

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ЛОПАСТНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ СМЕШИВАНИЯ СКЛОННЫХ К СЕГРЕГАЦИИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

В. Я. Борщев✉, Н. Ц. Гатапова, Г. А. Титов

*Кафедра «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»,
borschov@yandex.ru, ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: лопастные смесители; сегрегация; смешивание; сыпучий материал; упорядоченная загрузка.

Аннотация: Рассмотрены конструкции лопастных смесителей сыпучих материалов, широко используемых в различных отраслях промышленности, а также конструкции лопастных смесителей для смешивания склонных к сегрегации сыпучих материалов. В результате анализа конструкций смесителей лопастного типа показана необходимость использования конструктивных решений, обеспечивающих подачу исходных компонентов одновременно через различные узлы загрузки с целью распределения склонного к сегрегации компонента по длине смесителя. Большое внимание при разработке более совершенных конструкций лопастных смесителей уделено узлам для упорядоченной загрузки в корпус аппарата склонных к сегрегации компонентов смеси.

Введение

В настоящее время в различных отраслях промышленности предъявляются достаточно жесткие требования к качеству продукции, которое в большинстве случаев напрямую зависит от эффективности процесса смешивания сыпучих материалов, реализуемого в разнообразных конструкциях смесителей. Известно, что качество смеси сыпучих материалов в значительной степени определяется конструкцией смесительного оборудования [1]. В связи с этим чрезвычайно актуальным является разработка новых или модернизация существующих конструкций смесителей сыпучих материалов, направленные на повышение качества готовых смесей и надежности эксплуатации оборудования.

Качественные смеси сыпучих материалов позволяют получить широко распространенные в различных отраслях промышленности и сельском хозяйстве обновляемые лопастные смесители [1 – 5]. Процесс смешивания сыпучих материалов в них реализуется за счет циркуляции частиц в осевом и радиальном направлениях в корпусе смесителя корытообразной формы под действием рабочих органов. Широкое распространение лопастных смесителей обусловлено следующими их преимуществами: управляемостью процессом смешивания, универсальностью, высокой производительностью, надежностью, возможностью контроля скорости и интенсивности смешивания, быстрой и несложной переналадкой для работы с различными сыпучими материалами, в том числе с добавлением жидких компонентов и др. [1, 6 – 8].

Сложной задачей, актуальной для многих отраслей промышленности, является получение однородной смеси из сыпучих материалов, склонных к сегрега-

ции [9 – 13]. Феномен сегрегации наблюдается практически во всех типах смесителей, включая лопастные. Это явление обусловлено тем, что компоненты, склонные к разделению, под воздействием смешивания имеют тенденцию скапливаться в нижней части корпуса смесителя [1]. В процессе перемешивания мелкие частицы такого компонента преимущественно направляются вниз, что приводит к повторному расслаиванию смеси и снижению ее однородности после достижения первоначальной стабильности.

Цель работы – анализ путей увеличения однородности смесей склонных к сегрегации сыпучих компонентов и повышения надежности эксплуатации одно-вальных лопастных смесителей.

Одновальный лопастной смеситель со сосредоточенной загрузкой исходных компонентов

Объект исследования – одновальные лопастные смесители, которые предназначены для работы с различными сыпучими материалами, такими как порошки, гранулы, сухие строительные смеси, реагенты и т.д.

Рабочие органы лопастного смесителя представляют собой вал с насадками, как правило, в виде лопаток, обеспечивающими многократное перемещение сыпучего продукта по замкнутому объему рабочей камеры смесителя.

Одновальный лопастной смеситель сыпучих материалов (рис. 1) состоит из корпуса 1, размещенного в нем вращающегося вала 2 с перемешивающими лопастями 3, разгрузочного 4 и загрузочного 5 патрубков [1]. Лопастной смеситель сыпучих материалов работает следующим образом. Перемешиваемые сыпучие компоненты загружают в корпус 1 через загрузочный патрубок 5. При вращении вала 2 лопасти 3 воздействуют на компоненты сыпучего материала и обеспечивают их перемешивание в поперечном сечении корпуса смесителя 1. Под воздействием перемешивающих лопастей осуществляется также перемещение частиц материала вдоль корпуса смесителя. Выгрузка готовой смеси производится через разгрузочный патрубок 4.

При перемешивании сыпучих компонентов в одновальном лопастном смесителе одновременно протекают все элементарные процессы: конвективное и диффузионное смешивание, а также сегрегация частиц [1]. Вследствие сегрегации происходит разделение частиц сыпучих материалов в рабочем объеме смесителя, что оказывает негативное влияние на качество конечного продукта и его однородность. В целях повышения качества смеси необходимо обеспечивать в смесителе такие условия взаимодействия частиц, при которых эффект сегрегации будет минимальным.

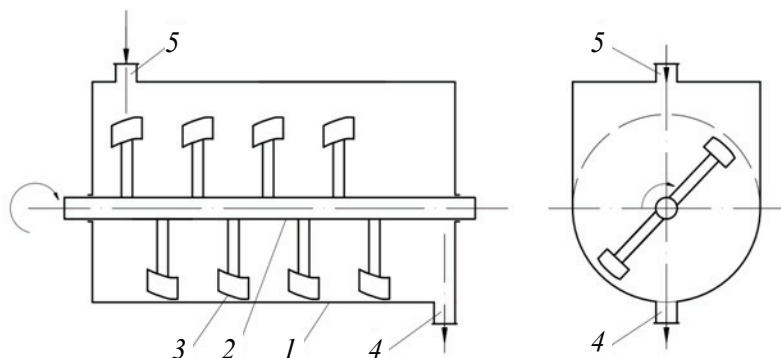


Рис. 1. Лопастной одновальный горизонтальный смеситель

Основным недостатком данного лопастного смесителя является низкая эффективность смешивания склонных к сегрегации сыпучих компонентов.

Результаты исследования процессов перемещения частиц в одновальном лопастном смесителе позволили авторам работ [9, 10, 12] предложить несколько способов и устройств для их осуществления, позволяющих значительно интенсифицировать процесс смешивания и повысить качество смеси. По результатам исследования процесса смешивания склонных к сегрегации сыпучих материалов в одновальном лопастном смесителе разработаны *три* группы способов управления сегрегацией [14]. *Первая* группа методов заключается в изменении свойств склонного к сегрегации сыпучего материала. При этом одним из путей снижения эффекта сегрегации является уменьшение разницы в размерах частиц компонентов смеси путем измельчения и последующей классификации. Методы *второй* группы направлены на изменение условий переработки материалов в смесителях, определяющих взаимодействие частиц и их контакт с рабочими органами смесителя. С помощью методов *третьей* группы восстанавливается нарушенная вследствие сегрегации однородность сыпучих сред. Для этого используют технические решения, обеспечивающие избирательное извлечение сегрегированных частей и их объединение в потоке с восстановленной однородностью.

Наиболее перспективными, по мнению авторов работы [12], являются методы второй группы. При этом одним из вариантов реализации процесса смешивания в соответствии с данными методами является упорядоченная загрузка компонентов. Интенсифицировать процесс смешивания и повысить качество готовой смеси позволяет также организация в рабочем объеме смесителя направленного движения частиц одного или нескольких компонентов, склонных к сегрегации, в определенные зоны.

Конструктивное решение поставленной задачи достигается тем, что загрузку компонентов осуществляют одновременно через различные узлы, обеспечивающие распределение склонного к сегрегации компонента по длине смесителя.

Одновальные лопастные смесители с упорядоченной загрузкой компонентов

Перспективным подходом к реализации процесса смешивания склонных к сегрегации компонентов является их упорядоченная загрузка в корпус смесителя [12]. Анализ механизмов сегрегации и методов ее управления позволяет сделать вывод о том, что при выборе смесителей для приготовления смесей из компонентов, склонных к сегрегации, следует уделять особое внимание также возможности организации направленного движения частиц.

Достаточно высокой эффективностью смешивания склонных к сегрегации сыпучих материалов характеризуется лопастной смеситель, представленный в [15]. Смеситель состоит из корпуса 1 с размещенным в нем вращающимся валом 2 с перемешивающими лопастями 3, разгрузочного патрубка 4 и загрузочных патрубков 5 и 6 (рис. 2). Под разгрузочным патрубком 5 установлен кожух 7 с наклонной перфорированной распределительной решеткой 8.

Перемешиваемые сыпучие компоненты загружают в корпус 1 через загрузочные патрубки 5 и 6. При этом склонный к сегрегации компонент загружают через патрубок 5, под которым установлена наклонная по ходу движения материала перфорированная распределительная решетка 8. Двигаясь вдоль решетки и просыпаясь сквозь отверстия перфорации, склонный к сегрегации компонент поступает на перемешивание распределенным по длине смесителя потоком, в результате чего его частицы имеют разное время для прохождения в нижнюю часть смеси, что приводит к выравниванию его содержания в поперечном сечении смесителя, то есть к повышению однородности смеси.

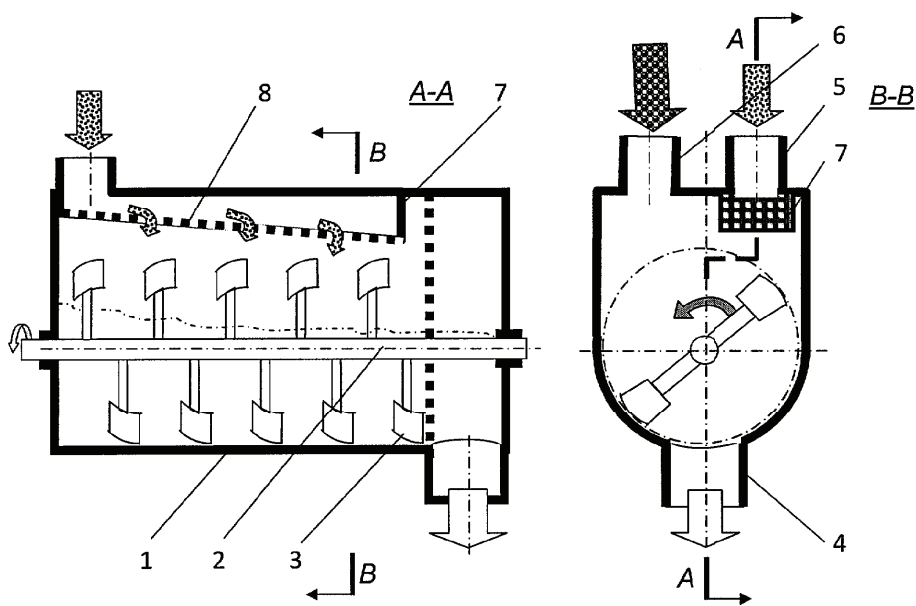


Рис. 2. Лопастной смеситель сыпучих материалов с упорядоченной загрузкой компонентов

Недостатками смесителя являются низкая надежность работы и нестабильное качество смеси вследствие неравномерного распределения в объеме смесителя склонного к сегрегации сыпучего компонента с помощью распределительного устройства, выполненного в виде неподвижной наклонной распределительной решетки. Это обусловлено тем, что в процессе движения сыпучего материала по наклонной решетке некоторая его часть застревает в отверстиях решетки и забивает тем самым ее отверстия. Вследствие этого на решетке имеет место зависание материала и его неравномерная подача в рабочий объем смесителя.

Более совершенной является конструкция лопастного смесителя сыпучих материалов с перфорированной распределительной решеткой, совершающей колебательные движения [16]. Смеситель состоит из корпуса 1 с размещенным в нем вращающимся валом 2 с перемешивающими лопастями 3, разгрузочного патрубка 4 и загрузочных патрубков 5 и 6 (рис. 3). Под разгрузочным патрубком 5 установлен кожух 7 с наклонной перфорированной распределительной решеткой 8, которая размещенным под загрузочным патрубком 5 краем закреплена на шарнире 9 с корпусом 1, противоположным краем связана с корпусом 1 через упругий элемент 10 и снабжена толкателем 11, который размещен над последней лопастью.

Перемешиваемые сыпучие компоненты загружают в корпус 1 через загрузочные патрубки 5 и 6, причем склонный к сегрегации компонент загружают через патрубок 5, под которым установлена распределительная решетка 8. При вращении вала последняя лопасть, закрепленная на нем, периодически ударяет по толкателю 11 и приводит распределительную решетку 8 в колебательное движение вокруг шарнира 9, поддерживаемого упругим элементом 10. Колебательное движение решетки 8 способствует устойчивому движению вдоль него склонного к сегрегации сыпучего компонента, его более равномерному распределению вдоль решетки и исключению завалов кожуха, в результате чего повышается надежность работы смесителя и стабильность качества смеси.

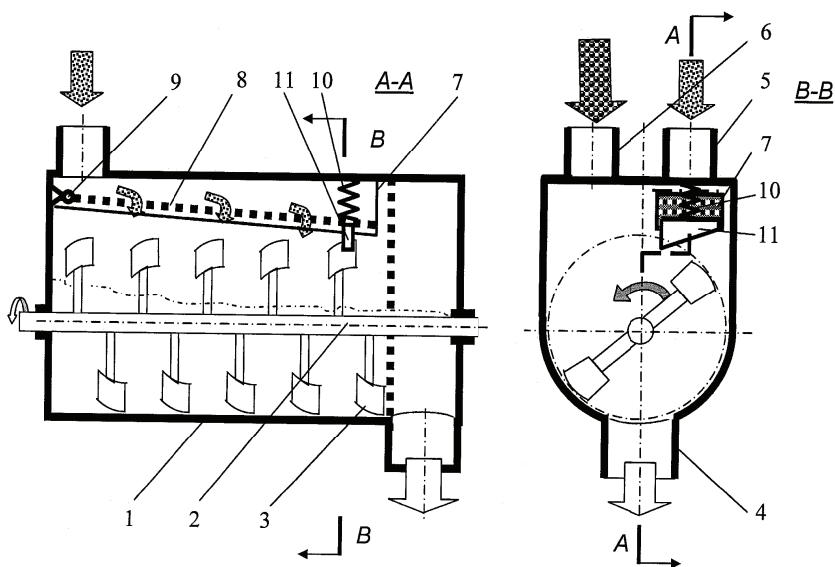


Рис. 3. Лопастной смеситель сыпучих материалов с перфорированной распределительной решеткой

Рассмотренная конструкция смесителя сыпучих материалов обеспечивает достаточно высокую равномерность распределения склонного к сегрегации компонента вдоль корпуса смесителя. Однако в этой конструкции также не исключается застревание частиц сыпучего материала в отверстиях решетки и забивание тем самым ее отверстий.

Повышение надежности лопастных смесителей возможно за счет различных конструктивных решений узла подачи склонного к сегрегации компонента в корпус смесителя. Так, на наш взгляд, повышению надежности работы лопастных смесителей способствует отказ от перфорированной распределительной решетки для подачи в корпус аппарата склонного к сегрегации компонента. Подобное техническое решение реализовано в работе [17].

Лопастной смеситель сыпучих материалов с более совершенным распределительным устройством состоит из корпуса 1, размещенного в нем вращающегося вала 2 с перемешивающими лопастями 3, разгрузочного 4 и загрузочных 5 и 6 патрубков и распределительного устройства (рис. 4). Распределительное устройство состоит из неподвижного корпуса 7 и расположенного в нем вращающегося шнека 8. На входном участке корпуса 7 имеется входное загрузочное отверстие 9, соединенное с загрузочным патрубком 6. В нижней части корпуса 7 по всей его длине имеются разгрузочные продолговатые щели 10.

Лопастной смеситель сыпучих материалов работает следующим образом. Перемешиваемые сыпучие компоненты загружают в корпус 1 через патрубки 5 и 6, причем склонный к сегрегации компонент загружают через патрубок 6, который соединен с отверстием 9 корпуса вращающегося шнека 8. При вращении шнека 8 склонный к сегрегации компонент перемещается вдоль его корпуса 7. Двигаясь вдоль корпуса 7 и просыпаясь сквозь продолговатые щели 10, склонный к сегрегации компонент поступает на перемешивание распределенным по длине смесителя потоком. Вследствие этого его частицы имеют разное время для прохождения в нижнюю часть смеси, что приводит к выравниванию его содержания в поперечном сечении смесителя, то есть к повышению однородности смеси.

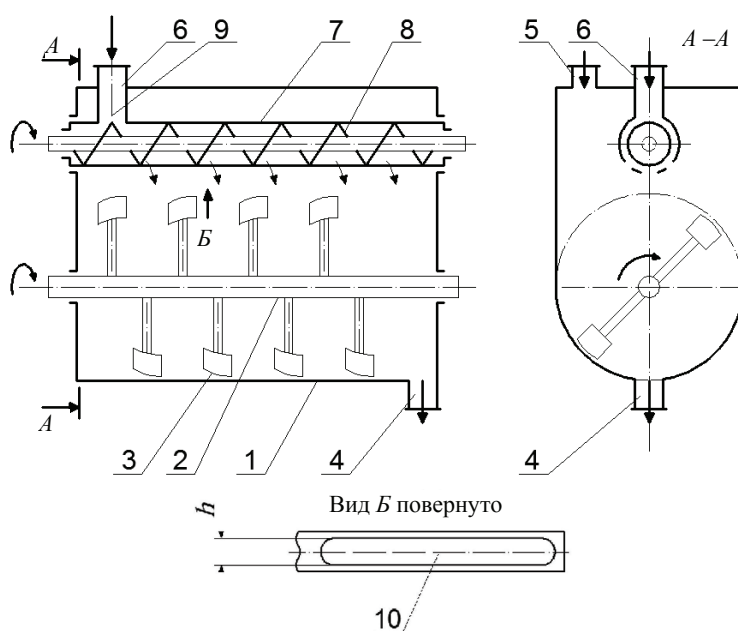


Рис. 4. Лопастной смеситель сыпучих материалов с распределительным устройством

При вращении вала 2 перемешивающие лопасти 3 воздействуют на перемешиваемые компоненты сыпучего материала и обеспечивают их перемешивание в поперечном сечении корпуса смесителя 1. Под воздействием перемешивающих лопастей осуществляется также перемещение материала вдоль корпуса смесителя. Выгрузка готовой смеси производится через разгрузочный патрубок 4.

Конструкция узла загрузки обеспечивает равномерное распределение склонного к сегрегации компонента смеси по длине корпуса смесителя, что создает условия для управления функцией распределения времени пребывания частиц сыпучих материалов, эффективного протекания процесса смешивания и, как следствие, достижения высокой однородности смеси.

Недостатком данного смесителя является низкая надежность работы, обусловленная возможностью измельчения частиц склонного к сегрегации компонента, перемещаемого витками шнека. Наличие вращающегося шнека для подачи склонного к сегрегации компонента вызывает необходимость применения дополнительного привода, что усложняет конструкцию смесителя. Кроме того, при этом существенно повышаются энергозатраты на перемещение сыпучего материала.

На рисунке 5 представлена схема лопастного смесителя сыпучих материалов, отличающаяся более простой конструкцией и высокой надежностью работы [18]. Лопастной смеситель сыпучих материалов состоит из корпуса 1, размещенного в нем вращающегося вала 2 с перемешивающими лопастями 3, разгрузочного 4 и загрузочных 5 и 6 патрубков и распределительного устройства. Вращающийся вал 2 выполнен полым. На его входном участке имеются окна 7, соединенные с загрузочным патрубком 6 для подачи склонного к сегрегации компонента через отверстие 9 в неподвижной обечайке 8, охватывающей входной участок вала. На остальной длине вала имеются разгрузочные отверстия 10, расположенные в шахматном порядке. Распределительное устройство состоит из винтовой спирали 11, неподвижно закрепленной на внутренней поверхности полого вращающегося вала.

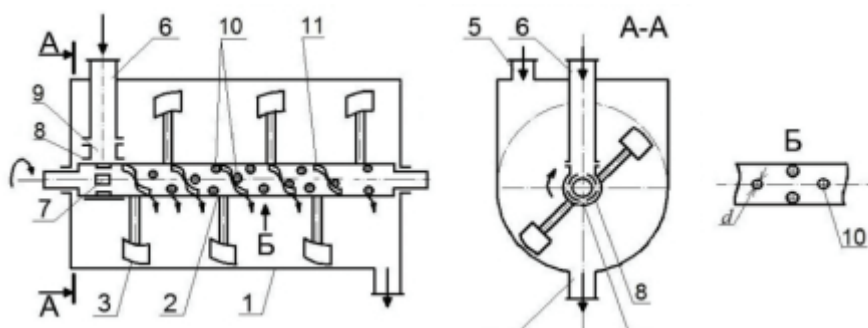


Рис. 5. Лопастной смеситель сыпучих материалов

Лопастной смеситель сыпучих материалов работает следующим образом. Перемешиваемые сыпучие компоненты загружают в корпус 1 через загрузочные патрубки 5 и 6. При этом склонный к сегрегации компонент загружают через патрубок 6, который соединен с окнами 7 полого вращающегося вала 2 через отверстие 9 в неподвижной обечайке 8, охватывающей входной участок вала. При вращении вала склонный к сегрегации компонент перемещается в его полости с помощью винтовой спирали 11.

При вращении вала 2 перемешивающие лопасти 3 воздействуют на компоненты сыпучего материала и обеспечивают их перемешивание в поперечном сечении корпуса 1 смесителя. Под воздействием перемешивающих лопастей материал также перемещается вдоль корпуса смесителя. Выгрузка готовой смеси производится через разгрузочный патрубок 4.

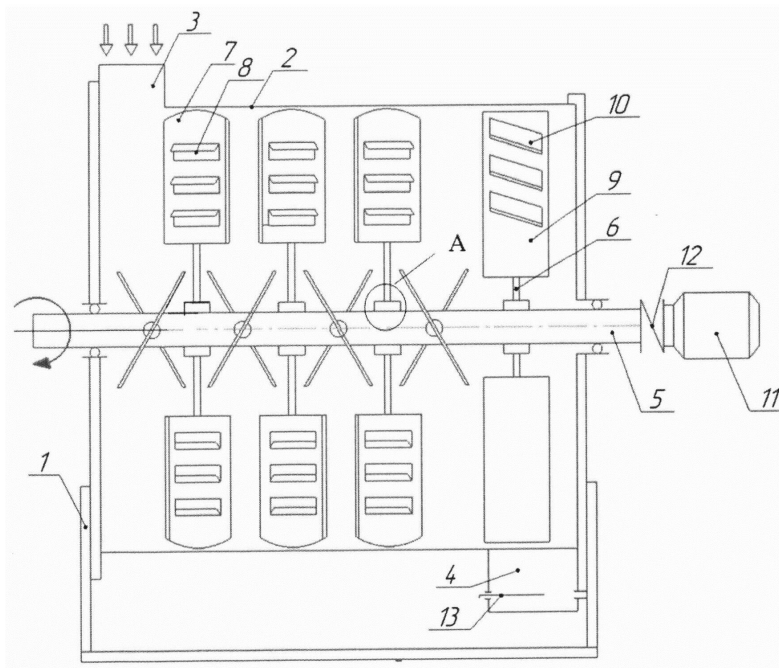
В данной конструкции лопастного смесителя по сравнению со смесителем, представленном в работе [17], обеспечивается требуемое качество смешивания склонных к сегрегации сыпучих компонентов. Кроме того, повышается надежность работы за счет исключения измельчения частиц склонного к сегрегации компонента при его транспортировании винтовой спиралью в полости вращающегося вала, а также упрощается конструкция смесителя за счет установки распределительного устройства в полый вращающийся валу перемешивающего устройства.

Одновальные лопастные смесители с интенсивным направленным движением смешиваемых компонентов

Другие подходы к снижению негативного влияния сегрегации на качество готовой смеси в процессе смешивания сыпучих материалов рассматриваются в работах [19 – 21]. Эти подходы реализуются в конструкциях лопастных смесителей, внутренние устройства которых обеспечивают интенсивное направленное движение смешиваемых компонентов в корпусе аппарата с целью исключения заметного влияния на процесс преждевременной сегрегации частиц.

Высокой интенсивностью перемещения частиц смешиваемых компонентов характеризуется лопастной смеситель [19], представленный на рис. 6. Лопастной смеситель содержит опорную раму 1, на которой смонтирован горизонтальный цилиндрический корпус 2 с загрузочным 3 и разгрузочным 4 отверстиями, вал 5 с лопастями 6, на которых закреплены в зоне смешивания пластины 7, имеющие поперечные П-образные прорезы 8, образующие лепестки, отогнутые в сторону рабочей поверхности пластины 7, в зоне выгрузки отбойные пластины 9 с направляющими потоками смеси компонентами 10.

Привод вала 5 осуществляется от моторредуктора 11 через муфту 12. Степень заполнения корпуса и время нахождения компонентов в лопастном смесителе регулируется заслонкой 13.



Узел А

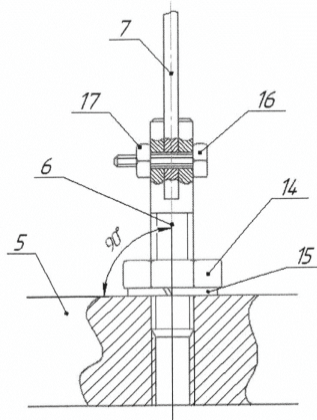


Рис. 6. Лопастной смеситель

Лопасты 6 крепятся к валу 5 под углом 90° к его оси через резьбовое соединение, тем самым имеется возможность изменения угла поворота пластин относительно оси вала под углом $\alpha = 40 \dots 60^\circ$. Лопасть фиксируется с помощью гайки 14 и пружинной шайбы 15. Крепление пластин 7 и 9 к лопасти 6 осуществляется с помощью винта 16 и гайки 17. На валу 5 расположено четыре ряда лопастей под углом 90° относительно друг друга.

В первом и третьем рядах симметрично расположено по четыре лопасти, во втором и четвертом – по три лопасти. Лопасты 6 с закрепленными на них пластинами 7 расположены на одинаковом расстоянии относительно друг друга вдоль оси вала 5, минимальное расстояние между лопастями в одном ряду не превышает ширину пластины. Внешняя кромка пластины 7 имеет округлую форму для обеспечения равномерного зазора с внутренней поверхностью горизонтального ци-

цилиндрического корпуса 2 лопастного смесителя. На пластинах 7 выполнены поперечные П-образные прорезы 8, образующие лепестки, отогнутые в сторону рабочей поверхности пластины. В зоне выгрузки на лопастях 6 размещены параллельно оси вала под углом 90° относительно друг друга четыре отбойные пластины 9 прямоугольной формы, на которых установлены направляющие потока смеси компонентов 10 под углом $\beta = 15 \dots 20^\circ$ относительно горизонтального края пластины в сторону зоны смешивания. Пластины 7 и 9 имеют зазор 3...5 мм относительно внутренней поверхности горизонтального цилиндрического корпуса 2.

Лопастной смеситель работает следующим образом. С помощью мотор-редуктора 11 через муфту 12 приводится во вращательное движение вал 5, на котором закреплены лопасти 6 с пластинами 7 и отбойными пластинами 9. Через загрузочное отверстие 3 во внутреннюю часть горизонтального цилиндрического корпуса 2, установленного на опорной раме 1, непрерывно подаются компоненты смеси.

За счет пластин, установленных в четыре ряда и расположенных относительно оси вала под углом $\alpha = 40 \dots 60^\circ$, происходит интенсивное перемешивание и перемещение компонентов смеси в радиальном и осевом направлениях в сторону разгрузочного отверстия 4. Имеющиеся на пластинах 7 поперечные П-образные прорезы 8, образующие лепестки, отогнутые в сторону их рабочей поверхности, способствуют дополнительному перемешиванию за счет создания противотока движущихся компонентов и наложению слоев на противоположных сторонах пластины 7.

Выгрузка готовой смеси производится через разгрузочное отверстие 4 отбойными пластинами 9. Последние за счет установленных направляющих потока смеси компонентов 10 частично возвращают смесь в зону смешивания, что повышает качество смешивания. В данном лопастном смесителе обеспечивается высокое качество смешивания за счет создания противотока движущихся компонентов и наложения слоев смеси.

Недостатком рассмотренной конструкции смесителя является сложность регулирования углов наклона пластин и настройки рабочего режима процесса смешивания. Более совершенной является конструкция лопастного смесителя, представленного в работе [20], отличительной особенностью которого является наличие механизма изменения угла наклона лопастей во время работы.

На рисунке 7 изображен общий вид одновального лопастного смесителя для смешивания сыпучих материалов. Смеситель состоит из корпуса 1, внутри которого расположен полый вал 2, имеющий привод 3. На валу 2 радиально по винтовой линии жестко установлены втулки 4, в которых расположены оси 5, имеющие винтовые канавки 6. Длина канавки по дуге окружности равна $\pi/2$ и оси лопаток в соседних рядах имеют противоположное направление винтовых канавок, то есть оси диаметрально противоположных лопаток имеют одинаковое направление. Втулки 4 снабжены уплотнительными устройствами 7. К осям 5 жестко закреплены лопатки 8. Втулки имеют штифты 9, взаимодействующие с винтовыми канавками осей 5. Смеситель имеет механизм изменения угла поворота лопаток 8, выполненный в виде установленной в полости вала 2 штанги 10 с упорами 11, размещенными по линиям, эквидистантным линиям установки втулок 4, и взаимодействующими с торцами осей лопаток.

Упоры 11 выполнены коническими, а их длина соответствует длине винтовых канавок хода осей 5 лопаток 8. Штанга 10 установлена в направляющих втулках 12 с возможностью возвратно-поступательного перемещения. Наружный конец штанги 10 соединен с реверсивным исполнительным механизмом 13. Лопатки 8 на периферии выполнены скругленными.

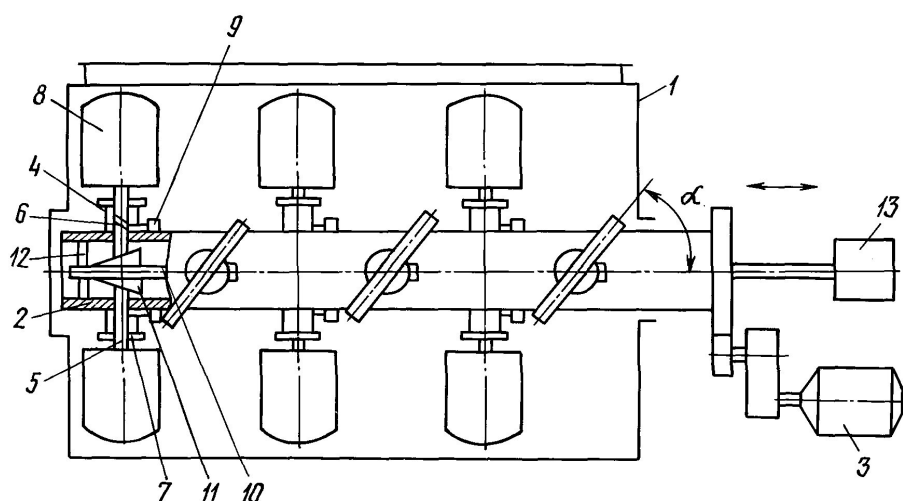


Рис. 7. Одновальный лопастной смеситель с изменением угла наклона лопастей

Смеситель работает следующим образом. Проводится равномерная последовательная загрузка компонентов по длине смесителя с помощью ленточного транспортера. Это необходимо для сокращения времени распределения компонентов по длине смесителя и создания одинаковой нагрузки на все его рабочие органы в момент начала процесса смешивания. При этом процесс смешивания происходит равномерно за счет сочетания конвективного и диффузного смешения без заметного влияния на процесс преждевременной сегрегации частиц. В результате организации последовательной равномерной по длине смесителя загрузки компонентов и их смешивания путем сочетания интенсивности «поршневого» и сдвигового перемещений достигается значительное сокращение времени смешения и энергозатрат, а также некоторое улучшение качества смесеприготовления по сравнению со смешиванием в известных лопастных смесителях с фиксированным расположением лопаток.

В рассмотренной конструкции одновального смесителя с помощью специального механизма поворота осуществляется управление положением лопаток на валу смесителя. Вследствие этого достигается быстрое и равномерное распределение исходных компонентов по рабочему объему смесителя, тем самым уменьшается время смешивания и улучшается качество готовой смеси. Данная конструкция позволяет выбирать оптимальный угол поворота лопасти во время приготовления сухой смеси.

В качестве недостатка рассмотренной конструкции следует отметить сложность узла установки лопастей во время работы смесителя, а также низкую надежность механизма изменения положения лопасти.

На практике часто решается задача приготовления многокомпонентных смесей сыпучих материалов. При приготовлении таких смесей важно учитывать, что различные компоненты обладают разной склонностью к сегрегации. Процесс смешивания таких компонентов должен предусматривать определенную последовательность их загрузки в порядке увеличения плотностей и(или) уменьшения размера частиц в работающий смеситель [12].

В работе [21] разработана конструкция лопастного смесителя для приготовления многокомпонентных смесей сыпучих материалов. Лопастной смеситель содержит цилиндрический корпус 1, внутри которого расположен полый вал 2, снабженный приводом 3 (рис. 8). На валу 2 радиально по винтовой линии установлены рабочие органы – подвижные лопатки 4, выполненные в виде плоских

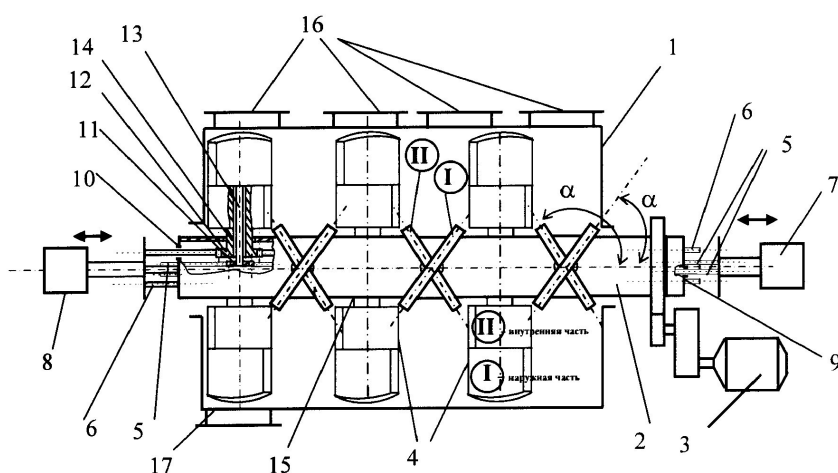


Рис. 8. Схема одновального лопастного смесителя для приготовления многокомпонентных смесей

пластин и состоящие из двух частей: наружной I и внутренней II. Смеситель снабжен механизмом независимого изменения углов поворота α обеих частей лопаток 4, выполненным в виде установленных в полости вала 2 штанг 5, 6, наружные концы которых соединены с устройствами 7, 8, обеспечивающими их реверсивное перемещение в направляющих втулках 9, 10. Поворот наружной I и внутренней II частей лопаток 4 осуществляется посредством зубчатых колес 11, 12, закрепленных на осях 13, 14, свободно вращающихся во втулках 15. Установка имеет узлы загрузки компонентов 16 и узел выгрузки смеси 17.

При реализации процесса смешивания проводится одновременная загрузка компонентов через узлы 16, расположенные вдоль смесителя. Перемещение материала в осевом направлении в реакционном объеме смесителя создается за счет соответствующего изменения углов поворота лопаток: наружная I и внутренняя II части лопаток 4 поворачиваются в противоположные стороны на различные углы α , что обеспечивает два осевых потока перемещения материала: наружный вблизи корпуса 1 и внутренний вблизи вала 2, между которыми происходит обмен частиц, интенсифицирующий радиальное смешивание.

Для снижения пусковых нагрузок на рабочих органах обе части лопаток 4 устанавливаются под углом $\alpha = 90^\circ$ к оси вращения вала. При этом зазор между лопатками и цилиндрическим корпусом минимальный и равномерный, исключая возможность заклинивания материала, приводящего к перегрузке двигателя в момент пуска.

Выгрузка готовой смеси организуется ее направленным перемещением большим потоком к выгрузному узлу 17 в осевом направлении за счет изменения угла поворота лопаток. Управление процессом, реализуемое конструктивными особенностями одновального лопастного смесителя, обеспечивает быстрое и равномерное распределение исходных компонентов по реакционному объему смесителя при их одновременной загрузке через различные узлы. Направленное перемещение материала двумя противоположными осевыми потоками в начале процесса смешивания позволяет осуществить равномерное распределение исходных компонентов вдоль смесителя за меньшее время.

В результате анализа конструкций лопастных смесителей для смешивания склонных к сегрегации компонентов установлено, что наиболее перспективным направлением их совершенствования является разработка устройств, обеспечивающих подачу исходных компонентов одновременно через различные узлы загрузки с целью распределения склонного к сегрегации компонента по длине смесителя.

Заключение

Проведенный анализ свидетельствует, что классические конструкции одно-вальных лопастных смесителей малопригодны для смешивания склонных к сегрегации компонентов. Существенным их недостатком является низкая эффективность процесса смешивания и эксплуатационная надежность при смешивании склонных к сегрегации компонентов. Для получения смеси стабильного состава и высокого качества склонных к сегрегации компонентов необходимо применять лопастные смесители, в которых реализуется упорядоченная загрузка компонентов. Кроме того, повышению качества смеси способствует организация в рабочем объеме смесителя направленного движения частиц одного или нескольких склонных к сегрегации компонентов в определенные зоны. Большое внимание при разработке более совершенных конструкций лопастных смесителей необходимо уделять узлам для упорядоченной загрузки в корпус аппарата склонных к сегрегации компонентов смеси.

Список литературы

1. Макаров, Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.
2. Математическая модель смесителя непрерывного действия с неоднородным потоком сыпучего материала / Е. А. Баранцева, Ю. В. Хохлова, В. Е. Мизонов, Н. Berthiaux, С. Gatumel // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2007. – Т. 50, № 9. – С. 118 – 120.
3. Влияние крупномасштабного перемешивания на формирование качества смеси сыпучих материалов / Е. А. Баранцева, Ю. В. Хохлова, В. Е. Мизонов, Н. Berthiaux, С. Gatumel // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2009. – Т. 52, № 3. – С. 126 – 128.
4. Макаров, Ю. И. Основные тенденции совершенствования отечественного, оборудования для смешивания сыпучих материалов / Ю. И. Макаров, Г. Д. Сальникова // Нефтяное и химическое машиностроение. – 1993. – №1 0. – С. 5 – 8.
5. Гарабажиу, А. А. Интенсификация процессов перемешивания сухих сыпучих материалов в современных конструкциях смесителей / А. А. Гарабажиу // Строительная наука и техника. – 2010. – № 4. – С. 27 – 42.
6. Машины и аппараты химических производств / А. С. Тимонин, Б. Г. Балдин, В. Я. Борщев [и др.] ; под ред. А. С. Тимониной. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаровой, 2008. – 872 с.
7. 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.
8. Бражник, Ю. В. Совершенствование конструкции и процесса смешивания в лопастном смесителе с высокоскоростным режимом работы : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Ю. В. Бражник. – Белгород, 2017. – 200 с.
9. Демин, О. В. Совершенствование методов расчета и конструкций лопастных смесителей : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / О. В. Демин. – Тамбов, 2003. – 210 с.
10. Демин, О. В. Пути повышения эффективности смешивания сыпучих материалов / О. В. Демин, М. М. Свиридов, В. Ф. Першин // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2010. – Т. 53, № 1. – С. 97 – 99.
11. Кикин, Н. О. Совершенствование процесса смешивания материалов в горизонтальном лопастном смесителе со стержневыми элементами : дис. ... канд. техн. наук : 2.5.21 / Н. О. Кикин. – Белгород, 2023. – 198 с.
12. Мансур, В. Агрегаты для приготовления смеси из компонентов, склонных к сегрегации: современное состояние и перспективы. Часть II / В. Мансур,

В. Ф. Першин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 139 – 152. doi: 10.17277/vestnik.2023.01.pp.139-152

13. Ватагин, А. А. Совершенствование процессов смешивания сыпучих материалов, склонных к сегрегации, в аппаратах с подвижной лентой : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 2.6.13 / А. А. Ватагин. – Иваново, 2022. – 16 с.

14. Bates, L. User Guide to Segregation / L. Bates. – British Materials Handling Board, Elsinore house, United Kingdom, 1997. – 134 p.

15. Патент на полезную модель № 86890 Российская Федерация, МПК В01F7/04. Лопастной смеситель сыпучих материалов / Е. А. Баранцева, В. Е. Мизонов, Ю. В. Хохлова, В. А. Огурцов ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». – № 2009118724/22 ; заявл. 18.05.2009 ; опубл. 20.09.2009. Бюл. № 26. – 2 с.

16. Патент на полезную модель № 98939 Российская Федерация, МПК В01F7/04. Лопастной смеситель сыпучих материалов / Е. А. Баранцева, В. Е. Мизонов, С. В. Крупин ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». – № 2010122290/05 ; заявл. 01.06.2010 ; опубл. 10.11.2010. Бюл. № 31. – 2 с.

17. Патент № 2771774 Российская Федерация, МПК В01F27/70. Лопастной смеситель сыпучих материалов / В. Я. Борщев, В. В. Матюкин ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – № 2021128240 ; заявл. 27.09.2021 ; опубл. 11.05.2022. Бюл. № 14. – 8 с.

18. Патент № 2794906 Российская Федерация, МПК В01F25/452. Лопастной смеситель сыпучих материалов / В. Я. Борщев, В. С. Макаров ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – № 2022133463 ; заявл. 20.12.2022 ; опубл. 25.04.2023. Бюл. № 12.

19. Патент на полезную модель №192831 Российская Федерация, МПК В01F7/02. Лопастной смеситель / В. В. Матюшев, А. В. Семенов, И. А. Чаплыгина, А. С. Аветисян ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». – № 2019122007 ; заявл. 09.07.2019 ; опубл. 02.10.2019. Бюл. № 28. – 10 с.

20. Патент № 2233197 Российская Федерация, МПК В01F 7/04 (2000.01), В01F 3/18 (2000.01). Способ приготовления смеси сыпучих материалов и установка для его осуществления / В. Ф. Першин, О. В. Демин ; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. – № 2002100969/15 ; заявл. 01.08.2002 ; опубл. 27.07.2004. Бюл. № 21.

21. Патент №2398623 Российская Федерация, МПК В01F 7/04 (2006.01). Способ смешивания сыпучих материалов и установка для его осуществления / О. В. Демин, В. Ф. Першин ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». – № 2009115216/15 ; заявл. 21.04.2009 ; опубл. 10.09.2010. Бюл. № 25.– 8 с.

Analysis of Blade Mixer Design for Mixing Bulk Materials Prone to Segregation

V. Ya. Borshchev✉, N. Ts. Gatapova, G. A. Titov

*Department of Technological Processes, Equipment and Technosphere Safety,
borschov@yandex.ru, TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: paddle mixers; segregation; mixing; bulk material; ordered loading.

Abstract: This paper examines the designs of paddle mixers for bulk materials, widely used in various industries, as well as paddle mixers for mixing bulk materials prone to segregation. An analysis of paddle mixer designs demonstrated the need for

design solutions that simultaneously feed the initial components through various loading units to distribute the segregation-prone component along the mixer's length. In developing more advanced paddle mixer designs, considerable attention was paid to units for the orderly loading of segregation-prone mixture components into the mixer body.

References

1. Makarov Yu.I. *Apparaty dlya smesheniya sypuchikh materialov* [Apparatus for mixing bulk materials], Moscow: Mashinostroyeniye, 1973, 216 p. (In Russ.)
2. Barantseva Ye.A., Khokhlova Yu.V., Mizonov V.Ye., Berthiaux H., Gatamel C. [Mathematical model of a continuous mixer with a non-uniform flow of bulk material], *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [ChemChemTech], 2007, vol. 50, no. 9, pp. 118-120. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Barantseva Ye.A., Khokhlova Yu.V., Mizonov V.Ye., Berthiaux H., Gatamel C. [The influence of large-scale mixing on the formation of the quality of a mixture of bulk materials], *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [ChemChemTech], 2009, vol. 52, no. 3, pp. 126-128. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Makarov Yu.I., Sal'nikova G.D [Main trends in improving domestic equipment for mixing bulk materials], *Neftyanoye i khimicheskoye mashinostroyeniye* [Oil and chemical engineering], 1993, no. 10, pp. 5-8. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Garabazhiu A.A. [Intensification of mixing processes of dry bulk materials in modern mixer designs], *Stroitel'naya nauka i tekhnika* [Construction science and technology], 2010, no. 4, pp. 27-42. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Timonin A.S. (Ed.), Baldin B.G., Borshchev V.Ya. [et al.], *Mashiny i apparaty khimicheskikh proizvodstv* [Machines and Apparatus for Chemical Production], Kaluga: Izdatel'stvo N. Bochkaryevoy, 2008, 872 p. (In Russ.)
7. Gusev Yu.I., Karasev I.N., Kol'man-Ivanov E.E. (Ed.) [et al.], *Konstruirovaniye i raschet mashin khimicheskikh proizvodstv* [Design and Calculation of Chemical Production Machines], Moscow: Mashinostroyeniye, 1985, 408 p. (In Russ.)
8. Brazhnik Yu.V. *PhD of Candidate's thesis (Engineering)*, Belgorod, 2017, 200 p. (In Russ.)
9. Demin O.V. *PhD of Candidate's thesis (Engineering)*, Tambov, 2003, 210 p. (In Russ.)
10. Demin O.V., Sviridov M.M., Pershin V.F. [Ways to improve the efficiency of mixing bulk materials], *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [ChemChemTech], 2010, vol. 53, no. 1, pp. 97-99. (In Russ., abstract in Eng.)
11. Kikin N.O. *PhD of Candidate's thesis (Engineering)*, Belgorod, 2023, 198 p. (In Russ.)
12. Mansur V., Pershin V.F. [Units for preparing a mixture of components prone to segregation: current status and prospects. Part II], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2023, vol. 29, no. 1, pp. 139-152. doi: 10.17277/vestnik.2023.01.pp.139-152 (In Russ., abstract in Eng.)
13. Vatagin A.A. *Extended abstract of Candidate's of Engineering thesis*, Ivanovo, 2022, 16 p. (In Russ.)
14. Bates L. *User Guide to Segregation*, British Materials Handling Board, Elsinore house, United Kingdom, 1997, 134 p.
15. Barantseva Ye.A., Mizonov V.Ye., Khokhlova Yu.V., Ogurtsov V.A. *Lopastnoy smesitel' sypuchikh materialov* [Paddle mixer for bulk materials], Russian Federation, 2009, Pat. 86890 (In Russ.)
16. Barantseva Ye.A., Mizonov V.Ye., Krupin S.V. *Lopastnoy smesitel' sypuchikh materialov* [Paddle mixer for bulk materials], Russian Federation, 2010, Pat. 98939 (In Russ.)

17. Borshchev V.Ya., Matyukin V.V. *Lopastnoy smesitel' sypuchikh materialov* [Paddle mixer for bulk materials], Russian Federation, 2022, Pat. 2771774 (In Russ.).

18. Borshchev V.Ya., Makarov V.S. *Lopastnoy smesitel' sypuchikh materialov* [Paddle mixer for bulk materials], Russian Federation, 2022, Pat. 2794906 (In Russ.).

19. Matyushev V.V., Semenov A.V., Chaplygina I.A., Avetisyan A.S. *Lopastnoy smesitel'* [Paddle mixer], Russian Federation, 2019, Pat. 192831 (In Russ.).

20. Pershin V.F., Demin O.V. *Sposob prigotovleniya smesi sypuchikh materialov i ustanovka dlya yego osushchestvleniya* [Method for preparing a mixture of bulk materials and an installation for its implementation], Russian Federation, 2004, Pat. 2233197 (In Russ.).

21. Demin O.V., Pershin V.F. *Sposob smeshivaniya sypuchikh materialov i ustanovka dlya yego osushchestvleniya* [Method for mixing bulk materials and an installation for its implementation], Russian Federation, 2010, Pat. 2398623 (In Russ.).

Analyse der Schaufelmischer-Konstruktionen zum Mischen von segregationsanfälligen Schüttgütern

Zusammenfassung: Es sind die Konstruktionen von Schaufelmischern für Schüttgüter betrachtet, die in verschiedenen Industrien weit verbreitet sind, sowie die Konstruktionen von Schaufelmischern zum Mischen von segregationsanfälligen Schüttgütern. Die Analyse der Konstruktionen von Schaufelmischern zeigt die Notwendigkeit, konstruktive Lösungen zu verwenden, die die gleichzeitige Zufuhr der Ausgangskomponenten über verschiedene Beladungsstellen ermöglichen, um den segregationsanfälligen Bestandteil entlang der Mischlänge gleichmäßig zu verteilen. Bei der Entwicklung fortschrittlicherer Konstruktionen von Schaufelmischern ist besonderes Augenmerk auf die Module für die geordnete Beladung im Gehäuse des Geräts für die segregationsanfälligen Komponenten der Mischung gelegt.

Analyse de la conception des mélangeurs à palettes pour mélanger les sujets à la ségrégation matériau pulvérulent

Résumé: Sont examinées la conception des mélangeurs à palettes de matériaux en vrac largement utilisés dans diverses industries, ainsi que la conception des mélangeurs à palettes pour le mélange de matériaux en vrac sujets à la ségrégation. L'analyse de la conception des mélangeurs de type lot montre la nécessité d'utiliser des solutions de conception qui alimentent simultanément les composants d'origine à travers différents nœuds de chargement afin de répartir le composant sujet à la ségrégation le long de la longueur du mélangeur. Une grande attention est accordée à la conception de mélangeurs à palettes plus avancés pour le chargement ordonné dans le corps de l'appareil des composants du mélange sujets à la ségrégation.

Авторы: *Борщев Вячеслав Яковлевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; *Гатапова Наталья Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; *Титов Георгий Анатольевич* – студент, ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.