

## ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Литвиненко А.В., магистр, аспирант, Смирнов В.А., ассистент,  
Юхименко Н.П., канд. техн. наук, доцент  
Сумский государственный университет, г. Сумы

*Произведён анализ пневматической классификации. Рассмотрено влияние полок на механику движения воздушного потока. Доказаны преимущества аппаратов с наклонными перфорированными полками. Приведена модель лабораторной установки для проведения процессов пневмокласификации. Проанализирована работа установки пневмокласификации с различными видами полок.*

*The analysis of pneumatic classification has been done. Shelves impact on the mechanics of the air flow motion has been considered. We proved the benefits of devices with inclined perforated shelves. A model of laboratory-scale plant for the process of pneumoclassification is given. Operation of the pneumoclassification plant with different types of shelves has been analysed.*

**Ключевые слова:** пневмокласификация, частица, полки, разделение, проточная часть.

В химической, горнодобывающей, строительной и других отраслях промышленности исходным сырьем или конечным продуктом являются дисперсные вещества, к фракционному составу которых предъявляются высокие требования. Нередко и продукты получают в виде порошка, крупнозернистого материала или гранул, качество которых существенно зависит от их однородности. Разделить полидисперсный материал на узкие фракции с заданным гранулометрическим составом можно путем проведения технологического процесса называемого классификацией, область использования которого чрезвычайно широка. Например, фракционирование гранулированных материалов применяется при получении минеральных удобрений [1], удаление высокодисперсных частиц (обеспыливание) из подсыпного материала камер обжиговых печей используется при производстве электродов, очистка и подготовка семян к посеву является важнейшей технологической операцией в сельском хозяйстве. Высокая степень разделения при осуществлении процессов классификации дисперсных материалов влияет не только на расходные нормы сырья и его качество, но и определяет производительность и эффективность работы других машин и аппаратов в технологической схеме, что в конечном итоге сказывается на технико-экономических показателях всего производства.

Задачи, на которые ориентировано проведение разделительных процессов в различных отраслях промышленности, можно сформулировать следующим образом: 1) удаление тонко дисперсных фракций и получение обеспыленных продуктов; 2) удаление крупных фракций и получение тонкодисперсного продукта; 3) выделение из сыпучего материала требуемой фракции по граничному размеру частиц; 4) выделение из полидисперсного материала более двух фракций с заданным гранулометрическим составом.

Пневматическая классификация основана на разнице скоростей витания частиц различных фракций в потоке воздуха. Этот метод лишен многих недостатков, свойственных механической и гидравлической классификации, и имеет определенные преимущества. Так, в отличие от механической классификации в воздушном потоке разделяют исходный материал на фракции по совокупности физико-механических свойств частиц: размерам, форме, шероховатости поверхности и плотности. По сравнению с гидравлической классификацией пневматический метод разделения позволяет получать продукты в сухом виде, что снижает энергоемкость проводимых технологических процессов. Эти отличительные признаки способствуют распространению пневматической классификации в различных отраслях промышленности.

В настоящее время, с учетом возросших требований к качеству продуктов и экономии сырьевых материалов, разработка новых принципов организации процесса гравитационной пневмокласификации, его теоретических основ и аппаратного оформления, является актуальной проблемой.

М.Д.Барский [2] принимая во внимание исследования немецкого ученого Ф.Каизера, предложил новые принципы рациональной организации процесса гравитационной классификации и разработал их физические основы. Основная суть этих принципов заключается в переводе процесса на неустановившийся режим движения газозвеси, что достигается размещением внутри сепарационного канала аппарата каскада контактных элементов. Перспективность каскадной пневмокласификации, организованной в объеме одного аппарата, подтверждена им при использовании в качестве контактных элементов наклонных сплошных пластинчатых полок.

С целью повышения эффективности процесса разделения сыпучих материалов и расширения области его использования дальнейшее усовершенствование каскадных пневмокласификаторов идет в основном по пути создания новых контактных элементов. Это, по нашему мнению, вполне оправдано; так как конструкция контактных элементов в значительной степени определяет структуру двухфазного потока и механизм протекания процесса разделения в целом. От типа и количества контактных элементов, представляющих собой своеобразные местные сопротивления при движении восходящего воздушного потока, зависит также и энергоёмкость аппарата.

Анализ литературных источников [3-5] позволил установить, что на структуру двухфазного потока, определяющего гидродинамику аппарата и его эффективность работы, влияют такие конструктивные характеристики контактных элементов как, ширина разгрузочных перетоков, живое сечение, угол наклона и количество полок. В настоящее время перспективные разработки полок, и прошедшие с успехом промышленную апробацию, конструируются из отдельных элементов, позволяющих секционировать объем сепарационной камеры в продольном и поперечном сечениях. Такие технические решения направлены на оптимизацию гидродинамической обстановки в сепарационной камере аппарата, что не только повышает эффективность разделения, но и расширяет область использования.

Перемещение и разделение полидисперсных материалов на фракции в рассматриваемых устройствах основано на использовании разницы в скоростях и направлении движения частиц различного размера в восходящем потоке в основном под действием гравитационного поля. Из-за малого значения коэффициента сопротивления воздуха разница в скорости движения частиц различных размеров сравнительно невелика, время их пребывания в аппарате мало, и четкого разделения на фракции не всегда удается достигнуть. Поэтому в аппаратах для разделения материалов посредством пневмокласификации используется совокупное воздействие на частицы и других сил, прежде всего центробежных и инерционных. Инерционные силы создают полки, вынуждающие восходящий поток изменять направления своего движения.

Полки, повышая скорость и турбулентность потока, в месте их установки оказывают сильное влияние как на скорость движения, так и на распределение частиц в поперечном сечении и по высоте канала. Существенно изменяются как транспортирующая, так и взвешивающая способности потока, поскольку на движение частиц начинают влиять инерционные силы. Например, мелкие частицы выносятся вверх под воздействием потока, а крупные выпадают вниз под действием силы тяжести или выводятся в направлении, перпендикулярном направлению движения потока под действием инерционных сил. Указанные силы, вызывающие разделение частиц по крупности, являются различными функциями размера частиц. Сила воздействия потока на поверхность частицы (сила трения) зависит от величины шероховатости и формы этой поверхности частиц и в первом приближении пропорциональна квадрату линейного размера. Объемные (гравитационные и инерционные) силы определяются величиной массы частиц, они пропорциональны третьей степени определяющего размера частиц. Кроме того, поверхностные силы являются функцией относительной скорости, между потоком и частицами, которая определяет режим обтекания потоком частицы.

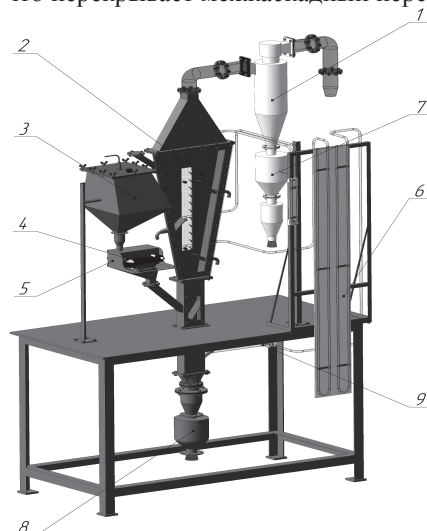
Для проведения экспериментальных исследований процесса разделения сыпучих материалов, были проанализированы и проработаны литературные источники, и на основе данных материалов, а также консультаций и рекомендаций руководителей проекта, была разработана экспериментальная установка, представленная на рис. 1.

Исходная смесь содержащая сыпучие материалы содержащая определённую смесь фракций поступает в загрузочный бункер 3, из которой дозатором 5 направляется в нижнюю часть пневмокласификатора 2. В нижнюю часть аппарата поступает воздушный поток, расход которого измеряется коллектором 9. Фракция (мелкодисперсная часть) предназначенная для классификации подхватывается потоком воздуха и, обтекая наклонные полки попадает в центральную часть аппарата, где она сепарируется и через боковые отводы выводится. Далее пылевоздушный поток поступает в циклон 1, где улавливаются мелкие частички, а воздух выводится в атмосферу. Крупнодисперсная фракция поступающая на вход аппарата выделяется в нижней части и через разделительное устройство выводится из аппарата в бункер сбора тяжёлой фракции 8. Разделительный воздушный поток создаётся с помощью газодувки, путём протягивания воздуха через аппарат. Отобранные пробы после разделения классифицируют на фракции с помощью набора сит.

Установлены отличительные гидродинамические особенности процесса в аппаратах со сплошными и перфорированными пластинчатыми полками:

1) механизм работы сплошных полок характеризуется циклическим процессом образования и распада скопления частиц над разгрузочным пространством сепарационного канала. При повышенных расходах исходного материала, масштаб пристенного течения с повышенной концентрацией твердой фазы стано-

вється настільки значительным, что перебивает межкаскадный переток и является причиной резкого



1 – циклон; 2 – пневмоклассификатор; 3 – бункер для ввода сырья; 4 – электродвигатель 5 – дозатор; 6 – манометры; 7 – бункер сбора пыли; 8 – бункер сбора тяжелой фракции; 9 – коллектор.

**Рис. 1 – Схема экспериментальной установки для пневмоклассификации**

распада; взвешенного слоя, сопровождающегося поршневым уносом частиц различной дисперсности из аппарата, что приводит к падению эффективности процесса разделения. Структура однофазного потока при наличии сплошных полок характеризуется образованием над их поверхностями крупномасштабных вихрей и значительной неравномерностью распределения скорости потока, как по сечению аппарата так и по высоте. Это приводит к неравномерности распределения дисперсной фазы, концентрация которой достигает своего максимального значения в надполочном пространстве.

2) наличие перфорации расширяет диапазон рабочих нагрузок по твердой фазе, благодаря перераспределению воздушного потока между разгрузочным пространством и отверстиями на поверхности полок, что исключает образование режима поршневого уноса частиц из аппарата. Данное перераспределение несущей среды, а также снижение интенсивности и масштаба вихреобразования над поверхностью полок под действием проходящих через перфорацию струек воздуха, способствуют уменьшению размеров образующихся скоплений частиц над разгрузочным пространством. В результате также наблюдается более равномерное распределение частиц материала по объему сепарационного канала пневмоклассификатора. В аппарате с перфорированными полками материал активно взаимодействует с потоком воздуха не только в зоне разгрузочного пространства, как в случае установки сплошных полок, но и над поверхностями полок, что приводит к увеличению поверхности контакта фаз. Указанные отличительные особенности механизма работы перфорированных полок объясняют повышение эффективности процесса разделения в пневмоклассификаторах с перфорированными полками по сравнению с аппаратами со сплошными полками.

Гравитационная классификация применяется для разделения смесей с частицами от 0,06 до 5 мм, что часто встречается в технологии производств минеральных удобрений, электродной, пищевой, зерноперерабатывающей и др [5]. Предлагаемая конструкция пневмоклассификатора с восходящим струей относится к аппаратам с активным аэродинамическим режимом. В конусной части пневмоклассификатора наблюдается разрыв потока от стенок конуса, а течение превращается в струйное. Установкой наклонных перфорированных полок удалось направлено выровнять профили скоростей и давления. При этом создается локальный пик в центре для интенсивного воздействия на материал, который поддается классификации. В результате чего образуются вытянутые области вращения материала. Эти области характеризуются наличием крупных вихрей, которые обеспечивают регулярное перемешивание материала, как в продольном, так и в поперечном направлении. Такая картина усиливает влияние сил инерции по отношению к гравитационным, что является предпосылкой возможности значительного уменьшения высоты аппарата. За время прохождения частиц зоны над перфорированными полками наблюдается режим продувки. В момент схода частиц с кромки полки вступает в действие высокоинтенсивная струя. Такая последовательность повторяется несколько раз и обеспечивает удовлетворительное качество процесса классификации. Наличие полок вызывает стойкие изменения структуры воздушного потока. Гидравли-

ческое сопротивление аппарата с перфорированными полками больше, чем в полом, хотя меньше, чем в аппарате со сплошными полками. Однако в данном случае можно получать достаточную эффективность процесса разделения при меньших объемных затратах по воздуху. В результате получены оптимальные технологические параметры для выделения отдельных фракций в средней части аппарата при условии удовлетворительного очистки верхнего продукта, что идет в унос, и нижний - в провал. Полка, направленная вверх, создает вихревое движение потока только в пространстве над полкой, между ее поверхностью и стенкой. Влияя на скорость и турбулентность потока как путем изменения угла раскрытия конуса, так и изменением числа и расположения полок, удастся существенно повлиять на скорость гидромеханических и теплообменных процессов.

На установке представленной на рис.1 проведена серия опытов на искусственной двухкомпонентной смеси фракций  $-0,315+0,2$  и  $-0,63+0,4$ . Результаты экспериментов представлены на рис.2,3.

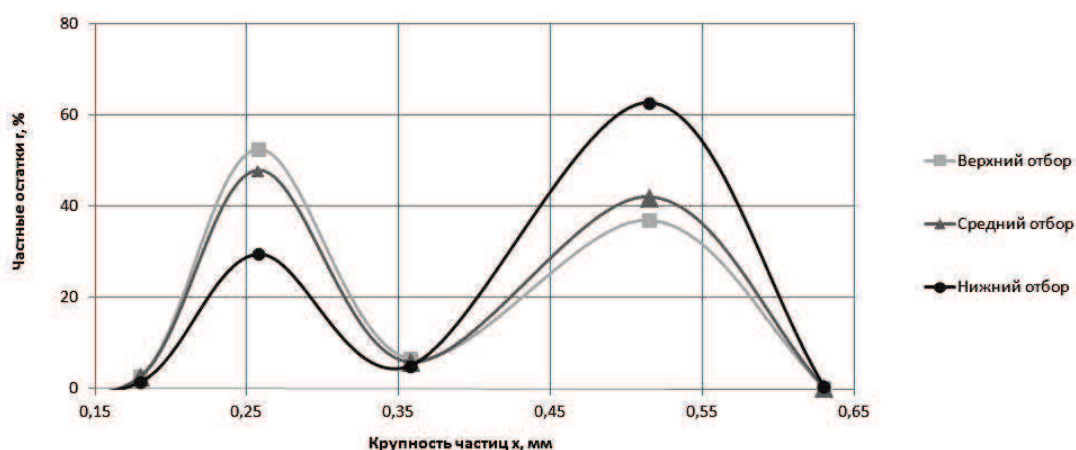


Рис. 2 – Кривые рассева частиц по промежуточным фракциям

Из графика (рис.2) следует, что данная конструкция пневмоклассификатора позволяет осуществить в одном корпусе многопродуктовую классификацию зернистого материала на несколько промежуточных фракций, с удовлетворительной чистотой разделения.

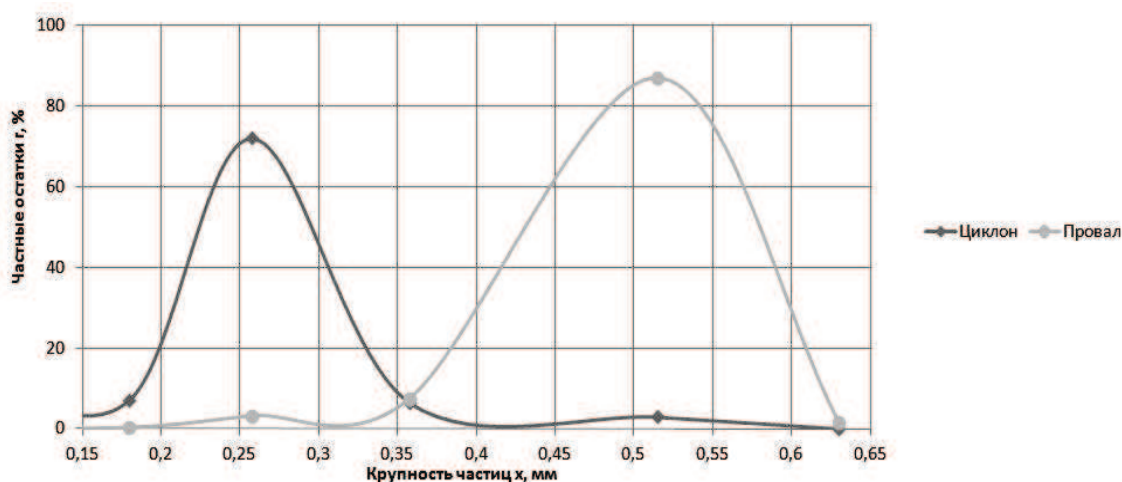


Рис. 3 – Кривые рассева частиц по провалу и уносу

Зависимости, представленные на графике (рис. 3) показывают, что в провал уходит до 90 % крупной фракции, а в унос выносятся до 70 % мелкой фракции. Полученные данные подтверждают достаточно эффективную чистоту разделения исходного материала на крупную и мелкую фракции в данном пневмоклассификаторе.

Задача дальнейших исследований – определение оптимальных параметров пневмоклассификатора, а также геометрической формы, как проточной части аппарата, так и перфорированных контактных элементов, с целью стабилизации воздушных вихрей в аппарате, что повысит качество процесса разделения зернистых материалов в воздушном потоке.

### Выводы

1. Выбрана оптимальная форма проточной части классификатора с целью формирования потока, в котором будут образовываться стабильные крупномасштабные вихри.
2. Установка перфорированных полок позволяет уменьшить гидравлическое сопротивление и выровнять профиль скоростей по сечению аппарата.
3. Выбор правильного угла раскрытия конуса аппарата и высоты зоны сепарации влияет на качество получаемого продукта.
4. Оптимальные скоростные режимы регулировки потока позволяют не допустить уноса товарной фракции.
5. Проведенные эксперименты показывают возможность проведения классификации полидисперсного материала на две и более фракции в одном корпусе аппарата, а также показывают высокую чёткость разделения материала и снижение количества мелкой фракции, уносящейся из аппарата, и крупной фракции, попадаемой в провал.

### Литература

1. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основные процессы технологии минеральных удобрений. – М.: Химия, 1990. – 304с.
2. Барский М.Д., Ревнивцев В.И., Соколин Ю.В., Гравитационная классификация зернистых материалов. - М.: Недра, 1974. – 232с.
3. Тодес О.М., Цитович О.Б. Аппараты с кипящим зернистым слоем. – Л.: Химия, 1982. – 296с.
4. Мухлёнова А.П., Сажина Б.С., Фролова В.Ф. Расчёты аппаратов кипящего слоя: Справочник. – Л.: Химия, 1986. – 352с.
5. Юхименко Н.П., Н.А., Вакал С.В., Кононенко Н.П., Филонов А.П. Аппараты взвешенного слоя. - Сумы: Собор, 2003. - 304 с.

УДК 661.152.4

## ОРГАНИЧЕСКИЕ И ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Острога Р.А., магистр, аспирант, Якушко С.И., канд. техн. наук, доцент  
Сумский государственный университет, г. Сумы

*Доказаны преимущества органических продуктов питания. Рассмотрены удобрения, позволяющие получить качественный, экологически чистый урожай. Рассмотрены преимущества удобрений в гранулированном виде. Приведена технология изготовления гранулированного удобрения на органической основе. Установлен механизм и определены режимы роста гранул органической суспензии в кипящем слое.*

*The advantages of organic nutrition products have been proved. Fertilizers enabling to yield high quality and ecologically pure crops have been discussed. The advantages of granulated fertilizers have been discussed. Procedures and techniques of production of granulated fertilizers on the organic basis have been presented. A mechanism of growth of organic suspension granules in the fluidized bed has been established and its conditions have been determined.*

**Ключевые слова:** нитраты, навоз, птичий помет, аппарат кипящего слоя.

На сегодняшний день проблемы с экологией стали одними из наиболее важных во всем мире. Экологическая чистота, прежде всего продуктов питания, становится наиболее актуальным вопросом.

Вопрос о пользе или вреде различных продуктов питания волнует всех людей, которых заботит собственное здоровье. Принято считать, что самые полезные продукты питания – это овощи и фрукты, которые содержат массу полезных веществ: клетчатку, витамины, микроэлементы и т. д. К сожалению, производители в погоне за быстрой прибылью используют минеральные удобрения. Естественно, удобрения необходимы растениям для того, чтобы быть более стойкими к болезням, быстрее расти и приносить больше плодов. К сожалению, люди часто пренебрегают правилами безопасности и применяют удобрения в больших количествах. Именно по этой причине вредными и даже опасными могут оказаться любые продукты на нашем столе: зелень, баклажаны, капуста, морковь, картофель, помидоры, огурцы и многие другие. Далеко не секрет, что «вредность» продуктов зависит от того, как и в каких условиях они были выращены, собраны и сохранены [2].