

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

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 реализации этих способов. На примере ленточных дозаторов и дозаторов, реализующих технологию Loss-in-Weight, 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, и сделан вывод о перспективности данной технологии с точки зрения повышения точности дозирования. Намечены пути совершенствования двухстадийной технологии дозирования и устройств для ее реализации. Установлено, что поскольку точность дозирования влияет на качество готовой смеси, необходимо рассматривать процессы дозирования компонентов и их смешивание совместно с учетом взаимосвязи данных процессов.

Сегрегация сыпучих материалов

Прежде чем анализировать способы смешивания сыпучих материалов и устройства для реализации этих способов [1, 2], необходимо рассмотреть явление сегрегации, поскольку это процесс диаметрально противоположный процессу смешивания. В переводе с латинского, «сегрегация» (segregatio) имеет несколько значений: отделение, обособление, удаление, разделение. Применительно к процессу смешивания наиболее точно термину сегрегация соответствуют значения разделение и обособление, поскольку конечным результатом сегрегации является разделение частиц по физико-механическим свойствам в рабочем объеме смеси-теля и образование зон с повышенной концентрацией частиц, имеющих одинаковые свойства. Причиной сегрегации может быть различие частиц по размеру, плотности, форме, шероховатости, упругости, коэффициентам трения, адгезионным и другим физико-механическим свойствам. Одной из первых научных публикаций является статья [3], где рассмотрена сегрегация частиц на свободной поверхности во время течения сыпучего материала вниз по наклонному желобу

и поверхностям насыпей. Наиболее полно и системно явление сегрегации сыпучих материалов представлено в работе [4], где акцентировано внимание на двух важных выводах: сегрегация происходит только при перемещении частиц относительно друг друга и может быть использована для интенсификации процесса смешивания. Именно использование эффекта сегрегации для интенсификации процесса смешивания является наиболее эффективным направлением в дальнейшем совершенствовании способов смешивания и устройств для их реализации.

Кроме того, в работе приведен анализ основных подходов к математическому моделированию процесса сегрегации в сдвиговых гравитационных потоках сыпучих материалов.

При рассмотрении способов управления сегрегацией в технологических процессах переработки сыпучих материалов авторы используют результаты работы [4] и разделяют методы управления сегрегацией на три категории:

- 1) методы, направленные на изменение свойств сыпучего материала в целях снижения склонности последнего к сегрегации;
- 2) методы, направленные на изменение условий взаимодействия частиц и их контакта с внешней средой и элементами конструкций технологического оборудования, то есть условий переработки материалов;
- 3) воздействия, имеющие своей целью восстановление однородности сред, нарушенной под действием сегрегации.

Методы первой группы учитывают свойства частиц, вследствие которых доминирует тот или иной механизм сегрегации. В результате, для снижения склонности материала к сегрегации предлагается целенаправленное изменение свойств частиц, оказывающих доминирующее влияние на сегрегацию. В данном случае одним из путей решения проблемы является уменьшение разницы в размерах частиц компонентов смеси за счет измельчения и классификации. Следует отметить, что данный путь связан не только с увеличением энергоемкости процесса, но и усилением его стохастичности.

В числе методов второй группы указываются изменения регламента технологических операций, их последовательности, объема партий перерабатываемого материала, скорости потока и его геометрии.

Методы третьей группы имеют своей целью восстановление однородности сред, нарушенной под действием сегрегации при выполнении технологических операций переработки сыпучих материалов.

В качестве одного из эффективных способов восстановления однородности сегрегированной зернистой среды указываются технические решения, реализующие идею избирательного извлечения сегрегированных частей и их объединение в потоке с восстановленной однородностью.

По нашему мнению, наиболее перспективные – методы второй группы, в частности, изменение регламента процесса смешивания. Одним из вариантов реализации процесса смешивания является упорядоченная загрузка компонентов [5]. Ускорить процесс смешивания и повысить качество готовой смеси, возможно, за счет организации в рабочем объеме смесителя направленного движения частиц одного или нескольких компонентов в определенные зоны.

Анализ механизмов сегрегации и методов управления данным процессом позволяет сделать вывод о том, что при выборе смесителей для приготовления смесей из компонентов, склонных к сегрегации, особое внимание необходимо уделять возможности организации направленного движения частиц одного или нескольких компонентов в определенные зоны.

Способы смешивания сыпучих материалов и смесители для их реализации

Как отмечалось выше, способы смешивания и конструкции смесителей представлены во многих работах, например [2, 6]. В различных отраслях промышленности широко используются барабанные смесители, что можно объяснить простотой их конструкции, надежности и простоты эксплуатации.

Схема типовой конструкции барабанного смесителя показана на рис. 1. Смеситель содержит цилиндрический барабан 1, камеры для загрузки 2 и выгрузки 3, соединенные с патрубками загрузки 4 и выгрузки 5 компонентов. На барабане установлены бандажи 6, передающие нагрузку от веса барабана, заполненного материалом на ролики опорной 7 и опорно-упорной станций 8 материала, привод, включающий двигатель 9, редуктор 10 и шестерню 11, находящуюся в зацеплении с венцовым колесом 12, которое укреплено на барабане 1.

Режимы движения материала в поперечном сечении барабана (рис. 2) хорошо изучены и классифицированы следующим образом [7]: периодических скольжений относительно обечайки барабана (slipping); периодических обрушений

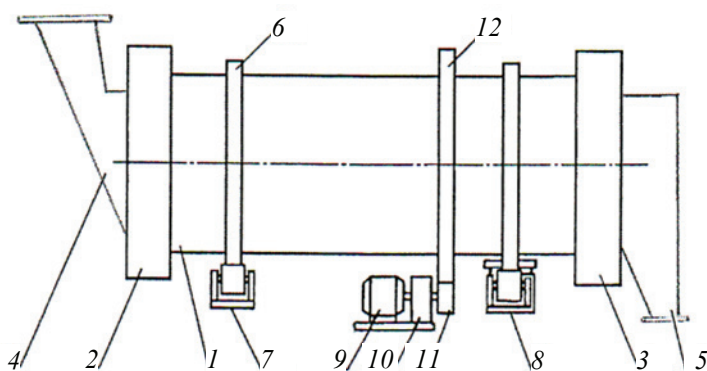
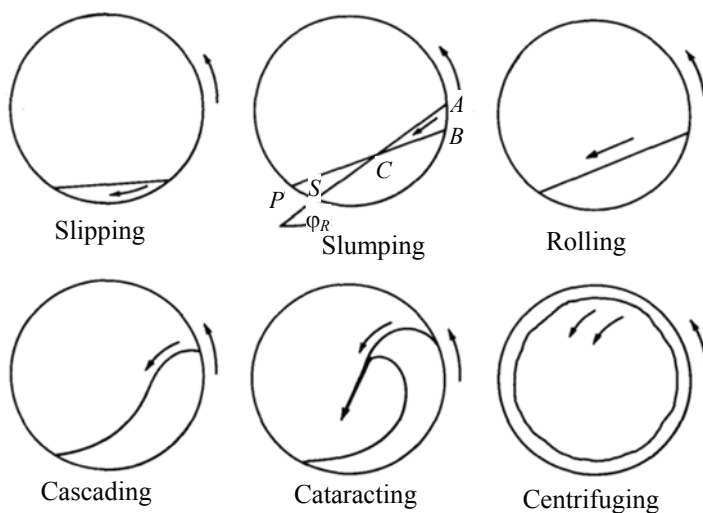


Рис. 1. Схема барабанного смесителя



**Рис. 2. Схемы типовых режимов движения сыпучих материалов
в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана**



Рис. 3. Схема распределения мелких и крупных частиц в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана

частицы скатываются вниз по криволинейным траекториям. Именно в этом слое происходит смешивание и сегрегация частиц компонентов, поскольку сыпучий материал находится в разрыхленном состоянии. Независимо от регламента загрузки компонентов, в конечном итоге происходит формирование зоны (в окрестностях центра циркуляции сыпучего материала) с повышенной концентрацией, например, мелких частиц (рис. 3).

Аналогичная ситуация складывается при смешивании легких и тяжелых частиц. Данный факт использован для интенсификации процесса смешивания компонентов, склонных к сегрегации. Устройство для реализации такого способа смешения сыпучих материалов [8] представлено на рис. 4. Оно содержит корпус 1,

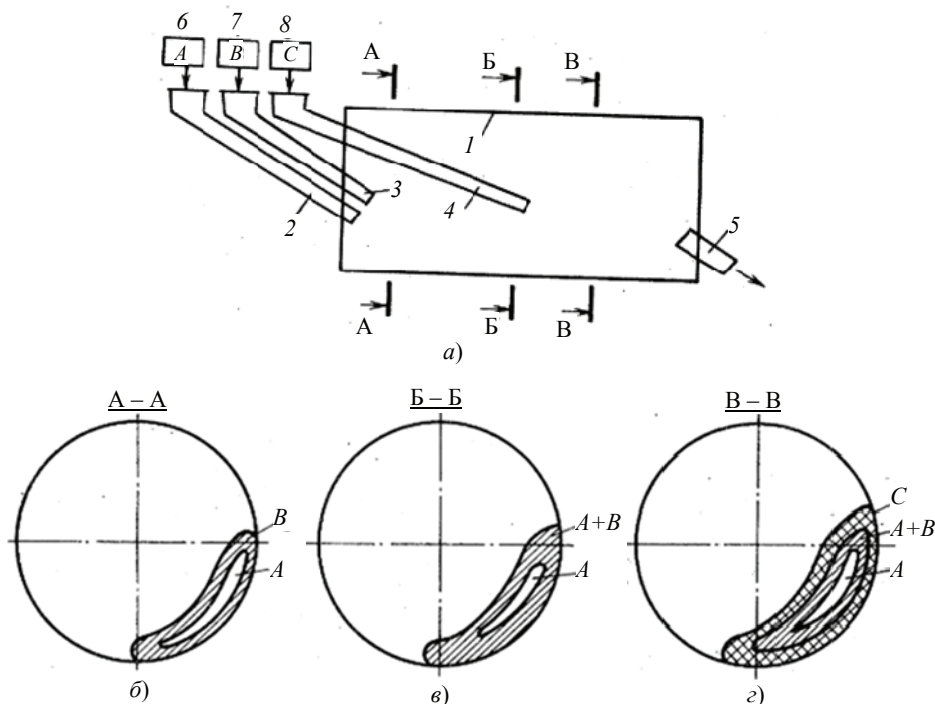


Рис. 4. Схема устройства для упорядоченной загрузки компонентов и распределения компонентов в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана

(slumping); перекачивания частиц по открытой поверхности сыпучего материала (rolling); циркуляционный (cascading); водопадный (cataracting); центрифужный или закритический (centrifuging).

При реализации процесса смешивания используется циркуляционный режим. В данном случае, весь материал в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана можно условно разделить на слои: поднимающийся и скатывающийся. В поднимающемся слое частицы движутся по концентрическим окружностям с угловой скоростью, равной скорости вращения барабана. В этом слое частицы неподвижны относительно друг друга; процессов смешивания и сегрегации нет. В скатывающемся слое

патрубки загрузки компонентов 2 – 4 и выгрузки готовой смеси 5. Основной компонент *A* поступает в смеситель через патрубок 2, а ключевые компоненты *B* и *C* – из патрубков 3 и 4. Размер частиц уменьшается от компонента *A* к компоненту *C*. В соответствии с механизмами сегрегации, рассмотренными выше, при вращении барабана компоненты *B* и *C* будут целенаправленно перемещаться к центру циркуляции сыпучего материала в поперечном сечении барабана.

На рис. 4, *б* показано распределения компонентов *A* и *B* непосредственно после загрузки компонента *B*; рис. 4, *в* – распределение компонентов непосредственно перед загрузкой компонента *C*; рис. 4, *г* – после загрузки данного компонента. Процесс смешивания необходимо завершить в тот момент, когда частицы компонентов *B* и *C* будут «на полпути» к центру циркуляции. Данный подход к организации процесса смешивания позволяет не только повысить качество смеси, но и сократить время процесса.

Совершенствование способа смешивания компонентов, склонных к сегрегации, реализовано за счет загрузки компонентов в порядке увеличения плотностей и(или) уменьшения размера частиц в работающий смеситель, при этом время загрузки отдельных компонентов пропорционально объему материала, находящегося в смесителе к моменту загрузки данного компонента, а время между загрузками отдельных компонентов, начиная со второго, пропорционально объему материала, находящегося в смесителе, плотностям и размерам загружаемых частиц [9].

Аналогично происходит процесс смешивания в барабанном вибрационном смесителе [10]. Смеситель состоит из барабана, ось которого находится в подшипниковых опорах, установленных на основании, совершающем колебания. Под действием вибрации барабан начинает вращаться. Материал в поперечном сечении барабана в зависимости от направления, амплитуды и частоты колебаний образует один или два циркуляционных контура.

Вибрация используется в устройстве для приготовления смесей, схема которого показана на рис. 5 [11].

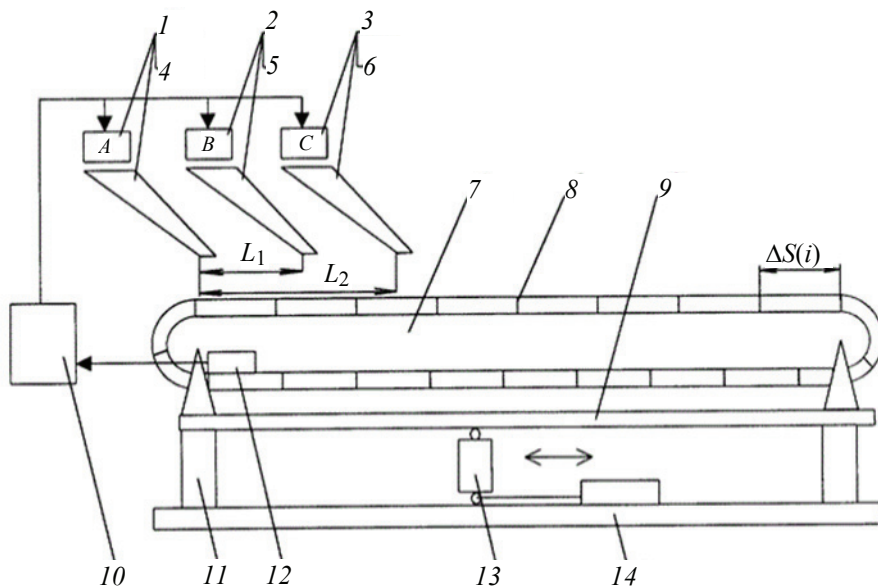


Рис. 5. Схема устройства для приготовления многокомпонентных смесей

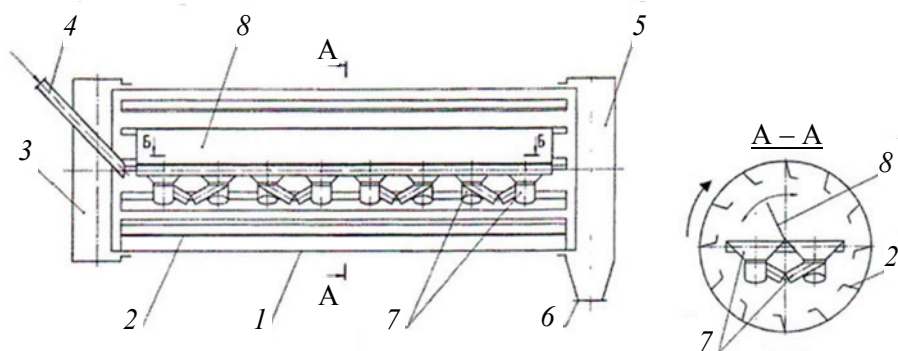


Рис. 6. Схема устройства с направленным движением потоков

Устройство содержит порционные дозаторы $1 - 3$ соответственно для компонентов A, B, C смеси, вибролотки $4 - 6$ для преобразования порции в непрерывный поток, расположенные вдоль ленточного транспортера 7 через определенные расстояния, имеющего поперечные перегородки 8 с возможностью фиксированного перемещения. Ленточный транспортер 7 находится на виброплите 9 , установленной через амортизаторы 11 на основание 14 . Вибратор 13 шарнирно закреплен с виброплитой и основанием с возможностью фиксированного перемещения в горизонтальной плоскости. На ленточном транспортере установлен датчик фиксации положения 12 перегородки 8 , который подает управляющий сигнал на блок управления 10 порционными дозаторами. В данном устройстве реализована упорядоченная загрузка компонентов, поскольку, согласно предлагаемому способу, размеры частиц уменьшаются от компонента A к компоненту C и(или) плотности материалов частиц наоборот возрастают. Численные значения L_1 и L_2 определяются в зависимости от размеров, плотностей и концентраций частиц компонентов.

Направленное движение компонентов может быть организовано посредством ряда патрубков, установленных вдоль оси барабана смесителя [12]. Схема устройство для реализации такого способа смешивания показана на рис. 6. Устройство содержит вращающийся барабан 1 с периферийной Г-образной насадкой 2 , загрузочную камеру 3 с патрубком 4 ввода компонентов смеси, разгрузочную камеру 5 с патрубком 6 вывода смеси.

В барабане неподвижно установлены горизонтальными продольными рядами отклоняющие элементы, выполненные в виде воронок 7 с течками, имеющими наклон в сторону загрузочного торца барабана. На одной из продольных кромок воронок каждого ряда элементов закреплены поворотные пластины 8 , для регулирования величины потоков частиц, попадающих на отклоняющие элементы. Отклоняющие элементы 7 объединены в группы, расположенные вдоль барабана. Каждая группа содержит по четыре элемента, два из которых размещены в подъемной и два – в опускной частях барабана. При этом течка каждого элемента направлена в сторону одного из смежных с ним элементов группы таким образом, что в совокупности течки элементов группы образуют замкнутый контур в проекции на горизонтальную плоскость. Течки элементов в смежных группах образуют контуры с противоположным направлением течек. За счет объединения встречных потоков, преимущественно содержащих частицы разных размеров, интенсифицируется процесс смешивания и снижается эффект сегрегации.

Как отмечалось выше, сегрегация происходит при перемещении частиц относительно друг друга, поэтому минимизация движения частиц компонентов в готовой смеси является одним из путей снижения негативного воздействия

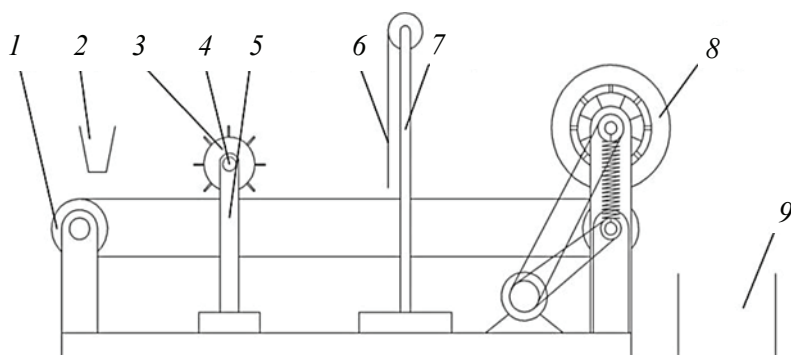


Рис. 7. Схема агрегата:

1 – транспортная лента; 2 – дозаторы; 3 – разбрасыватель; 4 – привод разбрасывателя; 5 – поворотная стойка; 6 – отбойный элемент; 7 – кронштейн для отбойного элемента; 8 – уплотняющий валик; 9 – зоны выгрузки

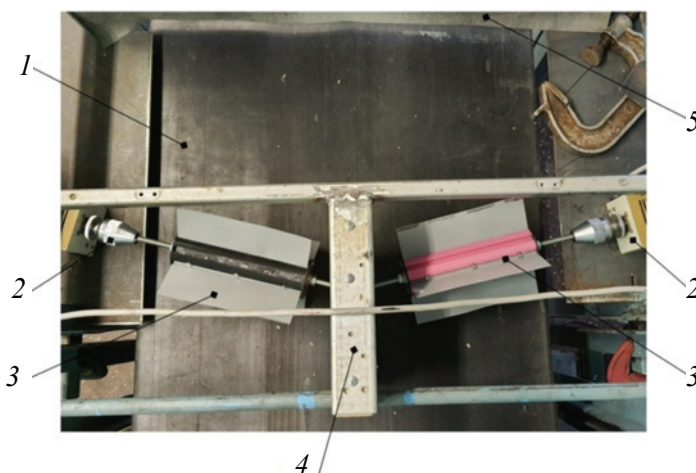


Рис. 8. Расположение разбрасывающих устройств и отбойника над лентой:

1 – транспортер; 2 – привод; 3 – разбрасыватели; 4 – поворотное приспособление; 5 – рамка с эластичный материал (отбойник)

эффекта сегрегации на качество смеси. Данный прием реализован в ряде смесителей [13, 14]. Схема одного из таких агрегатов для смешивания и уплотнения сыпучих материалов показана на рис. 7 [15].

Для лучшего понимания особенностей данного агрегата рассмотрим расположение разбрасывающих устройств и отбойника над лентой рис. 8 [15].

Данный агрегат предназначен для приготовления двухкомпонентных смесей, но при незначительных дополнениях может быть использован для приготовления многокомпонентных смесей. Основная идея заключается в том, что компоненты подаются на ленту двумя разными потоками, попадая в зоны разбрасывателей, формируются разреженные потоки компонентов, которые пересекаются, в результате чего происходит взаимное проникновение частиц и распределение с образованием смеси. Схема взаимодействия дисперсных потоков изображена на рис. 9. После смешивания частицы компонентов ударяются в упругий экран и падают на ленту. На ленте частицы смеси не перемещаются относительно друг друга, следовательно, сегрегация не происходит.

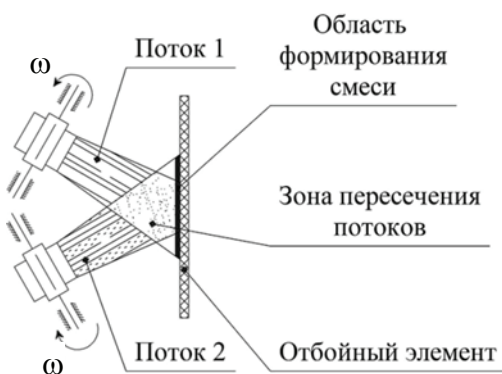


Рис. 9. Схема взаимодействия дисперсных потоков

Процесс детерминированного формирования смеси осуществляется циклически. На каждом цикле загружаются три компонента в разные зоны смесительной емкости, за счет расположения неподвижных питателей. После загрузки компонентов смесительная емкость (тара) поворачивается на угол φ равный $\varphi = i\pi + \Delta\varphi$, где i – номер цикла. Цикл загрузки повторяется.

Таким образом, формируется равномерная смесь. Следует отметить, что чем меньше толщина слоя, тем лучше качество смеси. Очевидно, что качество смеси очень сильно зависит от точности дозирования компонентов. Аналогичным образом организовано детерминированное формирование смеси на конвейерном нонмиксере, схема которого показана на рис. 11 [21].

Особый интерес представляет технология «нонмиксинга» [16 – 24], в которой реализована упорядоченная загрузка компонентов. Особенности данной технологии заключаются в том, что компоненты в необходимой пропорции малыми порциями загружаются в рабочий объем смесителя, изначально формируя равномерное их распределение в готовой смеси. Указанные особенности рассмотрим на примере загрузки компонентов в бироторный смеситель (рис. 10) [21].

В рассматриваемом случае в смеситель загружаются три компонента в пропорции $Q_1 : Q_2 : Q_3$.

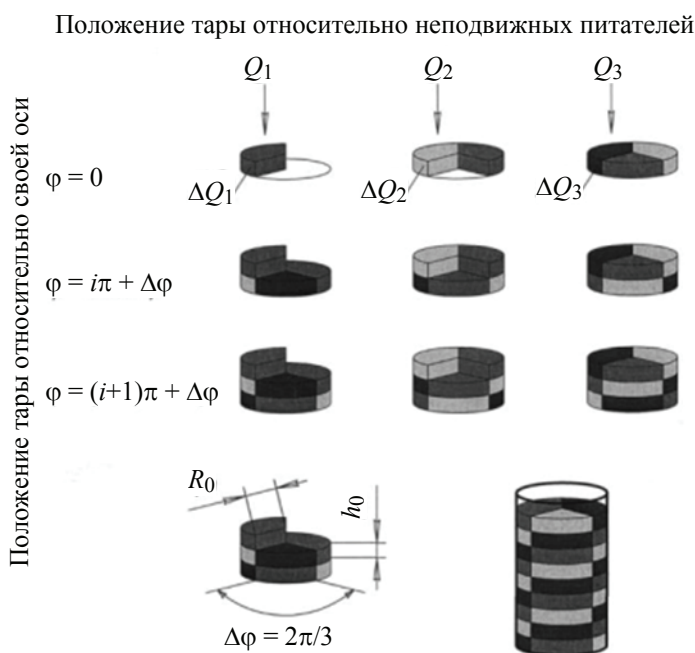


Рис. 10. Схема загрузки компонентов в бироторный смеситель

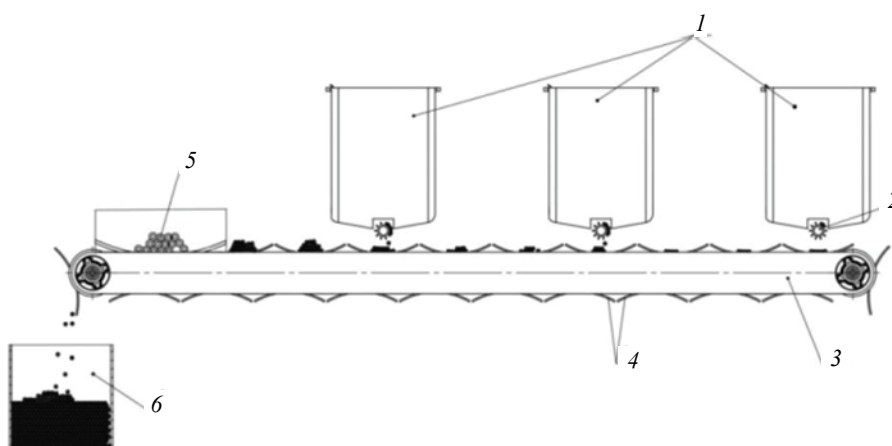


Рис. 11. Схема конвейерного немиксера:

1 – бункеры компонентов; 2 – барабанные дозаторы; 3 – конвейер;
4 – желоба для формирования единичных доз смеси; 5 – единичная доза смеси;
6 – емкость готовой смеси

В данном случае, три бункера 1 с компонентами смеси расположены вдоль ленты, и на каждом бункере установлен барабанный дозатор 2. На ленте конвейера 3 имеются желоба 4 для формирования единичных доз смеси. В конечном итоге смесь попадает в емкость 6.

Вопросы математического моделирования и рекомендации по проектированию немиксеров рассмотрены в работах [25, 26].

Заключение

Анализ способов непрерывного дозирования, которые в настоящее время используются в промышленности, показал, что основной причиной, препятствующей повышению точности дозирования, являются динамические воздействия на датчик веса, поскольку вес материала определяется во время его движения. Показано, что двухстадийная технология весового непрерывного дозирования является наиболее перспективной для повышения точности дозирования. Эта технология не только позволяет существенно снизить динамические воздействия на датчик веса, но и при изменении последовательности основных операций (формирование отдельных порций, определение веса этих порций, расчет промежутков времени между подачей порций и преобразование их в непрерывный поток) позволит полностью исключить данные воздействия. Намечены пути совершенствования двухстадийной технологии дозирования и устройств для ее реализации, которые повысят точность дозирования и увеличат диапазоны производительности дозаторов. Сделан вывод, так как точность дозирования влияет на качество готовой смеси, необходимо рассматривать процессы дозирования компонентов и их смешивание совместно с учетом взаимосвязи этих процессов. Показано, что при приготовлении смесей из компонентов, склонных к сегрегации, целесообразно максимально детерминировать процесс смешивания и проводить упорядоченную загрузку компонентов с учетом их физико-механических свойств.

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. Макаров, Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.
3. Brown, R. L. The Fundamental Principles of Segregation / R. L. Brown // J. Inst. Fuel. – 1939. – Vol. 13. – P. 15 – 19.
4. Bates, L. User Guide to Segregation / L. Bates. – British Materials Handling Board, Elsinore house, United Kingdom, 1997. – 134 p.
5. Пат. 2478420 Российская Федерация, МПК В01F13/18. Способ непрерывного приготовления многокомпонентных смесей и устройство для его реализации / Ю. Т. Селиванов, В. Ф. Першин, А. С. Дурнев ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». – № 2011131090/05 ; заявл. 25.07.2011 ; опубл. 10.04.13, Бюл. № 2.
6. Конструирование и расчет машин химических производств / Ю. И. Гусев, И. Н. Карасев, Э. Э. Кольман-Иванов [и др.] ; под ред. Э. Э. Кольмана-Иванова. – М. : Машиностроение, 1985. – 408 с.
7. Henein, H. The Modeling of Transverse Solids Motion in Rotary Kils / H. Henein, J. K. Brimacobe and A. P. Watkinson // Metallurgical Transactions B. – 1983. – Vol. 14B(2). – P. 207 – 220.
8. А. с. 129789554 СССР, МКИ В 01F 3/18. Способ приготовления многокомпонентных смесей сыпучих материалов / В. Ф. Першин ; заявитель и патентообладатель Тамбовский институт химического машиностроения. – № 3861237 ; заявл. 02.01.1985 ; опубл. 23.03.1987, Бюл. № 11.
9. А. с. 1326323 СССР, МКИ В 01F 3/18. Способ приготовления смеси сыпучих материалов / В. Ф. Першин ; заявитель и патентообладатель Тамбовский институт химического машиностроения. – № 3834337 ; заявл. 02.01.1985 ; опубл. 30.07.1987, Бюл. № 28.
10. Пат. 2162365 Российская Федерация, МКИ В01 F11/00. Барабанный смеситель / А. А. Пасько, В. Ф. Першин, В. П. Таров, А. А. Коптев, В. Л. Негров ; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. – № 99110526/12 ; заявл. 18.05.1999, опубл. 27.01.2001, Бюл. № 3.
11. Пат. 2242273 Российская Федерация, МКИ В01F 3/18. Способ приготовления многокомпонентной смеси и устройство для его реализации / В. Ф. Першин, С. В. Барышникова, Д. К. Каляпин, А. А. Осипов ; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. – № 2003113033/15 ; заявл. 05.05.2003 ; опубл. 20.12.2004, Бюл. № 35.
12. Пат. 2487748 Российская Федерация, МПК В01F9/06. Способ смешения материалов и устройство для его осуществления / В. Н. Долгунин, О. О. Иванов, А. Н. Куди, Е. А. Рябова, Е. П. Ларионова ; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет (RU). – №2011154410/05 ; заявл. 29.12.2011 ; опубл. 20.07.2013, Бюл. № 32.
13. Пат. 2624698 Российская Федерация, МПК В01F3/18. Агрегат для смешения и уплотнения сыпучих материалов / А. Е. Лебедев, А. А. Ватагин, М. Е. Борисовский, М. Н. Романова, Н. В. Бадаева, И. С. Шеронина ; заявитель и патентообладатель ООО «МилИнвест». – № 2016143292 ; заявл. 02.11.2016 ; опубл. 05.07.2017, Бюл. № 19.
14. Лебедев, А. Е. Аппараты для переработки дисперсных сред. Теория и расчет : монография / А. Е. Лебедев, А. И. Зайцев, А. Б. Капранова, А. А. Ватагин, С. Суид. – Ярославль : Издат. дом ЯГТУ, 2018. – 132 с.
15. Ватагин, А. А. Совершенствование процессов смешивания сыпучих материалов, склонных к сегрегации, в аппаратах с подвижной лентой : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 2.6.13 / Ватагин Александр Александрович. – Иваново, 2022. – 16 с.
16. Пат. 2129911 Российская Федерация, МПК В01F 3/18 (1995.01). Способ смешения сыпучих компонентов и устройство для его реализации / А. Н. Лукаш, И. А. Клусов, А. С. Овчинников, А. В. Евсеев ; заявитель и патентообладатель

Тулский государственный университет. – № 98107352/25; заявл. 21.04.1998 ; опубл. 10.05.99, Бюл. № 13.

17. Пат. 2271243 Российская Федерация, МПК В01F 3/18 (2006.01). Способ смешения сыпучих компонентов и устройство для его реализации / А. Н. Лукаш, А. В. Евсеев, Т. А. Овчинникова, К. В. Власов, О. В. Карпухина ; патентообладатель Тульский государственный университет. – № 2004131116/15 ; заявл. 25.10.2004; опубл. 10.03.06, Бюл. №7.

18. Пат. 2707998 Российская Федерация, МПК В01F 3/18 (2006.01); В01F 9/10 (2006.01); В01F 15/02 (2006.01); В01F 15/04 (2006.01). Способ получения смеси из сыпучих компонентов и устройство для его осуществления / А. В. Евсеев ; патентообладатель А. В. Евсеев. – № 2019104861 ; заявл. 21.02.2019 ; опубл. 03.12.19. Бюл. №34.

19. Пат. 2708780 Российская Федерация, МПК В65G 53/46 (2006.01); В65G 53/48 (2006.01). Роторный питатель для сыпучего материала / А. В. Евсеев ; патентообладатель А. В. Евсеев. – № 2019104089 ; заявл. 14.02.2019 ; опубл. 11.12.19, Бюл. № 35.

20. Пат. 2749267 Российская Федерация, МПК В01F 3/18 (2006.01). Способ для получения смеси из трубчатых компонентов и устройство для его реализации / А. В. Евсеев ; патентообладатель ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет». – № 2020118425 ; заявл. 25.05.2020 ; опубл. 07.06.21, Бюл. № 16.

21. Евсеев, А. В. Теория и оборудование детерминированного формирования однородности гетерогенных смесей : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.13 / Евсеев Алексей Владимирович. – Иваново, 2021. – 32 с.

22. Евсеев, А. В. Нонмиксинг / А. В. Евсеев // Известия Тульского государственного ун-та. Техн. науки. – 2019. – Вып. 9. – С. 27 – 36.

23. Васин, С. А. Некоторые аспекты создания новых конструкций конвейерных и роторных нонмиксеров / С. А. Васин, А. В. Евсеев // Вестник РГУПС. – 2021. – № 2. – С. 32 – 43. doi: 10.46973/0201–727X_2021_2_32

24. Евсеев, А. В. Нонмиксеры – новый класс технологических машин для детерминированного формирования однородности гетерогенных смесей / А. В. Евсеев // Вестник РГУПС. – 2021. – № 2. – С. 44 – 51. doi: 10.46973/0201–727X_2021_2_44

25. Евсеев, А. В. Проверка адекватности математических моделей механизма загрузки сыпучего материала шлюзовым дозатором и их анализ / А. В. Евсеев, О. В. Соколова, М. С. Парамонова // Известия Тульского государственного ун-та. Техн. науки. – 2019. – Вып. 10. – С. 490 – 497.

26. Васин, С. А. Проектирование конвейерных нонмиксеров / С. А. Васин, А. В. Евсеев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2021. – № 8. – С. 379 – 384. doi: 10.36652/0202-3350-2021-22-8-379-384

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

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. Makarov Yu.I. *Apparaty dlya smesheniya sypuchikh materialov* [Apparatus for mixing bulk materials], Moscow: Mashinostroyeniye, 1973, 216 p. (In Russ.)
3. Brown R.L. The Fundamental Principles of Segregation, *J. Inst. Fuel*, 1939, vol. 13, pp. 15-19.
4. Bates L. *User Guide to Segregation*. British Materials Handling Board, Elsinore house, United Kingdom, 1997. 134 p.
5. Selivanov Yu.T., Pershin V.F., Durnev A.S. *Sposob nepreryvnogo prigotovleniya mnogokomponentnykh smesey i ustroystvo dlya yego realizatsii* [A method for continuous preparation of multicomponent mixtures and a device for its implementation], Russian Federation, 2013, Pat. 2478420. (In Russ.)
6. Gusev Yu.I., Karasev I.N., Kol'man-Ivanov E.E. (Ed.), Makarov Yu.N., Maksanin M.P., Rasskazov N.I. *Konstruirovaniye i raschet mashin khimicheskikh proizvodstv* [Design and calculation of machines for chemical production], Moscow: Mashinostroyeniye, 1985, 408 p. (In Russ.)
7. Henein H.J., Brimacobe K., Watkinson A.P. The Modeling of Transverse Solids Motion in Rotary Kils, *Metallurgical Transactions B.*, 1983, vol. 14B(2), pp. 207-220.
8. Pershin V.F. *Sposob prigotovleniya mnogokomponentnykh smesey sypuchikh materialov* [The method of preparation of multicomponent mixtures of bulk materials], Russian Federation, 1987, A. s. 129789554 (In Russ.)
9. Pershin V.F. *Sposob prigotovleniya smesi sypuchikh materialov* [Method for preparing a mixture of bulk materials], Russian Federation, 1987, A. s. 1326323 (In Russ.)
10. Pas'ko A.A., Pershin V.F., Tarov V.P., Koptev A.A., Negrov V.L. *Barabannyi smesitel'* [Drum mixer], Russian Federation, 2001, Pat. 2162365 (In Russ.)
11. Pershin V.F., Baryshnikova S.V., Kalyapin D.K., Osipov A.A. *Sposob prigotovleniya mnogokomponentnoy smesi i ustroystvo dlya yego realizatsii* [A method for preparing a multicomponent mixture and a device for its implementation], Russian Federation, 2004, Pat. 2242273 (In Russ.)
12. Dolgunin V.N., Ivanov O.O., Kudi A.N., Ryabova Ye.A., Larionova Ye.P. *Sposob smesheniya materialov i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya* [A method of mixing materials and a device for its implementation], Russian Federation, 2013, Pat. 2487748 (In Russ.)

13. Lebedev A.Ye., Vatagin A.A., Borisovskiy M.Ye., Romanova M.N., Badayeva N.V., Sheronina I.S. *Agregat dlya smesheniya i uplotneniya sypuchikh materialov* [Unit for mixing and compacting bulk materials], Russian Federation, 2017, Pat. 2624698 (In Russ.).
14. Lebedev A.Ye., Zaytsev A.I., Kapranova A.B., Vatagin A.A., Suid S. *Apparaty dlya pererabotki dispersnykh sred. Teoriya i raschet: monografiya* [Apparatus for processing dispersed media. Theory and calculation: monograph], Yaroslavl': Izdatel'skiy dom YAGTU, 2018, 132 p. (In Russ.).
15. Vatagin A.A. *Extended abstract of Candidate's of Engineering thesis*, Ivanovo, 2022, 16 p. (In Russ.).
16. Lukash A.N., Klusov I.A., Ovchinnikov A.S., Yevseyev A.V. *Sposob smesheniya sypuchikh komponentov i ustroystvo dlya yego realizatsii* [A method of mixing loose components and a device for its implementation], Russian Federation, 1999, Pat. 2129911 (In Russ.).
17. Lukash A.N., Yevseyev A.V., Ovchinnikova T.A., Vlasov K.V., Karpukhina O.V. *Sposob smesheniya sypuchikh komponentov i ustroystvo dlya yego realizatsii* [A method of mixing loose components and a device for its implementation], Russian Federation, 2006, Pat. 2271243. (In Russ.).
18. Yevseyev A.V. *Sposob polucheniya smesi iz sypuchikh komponentov i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya* [Method for obtaining a mixture of bulk components and a device for its implementation], Russian Federation, 2019, Pat. 2707998. (In Russ.).
19. Yevseyev A.V. *Rotornyy pitatel' dlya sypuchego materiala* [Rotary feeder for bulk material], Russian Federation, 2019, Pat. 2708780 (In Russ.).
20. Yevseyev A.V. *Sposob dlya polucheniya smesi iz trubchatykh komponentov i ustroystvo dlya yego realizatsii* [Method for producing a mixture of tubular components and a device for its implementation], Russian Federation, 2020, Pat. 2749267 (In Russ.).
21. Yevseyev A.V. *Extended abstract of Doctor's of Engineering thesis*, Ivanovo, 2021, 32 p. (In Russ.).
22. Yevseyev A.V. [Nonmixing], *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universitetata. Tekhnicheskiye nauki* [Proceedings of the Tula State University. Technical science], 2019, Is. 9, pp. 27-36. (In Russ., abstract in Eng.)
23. Vasin S.A., Yevseyev A.V. [Some aspects of creating new designs of conveyor and rotary non-mixers], *Vestnik RGUPS* [Bulletin of the RGUPS], 2021, no. 2, pp. 32-43. doi: 10.46973/0201-727X_2021_2_32 (In Russ., abstract in Eng.)
24. Yevseyev A.V. [Nonmixers – a new class of technological machines for deterministic formation of homogeneity of heterogeneous mixtures], *Vestnik RGUPS* [Bulletin of the RGUPS], 2021, no. 2, pp. 44-51. doi: 10.46973/0201-727X_2021_2_44 (In Russ., abstract in Eng.)
25. Yevseyev A.V., Sokolova O.V., Paramonova M.S. [Verification of the adequacy of mathematical models of the mechanism for loading bulk material with a sluice dispenser and their analysis], *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universitetata. Tekhnicheskiye nauki* [Izvestiya Tula State University. Technical science], 2019, Is. 10, pp. 490-497. (In Russ., abstract in Eng.)
26. Vasin S.A., Yevseyev A.V. [Design of conveyor non-mixers], *Sborka v mashinostroyenii, priborostroyenii* [Assembly in mechanical engineering, instrument making], 2021, no. 8, pp. 379-384. doi: 10.36652/0202-3350-2021-22-8-379-384 (In Russ., abstract in Eng.)

Aggregate zur Herstellung der Mischung aus den zur Segregation neigenden Komponenten. Moderner Zustand und Perspektiven. Teil II

Zusammenfassung: Es sind die wichtigsten Dosierungs- und Mischmethoden betrachtet, sowie Vorrichtungen zur Durchführung dieser Verfahren. Am Beispiel von Bandspendern und Spendern mit Loss-In-Weight-Technologie ist gezeigt, dass die dynamische Einwirkung auf den Gewichtssensor der Hauptgrund für die Verhinderung einer höheren Dosierungsgenauigkeit ist, da das Gewicht des Materials während der Bewegung bestimmt wird. Es ist die Analyse der zweistufigen Technologie der gewichtskontinuierlichen Dosierung durchgeführt und die Schlussfolgerung über die Aussichten dieser Technologie im Hinblick auf die Erhöhung der Dosiergenauigkeit gezogen. Verbesserungsmöglichkeiten der zweistufigen Dosiertechnik und Geräte zu ihrer Umsetzung sind skizziert. Da sich die Dosiergenauigkeit auf die Qualität der fertigen Mischung auswirkt, ist festgestellt, dass es notwendig ist, die Prozesse der Dosierung der Komponenten und ihres Zusammenmischens unter Berücksichtigung der Beziehung dieser Prozesse zu analysieren.

Unités de mélange à partir des composants susceptibles à la ségrégation: état actuel et perspectives. Deuxième partie

Résumé: Sont examinées les principales méthodes de dosage et de mélange ainsi que des dispositifs pour mettre en œuvre ces méthodes. À l'exemple des doseurs à bande et des doseurs utilisant la technologie Loss-in-Weight est montré que la principale raison qui empêche l'amélioration de la précision du dosage est l'influence dynamique sur le capteur de poids, car le poids du matériau est déterminé pendant son mouvement. Est réalisée une analyse de la technologie en deux étapes du dosage de poids continu; est fait la conclusion que cette technologie est prometteuse. Sont présentées les voies de l'amélioration de la précision de dosage. Les moyens d'améliorer la technologie de dosage en deux étapes et les dispositifs de mise en œuvre sont envisagés. Est établi que puisque la précision du dosage influence sur la qualité du mélange, il est nécessaire d'examiner les processus de dosage et de mélange des composants en tenant compte de la relation entre ces processus.

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.
