

УДК 621.929.2/9

А.Б. Шушпанников, Д.М. Бородулин, С.В. Злобин, С.Ю. Рокосов

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЪЕМНЫХ ВИНТОВЫХ ВИБРАЦИОННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Приводится краткое описание и анализ шести оригинальных конструкций вертикальных винтовых вибрационных смесителей непрерывного действия для сыпучих материалов с целью ознакомления аудитории научных работников с серией аппаратов, относящихся к одному из новых направлений в этой области. В целом они просты в изготовлении, позволяют эффективно смешивать ингредиенты с широким спектром физико-механических характеристик в тонком виброкипящем слое и имеют небольшие габариты. Время процесса не превышает нескольких минут.

Вибрационный смеситель, сыпучий материал.

### Введение

В статье приводится краткое описание и анализ шести оригинальных конструкций вертикальных винтовых вибрационных смесителей непрерывного действия (СНД) [1–6], которые предназначены для получения сыпучих композиций с соотношением ингредиентов, в основном не превышающем 1:100. Они относятся к подъемным, так как в них дисперсная фаза под действием возвратно-винтовых колебаний движется (поднимается) вверх по перфорированному спиральному лотку навстречу силам тяжести (рис. 1).

В смесителях организовано направленное движение тонкослойных материальных потоков в сочетании с контурами рециркуляции и опережения, поэтому они обладают высокой сглаживающей способностью (инерционностью), имеют низкие удельные энергозатраты, высокую интенсивность процесса. Они хорошо подходят в качестве основы для формирования смесеприготовительного агрегата непрерывного действия.

К недостаткам этих вибрационных смесителей следует отнести повышенный шум при работе, а также сложность разрушения поступающих из дозаторов или образующихся в процессе переработки конгломератов из частиц, а также распределение в потоке дисперсных материалов небольшой доли жидких добавок.

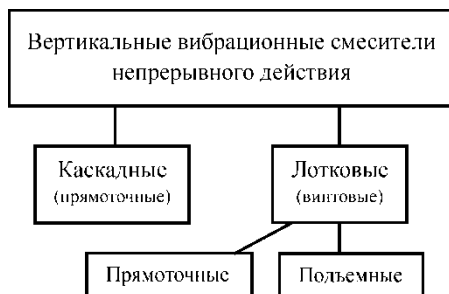


Рис. 1. Классификация вертикальных вибрационных смесителей по принципу действия

Цель статьи – познакомить аудиторию научных работников с серией конструкций вибрационных

смесителей непрерывного действия, относящихся к одному из новых направлений в этой области.

### Рассматриваемые объекты

Винтовой смеситель непрерывного действия, выполненный по а. с. СССР 1716697 [1] (рис. 2), может готовить в виброкипящем слое смеси из сыпучих материалов с существенно различающимися физико-механическими характеристиками, например, крахмал – сахар, мука – соль, песок – сода и т.д. во время их транспортирования вверх по спиральному лотку. Он является базовым в серии, поэтому рассмотрим его конструкцию и принцип действия подробно.

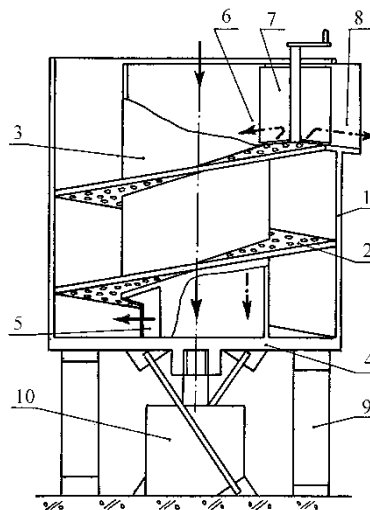


Рис. 2. Подъемный винтовой вертикальный вибрационный СНД, (а. с. 1716697): 1 – корпус; 2 – винтовой перфорированный лоток; 3 – загрузочный бункер; 4 – днище; 5 – нижнее окно; 6 – верхнее окно; 7 – отсекабель; 8 – выпускной патрубков; 9 – упругие элементы; 10 – вибропривод

Аппарат состоит из корпуса 1, на внутренней поверхности которого закреплен перемешивающий орган 2 в виде спирального перфорированного желоба, расположенного между внутренней поверхностью корпуса 1 и загрузочным бункером 3. Бункер 3 выполнен по форме цилиндра и прикреплен к днищу 4.

В его стенке имеются два оппозитно расположенных отверстия: нижнее 5 на уровне днища 4 и верхнее 6 рядом с отсекателем 7. Выгрузочный патрубок 8 установлен на верхнем витке желоба. Отсекатель 7, установленный на верхнем витке, предназначен для разделения материала на два потока: часть смеси он направляет к выгрузочному патрубку 8, а другую – сбрасывает через отверстие 6 загрузочного бункера в нижнюю часть аппарата, образуя при этом контур «внешнего» рецикла.

При включении вибратора 10 корпус 1 с перемещающим устройством 2 совершают винтовые колебания, возникающие в результате расположения упругих элементов 9 под углом к оси аппарата. Исходные ингредиенты поступают в загрузочный бункер 3 сверху на днище 4 и через отверстие 5 попадают на перфорированный желоб 2. В результате направленной вибрации поток материала движется по желобу вверх и одновременно просыпается через перфорацию на нижележащий виток, создавая таким образом контур внутреннего (межвиткового) рецикла. Кроме того, этот смеситель имеет непродолжительный пусковой период, в который формируется дисперсный слой требуемой толщины. В этот момент в результате сегрегации часть компонентов с хорошей транспортируемой способностью выделяется из основной массы и начинает быстрее перемещаться по желобу. Проваливаясь через перфорацию верхних витков, они попадают на поверхность формируемого слоя и смешиваются с ним. Лишь после того, как поток смеси достигнет последнего витка, готовый продукт появится на выходе. Если же в период пуска выгрузочный патрубок 8 перекрыть отсекателем 7, направив весь поток через отверстие 6 в нижнюю часть аппарата, то можно полностью устранить появление брака. После достижения требуемой высоты слоя на витках патрубков 8 открывают. С помощью отсекателя 7 можно регулировать количество материала, поступающего в контур «внешнего» рецикла, тем самым изменяя накопительную (высота слоя на витке) и сглаживающую способности аппарата, а также его производительность.

Анализ конструкции вибрационного смесителя, изготовленного в соответствии с [1], выявил наличие в центре аппарата застойной области, где угол вибрации, от величины которого зависит направленное движение сыпучей массы, близок к 90°. Это снижает качество получаемой смеси. Поэтому для исключения попадания исходных компонентов в эту область на днище загрузочного бункера, соответственно с ним, установлена вставка в виде тела вращения (патент РФ 2181664 [2]). Эксперименты, проведенные на опытном образце смесителя, показали, что наличие вставки позволяет избежать образования застойной области, а также организовать дополнительный регулируемый контур рециркуляции смешиваемых материалов в пространстве между вставкой и внутренней поверхностью цилиндрического загрузочного бункера (рис. 3).

Смеситель имеет вертикальную несущую цилиндрическую колонну 1, на которой закреплен перфорированный, кроме нижнего витка 4, рабочий орган в

виде винтового лотка 3 прямоугольной формы. Колонна 1 одновременно играет роль загрузочного бункера. На его дне образован кольцевой зазор между цилиндрической вставкой 5 и внутренней поверхностью колонны, куда поступают исходные компоненты. Под действием направленных колебаний они движутся в зазоре и смешиваются. Заслонка, закрепленная на вставке 5, способствует выведению материала через окно 6 на первый сплошной рабочий виток 4. На рабочем органе дисперсная фаза под действием колебаний движется виброкипящим слоем снизу вверх. Попадая на перфорированную поверхность, она частично просыпается (возвращается) через отверстия на нижележащий виток, создавая таким образом контур внутреннего (межвиткового) рецикла. Рассекатель 7, установленный на верхнем витке, разделяет поток СМ на две части. Одна направляется на выход 2 из аппарата, а другая, через верхнее окно 8, сбрасывается вниз на дно бункера 1, образуя при этом контур внешнего рецикла. С помощью рассекателя можно регулировать количество материала, поступающего в контур внешнего рецикла, а также переводить смеситель в периодический режим работы, направляя весь материал в загрузочный бункер. Высота виброкипящего слоя дисперсной фазы на витках смешивающего органа определяется параметрами вибрации, производительностью дозирующего оборудования, площадью перфорации и положением рассекателя.

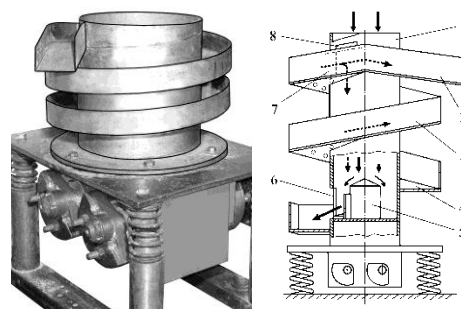


Рис. 3. Подъемный винтовой вертикальный вибрационный СНД, патент (РФ 2181664): 1 – несущая цилиндрическая колонна; 2 – выпускной патрубок; 3 – винтовой перфорированный лоток; 4 – нижний сплошной виток; 5 – цилиндрическая вставка с заслонкой; 6 – нижнее окно; 7 – рассекатель; 8 – верхнее окно для рециркуляции

Наряду с достоинствами описанной выше конструкции вибрационного смесителя он имеет и недостаток, такой как отсутствие возможности дополнительной стабилизации высоты слоя материала, находящегося на рабочей перфорированной лопасти, которая может изменяться в процессе работы из-за колебаний питающих потоков на входе в смеситель или свойств материала.

Для устранения этого недостатка нами предлагается смеситель усовершенствованной конструкции (патент РФ 2209109 [4]), показанный на рис. 4. Различие заключается в новом исполнении загрузочного бункера 2 (колонны), в стенке которого выполнен ряд сквозных отверстий 1, расположенных по винтовой линии, параллельной образующей поверхности рабо-

чего органа смесителя. Отверстия помогают стабилизировать высоту слоя материала на рабочем органе при внезапном локальном его увеличении выше оптимальной величины. Тогда излишек СМ начинает возвращаться через них в загрузочный бункер.

Следующая конструкция вибрационного смесителя (патент РФ 2193916 [4]) имеет усовершенствованную конструкцию рабочего органа (рис. 5).

Прямоугольная форма перфорированного рабочего лотка, как показала практика, в некоторых случаях затрудняет образование виброкипящего слоя. Это объясняется тем, что под виброкипящим слоем в результате его насосного действия образуется вакуум. В образовавшийся вакуум засасывается воздух путем фильтрации его через слой и в большей степени вдоль стенок рабочей лопасти, где частицы вследствие трения о стенки движутся менее интенсивно. Поэтому часть объема слоя, находящаяся в месте соприкосновения рабочего органа с корпусом и загрузочным бункером смесителя, приводится только в виброоживленное, а не виброкипящее состояние, что отрицательно сказывается на качестве готовой смеси.

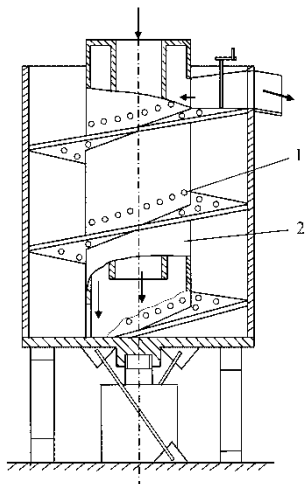


Рис. 4. Подъемный винтовой вертикальный вибрационный СНД (патент РФ 2209109): 1 – ряд отверстий; 2 – стенка загрузочного бункера

Указанные недостатки устраняются путем изменения профиля рабочего перфорированного лотка с прямоугольного на полукруглый (рис. 5). В этом случае в силу кривизны поверхности лотка практически весь объем материала, находящийся на нем, вовлекается в интенсивное циркуляционное движение, создавая виброкипящий слой одинаковой интенсивности. Также на его периферии выполняется дополнительная перфорация в виде ряда отверстий небольшого диаметра ( $2\div 3$  мм), назначение которых – подвод воздуха для заполнения вакуума, образующегося под виброкипящим слоем. Кроме этого, для предотвращения возможного изменения высоты виброкипящего слоя на рабочем лотке (вследствие погрешности в работе дозирующих устройств) выполнен ряд отверстий для сброса излишка материала на нижерасположенный виток с целью стабилизации высоты слоя. По опытным данным, для создания виброкипящего слоя мелкозернистыми и порошкообразными материалами диаметр отверстий в днище лопасти должен быть

8–10 мм, а на периферии – 16–20 мм. Использование в конструкции вибрационного смесителя круглой перфорированной рабочей лопасти позволяет интенсифицировать процесс смешивания за счет увеличения однородности виброкипящего слоя.

Недостатком вибрационного смесителя с полукруглым профилем винтового лотка является сложность его изготовления.

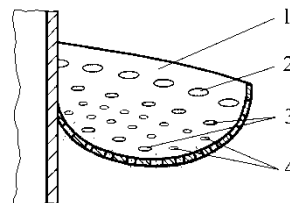


Рис. 5. Элемент рабочего органа подъемного винтового СНД (патент РФ 2193916): 1 – лоток с полукруглым профилем; 2 – периферийные отверстия диаметром 16–20 мм; 3 – отверстия диаметром 8–10 мм; 4 – отверстия диаметром 2–3 мм

Следующее изобретение (патент РФ 2286203 [5]) направлено на усовершенствование конструкции [2], в которой создаются неблагоприятные условия смешивания в кольцевом зазоре между цилиндрической вставкой и внутренней поверхностью загрузочного бункера.

Указанный недостаток устранили путем установки в загрузочном бункере дополнительного рабочего органа в виде спиральной лопасти, закрепленной на цилиндрической вставке с наклоном в сторону движения материала. При этом возросла однородность смеси за счет увеличения общей протяженности винтовой поверхности и повысилась производительность СНД без увеличения его габарита.

Вибрационный смеситель [5] (рис. 6) состоит из основного рабочего органа в виде винтового лотка 4 прямоугольной формы с подъемом в сторону движения сыпучего материала, вертикальной несущей цилиндрической колонны 1, которая одновременно играет роль загрузочного бункера, и установленного в ней дополнительного рабочего органа. Исходные компоненты подают в бункер 1 на спиральную лопасть 9, состоящую из одного или нескольких витков с уклоном в сторону движения материала. Под действием направленных колебаний ингредиенты скапываются по ней и через отверстие 3 в стенке бункера 1 попадают на нижний сплошной виток основного рабочего органа, на котором смесь в процессе ее движения вверх к выпускному патрубку 5 доводится до кондиции в виброкипящем слое.

Благодаря лопасти 9 увеличивается скорость вибротранспортирования материала в кольцевом зазоре между вставкой 8 и внутренней поверхностью колонны 1, что в свою очередь при неизменном расходе материала и ширине лопасти не дает ему скапливаться в загрузочном бункере. Это приводит не только к повышению производительности аппарата, но и качества смеси за счет увеличения протяженно-

сти поверхности, виброактивирующей дисперсную систему.

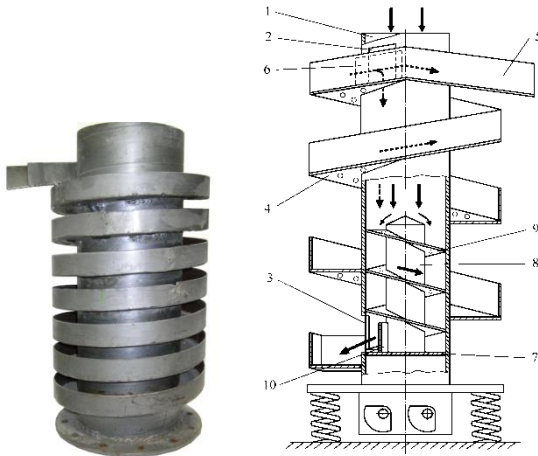


Рис. 6. Подъемный винтовой вертикальный вибрационный СНД (патент РФ 2286203): 1 – несущая цилиндрическая колонна; 2 – верхнее окно для рециркуляции; 3 – нижнее окно; 4 – винтовой перфорированный лоток; 5 – выпускной патрубок; 6 – рассекаватель; 7 – дно загрузочного бункера; 8 – цилиндрическая вставка; 9 – спиральная лопасть; 10 – направляющая заслонка

Во многих случаях для достижения желаемого результата достаточно лопасти, состоящей из одного неперфорированного витка (рис. 7). Если же из технологических соображений требуется многовитковая лопасть, то ее верхние витки выполняют перфорированными. В результате просеивания ингредиентов через перфорацию верхних витков на нижние происходит предварительное усреднение композиции.

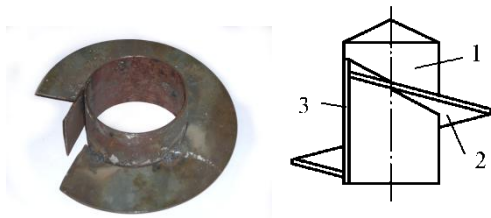


Рис. 7. Наклонная лопасть (патент РФ 2286203): 1 – цилиндр; 2 – лопасть; 3 – направляющая заслонка

Техническим результатом следующего изобретения является расширение диапазона соотношения ингредиентов за счет применения метода «последовательного разбавления» путем уменьшения ширины верхних витков спиральной лопасти, устанавливаемой в загрузочном бункере [6].

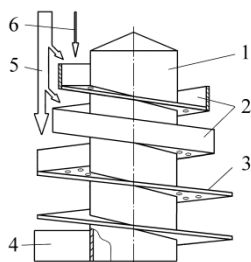


Рис. 8. Модернизированная наклонная лопасть: 1 – цилиндр; 2 – узкие витки лопасти; 3 – широкие витки;

4 – направляющая заслонка; 5 – фоновый компонент; 6 – ключевой компонент

Ингредиенты подают на верхние витки модернизированной наклонной лопасти (рис. 8). Ингредиент с наименьшим расходом принимают в качестве ключевого 6, остальные являются фоновым 5. Если отношение расходов ключевого компонента к фоновому превышает 1:50, то ключевой компонент и долю фонового подают на верхний узкий перфорированный виток 2 лотка, ширина которого должна быть пропорциональна их суммарному расходу при условии обеспечения толщины виброкипящего слоя сыпучего материала на витке в диапазоне, равном 10–30 мм. Под действием направленной вибрации ингредиенты перемещаются под уклон и смешиваются. Небольшая их часть просыпается через перфорацию на нижележащий виток, куда поступает следующая или вся оставшаяся доля фонового компонента. Количество разбавлений зависит от начального соотношения и условий смешивания. Ширина витков должна изменяться пропорционально суммарному расходу ингредиентов на каждом этапе смешивания.

После осуществления процесса «последовательного разбавления» ингредиентов на узких витках 2 и последующего их предварительного смешивания на широких витках 3, композиция с помощью неподвижной заслонки 4 направляется через отверстие 3 (рис. 6) на нижний сплошной виток внешнего спирального желоба 4 (рис. 6). Поскольку он является основным рабочим органом устройства, то смесь в процессе вибродвижения по нему вверх достигает требуемой однородности. Здесь предпочтительная высота виброкипящего слоя равна 10–50 мм.

В целом перфорация поверхностей перемешивающих органов смесителей предназначена для сглаживания в композиции концентрационных флуктуаций за счет ее пересыпания по виткам, что особенно важно при дискретном дозировании ингредиентов. А также она обеспечивает уменьшение требуемых параметров колебаний для создания виброкипящего слоя и увеличение скорости транспортирования сыпучей массы за счет подсоса воздуха через отверстия под слой.

### Выводы

Из рассмотренных в статье конструкций подъемных вертикальных винтовых вибрационных смесителей непрерывного действия наибольшей практической значимостью обладают СНД [2] (рис. 3) и [5] (рис. 6). Они просты в изготовлении, позволяют эффективно смешивать ингредиенты с широким спектром физико-механических характеристик в тонком виброкипящем слое и имеют небольшие габариты.



## Список литературы

1. А. с. 1716697 СССР, МКИ В 28 С 51/04. Вибрационный смеситель / Шушпанников А.Б., Иванец В.Н. и др. – № 4843872/33, заявл. 21.05.90.
2. Пат. 2181664 Российская Федерация, МКИ В 28 С 5/04. Вибрационный смеситель / Иванец В.Н., Иванец Г.Е., Шушпанников А.Б. и др.; опубл. 27.04.2002, Бюл. № 12.
3. Пат. 2193916 Российская Федерация, МКИ В 01 F 11/00. Вибрационный смеситель / Иванец В.Н., Баканов М.В., Шушпанников А.Б. и др.; опубл. 10.12.2002, Бюл. № 34.
4. Пат. 2209109 Российская Федерация, МКИ В 01 F 11/00. Вибрационный смеситель / Иванец В.Н., Баканов М.В., Шушпанников А.Б. и др.; опубл. 27.07.2003, Бюл. № 21.
5. Пат. 2286203 Российская Федерация, МКИ В 01 F 11/00, В 01 F 3/18. Вибрационный смеситель / Шушпанников А.Б., Иванец Г.Е., Золин А.Г. и др.; публ. 27.10.2006, Бюл. № 30.
6. Положительное решение на выдачу патента РФ от 11.03.13 по заявке 2012105486/05 от 16.02.12. Вибрационный смеситель / Шушпанников А.Б., Злобин С.В., Рынза О.П., Потапов А.Н.

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

**A.B. Shushpannikov, D.M. Borodulin, S.V. Zlobin, S.Y. Rokosov**

**FEATURES OF DESIGNS OF LIFTING SCREW VIBRATION MIXERS OF CONTINUOUS ACTION**

The short description and the analysis of six original designs of vertical screw vibration mixers of continuous action of our development is provided in article for bulks for the purpose of acquaintance of audience of scientists with a series of the devices relating to one of the new directions in this area. As a whole, they are simple in production, allow to mix effectively ingredients with a wide range of physicomachanical characteristics in a thin vibroboiling layer and have small dimensions. Time of process doesn't exceed several minutes.

Vibration mixer, bulk.

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

