

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ВИБРАЦИОННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕНДЕНЦИИ ИХ РАЗВИТИЯ

М.В. Коробчук, А.Н. Веригин

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Аннотация: Вибрационное смешивание находит применение в самых различных отраслях промышленности. Для ряда технологических процессов смешивание является заключительной операцией, во многом определяющей качество конечного продукта. В настоящем обзоре представлена актуальная информация о получившем распространение в различных отраслях современных вибрационных смесителях, предназначенных для обработки многокомпонентных композиций из сухих или незначительно увлажненных сыпучих материалов: тонкодисперсных порошков, многокомпонентных смесей с существенно отличающимися по плотности и дисперсному составу компонентами и т.д.

С целью оценить тенденции развития рассматриваемого вида техники, авторами работы было выполнено исследование, в основу которого легли опыт и результаты непосредственного изучения промышленно освоенных и в настоящее время выпускаемых образцов вибрационных смесителей, а также данные, полученные в результате проведения патентного поиска за более чем 60-ти летний период. В результате патентных исследований, проведенных как по отечественным, так и по иностранным патентно-аналитическим и информационным баз, было выявлено более 200 релевантных объекту поиска технических решений.

Итоги проделанной работы дают представление об актуальном состоянии дел и перспективах развития вибрационного смесительного оборудования: вопросы поиска новых технических решений в области вибрационного смешивания остаются актуальными и привлекают к себе значительный интерес как отечественных, так и зарубежных исследователей. Приведенные в работе данные позволяют сформулировать рекомендации по дальнейшему совершенствованию вибрационных смесителей, как класса химико-технологического оборудования.

Представленная в работе систематизированная информация предназначена для инженерно-технических и научных сотрудников, занимающихся переработкой сыпучих материалов в самых разнообразных отраслях промышленности.

Ключевые слова: вибрация, колебания, смешивание, сыпучие материалы.

ВВЕДЕНИЕ

Вибрационное воздействие находит широкое применение в химической, строительной, металлургической, аграрной, оборонной, пищевой и других отраслях промышленности. Применительно к сыпучим материалам вибровзвешенный слой [членов] является таким оптимальным состоянием дисперсной системы, в котором создаются благоприятные условия для осуществления самых различных гетерогенных процессов. Кроме того, в условиях вибровзвешенного слоя снижается тормозящее действие внешних диффузионных микро- и макрофакторов, что благоприятствует повышению, например, коэффициентов тепло- и массопереноса.

Результаты многочисленных теоретических и экспериментальных работ в области вибрационной техники систематизированы и обобщены в виде монографий, многие из которых принадлежат отечественным ученым и инженерам, внесшим значительный вклад в развитие этого вида техники.

Говоря о вибрационной технике, нельзя не упомянуть имена таких наших достойнейших соотечественников как Д.Д. Баркан, И.И. Блехман и Г.Ю. Джанелидзе, И.И. Быховский, И.Ф. Гончаревич и П.А. Сергеев, М.П. Зубанов, Ю.И. Иориш,

Е.Б. Карпин, Г.Я. Куннос и А.М. Скудра, А.Д. Лесин, М.Л. Моргулис, Я.Г. Пановко, В.А. Повидайло, Н.Б. Урьев и Н.В. Михайлов, Н.Я. Хархута, И.Г. Шаталов, Н.С. Горбунов и В.И. Лихтман, Членов В.А. и др. [1-6].

В последние десятилетия, с развитием микроэлектроники вибрационная техника достигла качественно новой ступени развития, что нашло отражение в работах [7-11]. Успехи, достигнутые в сфере электротехники, позволяют с новых позиций подойти к изучению, и самое главное, к организации вибрационных процессов, принципиально изменив подходы и к исследованиям, и к последующему применению полученных результатов, в том числе и с целью интенсификации гетерогенных процессов. Применительно к дисперсным композициям, использование современных вибрационных аппаратов позволяет качественно улучшить их перемешивание и значительно приблизиться к предельному случаю создания реактора с идеальным смешением или гомогенной реакционной зоной.

Разработка современных вибрационных смесителей является актуальным и востребованным направлением, что обусловлено ужесточением требований, предъявляемых к характеристикам сыпучих материалов, получаемых смешиванием.

Следует отметить, что в Российской науке, вибрационные процессы в технике относятся к числу приоритетных направлений развития, что находит отражение в программе фундаментальных научных исследований РАН на период до 2025 года [12]. Финансирование исследований и проектирования вибрационных технологических машин осуществляется на государственном уровне, а их роль в технологии, в том числе в комплексной механизации и автоматизации химической промышленности, сельского хозяйства и перерабатывающих отраслей весьма существенна и перспективна.

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ СОВРЕМЕННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ

Основное достоинство вибрационных смесителей заключается в том, что смешивание материала в этих аппаратах может осуществляться без применения каких-либо дополнительных внутренних подвижных механических перемешивающих устройств, что позволяет достигать значительного, по сравнению с традиционным оборудованием, повышения надежности и эксплуатационной промышленной пригодности. Дополнительно следует отметить такие достоинства подобных машин, как высокая технологическая эффективность, незначительный износ рабочих поверхностей, привод без редуктора (некоторых моделей), простое исполнение рабочих органов, простота настройки и регулировки параметров, низкие эксплуатационные расходы, герметичное проведение процессов, возможность совмещения технологических операций и работы в автоматическом режиме. Так же, в некотором роде уникальной особенностью, является возможность организации протекания нескольких процессов одновременно. Например, совместно со смешиванием может одновременно выполняться термическая обработка смешиваемых компонентов (нагрев, прокатка, сушка, охлаждение). При этом, благодаря специфике конструкции, способ подвода тепла может быть самым разным: конвективным, кондуктивным, радиационным и т. д.

Традиционно, по принципу действия вибрационные смесители принято делить на смесители, в которых вибрационное воздействие дополняет гравитационное, на смесители, в которых помимо вибрационного воздействия, смесь принудительно приводят в движение с помощью подвижных внутренних перемешивающих устройств, и на смесители, в которых смешивание реализуется исключительно за счет вибрационного воздействия.

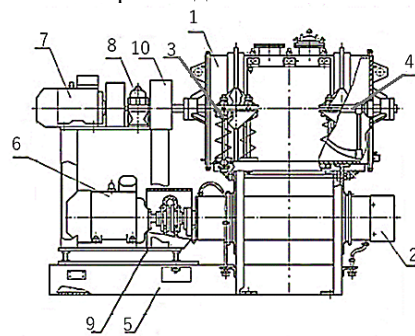
В *вибрационных смесителях гравитационного типа* траектория движения частиц смеси определяется действием на них, в основном, сил тяжести. Вибрационное воздействие лишь усиливает

гравитационный характер движения, уменьшая силы трения, ликвидируя застойные зоны и т. д. [13,14].

В промышленности такие смесители находят применение лишь при обработке вязких растворов (например, бетонных смесей в строительстве), и для смешивания сухих смесей практически не используются.

Вибрационные смесители с подвижными внутренними перемешивающими устройствами (с подвижными внутренними перемешивающими устройствами) наиболее производительны. В них, дополнительно накладываемое на смесь силовое воздействие позволяет достигнуть эффекта, в результате которого траектория и скорость перемещения макрообъемов смеси существенно усложняется и заметно отличается, например, от движения, реализуемого в вибрационных смесителях без подвижных вспомогательных устройств. Смесители принудительного действия обладают высокой производительностью и эффективностью, и достаточно часто встречаются в химической, пищевой и аграрной промышленности. К их недостаткам следует отнести относительно низкую скорость диффузионных и активационных процессов в микрообъемах при обработке смесей определенного типа, что в некоторых случаях достаточно сильно влияет на качество конечного продукта.

На рис. Рис. 1 представлена конструкция вибрационного смесителя типа РВС с внутренним подвижным перемешивающим устройством, серийно освоенного и нашедшего применение в отечественной промышленности, например, в пищевых и химических производствах.



1 – камера; 2 – вибратор; 3 – пружины; 4 – мешалка; 5 – рама; 6 – электродвигатель вибратора; 7 – электродвигатель мешалки; 8 – редуктор; 9 – муфта вибратора; 10 – муфта

Рис. 1 – Вибрационный смеситель типа РВС-22

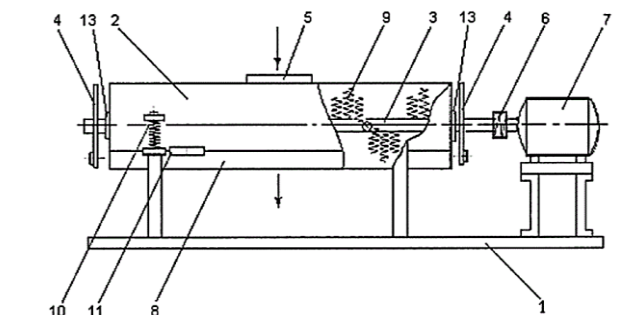
Аппарат представляет собой камеру смешения 1, оборудованную лопастной мешалкой 4 и вынесенным вибратором 2, и установленную на раме 5. Камера с траверсами установлена на упругие опоры из цилиндрических пружин 3. Во вращение перемешивающее устройство приводится электродвигателем 7 через редуктор 8 и муфту 10.

Вал вибратора 2 приводится в движение с помощью электродвигателя 6, посредством упругой муфты 9.

Данный смеситель позволяет организовать смешивание нескольких компонентов, в том числе, находящихся в жидком или твердом агрегатном состоянии.

Не смотря на ряд недостатков, свойственных вибрационным смесителям, оснащенным средствами принудительного перемешивания, работы по их совершенствованию и внедрению в практику промышленного применения ведутся вплоть до настоящего времени, что находит отражение, в частности, и в патентно-аналитических источниках информации.

Одно из наиболее ранних описаний (1959 г.) подобного рода конструкции вибрационного смесителя можно найти в авторском свидетельстве за № 133381. [15]. На рис. Рис. 2 представлена конструктивная схема современного вибрационного смесителя, разработанного в ФГБОУ ВО «Челябинский государственный агроинженерный университет» (2006 г.).



1 — рама; 2 — контейнер; 3 — вал; 4 — вибровозбудитель; 5 — загрузочная горловина; 6 — муфта; 7 — электродвигатель; 8 — разгрузочный люк; 9 — перемешивающие пружины; 10 — пружины; 11 — шарнир; 12 — защелка; 13 — торцевые стенки с подшипниковыми опорами

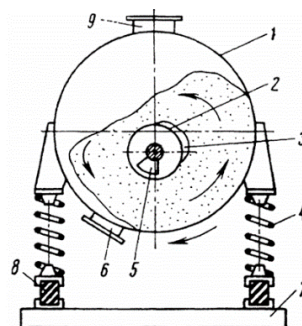
Рис. 2 - Вибрационный смеситель конструкции Челябинского государственного агроинженерного университета (2006)

Смеситель состоит из корпуса 2, выполненного в виде закрытого цилиндрического желоба, который имеет загрузочную горловину 5, разгрузочный люк 8 и торцевые стенки с подшипниковыми опорами 13, в которых вращается вал 3. Разгрузочный люк 8 установлен в нижней части контейнера по всей его длине и закреплен посредством шарниров 11 и защелки 12. Контейнер установлен на раме 1 при помощи пружин 10. Внутри контейнера на валу 3 одним концом закреплены перемешивающие пружины 9, установленные перпендикулярно его оси и по спирали. С наружной стороны контейнера на концах вала расположены вибровозбудители 4, которые позволяют регулировать амплитуду колебаний контейнера с валом [16].

Наибольшее распространение в промышленности, в силу конструктивной простоты и высокой надежности получили вибрационные смесители, в

которых на смесь накладывается только вибрационное воздействие. В некоторых случаях, с целью интенсификации и повышения качества смешивания такие смесители могут снабжаться различными неподвижными элементами, разбивающими или закручивающими поток движущихся (лотковые смесители) или циркулирующих (бункерные смесители) компонентов, однако основным фактором, характеризующим гидродинамический режим, является исключительно вибрационное воздействие.

На рис. Рис. 3 представлена, получившая в технической литературе широкое распространения, схема вибрационного смесителя разработанная в ИСиА (Институт строительства и архитектуры) АН Латвийской ССР [2,3]. В корпусе 1 такого смесителя размещается труба 2, внутри которой вращается вал 3 с дебалансами (инерционными элементами) 5. Корпус 1 установлен на пружины 4, которые через резиновые амортизаторы опираются на станину 7. Сыпучие компоненты загружаются через штуцер 9, а выгружаются через штуцер 6.



1 — корпус (барабан); 2 — труба; 3 — вал; 4 — пружина; 5 — дебаланс; 6 — штуцер разгрузки; 7 — станина; 8 — амортизатор; 9 — штуцер загрузки

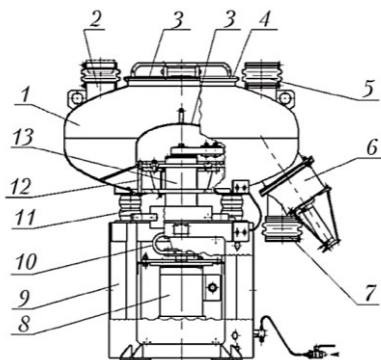
Рис. 3 - Вибрационный смеситель

Вибросмесители такой конструкции занимают промежуточное положение между смесителями бункерного и лоткового типов и подходят только для хорошо смешивающихся сыпучих материалов сухих или с небольшой влажностью, легко поддающихся транспортированию. При смешивании влажных материалов наблюдается резкое уменьшение скорости циркуляции и интенсивности перемешивания, что приводит к снижению эффективности процесса и ухудшению качества конечного продукта.

Принципиальное устройство **вибрационных смесителей бункерного типа** представлены на рис. . 4 (ООО «Консит-А») и . 6 (ТОО «Вибротехмаш УК»). Вибрационные смесители отличаются схемами конструктивного исполнения, однако позволяют достигнуть схожих по качеству результатов смешивания.

Изображенный на рис. 4 вибрационный смеситель [17] представляет собой динамическую систему с одной массой, работающую в области за резонансом.

Аппарат состоит из камеры смешивания 1, с которой связан узел вибровозбудителя 13. В качестве привода используется электродвигатель 8, вращение вала которого на вибровозбудитель передается с помощью лепестковой муфты 10. Генерирование и регулировка параметров вибрации (амплитуды, формы колебаний) осуществляется путем изменения статического момента массы дебалансов.



1 – камера; 2 – штуцер загрузки; 3 – крышки; 4 – хомут; 5 – уплотнитель; 6 – клапан; 7 – штуцер разгрузки; 8 – двигатель; 9 – рама; 10 – муфта; 11 – виброизолятор; 12 – болт; 13 – вибровозбудитель

Рис. 4 - Устройство смесителя СМВ

Подвижная часть (камера и вибровозбудитель) соединяется с рамой 9 при помощи резиновых амортизаторов 11. Камера рабочего органа снабжена патрубками загрузки 2 и разгрузочным клапаном 6. Пылеплотная работа смесителя обеспечивается резиновыми уплотнителями 5, которые установлены на загрузочных 2 и разгрузочных 7 штуцерах.

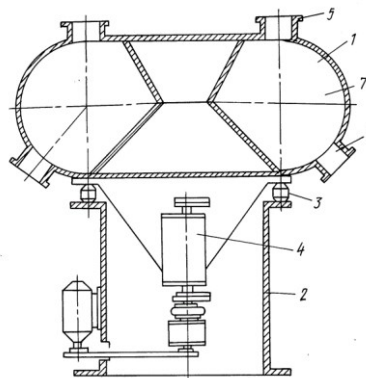
Вибрационные смесители описанной выше конструкции представлены фирмой ООО «Консит-А» (г. Москва) линейкой, охватывающей объемы (производительность) смешиваемых композиций от 0,005 до 1 м³. Выпуск вибрационных смесителей аналогичного конструктивного исполнения и производительности, но с камерами, которые выполнены в виде тора осуществляют компания ООО «Вибротехцентр-КТ» (г. Москва) [18] и межотраслевое конструкторское бюро Россельхозакадемии ГНУ ВНИМИ [19].

Один из первых патентов на изобретение (1997 г.), схожее по конструкции с описанными выше вибрационными смесителями был выдан ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (см. рис. 5).

Вибрационный смеситель содержит торообразную камеру 1 с закрепленным на ней вибровозбудителем 4. Смесительная камера устанавливается на амортизаторы 3, закрепленные на раме 2. Штуцеры 5 и 6 используются соответственно для ввода и вывода материала [20].

Вне зависимости от производителя, описанные выше смесители работают следующим образом. Смешиваемые материалы в заданных пропорциях

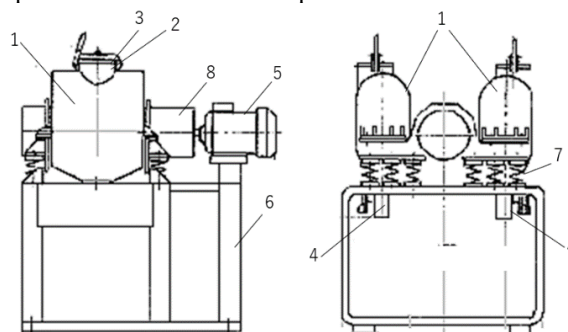
подаются через загрузочный штуцер в корпус смесителя. При включении вибровозбудителя вынуждаются колебания, передающиеся на корпуса, при этом материалы совместно циркулируют в корпусе смесителя по сложной траектории: частицы постоянно сталкиваются между собой, происходит взаимная диффузия и смешивание компонентов.



1 – камера; 2 – штуцер загрузки; 3 – крышки; 4 – хомут; 5 – герметизатор; 6 – клапан; 7 – штуцер разгрузки; 8 – двигатель; 9 – рама; 10 – муфта; 11 – виброизолятор; 12 – болт; 13 – вибровозбудитель

Рис. 5 – Вибрационный смеситель конструкции Оренбургского государственного университета (1997)

На рис. 6 представлено еще одно конструктивное решение вибрационного смесителя бункерного типа, разработанный в ТОО «Вибротехмаш УК».



1 – камера; 2 – лок загрузки; 3 – крышка; 4 – штуцер разгрузки; 5 – двигатель; 6 – рама; 7 – пружины; 8 – вибровозбудитель

Рис. 6 - Смеситель вибрационный типа ВСМ

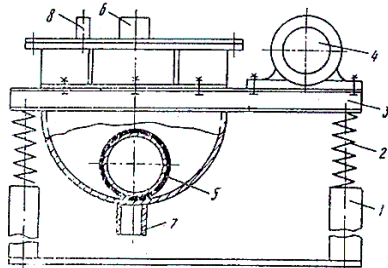
Представленный на рисунке смеситель предназначен для перемешивания и усреднения сыпучих, в том числе тонкодисперсных материалов, с любой разницей удельных весов. Производитель утверждает, что данный смеситель имеет в десятки раз большую производительность, чем смесители традиционных конструкций, обеспечивая при этом высокое качество готовой смеси. Камера смесителя легко герметизируются, имеют низкую металлоемкость и достаточно проста в изготовлении. Дополнительно смесительные емкости могут быть снабжены средствами нагрева или охлаждения.

Еще одна, заслуживающая внимания, техническая идея, реализована заводом специального машиностроения ООО «Техно-центр» (г. Рыбинск).

Вибрационный смеситель рис. 7 используется для усреднения композиций, содержащих тонкодисперсные, в виде порошков, компоненты и вводимые в них связующие. К конструктивной особенности данного смесителя нужно отнести помещенный в рабочую камеру тяжелый обрезиненный ролик.

Компоненты смеси загружаются через загрузочный лочок 6 в крышке рабочей камеры 8. Под воздействием вибрации, генерируемой вибратором 4 смесь, переходит во взвешенное состояние и начинает перемещаться относительно совершающего вращение вокруг своей оси горизонтальной ролика 5. В результате попадания компонентов под вращающийся ролик происходит их разминание и получение смеси с усредненным связующим по всему объему замеса.

Готовая смесь через разгрузочный штуцер 7 в донце рабочей камеры выгружается в приемную технологическую емкость.



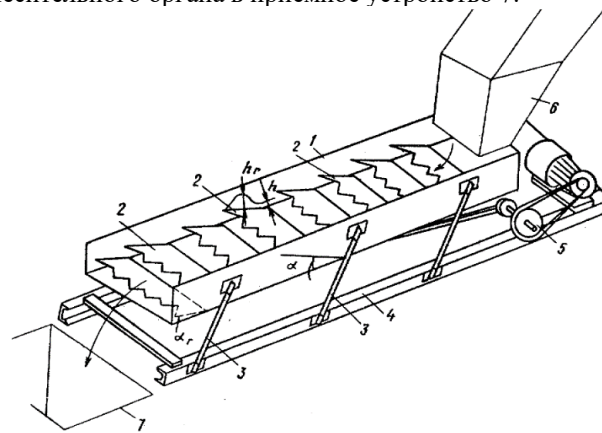
1 – рама; 2 – пружина; 3 – рессоры; 4 – вибратор; 5 – ролик; 6, 7 – загрузочный и разгрузочный штуцера

Рис. 7 -Вибрационный смеситель конструкции ООО «Техно-центр»

Для обработки крупнодисперсных сыпучих смесей (например, зерновых или полимерных), и в частности, в аграрной промышленности, широкое распространение получили **вибрационные смесители лоткового типа**. Лотковые смесители обладают высокой производительностью и позволяют организовывать непрерывные технологические процессы. Подобный смеситель (см. рис. 8) представляет собой лоток, которому сообщаются колебания от инерционного, эксцентрикового или электромагнитного вибраторов [21]. Лоток установлен на упругой подвеске.

Корпус представляет собой желоб 1 прямоугольного сечения. Один конец Смесительного органа имеет торцовую стенку (эта часть органа называется загрузочной), а противоположный конец без стенки (эта часть называется разгрузочным концом). В желобе неподвижно установлены пилообразные элементы 2. Они закреплены наклонно к днищу желоба под углом, зубья каждого последующего элемента смещены относительно зубьев предыдущего. Желоб 1 опирается при помощи эластичных элементов, например рессор 3, на раму 4. Смесительный орган получает колебательное

движение от вибропривода 5, например, эксцентрикового типа. Компоненты, которые необходимо перемешать, поступают на смесительный орган из бункера 6. Готовая смесь сходит со смесительного органа в приемное устройство 7.

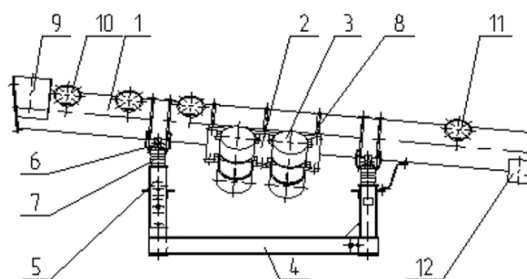


1 – корпус; 2 – гребенки; 3 – рессоры; 4 – рама; 5 – вибропривод; 6 – бункер; 7 – приемное устройство

Рис. 8 -Вибрационный смеситель конструкции Челябинского института механизации и электризации сельского хозяйства (1978)

Работа смесителя происходит следующим образом. Сначала включают вибропривод 5, желоб 1 начинает вибрировать. Затем в приемный конец смесительного органа из бункера 6 начинают поступать компоненты для перемешивания. Перемешиваемая масса под воздействием вибрации начинает ползти вперед к разгрузочному концу. Масса, подвергаясь воздействию пилообразных элементов 2, перемешивается. Готовая смесь сходит с разгрузочного конца смесительного органа и попадает в приемное устройство.

Частным случаем лоткового смесителя можно считать **трубные вибрационные смесители** непрерывного действия, рабочая камера которых представляет собой желоб круглого, а в некоторых случаях U-образного поперечного сечения. На рис. 9 изображен трубный вибрационный смеситель, выпускаемый компанией ООО «Консит-А» [22].



1 – корпус; 2 – плита; 3 – вибратор; 4 – рама; 5 – регулятор высоты; 6 – опора; 7 – пружина; 8 – хомут; 9, 10 – штуцер загрузки; 11 – люк технологический; 12 – штуцер разгрузки

Рис. 9 - Смеситель вибрационный трубный СМВТ конструкции ООО «Консит-А»

В центральной части рабочего органа 1 (труба

круглого сечения), на плите 2 закрепляется два инерционных вибратора 3. Труба имеет две опоры 6, под каждой из которых установлено по две пружины 7, посредством которых колеблющаяся труба опирается на раму 4. В верхней части трубы расположены патрубок для загрузки материала 9 и три патрубка для ввода жидкой фазы 10 (либо других компонентов). В нижней части трубы расположен патрубок для разгрузки смеси 12 и патрубок для технического обслуживания 11.

Колебательное воздействие вибраторов вынуждает смешиваемые материалы перемещаться в поперечном и продольном направлениях. Регулирование скорости продольного перемещения материала осуществляется либо специально установленными внутри трубы ребрами, либо увеличением ее уклона в сторону разгрузки. Качество смешивания обеспечивается подбором и регулировкой амплитуды, частоты и формы колебаний.

Интересное решение предложено специалистами ФГБОУ ВО Челябинский государственный агроинженерный университет [23]. Ими был разработан оригинальный трубный вибрационный смеситель, конструкция которого представляет собой техническое решение, объединяющее достоинства смесителей представленных на рис. 4 и рис. 8.

К вибрационным смесителям лоткового типа, помимо смесителей с линейной конфигурацией лотка относятся и **вибрационные смесители со спиральным (винтовым) лотком**. Преимущество вертикальных винтовых смесителей заключается в том, что при одинаковой длине рабочего органа они занимают гораздо меньшую производственную площадь и в них можно легко осуществить, например, межвитковую рециркуляцию, которая обеспечивает существенное сглаживание флуктуаций поступающих на обработку потоков ингредиентов [24].

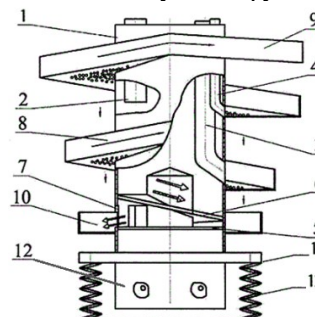
Наиболее ранним авторским свидетельством, защищающим подобное техническое решение и отражающим его основную суть, можно считать А.с. №1674943 [25].

На рис. 10 показан общий вид одного из последних (2015 г.) прототипов вибрационного смесителя, разработанного под руководством Шушпанникова А.Б. в ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)» [26].

Вибрационный смеситель включает цилиндрический загрузочный бункер 1 с закрепленными в его верхней части патрубками ввода смешиваемых ингредиентов 2, 3 и 4. На основании 5 бункера 1 закрепляется винтовой лоток 6. Сквозное отверстие 7 в стенке бункера предназначено для выхода материала на нижний виток, закрепленного на его внешней поверхности винтового перфорированного лотка 8, который в своей верхней части заканчивается выгрузочным патрубком 9.

Нижний край лотка 8 примыкает к горизонтально расположенному, кольцевому лотку 10.

Патрубки ввода 3 и 4 используются для подачи отдельных ингредиентов сразу на внешний винтовой лоток. Бункер 1 закрепляется на вибрационной плите 11 жестко соединенной с вибратором 12. В качестве упругой подвески используются пружины 13.



1 – загрузочный бункер; 2,3,4 – штуцер загрузки; 5 – основание; 6,8 – лоток винтовой; 7 – окно; 9 – патрубок; 10 – лоток кольцевой; 11 – виброплита; 12 – вибровозбудитель; 13 – пружины

Рис. 10 – Вибрационный смеситель конструкции Кемеровского технологического института пищевой промышленности (2015)

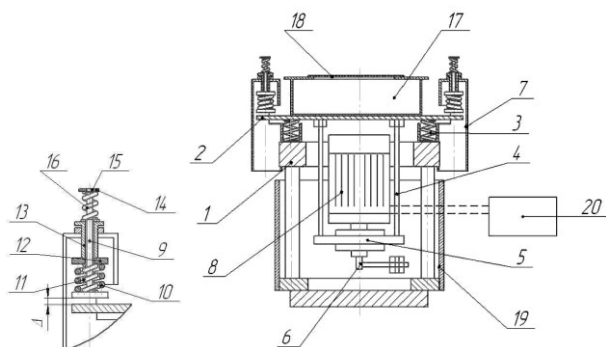
Серийное производство вибрационных машин с винтовым (спиральным) лотком применительно к смешиванию не налажено. Однако, подобная конструктивная схема оформления широко применяется в машинах вибрационного транспорта и сушилки.

Подводя итог части обзора, посвященной изучению промышленно освоенных и лабораторных образцов техники, следует отметить большое разнообразие конструкций, предлагаемых как производственными предприятиями, так и командами исследователей технических институтов. И здесь следует указать на одну их общую черту – все это машины первого поколения, реализующие в себе использование гармонических колебаний. В связи с этим, отдельный интерес представляют результаты оригинальных исследований, выполненные в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)». В своей работе авторы исследования продемонстрировали возможность полезного использования эффекта нелинейных колебаний.

На рис. 11 представлен вибрационный смеситель, рабочий орган которого совершает сложное пространственное движение, что приводит к интенсивному перераспределению компонентов тонкодисперсной композиции по всему объему, в итоге, помимо интенсивной миграции компонентов смеси в пространстве, ограниченном смесительной емкостью, сопоставимой по интенсивности становится и миграция компонентов в микрообъемах [27].

Вибрационный стол 2, с закрепленными на нем контейнерами 17 установлен на упругие элементы

(пружины) 3. Пружины на раме и на вибростоле закрепляются с помощью фланцев и болтов. На стойках 4 к вибрационному столу 2 крепится узел инерционного элемента 5, состоящий из электродвигателя 8 и инерционного элемента 6.



- 1 - рама; 2 - вибрационный стол; 3 - упругие элементы; 4 - стойки; 5,6 - инерционные элементы; 7 - ограничитель; 8 - электродвигатель; 9 - шток; 10 - основная пружина; 11 - компенсационная пружина; 12 - фланец пружины; 13 - направляющая втулка с резьбой; 14 - чашка; 15 - сухари; 16 - поджимающая пружина; 17 - смесительная емкость; 18 - крышка; 19 - защитный кожух; 20 - прибор LS-600

Рис. 11 - Вибрационный смеситель конструкции Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)

С рамой 1 жестко соединены стойки дополнительных ограничителей 7. Ограничитель состоит из подвижного штока 9, основной пружины 10, компенсационной пружины 11, фланца 12, направляющей втулки 13, чашки 14, сухарей 15 и пружины 16. Конструкция ограничителя позволяет регулировать зазор, с которым ударный конец штока располагается по отношению к вибростолу.

Итоги исследований [28,29] показывают, что вибрационный смеситель описанной конструкции позволяет достигнуть высокой степени однородности для обрабатываемых смесей, даже при условии переработки материалов, существенно отличающихся дисперсным составом, физико-механическими характеристиками и концентрациями. Высокая интенсивность перемешивания и низкая сегрегация ингредиентов, характеризующие эффективность применения описанного вибросмесителя могут представлять значительный интерес при использовании его, например, для целей строительной, аграрной, пищевой и оборонной отраслей.

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ

С целью анализ тенденций развития исследуемого вида техники был выполнен патентный поиск за промежуток времени с 1955 по 2020 гг. (глубина исследования – 65 лет).

При проведении патентно-информационного поиска использовались следующие базы данных: патентно-аналитические

- база данных Роспатента [30];
- база авторских свидетельств СССР [31];
- база патентов Европейского патентного ведомства ЕРО [32];
- база патентов США [33];
- база патентов Белоруссии [34];
- база патентов Украины [35];
- база патентов Казахстана [36];
- Google Patent [37];
- информационные
- E-Library [38];
- Google Scholar [39];
- ScienceDirect [40].

По итогам патентного поиска, осуществленного по техническим решениям, защищенным свидетельствами и патентами РФ, США, стран Европы и ближнего зарубежья (полезные модели и изобретения), обнаружено значительное количество запатентованных технических решений, относящихся к объектам исследования, а именно – к вибрационным смесителям сыпучих материалов.

В результате поиска было выявлено более 220 релевантных документов, из которых:

- иностранным заявителям, запатентовавшим свои технические решения в исследуемой области, принадлежит 91 патент;
- отечественным заявителям, запатентовавшим свои технические решения в исследуемой области - 77 патентов и 56 авторских свидетельств.

За период исследования, из числа поданных отечественными заявителями заявок, около 10 % приходится на долю полезных моделей, а оставшаяся часть (90 %) – на долю изобретений.

При анализе патентной ситуации и достигнутого уровня техники, для каждой из стран делалось предположение, что степень заинтересованности национальных компаний и исследовательских коллективов в разработках пропорциональна количеству опубликованных охранных документов – это характерно для отраслей химической, пищевой, строительной и фармацевтической промышленности [41,42]. Т. е. предполагается, что изобретательская активность, фактически является отражением рыночной стратегии национальных компаний, стремящихся монополизировать свою интеллектуальную собственность, исходя из чего, в дальнейшем и определялся рейтинг приоритетных рынков.

В силу исторической особенности развития нашей страны, до 1990 года включительно, разделить выданные авторские свидетельства по республикам содружества не представляется возможным. Поэтому для Казахстана, Белоруссии, Украины и прочих бывших республик СССР, в контексте настоящего исследования, следует помнить, что выданные в этих странах патенты учитываются с момента объявления ими своей независимости и соответственно, создания

национальных патентных ведомств.

Распределение количества заявок по странам подачи показано на рис. 12. При этом на долю охранных документов, выданных в Российской Федерации за период с 1955 по 2020 год, приходится более половины (59%) от всех выданных патентов.

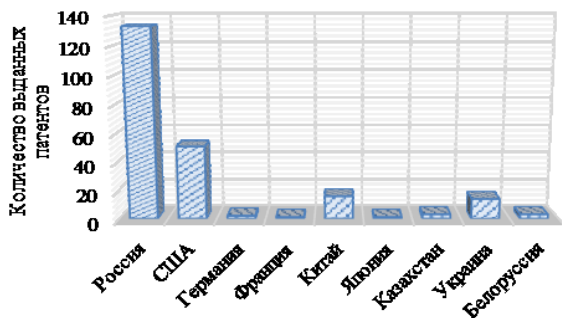
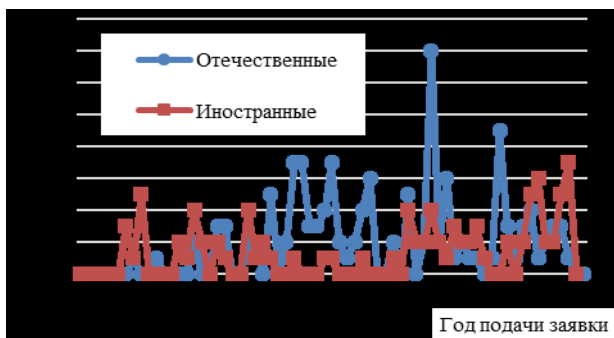


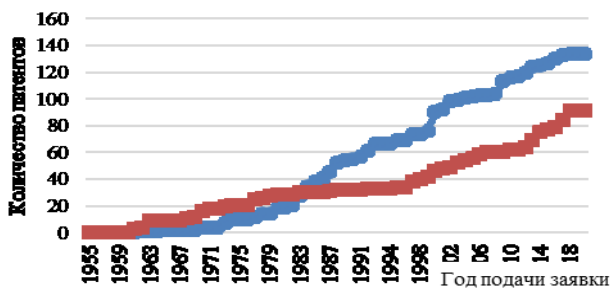
Рисунок 12 – Структура изобретений по странам заявителям

На первом месте, по изобретательской активности среди иностранных заявителей, находится США – 23% от общего числа поданных заявок. Второе место занимают Китай и Украина – 7% и 6% соответственно. Китай характеризуется лишь последние 5 лет высокой изобретательской активностью в области смешивания с использованием вибрационной техники.

Для оценки характера развития исследуемой технологии рассмотрим график распределения поданных заявок на изобретение по годам (см. рис. 13 а).



а)



б)

Рисунок 13 - Изобретательская активность

Кривая динамики подаваемых заявок в Российской

Федерации, применительно к технологии вибрационного смешивания, носит осциллирующий характер рис. 13 а. Наибольшая изобретательская активность приходилась на 2000-е годы и, начиная с 2003 года – снижается. Тем не менее, в настоящее время она представляется достаточно выраженной, находясь фактически, на одном уровне с общемировыми тенденциями. Среднее количество подаваемых в год заявок составляет 2-3 документа.

Для иностранных заявителей, характерна иная ситуация: здесь, вплоть до 2000 года можно наблюдать достаточно низкую изобретательскую активность. Начиная с 2000 года ситуация несколько меняется, при этом основной вклад, прежде всего, вносят изобретатели из США.

На рис. 13 б представлены кумулятивные кривые изобретательской активности в области технологий вибрационного смешивания. Представленные кривые, в целом, свидетельствует о стабильном интересе к развитию технологии вибрационного смешивания. Для России традиционно характерна большая заинтересованность в разработках соответствующего оборудования, нежели для иностранных заявителей - резкий рост изобретательской активности которых можно наблюдать лишь в течение последних 15-20 лет.

Структура запатентованных технических решений за исследуемый период с сегментацией по достигаемым целям представлена на рис. 14.

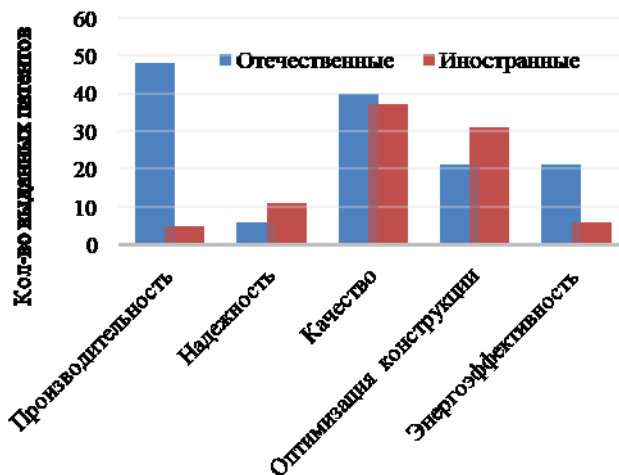


Рисунок 14 – Структура изобретений по достигаемым целям

Согласно представленным данным, при патентовании технических решений, основной задачей, которую ставят перед собой отечественные изобретатели это стремление увеличить производительность оборудования (35% от общего числа отечественных заявок). На втором месте для отечественных заявителей, и на первом для зарубежных, находится желание повысить качество конечного продукта (29 % и 41 % соответственно),

оптимизацию конструкции 16% отечественных и 34% иностранных заявителя.

Анализ тенденций развития показывает, что как отечественные, так и зарубежные разработчики крайне мало внимания уделяют перспективам применения многочастотного (псевдогармонического, асимметричного) воздействия: доли разработок не превышают 4 % и 2 % соответственно.

Итоги анализа по приоритетному направлению и дополнительным промышленным направлениям применения объекта изобретения представлены на диаграмме рис. 15. Наибольшее число разработок направлено на удовлетворение потребностей химической и аграрной отраслей для отечественных и иностранных заявителей соответственно. На втором месте находятся, в равных долях, пищевая и строительная отрасли. Меньше всего изучаемая технология востребована в промышленности фармацевтической и металлургической (порошковая металлургия).

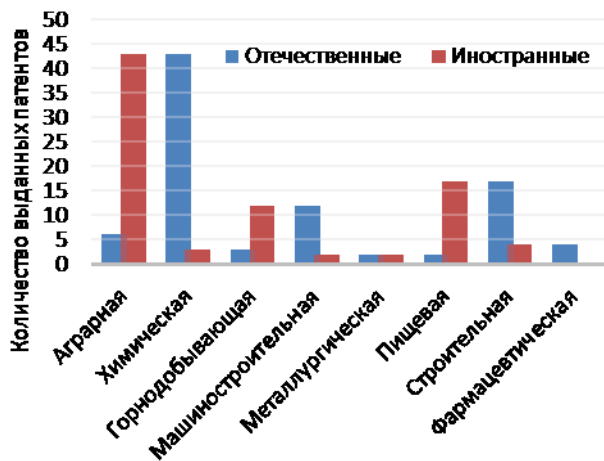


Рисунок 15 – Структура изобретений по отраслям назначения

Анализ отечественных обладателей патентов, формирующих ключевые технологии в исследуемой области показывает, что на сегодняшний день основными разработчиками, патентующими свои технические решения, на территории Российской Федерации, являются государственные институты (ФГБОУ ВО). Доля предприятий, которые стремятся защитить патентами свои технические решения, незначительна, и не превышает 2 %.

Среди иностранных ведомств, в силу низкой изобретательской активности, выделить ярких представителей среди заявителей достаточно сложно, тем не менее, в целом, ситуация с ними прямо противоположная сложившейся в России – на долю госучреждений приходится не более 10 % от общего числа заявок.

На основании анализа взаимного патентования, можно отметить следующее. Наличие в США небольшого количества патентов, выданных иностранным фирмам, свидетельствует о наличии

внутри страны благоприятной патентной ситуации для национальных разработок. Так же, по полученным данным можно сделать заключение, что аналогичным образом патентная ситуация складывается и в России.

Следует отметить, что с коммерческой точки зрения реализации имеющихся технических решений интересными являются Германия и Франция.

Данные исследования показывают, что по широте защиты национальных изобретений страны поиска проявляют неодинаковую активность, патентуя свои разработки в других странах. Соотношение патентов в области вибрационных смесителей, полученных в других странах к количеству национальных патентов, полученных в стране-заявителе, показывает, что на первых местах находятся США и Китай. Прочие страны из перечня исследования (в том числе, и Россия) активности по защите национальных прав практически не проявляют. Можно утверждать, что наибольшую заинтересованность в поиске рынков сбыта для своих разработок демонстрирует США.

Анализируя отобранную для изучения патентную информацию с точки зрения конструктивного исполнения можно отметить, что наблюдаемые в заявках тенденции в целом достаточно точно отражают сложившуюся ситуацию в промышленности. Так, сегментация отечественных изобретений по принципу организации технологического процесса показала, что на долю вибрационных смесителей, сконструированных для работы в непрерывном и периодическом режимах, приходится 46% и 54% соответственно. Для иностранных патентов это соотношение точно противоположно. На практике это находит отражение в ассортиментных линейках производимого оборудования, которое способно работать, как в периодическом, так и в непрерывном режиме.

На рис. 16 представлена сегментация отобранных для анализа патентов по типу применяемых в изобретениях упругих подвесок.

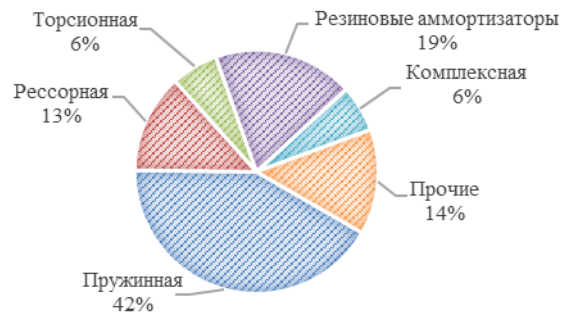


Рис. 16 -Сегментация изобретений по виду упругой подвески

Из представленных данных видно, что наибольшее предпочтение отечественные изобретатели отдают пружинной (42%) и рессорной (19%) подвескам. Следует отметить, что схожая ситуация наблюдается

и в иностранных патентных документах: 67% и 18% соответственно.

Анализируя имеющиеся данные с точки зрения типов разрабатываемых вибрационных смесителей, необходимо отметить, что в своем большинстве изобретатели, после основной цели - повышения качества конечного продукта, ставят цель добиться максимальной надежности и простоты разработанной конструкции. По всей видимости, именно этим фактором обусловлено относительно незначительное количество выданных патентов на вибрационные смесители с принудительным перемешиванием. Их доля составляет не многим более 10% от общего числа патентов. Наибольший интерес изобретателей к настоящему времени вызывают вибрационные смесители бункерного и лоткового типов, в которых смешивание ингредиентов происходит только под воздействием вибрации.

ВЫВОДЫ

На сегодняшний день накоплен достаточно обширный опыт проектирования и использования вибрационного оборудования.

Выполненные патентные исследования подтверждают научную значимость и прикладную перспективность проведенных теоретических исследований. Принимая во внимание устойчивый очевидный интерес к разработке способов и оборудования вибрационного смешивания сыпучих материалов, можно сделать вывод об актуальности и перспективности дальнейших исследований.

Проведенные патентные исследования позволяют оценить актуальные направления, области и объекты разработок, для которых создаются новые технические решения, обеспечивающие достижение требуемого результата.

Нужно отметить, что основной целью разработок является повышение качества конечного продукта, что обусловлено все более возрастающими требованиями к современным материалам.

Итоги изучения промышленно освоенных и запатентованных решений позволяют утверждать, что возможности гармонических колебаний на сегодняшний день почти исчерпаны. По этой причине интересным, с точки зрения дальнейшего совершенствования технологии, является возможность улучшения технических характеристик вибрационных машин технологического назначения на основе использования особенностей нелинейных колебаний.

Специфика использования нелинейных колебаний заключается в том, что отход от симметрии упругой характеристики системы сопровождается бифуркациями, в результате которых происходит постоянное скачкообразное изменение состояния равновесия системы. В обрабатываемой композиции при этом происходит резкое увеличение скорости

протекания диффузионных процессов на уровне макрообъемов, что может быть весьма полезно для практического использования.

К сожалению, опыт эксплуатации смесительного вибрационного оборудования, в котором реализуется специфические асимметричные режимы (многочастотная вибрация), фактически отсутствует, что вероятно, связано, с рядом сложностей, возникающих на этапе проектирования: при реализации идеи использования эффекта нелинейных колебаний, возникают вопросы выбора режимных параметров, составляющих сущность конкретного технического решения. Отсутствие в периодической и научной литературе обоснованной методики создания математических моделей, позволяющих реализовывать физические модели и масштабные переходы для разрабатываемого оборудования, затрудняют движение в указанном направлении.

На основании проведенного патентного поиска можно сформулировать следующие тенденции развития техники вибрационного смешивания сыпучих материалов.

1. Из года в год, количество патентов, посвященных разработке различных конструкций и способов вибрационного смешивания сыпучих материалов сохраняются постоянным. Наиболее активными разработчиками в указанной области являются отечественные изобретатели.

2. В России наиболее активно разрабатываются смесители, в которых смешивание происходит исключительно под действием вибрационных сил, что объясняется их конструктивной простотой и высокой производительностью. Смесителям с принудительным перемешиванием в отечественной практике уделяется очень мало внимания.

3. В изученных конструкциях вибрационного смесительного оборудования просматривается модульный принцип реализации технического решения.

4. Изученные типы смесителей практически могут быть использованы в самых различных отраслях промышленности, пищевой, химической и т.д.

5. В области техники вибрационного смешивания прослеживаются тенденции в модернизации отдельных функциональных узлов и элементов конструкций оборудования, которые, объективно, не приводят к существенным качественным и/или количественным улучшениям. Новые направления в развитии техники вибрационного смешивания сыпучих материалов пока что выражены недостаточно ярко.

Выявленные при исследовании патентной информации тенденции достаточно точно отражают сложившуюся ситуацию в промышленности, а вопросы поиска новых технических решений в области вибрационного смешивания все так же

актуальны и привлекают к себе значительный интерес как отечественных, так и зарубежных исследователей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Варсановьев В.Д. Вибрационная техника в химической промышленности. / В.Д. Варсановьев, Э.Э. Кольман-Иванов; М.: Химия. 1985 – 240 с.
2. Членов В.А. Виброкопящий слой. / В.А. Членов, Н.В. Михайлов; М.: Наука. 1972 – 342 с.
3. Макаров Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов М.: машиностроение., 1973, 273 с.
4. Королев К.М., Аракелянц М.М. Вибрационные смесители для приготовления бетонных и растворных смесей М. : 1961г. -55с.
5. Бауман В., Быховский И. Вибрационные машины и процессы в строительстве. М. Изд. Высшая школа 1977г. 256 с.
6. Гончаревич И.Ф., Урьев Н.Б., Талейник М.А. Вибрационная техника в пищевой промышленности. Ред. Н.Б. Урьева. Тираж 3600 экз. М. Пищевая промышленность 1977г. 280 с.
7. Андриевский Б.Р., Блехман И.И., Борцов Ю.А., Гаврилов С.В. и др. Управление мехатронными вибрационными установками. Наука, С-Петербург, 2001. 278 с.
8. Коробчук М.В. Вибрационная обработка многокомпонентных энегронасыщенных материалов: новые возможности // М.В. Коробчук, А.Н. Веригин, В.Г. Джангирия. Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. № 11. С. 74-80.
9. Цыфанский С.Л. Практическое использование нелинейных эффектов в вибрационных машинах // Цыфанский С.Л., Бересневич В.И., Окс А.Б. – СПб.: Политехника, 1992 – 95 с.
10. Коробчук М.В. Вибрационное смешивание тонкодисперсных многокомпонентных композиций // М.В. Коробчук, А.Н. Веригин, Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей пятой международной научной конференции. Часть 1. - Казань: ООО «Конвент», - 2020. – 240 с. - С. 108-111.
11. О выборе алгоритма управления вибрационной технологической машиной с приводом от асинхронного электродвигателя Пановко Г.Я., Шохин А.Е., Горбунов А.А. Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины: сб. науч. ст. Ч.2 ; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. 424 с. - С. 39-47.
12. План фундаментальных исследований Российской академии наук на период до 2025 года // [Сайт Российской Академии Наук] / URL: <http://www.ras.ru/scientificactivity/plan2025.aspx> (дата обращения: 20.07.2020).
13. Пасько А.А. Разработка новых конструкций вибрационных смесителей барабанного типа для сыпучих материалов и методики их расчета: дис. канд. тех. наук: / А.А. Пасько - Тамбов, 2000.
14. Вибрационный смеситель: патент 2162365 Рос. Федерация: МКИ В01F/11 / Пасько А.А., Першин В.Ф., Таров В.П., Коптев А.А., Негров В.Л. — № 99110526/12; заявл. 18.05.1999.
15. А.с. 133381. Российская Федерация. Вибрационный смеситель непрерывного действия / Моргулис М.Л., Петров К.Г., Столов Ю.И. ; заявители : Моргулис М.Л., Петров К.Г., Столов Ю.И.. № 645029 ; заявл. 18.18.1959.
16. Вибрационный смеситель: патент 2305591 Рос. Федерация: МКИ В01F/11 / Сергеев Н.С., Николаев В.Н., Букрин С.А. — № 2006110684/15; заявл. 03.04.2006.
17. Шалунов Б.С. Вибрационные смесители // Б.С. Шалунов. Кондитерское производство. 4/2006 с.935-936
18. «Вибротехцентр-КТ»: сайт. – URL: <http://www.vibrocom.ru> (дата обращения: 15.07.2020). – Текст: электронный.
19. Харитонов В.Д., Будрик В.Г., Троицкий В.Н., Базиков В.И. Экспериментальные образцы оборудования для отработки технологических процессов в пищевой промышленности // Пищевая промышленность №10 2010 с.14-16
20. Вибрационный смеситель: патент 2122891 Рос. Федерация: МКИ В01F/11 / Полищук В.Ю., Воронков А.И., Иванова А.П., Васильева М.А.— № 97106616/25; заявл. 22.04.1997.
21. А.с. 787077. Российская Федерация. Вибрационный смеситель / Леонтьев П.И.,Евсеев С.В.; заявитель: Челябинский институт механизации и электризации сельского хозяйства. № 2657070; заявл. 28.08.1978.
22. ООО «Консит-А»: сайт. – URL: <https://www.consit.ru/> (дата обращения: 15.07.2020). – Текст: электронный.
- 23.
24. Шушпанников А.Б. Обоснование выбора вибропривода для винтовых смесителей // А.Б. Шушпанников. Техника и технология пищевых производств. -2011.-N 1.-С. 94-100
25. А.с. 1674943. Российская Федерация. Вибрационный смеситель / Шушпанников А.Б., Иванец В.Н., Абяка А.Н., Пшеленский А.Ю.; заявитель: ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)». № 4685826; заявл. 03.05.1989.
26. Вибрационный смеситель: патент 2626415 Рос. Федерация: МКИ В01F/11 / Шушпанников А.Б., Зорина Т.В., Шушпанников Е.А., Шушпанникова А.С. — № 2016149970 ; заявл. 19.12.2016.
27. Устройство для смешивания дисперсных материалов. Коробчук М.В., Веригин А.Н. Патент на полезную модель RU 118216 U1, 20.07.2012. Заявка № 2011146001/05 от 11.11.2011.
28. Коробчук М.В. Вибрационное смешивание дисперсных материалов при наложении нелинейных колебаний: дис. канд. тех. наук: 05.17.08 / Коробчук Максим Васильевич; науч. рук. А.Н. Веригин; СПбГТИ(ТУ). — Санкт-Петербург, 2012. — 168 с.
29. Коробчук М.В. Смешивание дисперсных материалов при наложении нелинейных колебаний // Коробчук М.В., Веригин А.Н., Дедов Н.А. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2013. № 18 (44). С. 056-060.
30. Федеральный институт промышленной собственности [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.fips.ru/>. – Дата обращения: 01.07.2020. – Загл. с экрана.
31. База патентов СССР [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://patents.su/>. – Дата обращения: 01.07.2020. – Загл. с экрана.
32. База патентов Европейского патентного ведомства ЕРО [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://worldwide.espacenet.com/> – Дата обращения: 01.07.2020. – Загл. с экрана.
33. База патентов США [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.uspto.gov/> – Дата обращения: 01.07.2020. – Загл. с экрана.
34. База патентов Белоруссии [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.ncip.by/>. – Дата обращения: 01.07.2020. – Загл. с экрана.
35. База патентов Украины [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://ukrpatent.org/>. – Дата обращения: 01.07.2020. – Загл. с экрана.
36. База патентов Казахстана [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://kazpatent.kz/>. – Дата обращения: 01.07.2020. – Загл. с экрана.
37. База патентов Google Patent [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://patents.google.com/>. – Дата обращения: 01.07.2020. – Загл. с экрана.
38. Информационно-аналитический портал E-Library [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/>. – Дата обращения: 01.07.2020. – Загл. с экрана.
39. Информационный портал Google Scholar [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://scholar.google.com/>. – Дата обращения: 01.07.2020. – Загл. с экрана.
40. Полнотекстовая база данных ScienceDirect [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.elsevierscience.ru/>. – Дата обращения: 01.07.2020. – Загл. с экрана.
41. Попов Н.В. Составление и анализ патентных ландшафтов / Н.В.Попов // Патенты и лицензии. Интеллектуальные права. - 2016. - N 12. - С.39-47.

42. Мищенко О.А. Интеллектуальная собственность и основы патентных исследований: [учебное пособие] / О.А.Мищенко, В.П.Тищенко; М-во образования и науки Рос. Федерации, Тихоокеан. гос. ун-т. - Хабаровск: Издательство Тихоокеанского государственного университета, 2016. - 107 с.

Коробчук Максим Васильевич – канд. техн. наук, преподаватель кафедры механики СПбГТИ(ТУ), тел.

8 (905) 268 36 84,

e-mail: korobchuk_max@mail.ru.

Веригин Александр Николаевич – д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки России, преподаватель кафедры химической энергетики СПбГТИ(ТУ), тел 8 (921) 979 46 09, e-mail: averigin@bk.ru.

REVIEW OF MODERN VIBRATING MIXERS FOR BULK MATERIALS AND TRENDS OF THEIR DEVELOPMENT

M.V. Korobchuk, A.N. Verigin

Saint-Petersburg State Institute of Technology, Saint-Petersburg

Abstract –Vibratory mixing is used in a variety of industries. In many technological processes, mixing is an important operation on which the quality of the final product depends. This review provides up-to-date information on modern vibratory mixers that have become widespread in various industries. Vibrating mixers designed for processing multicomponent compositions from dry or wetted bulk materials: fine powders, multicomponent mixtures with components significantly different in density and dispersed composition. To assess the development trend of the type of technology under consideration, the authors of the review carried out a study, which was based on the experience and results of studying industrially mastered and currently produced samples of vibration mixers. An analysis of patent data for more than 60 years has been performed. As a result of patent research, more than 200 relevant technical solutions were identified. The result of the work gives an idea of the current state of affairs and the prospects for the development of vibration mixing equipment. The search for new technical solutions in the field of vibration mixing remains relevant and attracts considerable interest of domestic and foreign researchers. The data presented in the work allows formulating recommendations for the further improvement of vibration mixers. The systematized information presented in the work is intended for engineering, technical and scientific employees involved in the processing of bulk materials in a wide variety of industries.

Index terms: vibration, vibrations, mixing, bulk materials.

REFERENCES

1. Варсанюфьев В.Д. Вибрационная техника в химической промышленности. / В.Д. Варсанюфьев, Э.Э. Кольман-Иванов; М.: Химия. 1985 – 240 с.
2. Членов В.А. Виброкипящий слой. / В.А. Членов, Н.В. Михайлов; М.: Наука. 1972 – 342 с.
3. Макаров Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов М.: машиностроение., 1973, 273 с.
4. Королев К.М., Аракельянц М.М. Вибрационные смесители для приготовления бетонных и растворных смесей М. : 1961г. -55с.
5. Бауман В., Быховский И. Вибрационные машины и процессы в строительстве. М. Изд. Высшая школа 1977г. 256 с.
6. Гончаревич И.Ф., Урьев Н.Б., Талейсник М.А. Вибрационная техника в пищевой промышленности. Ред. Н.Б. Урьева. Тираж 3600 экз. М. Пищевая промышленность 1977г. 280 с.
7. Андриевский Б.Р., Блехман И.И., Борцов Ю.А., Гаврилов С.В. и др. Управление мехатронными вибрационными установками. Наука, С-Петербург, 2001. 278 с.
8. Коробчук М.В. Вибрационная обработка многокомпонентных энергонасыщенных материалов: новые возможности // М.В. Коробчук, А.Н. Веригин, В.Г. Джангирия. Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. № 11. С. 74-80.
9. Цыфанский С.Л. Практическое использование нелинейных эффектов в вибрационных машинах // Цыфанский С.Л., Бересневич В.И., Окс А.Б. – СПб.: Политехника, 1992 – 95 с.
10. Коробчук М.В. Вибрационное смешивание тонкодисперсных многокомпонентных композиций // М.В. Коробчук, А.Н. Веригин, Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей пятой международной научной конференции. Часть 1. - Казань: ООО «Конверт», - 2020. – 240 с. - С. 108-111.
11. О выборе алгоритма управления вибрационной технологической машиной с приводом от асинхронного электродвигателя Пановко Г.Я., Шохин А.Е., Горбунов А.А. Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины: сб. науч. ст. Ч.2 ; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. 424 с. - С. 39-47.
12. План фундаментальных исследований Российской академии наук на период до 2025 года // [Сайт Российской Академии Наук] / URL: <http://www.ras.ru/scientificactivity/plan2025.aspx> (дата обращения: 20.07.2020).
13. Пасько А.А. Разработка новых конструкций вибрационных смесителей барабанного типа для сыпучих материалов и методики их расчета: дис. канд. тех. наук: / А.А Пасько - Тамбов, 2000.
14. Вибрационный смеситель: патент 2162365 Рос. Федерация: МКИ В01F/11 / Пасько А.А., Першин В.Ф., Таров В.П., Коптев А.А., Негров В.Л. — № 99110526/12; заявл. 18.05.1999.
15. А.с. 133381. Российская Федерация. Вибрационный смеситель непрерывного действия / Моргулис М.Л., Петров К.Г., Столов Ю.И. ; заявители : Моргулис М.Л., Петров К.Г., Столов Ю.И. № 645029 ; заявл. 18.18.1959.
16. Вибрационный смеситель: патент 2305591 Рос. Федерация: МКИ В01F/11 / Сергеев Н.С., Николаев В.Н., Букрин С.А. — № 2006110684/15; заявл. 03.04.2006.
17. Шалунов Б.С. Вибрационные смесители // Б.С. Шалунов. Кондитерское производство. 4/2006 с.935-936
18. «Вибротехцентр-КТ»: сайт. – URL: <http://www.vibrosom.ru> (дата обращения: 15.07.2020). – Текст: электронный.
19. Харитонов В.Д., Будрик В.Г., Троицкий В.Н., Базиков В.И. Экспериментальные образцы оборудования для отработки технологических процессов в пищевой промышленности // Пищевая промышленность №10 2010 с.14-16
20. Вибрационный смеситель: патент 2122891 Рос. Федерация: МКИ В01F/11 / Полищук В.Ю., Воронков А.И., Иванова А.П., Васильева М.А.— № 97106616/25; заявл. 22.04.1997.
21. А.с. 787077. Российская Федерация. Вибрационный смеситель / Леонтьев П.И.,Евсеевков С.В.; заявитель: Челябинский институт механизации и электризации сельского хозяйства. № 2657070; заявл. 28.08.1978.
22. ООО «Консит-А»: сайт. – URL: <https://www.consit.ru/> (дата обращения: 15.07.2020). – Текст: электронный.
- 23.
24. Шушпанников А.Б. Обоснование выбора вибропривода для винтовых смесителей // А.Б. Шушпанников. Техника и технология пищевых производств. -2011.-N 1.-С. 94-100

25. А.с. 1674943. Российская Федерация. Вибрационный смеситель / Шушпанников А.Б., Иванец В.Н., Абияка А.Н., Пшеленский А.Ю.; заявитель: ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)». № 4685826; заявл. 03.05.1989.
26. Вибрационный смеситель: патент 2626415 Рос. Федерация: МКИ В01F/11 / Шушпанников А.Б., Зорина Т.В., Шушпанников Е.А., Шушпанникова А.С. — № 2016149970 ; заявл. 19.12.2016.
27. Устройство для смешивания дисперсных материалов. Коробчук М.В., Веригин А.Н. Патент на полезную модель RU 118216 U1, 20.07.2012. Заявка № 2011146001/05 от 11.11.2011.
28. Коробчук М.В. Вибрационное смешивание дисперсных материалов при наложении нелинейных колебаний: дис. канд. тех. наук: 05.17.08 / Коробчук Максим Васильевич; науч. рук. А.Н. Веригин; СПбГТИ(ТУ). — Санкт-Петербург, 2012. — 168 с.
29. Коробчук М.В. Смешивание дисперсных материалов при наложении нелинейных колебаний // Коробчук М.В., Веригин А.Н., Дедов Н.А. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2013. № 18 (44). С. 056-060.
30. Федеральный институт промышленной собственности [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <https://www.fips.ru/>. — Дата обращения: 01.07.2070. — Загл. с экрана.
31. База патентов СССР [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <https://patents.su/>. — Дата обращения: 01.07.2070. — Загл. с экрана.
32. База патентов Европейского патентного ведомства ЕРО [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <https://worldwide.espacenet.com/> — Дата обращения: 01.07.2070. — Загл. с экрана.
33. База патентов США [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <https://www.uspto.gov/> — Дата обращения: 01.07.2070. — Загл. с экрана.
34. База патентов Белоруссии [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <https://www.ncip.by/>. — Дата обращения: 01.07.2070. — Загл. с экрана.
35. База патентов Украины [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <https://ukrpatent.org/>. — Дата обращения: 01.07.2070. — Загл. с экрана.
36. База патентов Казахстана [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <https://kazpatent.kz/>. — Дата обращения: 01.07.2070. — Загл. с экрана.
37. База патентов Google Patent [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <https://patents.google.com/>. — Дата обращения: 01.07.2070. — Загл. с экрана.
38. Информационно-аналитический портал E-Library [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/>. — Дата обращения: 01.07.2070. — Загл. с экрана.
39. Информационный портал Google Scholar [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <https://scholar.google.com/>. — Дата обращения: 01.07.2070. — Загл. с экрана.
40. Полнотекстовая база данных ScienceDirect [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.elsevierscience.ru/>. — Дата обращения: 01.07.2070. — Загл. с экрана.
41. Попов Н.В. Составление и анализ патентных ландшафтов / Н.В.Попов // Патенты и лицензии. Интеллектуальные права. - 2016. - N 12. - С.39-47.
42. Мищенко О.А. Интеллектуальная собственность и основы патентных исследований: [учебное пособие] / О.А.Мищенко, В.П.Тищенко; М-во образования и науки Рос. Федерации, Тихоокеан. гос. ун-т. - Хабаровск: Издательство Тихоокеанского государственного университета, 2016. - 107 с.

Korobchuk Maksim Vasilyevich- PhD in Engineering sciences, teacher of the Department of Mechanics, Saint-Petersburg State Institute of Technology, 8 905 2683684, e-mail: korobchuk_max@mail.ru

Verigin Aleksandr Nikolaevich - D.Sc. in Engineering, Prof, honored worker of Science of Russia, professor Department of Chemical Energy, Saint-Petersburg State Institute of Technology; e-mail: averigin@bk.ru