

УДК 62-94

UDC 62-94

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ
ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ДОЗИРУЮЩЕГО
УСТРОЙСТВА ДЛЯ
ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ
МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ СЫПУЧИХ
МАТЕРИАЛОВ**

**STUDY OF THE OPERATION OF A
PNEUMATIC DOSING DEVICE FOR THE
TRANSPORTATION OF FINE POWDERED
MATERIALS**

Попкова Оксана Сергеевна
Канд. техн. Наук, доцент
SPIN – код автора: 4884-0466
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Popkova Oksana Sergeevna
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
RSCI SPIN-code: 4884-0466
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Шайхутдинова Альбина Маратовна
Студент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Shaikhutdinova Albina Maratovna
Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Кулай Иван Геннадьевич
Аспирант
SPIN – код автора: 7319-6613
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Kulai Ivan Gennadevich
Postgraduate student
RSCI SPIN-code: 7319-6613
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

В условиях растущих требований к автоматизации и повышению эффективности производственных процессов в агропромышленном комплексе пневмотранспортирование мелкодисперсных материалов становится все более актуальным. Одной из ключевых задач в этой области является разработка дозирующих устройств, которые обеспечивают равномерное перемещение материалов с минимальными потерями и энергозатратами. В данной статье представлены результаты исследования работы пневматического дозирующего устройства, предназначенного для транспортирования мелкодисперсных частиц. Исследование проводилось с использованием численного моделирования в ANSYS Fluent для анализа влияния различных конструкций распределительного устройства на эффективность транспортирования частиц. Были рассмотрены устройства с различным количеством выходных отверстий (2, 4 и 8). Моделирование показало, что распределительное устройство с четырьмя выходными отверстиями обеспечивает оптимальный баланс между потерями давления и подавлением центробежных сил. Устройство с двумя отверстиями демонстрировало наименьшие потери давления, однако его эффективность в транспортировании оказалась ниже по сравнению с устройствами с большим количеством

In the context of increasing demands for automation and improving the efficiency of production processes in the agro-industrial complex, pneumatic transportation of fine materials is becoming more relevant. One of the key challenges in this area is the development of dosing devices that ensure the uniform movement of materials with minimal losses and energy consumption. This article presents the results of a study on the operation of a pneumatic dosing device designed for the transportation of fine particles. The study was conducted using numerical modeling in ANSYS Fluent to analyze the impact of various designs of the distribution device on particle transportation efficiency. Devices with different numbers of outlet holes (2, 4, and 8) were considered. The modeling demonstrated that the distribution device with four outlet holes provides the optimal balance between pressure losses and the suppression of centrifugal forces. The device with two outlet holes showed the lowest pressure losses, but its efficiency in transporting materials was lower compared to devices with more outlet holes. The results obtained can be used to optimize the design of pneumatic transportation systems in the agro-industrial complex

отверстий. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации конструкций пневматических транспортных систем в агропромышленном комплексе

Ключевые слова: ПНЕВМОТРАНСПОРТ, ДОЗИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, МЕЛКОДИСПЕРСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ANSYS FLUENT, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС

Keywords: PNEUMATIC TRANSPORT, DOSING DEVICE, FINE MATERIALS, NUMERICAL MODELING, ANSYS FLUENT, DISTRIBUTION DEVICE, AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-203-037>

Введение. Пневмотранспортирование является ключевым способом перемещения мелкодисперсных и сыпучих материалов в агропромышленном комплексе. Этот метод позволяет транспортировать материалы с высокой эффективностью, используя сжатый или разреженный газ для создания потока, который перемещает частицы. Применение пневмотранспорта становится особенно актуальным при необходимости автоматизации процессов транспортировки зерна, муки, минеральных удобрений и других материалов, которые могут транспортироваться на большие расстояния с минимальными потерями и без повреждений.

Современные технологии пневматического транспорта позволяют не только улучшить качество транспортировки, но и оптимизировать затраты на энергию и трудовые ресурсы, а также обеспечивать экологичную работу за счет минимизации пыления. Это особенно важно в условиях современных требований к безопасности труда и охране окружающей среды. К примеру, в процессе пневмотранспортирования зерновых культур не происходит образования значительных объемов пыли, что обеспечивает лучшие условия для работы персонала и уменьшает воздействие на экологию.

Использование дозаторов для перемещения сыпучих материалов из емкости представляет собой важную задачу, поскольку правильное

<http://ej.kubagro.ru/2024/09/pdf/37.pdf>

дозирование обеспечивает равномерное поступление материала в технологические процессы. В связи с этим разработка новых конструкций дозирующих устройств, которые могли бы эффективно транспортировать материал, обеспечивая его равномерное распределение и минимальные потери, приобретает особую актуальность. Такие устройства могут найти применение в различных отраслях агропромышленного комплекса, включая переработку зерна, производство кормов и удобрений.

Одним из основных преимуществ пневмотранспортирования является возможность адаптации системы под различные типы материалов и производственные условия. Это делает пневмотранспорт идеальным решением для предприятий агропромышленного комплекса, где могут обрабатываться материалы с различными физическими свойствами. Системы пневмотранспорта могут легко масштабироваться и интегрироваться в существующие производственные линии, что минимизирует затраты на модернизацию оборудования. Также важно отметить, что пневмотранспортные системы могут работать в различных климатических условиях, что расширяет их область применения в агропромышленном секторе.

Состояние исследований и актуальность проблемы.

Исследования в области пневмотранспортирования ведутся на протяжении нескольких десятилетий, и этот метод транспортировки широко применяется в промышленности и сельском хозяйстве. Тем не менее, несмотря на успехи, остаются проблемы, требующие решений, в области разработки устройств для дозированного перемещения мелкодисперсных материалов. Существующие пневмотранспортные установки, как правило, ориентированы на транспортировку больших объемов материала, что делает их неэффективными для применения в системах, требующих равномерной подачи малых порций с высокой точностью.

Большинство современных пневмотранспортных систем не подходят для использования в условиях, где необходимо контролировать небольшие объемы материала с высокой степенью равномерности. Это особенно актуально для агропромышленного комплекса, где требуется точное дозирование при производстве комбикормов, смешивании удобрений или при перемещении семян и зерна в технологических процессах. Проблемы, связанные с высокой энергозатратностью, износом элементов оборудования, а также сложностью поддержания герметичности установок, являются ключевыми барьерами для внедрения пневмотранспорта в малых и средних предприятиях агросектора.

В последние годы активно разрабатываются решения, направленные на повышение эффективности пневмотранспортных систем, такие как применение новых материалов для уменьшения износа, усовершенствование конструкций дозирующих устройств и оптимизация аэродинамических характеристик потоков. Однако необходимость в простых и надежных устройствах для дозирования и транспортировки мелкодисперсных частиц остается актуальной [1].

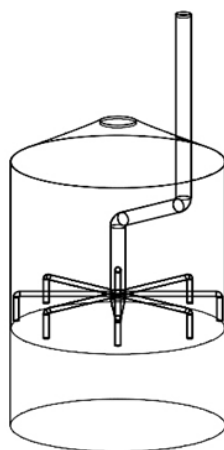


Рисунок 1 – Емкость с устройством для пневмотранспортирования сыпучих материалов

Предлагаемое дозирующее устройство (рис. 1) представляет собой усовершенствованную конструкцию, разработанную для равномерного

перемещения мелкодисперсных материалов из емкости в пневмотранспортную систему. Основное преимущество устройства заключается в его способности обеспечивать точное дозирование материала, что особенно важно при необходимости подачи малых порций с высокой степенью однородности.

Устройство состоит из емкости с крышкой, в которой расположены два отверстия: одно для подачи сжатого воздуха, а другое для вывода аэросмеси. Внутри емкости размещено распределительное устройство, которое оснащено несколькими выходными каналами, расположенными осесимметрично. Такая конструкция позволяет равномерно распределять давление по всей поверхности материала, что способствует его равномерному подъему и последующей транспортировке. Выходные каналы могут быть адаптированы по количеству и диаметру в зависимости от типа и свойств транспортируемого материала.

Цель исследований. Оценить производительность пневмотранспортного устройства при различной скорости газа.

Материалы и методы исследований. Для анализа работы предлагаемого дозирующего устройства было проведено численное моделирование с использованием программного комплекса ANSYS Fluent, который широко применяется для решения задач динамики жидкостей и газов. Этот программный продукт позволяет моделировать сложные процессы, такие как турбулентные потоки, взаимодействие твердых частиц с газами и их аэродинамическое сопротивление. Модель устройства и пневмотранспортной системы была построена в трехмерном виде, что дало возможность учесть все ключевые факторы, влияющие на перемещение частиц.

В качестве рабочего материала были выбраны частицы с плотностью 4000 кг/м^3 и диаметром 75 мкм , что соответствует условиям реальных технологических процессов. Для моделирования газового потока

использовался воздух при комнатной температуре 20°C, а скорость подачи варьировалась от 15 до 30 м/с, что позволило оценить работу системы в различных режимах эксплуатации. Расчеты проводились с использованием турбулентных моделей и специальных граничных условий для точного моделирования взаимодействия газового потока с частицами.

Особое внимание уделялось моделированию распределения давления внутри емкости и исследованию влияния количества выходных отверстий на равномерность подачи материала в пневмотранспортную систему. Для каждой конфигурации устройства было проведено множество итераций расчетов, что позволило получить полную картину взаимодействия частиц с воздушным потоком в различных условиях.

Результаты исследований. В процессе численного моделирования были учтены некоторые упрощения: газовый поток рассматривался как стационарный, а взаимодействие твердых частиц друг с другом не учитывалось, также, как и их влияние на газовый поток. Полученные результаты, представленные на рисунках 2 и 3, демонстрируют значительное влияние количества выходных отверстий в распределительном устройстве на общую производительность транспортирования материала.

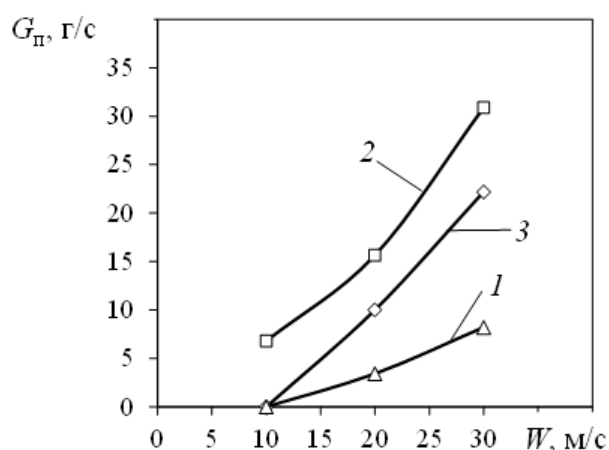


Рисунок 2 – Расход твердых частиц от скорости газа (1 – устройство с 2 отверстиями; 2 – устройство с 4 отверстиями; 3 – устройство с 8 отверстиями)

Наилучшие показатели эффективности перемещения карбонатного шлама из емкости наблюдались при увеличении скорости газового потока, что способствует подавлению возникающих центробежных сил внутри цилиндрической емкости. Из числа исследованных конфигураций, устройство с четырьмя выходными отверстиями показало наивысшую эффективность, по сравнению с устройствами с двумя и восемью отверстиями. Использование восьми отверстий приводит к увеличению локальных сопротивлений и, соответственно, к росту потерь давления. В то время как устройство с двумя отверстиями продемонстрировало минимальные потери давления, его эффективность по подавлению центробежных сил оказалась недостаточной.

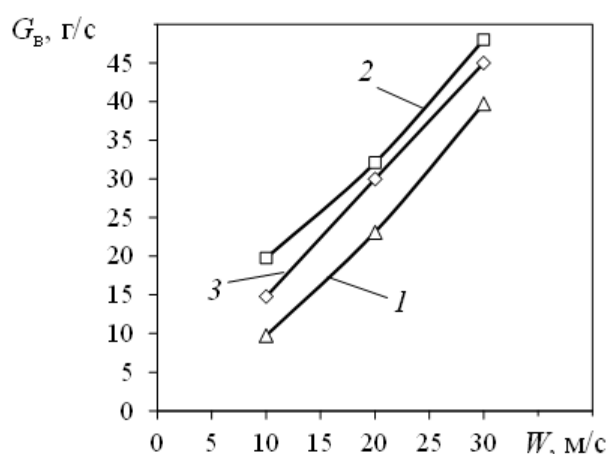


Рисунок 3 – Расход газового потока от скорости газа (1 – устройство с 2 отверстиями; 2 – устройство с 4 отверстиями; 3 – устройство с 8 отверстиями)

Следовательно, устройство с четырьмя выходными отверстиями продемонстрировало оптимальный баланс между потерями давления и подавлением центробежных сил, что было подтверждено результатами численного моделирования и проведенных экспериментов.

Анализ полученных данных также показал, что устройство с четырьмя выходными отверстиями имеет в среднем на 12,7% более высокий расход воздуха, по сравнению с устройством с восемью

отверстиями, что свидетельствует о его большей эффективности. При этом устройство с двумя отверстиями оказалось наименее продуктивным.

По результатам данного исследования рекомендуется применять распределительное устройство с четырьмя выходными отверстиями для наиболее эффективного транспортирования мелкодисперсных материалов в цилиндрических емкостях.

Выводы. 1. Наиболее эффективной конструкцией распределительного устройства для пневмотранспортирования мелкодисперсных материалов является устройство с четырьмя выходными отверстиями. Оно обеспечивает оптимальный баланс между потерями давления и эффективностью подавления центробежных сил. 2. Устройство с четырьмя выходными отверстиями продемонстрировало на 12,7% более высокий расход воздуха, чем аналогичное устройство с восемью отверстиями, что свидетельствует о его преимуществах в эффективности работы. 3. По результатам моделирования и экспериментов рекомендуется использовать распределительное устройство с четырьмя выходными отверстиями для пневмотранспортных систем, применяемых в агропромышленном комплексе, с целью повышения производительности и экономической эффективности процесса.

Библиографический список

1. Дмитриев, А. В. Оптимизация конструкционных параметров дозатора в системе пневмотранспорта мелкодисперсных материалов / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, С. Ф. Лорай // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 17. – С. 39-42.

References

1. Dmitriev, A. V. Optimizacija konstrukcionnyh parametrov dozatora v sisteme pnevmotransporta melkodispersnyh materialov / A. V. Dmitriev, V. Je. Zinurov, O. S. Dmitrieva, S. F. Loraj // Vestnik tehnologicheskogo universiteta. – 2017. – T. 20. – № 17. – S. 39-42.