stage technology of weight continuous dosing was carried out. It is noted that from the point of view of increasing the dosing accuracy, this technology is the most promising. The ways of improving the two-stage dosing technology and apparatus for its implementation are outlined. The need to consider the processes of dosing components and their mixing together, taking into account their relationship, is shown.

References

1. Baranov D.A., Blinichev V.N., Vyaz'min A.V. [et al.], Kutepov A. M. [Ed.] *Protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii. T. 2. Mekhanicheskiye i gidromekhanicheskiye protsessy* [Processes and devices of chemical technology. Vol. 2. Mechanical and hydromechanical processes], Moscow: Logos, 2001, 600 p. (In Russ.)

2. Katalymov A.V., Lyubartovich V.A. *Dozirovaniye sypuchikh i vyazkikh materialov* [Dosing of bulk and viscous materials], Leningrad: Khimiya, 1990, 240 p. (In Russ.)
3. Pershina S.V., Katalymov A.V., Odnol'ko V.G., Pershin V.F. *Vesovoye dozirovaniye zernistyykh materialov* [Weight dosing of granular materials], Moscow: Mashinostroyeniye, 2009, 260 p. (In Russ.)
4. Pershin V.F., Baryshnikova S.V. *Sposob nepreryvnogo dozirovaniya sypuchikh materialov* [The method of continuous dosing of bulk materials], Russian Federation, 1999, Pat. 2138783. (In Russ.)
5. Pershin V.F., Vorob'yev A.M., Nechayev V.M., Pas'ko A.A., Alsayyad T.Kh.K. [Two-stage continuous dosing in the production and use of carbon nanomaterials], *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye* [Chemical and oil and gas engineering], 2018, no. 6, pp. 12-14. (In Russ.)
6. Pershin V.F., Baryshnikova S.V., Kalyapin D.K., Osipov A.A. *Sposob nepreryvnogo dozirovaniya sypuchikh materialov i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya* [Method for continuous dosing of bulk materials and device for its implementation], Russian Federation, 2005, Pat. 2251083. (In Russ.)
7. Pershina S.V., Di Dzhinnaro A.I., Odnol'ko V.G., Osipov A.A., Pershin V.F., Yavnik P.M. *Ustroystvo dlya nepreryvnogo dvukhstadiynogo dozirovaniya uglerodnykh materialov* [Device for continuous two-stage dosing of carbon materials], Russian Federation, 2012, Utility model for a pat. 113353. (In Russ.)
8. Pershin V. F., Alsayyad T.Kh.K., Tkachev A.G., Baranov A.A., Osipov A.A. *Sposob nepreryvnogo vesovogo dozirovaniya sypuchego materiala i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya* [Method for continuous weight dosing of bulk material and device for its implementation], Russian Federation, 2019, Pat. 2691786. (In Russ.)
9. Makarov Yu.I. *Apparaty dlya smesheniya sypuchikh materialov* [Apparatus for mixing bulk materials], Moscow: Mashinostroyeniye, 1973, 216 p. (In Russ.)
10. Gusev Yu.I., Karasev I.N., Kol'man-Ivanov E.E. [et al.] *Konstruirovaniye i raschet mashin khimicheskikh proizvodstv* [Design and calculation of machines for chemical production], Moscow: Mashinostroyeniye, 1985, 408 p. (In Russ.)
11. Alsayyad T., Pershin V., Pasko A., Pasko T. Improving the Accuracy of Two-Stage Weight Feeding Technology of Bulk Solids, *AIP Conference Proceedings*, 2017, vol. 1899, no. 1, p. 060011, doi: 10.1063/1.5009882
12. <http://www.thermo-ramsey.com> (accessed 21 May 2022).
13. <https://www.coperion.com/en/products-services/process-equipment/feeders> (accessed 21 May 2022).
14. Dai J., Cui H., Grace J.R. Biomass Feeding for Thermochemical Reactors, *Progress in Energy and Combustion Science*, 2012, vol. 38, no. 5, pp. 716-736, doi: 10.1016/j.pecs.2012.04.002
15. Molinder R., Wiinikka H. Feeding Small Biomass Particles at Low Rates, *Powder Technology*, 2015, vol. 269, pp. 240-246, doi: 10.1016/j.powtec.2014.09.010
16. Tahira F., Palmerb J., Khooc J. [et al.] Development of Feed Factor Prediction Models for Loss-in-Weight Powder Feeders, *Powder Technology*, 2019, vol. 364, pp. 1025-1038, doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.09.071>
17. Engisch W.E., Muzzio F.J. Method for Characterization of Loss-in-Weight Feeder Equipment, *Powder Technology*, 2012, vol. 228, pp. 395-403, doi: 10.1016/j.powtec.2012.05.058
18. Hanson J. Control of a System of Loss-in-Weight Feeders for Drug Product Continuous Manufacturing, *Powder Technology*, 2018, vol. 331, pp. 236-243, doi: 10.1016/j.powtec.2018.03.027

19. Madarász L., Köte Á., Gyürkés M. [et al.] Videometric Mass Flow Control: A New Method for Real-Time Measurement and Feedback Control of Powder Micro-Feeding Based on Image Analysis, *International Journal of Pharmaceutics*, 2020, vol. 580, p. 119223, doi: 10.1016/j.ijpharm.2020.119223.

20. Al'-Dzharakh R.A., Al'-Mashkhadani A.M., Mansur V., Al'davud S.S., Osipov A.A., Pershin V.F. [Production of graphene-containing suspensions and concentrates by cascade graphite exfoliation], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2022, vol. 28, no. 1, pp. 139-152, doi: 10.17277/vestnik.2022.01.pp.139-152 (In Russ., abstract in Eng.)

Aggregate zur Herstellung der Mischung aus den Komponenten, die zur Segregation neigen: moderner Zustand und Perspektiven. Teil I.

Zusammenfassung: Es sind die wichtigsten Verfahren zum Dosieren und Mischen sowie Vorrichtungen zur Durchführung dieser Verfahren betrachtet. Es ist gezeigt, dass der Hauptgrund, der die Erhöhung der Dosiergenauigkeit behindert, die dynamischen Effekte auf den Gewichtssensor sind, da das Gewicht des Materials während seiner Bewegung bestimmt wird. Die Analyse der zweistufigen Technologie der gewichtskontinuierlichen Dosierung ist durchgeführt. Es ist darauf hingewiesen, dass diese Technologie im Hinblick auf die Erhöhung der Dosiergenauigkeit am vielversprechendsten ist. Verbesserungsmöglichkeiten der zweistufigen Dosiertechnik und Geräte zu ihrer Umsetzung sind skizziert. Die Notwendigkeit, die Prozesse der Dosierung von Komponenten und deren Vermischung unter Berücksichtigung ihrer Beziehung zu berücksichtigen, ist aufgezeigt.

Unités de mélange à partir les composantes sujettes à la ségrégation: état actuel et perspectives. Première partie

Résumé: Sont examinés les principales méthodes de dosage et de mélange, ainsi que les dispositifs permettant de mettre en œuvre ces méthodes. Est démontré que la principale raison qui empêche l'amélioration de la précision du dosage est l'impact dynamique sur le capteur de poids, car le poids du matériau est déterminé pendant son mouvement. Est faite une analyse de la technologie de dosage continu en deux étapes. Est noté qu'en termes d'amélioration de la précision du dosage, cette technologie est la plus prometteuse. Sont identifiés les moyens d'améliorer la technologie de dosage en deux étapes et les dispositifs pour sa mise en œuvre. Est montrée la nécessité d'examiner les processus de dosage des composants et de leur mélange ensemble, en tenant compte de leur relation.

Авторы: *Мансур Васем* – аспирант кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; *Першин Владимир Федорович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.