

621
Ф84

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.928

Чиркун Дмитрий Иванович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ
ПОЛИДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ВОЗДУШНЫХ
КЛАССИФИКАТОРАХ**

05.17.08. – Процессы и аппараты химических технологий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2006

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет».


- Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Левданский Э. И.,
УО «Белорусский государственный технологический университет»,
кафедра машин и аппаратов химических
и силикатных производств
- Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ершов А. И.,
УО «Белорусский государственный технологический университет», кафедра
процессов и аппаратов химических
технологий;
- кандидат технических наук, старший
научный сотрудник лаборатории пористых
сред **Капончик Л. Е.**,
ГНУ «Институт тепло- и массообмена им.
А. В. Лыкова» НАН Беларуси
- Опонирующая организация ОАО «Белгорхимпром» (г. Минск)

Защита состоится 3 октября 2006 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Совета по защите диссертаций Д 02.08.02 при УО «Белорусский государственный технологический университет» (Беларусь, 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а) в аудитории 240 корп. 4. Тел. 226-00-39; факс (017) 227-62-17, электронная почта: root@bstu/unibel.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан ___ августа 2006 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
доктор технических наук, доцент



Левданский А. Э.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Разделение сыпучих полидисперсных материалов с целью получения продукта требуемого дисперсного состава широко применяется в химической, горнорудной, пищевой и других отраслях промышленности.

Для получения сухих порошков заданного гранулометрического состава с размером частиц менее 1 мм воздушная классификация является основным из всех известных способов сортировки. В настоящее время в промышленности эксплуатируются различные конструкции воздушных классификаторов, однако большинство из них отличаются низкой эффективностью и невысокой, около 60 – 70 %, степенью извлечения целевого продукта из полидисперсного порошка. Низкая степень извлечения целевого продукта зачастую отрицательно сказывается на других технологических процессах. Так, например, при измельчении материала в мельницах, работающих по замкнутому циклу, из-за низкой эффективности классификатора готовый продукт снова направляется на помол, что приводит к снижению производительности и высокому энергопотреблению мельничного агрегата.

Поэтому разработка новых конструкций воздушных классификаторов, установление закономерностей процесса разделения сыпучих материалов с целью создания высокоэффективных и производительных промышленных установок является весьма актуальной задачей.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Данная работа выполнялась в рамках государственной темы ГБ 36 – 01 «Разработка и исследование высокоэффективных машин и аппаратов» (№ госрегистрации 19981012, 2000–2005 г.г.).

Цели и задачи исследования. Целью диссертационной работы является повышение качества разделения сыпучих полидисперсных материалов на фракции и разработка новых высокоэффективных воздушных классификаторов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. На основании анализа литературных данных и технических характеристик промышленных агрегатов выявить наиболее перспективные направления развития воздушной разделительной техники и определить причины, сдерживающие внедрения в производства высокоэффективных классификаторов.

2. Изучить причины значительного снижения качества разделения в многокаскадных полочных классификаторах при масштабном переходе от высокоэффективных лабораторных моделей к промышленным образцам. Разработать технические решения для повышения эффективности разделения в промышленных многокаскадных полочных классификаторах.

3. Провести теоретические исследования процесса разделения в высокоэффективных отбойно-вихревых классификаторах, широко применяемых за рубежом, на основании чего разработать инженерную методику расчета аппаратов данного класса, а также создать новую, более эффективную конст-

рукцию отбойно-вихревого классификатора, что, в целом, позволит отказаться от закупки такого оборудования за рубежом.

4. На основании работ по проточному разделению разработать новые конструкции проточных классификаторов, составить физическую модель и математическое описание протекающих в них процессов сортировки, экспериментально исследовать эффективность разделения и другие технико-экономические показатели новых классификаторов, определить оптимальные условия для создания промышленных образцов.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются новые конструкции воздушных классификаторов и протекающие в них процессы разделения сыпучих полидисперсных материалов, а предметом исследования служат зависимости параметров процесса разделения в классификаторах от их конструктивных и технологических характеристик.

Методология и методы проведения исследований. Методология исследований включала в себя комплекс научно-обоснованных методик, предполагающих анализ и обобщение получаемых в ходе исследований результатов; применение математического аппарата для описания исследуемых процессов; проведение ситового, седиментационного и фильтрационного анализа для определения гранулометрического состава; использование статистических методов аппроксимации экспериментальных данных.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Проведены теоретические исследования процесса разделения в отбойно-вихревом классификаторе. Получены теоретические зависимости и дифференциальные уравнения, характеризующие влияние на механизм разделения технологических и конструктивных параметров классификатора, на основании которых создана методика расчета аппаратов данного класса.

На основании теоретических исследований разработаны аналитические зависимости и дифференциальные уравнения, описывающие процесс разделения в новой конструкции проточного классификатора с перфорированными лопатками. Теоретически и экспериментально определена взаимосвязь технологических и конструктивных параметров аппарата с показателями процесса классификации.

Получены новые теоретические и экспериментальные данные, характеризующие процесс разделения в многокаскадном полочном классификаторе и направленные на решение проблем масштабного перехода от лабораторных моделей к промышленным образцам.

Получены новые экспериментальные данные, описывающие влияние конструктивных и технологических параметров на показатели процесса разделения в новой конструкции проточного классификатора с неподвижной перфорированной обечайкой.

Практическая значимость полученных результатов. Разработан на уровне изобретений ряд новых конструкций классификаторов различных типов; предложены технические решения для повышения эффективности разделения известных конструкций многокаскадных полочных классификаторов; созданы инженерные методики расчета исследованных аппаратов и при-

кладные программы для использования этих расчетных методик на ЭВМ. Полученные результаты диссертационной работы позволили спроектировать, изготовить и внедрить несколько конструкций классификаторов на предприятиях республики, таких как РУП «Белмедпрепарат», ТПУП «Крупеник плюс», УНПП «Агромелл». В настоящее время планируются внедрения многокаскадного полочного классификатора в производство фильтровальных песков на ОАО «Нерудпром» и отбойно-вихревого классификатора в линию сухого измельчения сильвинита на ПО «Беларуськалий».

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- результаты аналитических исследований процессов воздушной классификации полидисперсных материалов и их аппаратурного оформления;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований известных конструкций многокаскадных полочных классификаторов, а также ряд технических решений, позволивших существенно повысить в них эффективность процесса разделения;
- результаты теоретических исследований процесса разделения в классификаторах отбойно-вихревого типа, инженерная методика их расчета и, разработанная по этой методике, новая, более эффективная конструкция отбойно-вихревого классификатора;
- новые конструкции проточных классификаторов, результаты теоретических и экспериментальных исследований проточного классификатора с перфорированными лопатками, результаты экспериментальных исследований проточного классификатора с неподвижной перфорированной обечайкой.

Личный вклад соискателя. Главные направления исследований заданы научным руководителем доктором технических наук профессором Левданским Э. И. Разработка новых конструкций классификаторов, проектирование и изготовление опытных полупромышленных образцов осуществлялись при непосредственном и личном участии автора. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований, приведенные в диссертационной работе, получены автором лично.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты и положения диссертационной работы были представлены на Международной научно-технической конференции «Новые технологии в химической промышленности» (Минск, 2002), I и II Международных научно-технических конференциях «Центробежная техника – высокие технологии» (Минск, НИО «Центр, 2003 и 2005 г. г.), Международной научно-технической конференции «Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов» (Минск, 2003), Международной научно-технической конференции «Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления» (Минск, 2004), Международной научно-технической конференции «Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы развития» (Минск, 2005), Международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (Минск, 2005).

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 4 статьи (из них 3 в реферируемых изданиях), 8 тезисов докладов, 1 заявка на изобретение, получен патент РБ. Общий объем опубликованных материалов составляет 35 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и трех приложений. Полный объем диссертации составляет 168 страниц, из них 63 иллюстрации занимают 32 страницы, а 3 приложения – 3 страницы. Список использованных источников содержит 155 наименований на 14 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

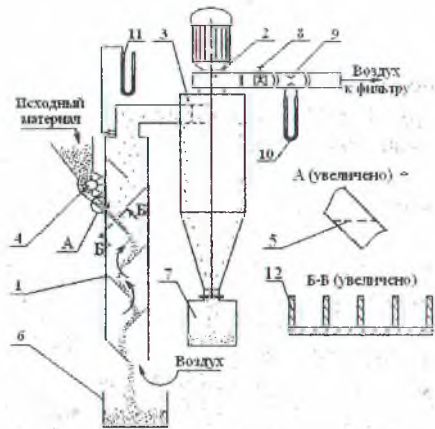
В первой главе диссертации приводится обзор литературных данных, освещающих современное положение в области процессов воздушной классификации на фракции сыпучих полидисперсных материалов и их аппаратного оформления. Подробно анализируются основные технические подходы к решению задач, связанных с повышением эффективности классифицирующего оборудования. Выявлен круг проблем, не нашедших достаточно полного отражения в существующих публикациях по данной тематике, как в отечественной, так и в зарубежной литературе. На основе проведенного анализ литературных данных определены тенденции развития разделительной техники и сформулированы основные задачи исследований.

Во второй главе исследованы вопросы масштабного перехода гравитационных многокаскадных полочных классификаторов от лабораторных моделей к промышленным аппаратам.

Анализ научно-технических публикаций по этой теме показал, что многокаскадные полочные классификаторы в крупнотоннажном производстве имеют значительно более низкую эффективность (на 20 – 30 %), чем лабораторные модели, что связано с недостаточным учетом вопросов масштабного перехода. Это подтверждается проведенными экспериментальными исследованиями процесса разделения в классификаторах различных габаритных размеров на полупромышленной установке, представленной на рис. 1. Результаты исследований, приведенные на рис. 2, показали, что с увеличением площади поперечного сечения аппарата эффективность разделения в нем снижается.

Причинами падения эффективности являются неравномерность распределения исходного материала питателем по сечению аппарата, оттеснение разделяемых частиц к стенкам классификатора восходящим потоком воздуха, нестабильность поля скоростей и турбулентные пульсации воздушного потока. С увеличением сечения аппарата эти явления, свойственные, впрочем, практически всем гравитационным классификаторам, проявляются всё сильнее, что приводит к снижению качества разделения.

Для обеспечения равномерно-го распределения исходного материала существующая конструкция многокаскадного классификатора была модернизирована. Сущность этой модернизации заключается в следующем. После роторного питателя в питающей трубке классификатора установлен перфорированный лист (поз. 5 рис. 1). На наклонных полках, расположенных ниже питателя, смонтированы продольные пластины (поз. 12 рис. 1), препятствующие перемещению материала в поперечном направлении этих полок. Конструктивные дополнения позволили добиться более равномерного распределения потока частиц по сечению классификатора. В результате этого происходил более глубокий контакт твердой и газообразной фаз и, как следствие, эффективность разделения повысилась в среднем на 10 %, что видно из графиков, представленных на рис. 3. Графики эффективности приведены здесь для классификаторов сечением 200×200 мм при сортировке на фракции кварцевого песка относительно граничного размера разделения 1,0 мм. В целом, для других материалов и различных геометрических параметров классификаторов, прирост эффективности составил 5–12 %.



1 – многокаскадный полочный классификатор; 2 – вентилятор; 3 – циклон; 4 – питатель; 5 – перфорированный лист; 6, 7 – емкости для сбора фракций; 8 – вентиль; 9 – диафрагма; 10, 11 – дифманометр; 12 – пластины

Рис. 1 Схема экспериментальной установки

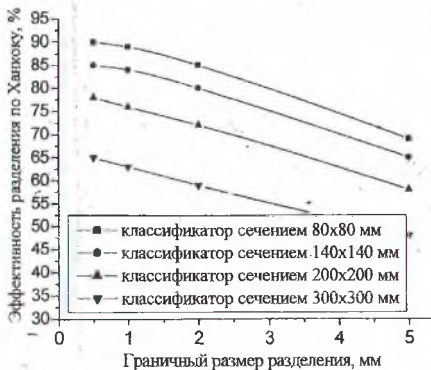


Рис. 2 Эффективность разделения в зависимости от размера сечения классификатора

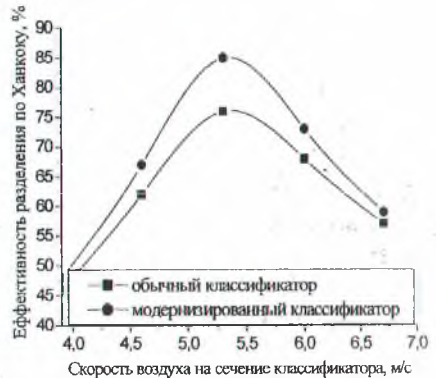


Рис. 3 Эффективность разделения классификаторов

Однако, несмотря на вышеописанные мероприятия, при работе модернизированного классификатора наблюдался, как и в случае с обычной конструкцией, пульсационный характер схода крупной фракции с последней полки аппарата. Было сделано предположение, что в местах крепления наклонных

полок к стенкам классификатора скапливается материал, преимущественно крупные частицы, которые, по мере накопления, резко срываются вниз, вызывая нарушение гидродинамики потоков и снижение эффективности. Впоследствии это предположение подтвердилось визуальными наблюдениями через смонтированные в стенках аппарата прозрачные вставки из оргстекла.

С целью повышения качества разделения были проведены теоретические исследования движения частиц в рабочем объеме классификатора, направленные на изучение механизма скопления частиц материала на наклонной полке и устранение причин, вызывающих это явление. Разработаны системы дифференциальных уравнений (1) и (2), описывающие движение частиц материала на различных участках рабочего пространства классификатора

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\xi \cdot S \cdot \rho_g}{2 \cdot m} \cdot \left(\frac{2 \cdot Q \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma}{b_c^2} \frac{dx}{dt} \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot Q \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma}{b_c^2} \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{2 \cdot Q \cdot \sin^2 \gamma}{b_c^2} \frac{dy}{dt} \right)^2}, \\ \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{\xi \cdot S \cdot \rho_g}{2 \cdot m} \cdot \left(\frac{2 \cdot Q \cdot \sin^2 \gamma}{b_c^2} \frac{dy}{dt} \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot Q \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma}{b_c^2} \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{2 \cdot Q \cdot \sin^2 \gamma}{b_c^2} \frac{dy}{dt} \right)^2} - g \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\xi \cdot S \cdot \rho_g}{2 \cdot m} \cdot \left(\frac{2 \cdot Q \cdot \cos^2 \alpha}{b_c^2} \frac{dx}{dt} \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot Q \cdot \cos^2 \alpha}{b_c^2} \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{2 \cdot Q \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{b_c^2} \frac{dy}{dt} \right)^2} \\ \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{\xi \cdot S \cdot \rho_g}{2 \cdot m} \cdot \left(\frac{2 \cdot Q \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{b_c^2} \frac{dy}{dt} \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot Q \cdot \cos^2 \alpha}{b_c^2} \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{2 \cdot Q \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{b_c^2} \frac{dy}{dt} \right)^2} - g, \\ \alpha = \arctg \left(\frac{y}{x} \right) \end{cases} \quad (2)$$

где ξ — коэффициент аэродинамического сопротивления; S — миделево сечение, m^2 ; ρ_g — плотность газа, kg/m^3 ; m — масса, kg ; Q — расход воздуха, m^3/c ; g — ускорение свободного падения, m/c^2 ; γ — угол наклона полки; b_c — ширина классификатора, m .

В результате численного решения систем уравнений (1) и (2) были получены траектории и кинематические характеристики частиц при движении их в восходящем воздушном потоке в зависимости от свойств разделяемых материалов и технических характеристик классификатора. Расчеты показали, что частицы определенного размера подходят к наклонной полке практически под прямым углом, следовательно, их начальная скорость относительно поверхности полки равна нулю. Поэтому, несмотря на наклон полки, частицы могут задерживаться на ней под действием восходящего воздушного потока и прижимных усилий следующих слоев материала, образуя скопления. Обработка и аппроксимация полученных результатов позволили получить полуэмпирическую зависимость для определения рационального расстояния между нижележащими от места питания полками, при котором практически исключается возможность скопления частиц на этих полках

$$h_n = 0,67 \cdot b_c^{1,45} \cdot \sqrt{\frac{d_{\max} - \delta_{sp}}{\delta_{sp}}}, \quad (3)$$

где d_{\max} – максимальный размер разделяемых частиц, мм; δ_p – граничный размер разделения, мм.

Кроме этого, предложено торец наклонных полок в местах крепления к стенкам классификатора выполнять закругленным, устраняя, таким образом, угол, в котором возможно скопление материала. Такое техническое решение, наряду с расчетом и установкой наклонных полок согласно зависимости (3), позволило, как показали опыты, еще на 4 – 6 % повысить эффективность разделения в модернизированной конструкции классификатора.

При больших производительностях, порядка нескольких тонн в час, целесообразнее не увеличивать размеры классификатора, а секционировать их в разделительные блоки, что позволяет добиться в промышленных установках такой же высокой эффективности разделения, как в аппарате небольшого сечения (рис. 2).

В целом, разработанные технические решения и рекомендации позволили увеличить эффективность разделения промышленных многокаскадных классификаторов, как показали производственные испытания, на 20 – 25 % до величины 80 – 90 %.

Третья глава диссертации посвящена теоретическим исследованиям отбойно-вихревых классификаторов.

В настоящее время одним из перспективных направлений развития разделительной техники является использование устройств для классификации полидисперсных материалов на вращающихся проницаемых поверхностях. Разделение в них обеспечивается за счет многостадийного, сначала воздушного, а затем механического воздействия на поток полидисперсных частиц. В качестве проницаемых поверхностей используются сита, перфорированные листы, стержневые конструкции. Такие классификаторы отличаются высокой эффективностью и широко используются за рубежом. Два отбойно-вихревых классификатора закуплены в Бельгии и весьма успешно эксплуатируются на ОАО «Красносельскстройматериалы» в производстве цемента.

В тоже время отсутствие в литературе результатов исследований подобных конструкций классификаторов не позволяет их конструировать, изготавливать и внедрять на других отечественных предприятиях. Для решения данной проблемы был проведен анализ процесса разделения в отбойно-вихревом классификаторе, на основании которого разработана физическая модель и математическое описание движения газовой и твердой фаз в рабочем объеме аппарата.

– Схематично устройство отбойно-вихревого классификатора показано на рис. 4. Он включает в себя корпус 1, крышку 2, подшипниковый узел 3, ротор 4, верхний и нижний диски ротора 5 и 6, вертикальные стержни 7, отбойное кольцо 8, конуса выгрузки продуктов разделения 9 и 11, патрубки 10, 12, 13, 14, направляющие конуса 15. Классификатор работает следующим образом. Исходный материал, попадая через патрубки 14 на вращающийся верхний диск 5 ротора 4, под действием центробежной силы начинает двигаться от центра диска к периферии. Достигая края диска 5, материал отбра-

сывается на отбойное кольцо 8 и равномерным закрученным потоком направляется в рабочее пространство классификатора, выполненное в виде спиралеобразного зазора между корпусом 1 и ротором 4. Сюда же через тангенциальный патрубок 13 подается и воздух на разделение. Вращающийся воздушный поток, пронизывая слой падающего с диска 5 материала, подхватывает мелкие частицы, проходит вместе с ними через промежутки между вертикальными стержнями 7 ротора и через патрубок 12 отводится к циклону для отделения мелкой фракции. Крупные частицы отбрасываются от ротора 4 центробежной силой инерции или ударом вращающихся стержней 7 и попадают в грубый продукт.

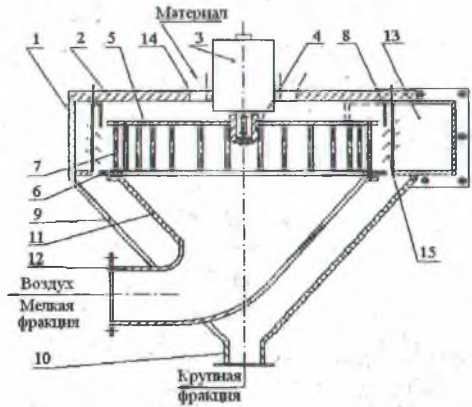


Рис. 4. Отбойно-вихревой классификатор

Процесс разделения в классификаторе состоит из нескольких стадий, основными из которых являются: распределение исходного материала по диску ротора, движение его по отбойному кольцу, взаимодействие материала с воздушным потоком и вращающимся ротором. Теоретические исследования проводились последовательно для каждой из этих стадий.

Изучение движения частиц материала по распределительному диску ротора позволило получить зависимость для определения производительности классификатора Q_M^m , кг/с

$$Q_M^m = k_q \cdot v_r' \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_d \cdot d_{cp} \cdot \rho_n, \quad (4)$$

где k_q – эмпирический коэффициент; v_r' – радиальная скорость частиц на кромке диска, м/с; R_d – радиус диска, м; d_{cp} – средний диаметр частиц, м; ρ_n – насыпная плотность материала, кг/м³.

Срываясь с распределительного диска, частицы материала попадают на поверхность отбойного кольца. Относительное движение частиц по кольцу описывается системой дифференциальных уравнений второго порядка

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} = -\xi \cdot S \cdot \frac{\rho_z}{2 \cdot m} \cdot \frac{dx}{dt} \cdot \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} - \frac{f}{r_c} \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = g - \xi \cdot S \cdot \frac{\rho_z}{2 \cdot m} \cdot \frac{dy}{dt} \cdot \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} - \frac{f}{r_c} \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right) \cdot \left(\frac{dy}{dt}\right) \end{cases}, \quad (5)$$

где ξ – коэффициент аэродинамического сопротивления; S – миделево сечение частицы, м²; ρ_z – плотность воздуха, кг/м³; m – масса частицы, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; f – коэффициент трения; r_c – радиус отбойного кольца, м.

Решение системы дифференциальных уравнений (5) в дальнейшем позволяло определять начальные условия движения частиц материала в воздушном закрученном потоке между ротором и корпусом классификатора, т.е. уже непосредственно в зоне классификации.

Для упрощения расчетных уравнений движение материала в закрученном потоке рассматривалось в неподвижной системе отсчета. Тогда на частицу, согласно второму закону динамики, действуют две основные силы – сила тяжести и сила воздушного сопротивления

$$G = m \cdot g, F_{ac} = \xi \cdot S \cdot \frac{\rho_z \cdot v_{омн}^2}{2}, \quad (6)$$

где $v_{омн}$ – скорость частицы относительно среды, м/с.

Профили тангенциальных и радиальных скоростей закрученного потока со стоком на оси вращения описываются уравнениями

$$W_r \cdot r^k = const = U_1, W_t \cdot r = const = Q / 2\pi h_c = U_2, \quad (7)$$

где W_r, W_t – тангенциальная и радиальная скорость воздуха, м/с; r – радиус вращения, м; k – коэффициент, изменяющийся от 1 (потенциальное вращение) до -1 (квазитвердое вращение); Q – расход воздуха, м³/с; h_c – высота зоны классификации, м.

Проекция скорости потока воздуха в декартовой системе координат записывается, с учетом (7) и $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, в виде

$$\begin{aligned} W_x &= -\frac{U_2 \cdot x}{x^2 + y^2} + \frac{U_1 \cdot y}{(x^2 + y^2)^{0.5k+0.5}} \\ W_y &= \frac{U_2 \cdot y}{x^2 + y^2} - \frac{U_1 \cdot x}{(x^2 + y^2)^{0.5k+0.5}} \end{aligned} \quad (8)$$

Тогда, уравнения движения частицы в закрученном воздушном потоке со стоком на оси вращения имеют вид

$$\begin{cases} m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = 0,5 \cdot \xi \cdot S \cdot \rho_z \cdot v_{омн} \cdot (v_{омн})_x \\ m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = 0,5 \cdot \xi \cdot S \cdot \rho_z \cdot v_{омн} \cdot (v_{омн})_y \\ m \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} = 0,5 \cdot \xi \cdot S \cdot \rho_z \cdot v_{омн} \cdot (v_{омн})_z - mg \end{cases}, \quad (9)$$

где $(v_{омн})_x, (v_{омн})_y, (v_{омн})_z$ – проекции относительной скорости на оси координат.

Проекция относительной скорости определяются из зависимостей

$$\begin{cases} (v_{омн})_x = -\frac{U_2 \cdot x}{x^2 + y^2} + \frac{U_1 \cdot y}{(x^2 + y^2)^{0.5k+0.5}} - \frac{dx}{dt} \\ (v_{омн})_y = \frac{U_2 \cdot y}{x^2 + y^2} - \frac{U_1 \cdot x}{(x^2 + y^2)^{0.5k+0.5}} - \frac{dy}{dt} \\ (v_{омн})_z = \frac{dz}{dt} \end{cases} \quad (10)$$

Величина относительной скорости $v_{отн}$ находится как геометрическая сумма своих трех проекций.

Двигаясь в закрученном потоке согласно уравнениям (9), частицы могут подходить к вращающимся стержням ротора и проходить через промежутки между ними в мелкий продукт. Условия прохождения частиц между вращающимися стержнями ротора получены в форме

$$\frac{v_v^r - v_c}{v_v^r} > 1, \left(\frac{v_c - v_v^r}{v_v^r} + 1 \right) \cdot \frac{d_c}{2} \leq h_c, \quad (11)$$

где v_v^r , v_v^r – тангенциальная и радиальная скорость частицы, м/с; v_c – линейная скорость стержней, м/с; d_c , h_c – диаметр и шаг стержней, м.

В результате проведенных теоретических исследований была разработана инженерная методика расчета разделительных устройств данного типа и программа для использования этой методики на ЭВМ. Результаты теоретических расчетов граничного зерна разделения отбойно-вихревого классификатора по разработанной инженерной методике, представленные на рис. 5 и 6, показывают хорошую сходимость с данными промышленной эксплуатации таких аппаратов, закупленных за рубежом.

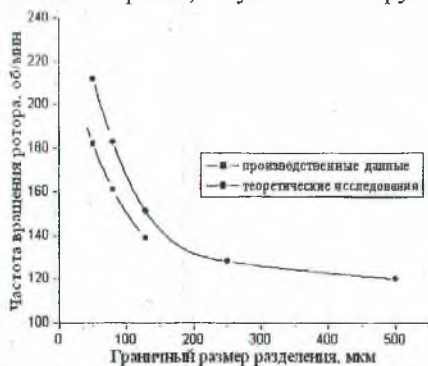


Рис. 5 Зависимость граничного размера разделения от частоты вращения ротора

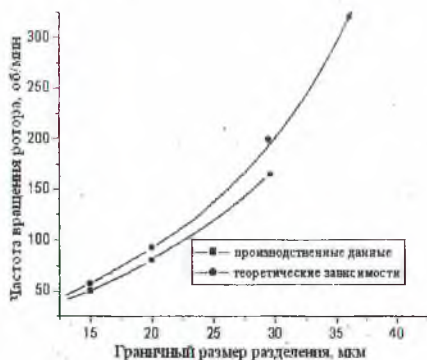


Рис. 6 Влияние расхода воздуха на граничный размер разделения

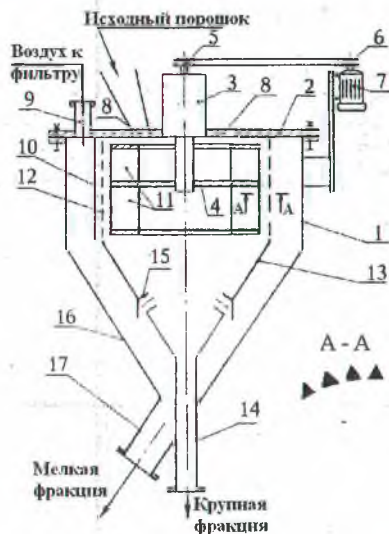
На основании результатов теоретических исследований была разработана на уровне изобретения новая конструкция отбойно-вихревого классификатора, отличающаяся компактностью всей разделительной установки, низкой металлоемкостью и пониженным энергопотреблением.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке и исследованию новых конструкций проточных роторно-центробежных классификаторов.

Еще одним перспективным направлением совершенствования разделительной техники является разработка и применение устройств для классификации полидисперсных материалов проточным способом. При проточном способе разделения сплошная среда с взвешенной твердой дисперсной фазой, двигаясь вдоль перфорированной поверхности, частично отводится через отверстия перфораций, увлекая за собой мелкие частицы и разделяя, таким об-

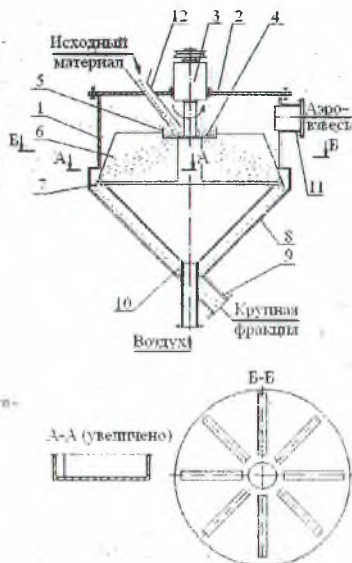
разом, исходную твердую фазу на фракции. При этом через отверстия перфораций проходят только частицы, размер которых значительно меньше этих отверстий, что практически исключает их забивку, а граничный размер частиц имеет строго определенную величину.

На основании исследований процессов проточного разделения были разработаны на уровне изобретений два проточных классификатора: роторно-центробежный с неподвижной перфорированной обечайкой (рис. 7) и роторно-центробежный с полыми перфорированными лопатками (рис. 8).



1 – корпус; 2 – крышка; 3 – подшипниковый узел; 4 – диск; 5, 6 – шкивы; 7 – электродвигатель; 8 – отверстия; 9 – патрубок вывода воздуха; 10 – отбойная пластина; 11 – лопасти; 12 – перфорированная обечайка; 13, 16 – конуса выгрузки готовых продуктов; 14, 17 – патрубки вывода готовых продуктов; 15 – направляющие патрубки для циркуляции воздуха.

Рис. 7 Классификатор с неподвижной перфорированной обечайкой



1 – корпус, 2 – крышка, 3 – подшипниковый узел, 4 – диск, 5 – цилиндрическая обечайка, 6 – полая лопатка, 7 – патрубок отвода крупной фракции из лопатки, 8 – днище, 9, 11 – патрубки соответственно крупной и мелкой фракций, 10 – патрубок подачи воздуха, 12 – патрубок подачи исходного материала

Рис. 8 Классификатор с полыми перфорированными лопатками

Экспериментальные исследования классификатора с неподвижной перфорированной обечайкой показали следующее. Увеличение частоты вращения ротора от 750 до 1500 об/мин практически не влияло на процесс классификации, лишь немного снижая количество мелочи в крупном продукте. Снижение частоты вращения ротора менее 500 – 600 об/мин приводило к значительному падению качества сортировки. Изменение производительности по исходному материалу в пределах 0,03 – 0,15 кг/с также несущественно влияло на процесс разделения (при диаметре ротора полупромышленной экспериментальной модели классификатора равном 0,4 м), а при увеличении её выше 0,2 кг/с уже наблюдалось явление «захлебывания» аппарата.

На рис. 9 приведены результаты исследований классификации муки грубого помола при различном размере отверстий перфорированной обечайки. Эксперименты проводились при производительности по исходному продукту 0,08 кг/с и частоте вращения ротора 1000 об/мин. Графики отображают фракционный состав соответственно мелкой и крупной фракций при величине отверстий перфораций: 1, 1' – 0,28×0,28 мм; 2, 2' – 0,44×0,44 мм; 3, 3' – 0,66×0,66 мм; 4 – исходный продукт. Взаимное расположение зависимостей дисперсного состава мелкой и крупной фракций (рис. 9), полученных экспериментально, подтвердили ранее проведенные теоретические исследования, согласно которым на граничный размер разделения существенно влияет лишь величина отверстий перфораций. Кроме того, нетрудно заметить, что максимальный

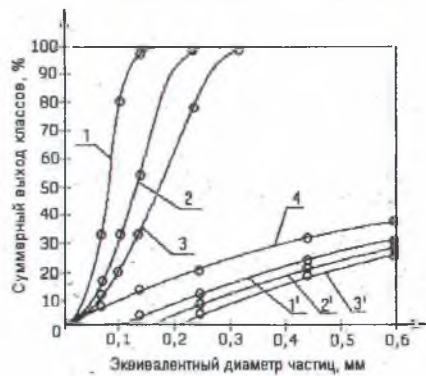


Рис. 9 Фракционный состав продуктов разделения при различной величине отверстий перфораций

размер частиц в мелкой фракции при величине отверстий перфораций, например, 0,44×0,44 мм, составляет всего 0,22 мм. Это, естественно, указывает на то, что в данном классификаторе практически исключается забивка отверстий перфораций разделяемым материалом, свойственная многим аппаратам, фракционирование в которых происходит на проницаемых поверхностях.

Обработка экспериментальных данных позволила получить математическое выражение для описания гранулометрического состава порошка, прошедшего через перфорированную обечайку

$$D(\delta) = 100 \cdot [1 - e^{-(11,4a^{-2,3})\delta_a^{2,5}}], \quad (12)$$

где $D(\delta)$ – суммарный выход мелкого продукта «по минусу», %; a – размер отверстий перфораций, мм; δ_a – текущий размер частиц мелкой фракции, мм.

В целом, эффективность разделения различных материалов в классификаторе при оптимально подобранных технологических и конструктивных параметрах составляла 80 – 85 %. Внедрение классификатора в производство ячневой крупы позволило значительно повысить, по сравнению с ситовыми грохотами, степень извлечения мелкой фракции из готового продукта и обеспечить, тем самым, его соответствие предъявляемым требованиям и нормам качества:

С целью интенсификации процесса проточной классификации была разработана конструкция классификатора (рис. 8), в котором разделение осуществляется на движущейся перфорированной поверхности. Классификатор работает следующим образом. Подвергаемый разделению материал подается питателем через воронку 12 во вращающийся стакан, образованный

обечайкой 5 с диском 4. Из стакана через щели в диске 4 материал попадет во внутреннюю полость радиальных лопаток 6. Центробежная сила инерции, действующая в радиальном направлении, заставляет частицы материала двигаться вдоль перфорированной поверхности лопаток 6 по направлению к патрубкам отвода крупной фракции 7. Вероятность прохождения частицы материала через отверстие перфорации зависит от соотношения геометрических размеров и физических характеристик частицы материала, размера отверстия перфораций, а также от режимных факторов, таких как производительность и частота вращения ротора. Таким образом, на перфорированной поверхности лопаток происходит разделение материала на мелкую фракцию, содержащую из частиц, размер которых намного меньше размера отверстий перфораций, и крупную фракцию, которая содержит частицы материала, не прошедшие через эти отверстия перфораций.

Для описания относительного движения частиц материала по поверхности перфорированной лопатки была разработана система дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \omega^2 \cdot x - 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \frac{(v'_r)_x}{\sqrt{(v'_r)_x^2 + (v'_z)_x^2}} - \xi \cdot S \cdot \frac{(v'_r)_x \cdot v'_z}{2 \cdot m} \cdot \rho_z = \frac{d^2 x}{dt^2} \\ g - 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \frac{(v'_r)_z \cdot (v'_r)_x}{\sqrt{(v'_r)_x^2 + (v'_r)_z^2}} - \xi \cdot S \cdot \frac{(v'_r)_z \cdot v'_z}{2 \cdot m} \cdot \rho_z = \frac{d^2 z}{dt^2} \end{cases} \quad (13)$$

где ω – угловая скорость лопаток, рад/с; f – коэффициент трения материала о поверхность лопатки; $(v'_r)_x, (v'_r)_z$ – проекции относительной скорости частицы на оси координат, м/с; ξ – коэффициент аэродинамического сопротивления; S – миделево сечение частицы, м²; m – масса частицы, кг; g – ускорение свободного падения, м/с².

При движении частиц по поверхности перфорированной лопатки будет осуществляться процесс разделения, т. е. некоторые частицы определенного размера будут проходить через отверстия, а другие нет. Исследования механизма прохождения частицами отверстий перфораций позволили разработать неравенство, определяющее граничный размер разделения

$$0,5 \cdot d_{\text{мел}}^2 - a \cdot d_{\text{мел}} \cdot (1 + tg\alpha) + a^2 \cdot (1 + tg^2\alpha) - \left(\frac{v'_z \cdot a}{v'_r} \right)^2 \geq 0, \quad (14)$$

где $d_{\text{мел}}$ – эквивалентный диаметр частицы, м; a – размер отверстия, м; $tg\alpha$ – отношение тангенциальной скорости частицы v'_z к радиальной v'_r ; v'_r – полная скорость частицы, м/с.

Неравенство (14) определяет возможность прохождения частицы размером $d_{\text{мел}}$ через отверстия перфорированной лопатки классификатора. Если неравенство (14) выполняется, то частица размером $d_{\text{мел}}$ проходит через отверстие перфорации в мелкую фракцию, а если не выполняется – остается в

крупной фракции. Следовательно, размер частицы $d_{\text{гк}}$, при котором выражение (14) будет равно нулю, является граничным размером разделения $\delta_{\text{г}}$.

Общий вид неравенства (14) показывает, что на граничный размер разделения $\delta_{\text{г}}$ влияют различные факторы. Один из них постоянный – размер отверстий перфораций a . Другие, такие как радиальная и полная скорость частицы, носят переменный характер. Они зависят от местоположения частицы на перфорированной поверхности и частоты вращения лопатки. Таким образом, очевидна необходимость при определении граничного зерна разделения по выражению (14) использовать результаты решения системы уравнений (13), которая описывает относительное движение частицы по поверхности лопатки.

Совместное решение системы уравнений (13) и неравенства (14) численными способами при помощи ЭВМ позволило установить зависимости для нахождения граничного размера разделения, представленные на рис. 10.

Расчеты показали, что влияние частоты вращения лопаток в пределах 200 – 1500 об/мин на граничный размер несущественно. Объясняется это тем, что с изменением частоты вращения как радиальная, так и тангенциальная составляющие скорости частицы изменяются пропорционально, а их отношение остается неизменным по всей длине лопатки. Аналогичные результаты были получены и для частиц различной плотности в пределах 1000 –

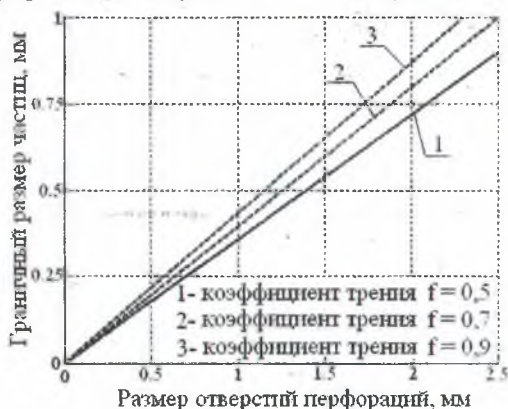


Рис. 10 Граничный размер разделения

3000 кг/м³. Некоторое влияние на граничный размер разделения оказывает коэффициент трения материала о поверхность лопатки (кривые 1 – 3 рис. 10). Объясняется это снижением радиальной скорости частиц при увеличении силы трения и смещением отношения полной скорости к радиальной в большую сторону, что, исходя из вида неравенства (15), приводит к увеличению граничного размера разделения.

Таким образом, определяющим фактором, существенно влияющим на граничный размер, является величина отверстий перфораций (рис. 10). Задавая граничной крупностью готового продукта, по предложенным зависимостям (рис. 10) можно установить необходимую величину отверстий перфораций, при которой будет обеспечиваться требуемое качество разделения.

Выше приведенные теоретические исследования впоследствии подтверждены экспериментально на полупромышленной установке. Погрешности между теоретическими и экспериментальными результатами составляли

не более 15 %. Эффективность разделения различных материалов в полупромышленной модели классификатора составила 80 – 90 %.

Классификатор обладает компактностью и простотой. Использование в процессе разделения центробежных сил инерции позволяет добиться высокой удельной производительности, отнесенной к единице площади перфорированной поверхности, а установка большого количества полых лопаток по периметру распределительного устройства даст возможность развить значительную площадь этой перфорированной поверхности, что, в целом, обеспечивает необходимую величину производительности классификатора при небольших габаритных размерах.

В целом, подводя итоги четвертой главы, отметим, что эксперименты показали высокую эффективность разработанных конструкций проточных роторно-центробежных классификаторов и подтвердили объективность теоретических исследований. Опытные данные, полученные при изменении в широком диапазоне технологических и конструктивных параметров аппаратов, позволили определить оптимальные условия для создания высокоэффективных промышленных образцов проточных роторно-центробежных классификаторов.

В пятой главе диссертации рассмотрены вопросы практической реализации результатов исследований. По результатам диссертационной работы были спроектированы, изготовлены и внедрены несколько конструкций классификаторов на предприятиях Республики Беларусь. Модернизированная конструкция многокаскадного полочного классификатора внедрена на РУП «Белмедпрепараты» для разделения продуктов помола корней лекарственных растений; аналогичные классификаторы изготавливаются серийно НПП «Агромел» и используются в процессах зерноочистки; роторно-центробежный классификатор с неподвижной перфорированной обечайкой успешно эксплуатируется на ТПУП «Крупеник плюс» в линии производства ячневой крупы для очистки готового продукта от мелких примесей. Планируются внедрения многокаскадного полочного классификатора в производство фильтровальных песков на ОАО «Нерудпром» и отбойно-вихревого классификатора в линию сухого измельчения силвинита на ПО «Беларуськалий».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ работ по теории и практике воздушной классификации показывает, что высокого качества разделения полидисперсных материалов на фракции можно достичь при многократном воздействии на них газового потока или организацией в одном аппарате многостадийного разделения, включающего в себя по ходу протекания стадий различные механизмы силовых воздействий на эти частицы. Выявлены основные направления развития классифицирующей техники, разработка которых позволяет достичь высокого качества разделения.

2. Выявлено, что высокоэффективные многокаскадные полочные классификаторы в крупнотоннажном производстве из-за недостаточного решения вопросов масштабного перехода имеют более низкую эффективность. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлены причины снижения эффективности разделения многокаскадных полочных классификаторов при переходе от лабораторных моделей к промышленным аппаратам. Предложен ряд технических решений, обеспечивающих высокую эффективность многотоннажных классификаторов данной конструкции, что в дальнейшем подтверждено промышленными испытаниями. Разработаны полуэмпирические зависимости для уточненного расчета многокаскадных полочных классификаторов.

3. Высокая эффективность сортировки полидисперсных материалов достигается в отбойно-вихревых классификаторах обеспечивается путем многостадийного воздействия на поток полидисперсных частиц. Анализ работы отбойно-вихревых классификаторов позволил построить физическую модель разделения, математически описать движение частиц в их рабочем объеме и, путем последовательного соединения в единое целое всех математических уравнений, разработать инженерную методику расчета аппаратов данного класса и программу для ее использования на ЭВМ. На уровне изобретения разработана новая, более совершенная конструкция отбойно-вихревого классификатора. Проведенные исследования классификаторов данного класса и созданная инженерная методика их расчета позволяют организовать отечественное производство этих аппаратов.

4. Сравнительно новым направлением совершенствования процессов разделения является использование разделительных устройств, работающих по проточному способу. На основании исследований по проточному разделению на уровне изобретения нами были разработаны две конструкции классификаторов: роторно-центробежный с полыми перфорированными лопатками и роторно-центробежный с неподвижной перфорированной обечайкой. Теоретические исследования процесса разделения в этих классификаторах были подтверждены экспериментами, проведенными на полупромышленных установках при изменении в широком диапазоне технологических и конструктивных параметров. Опытные данные показали высокую эффективность разделения полидисперсных материалов в разработанных конструкциях классификаторов и позволили определить оптимальные условия для создания промышленных образцов.

5. По результатам исследований выше приведенных воздушных классификаторов были осуществлены их внедрения на ряде предприятий, таких как РУП «Белмедпрепараты», ТПУП «Крупеник плюс», УНПП «Агромел». Планируются внедрения многокаскадного полочного классификатора в производство фильтровальных песков на ОАО «Нерудпром» и отбойно-вихревого классификатора в линию сухого измельчения сильвинита на ПО «Беларуськалий».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи, опубликованные в журналах и сборниках трудов

1. Чиркун Д.И., Левданский А.Э., Левданский Э.И. Экспериментальные исследования проточного роторно-центробежного сепаратора // Хим. промышленность. – 2004. – т. 81. – № 2. – С. 64 – 67.
2. Чиркун Д.И. Применение пневмосепарации для получения фильтровальных зернистых материалов // Хим. промышленность. – 2005. – т.82.–№2. – С. 91 – 94.
3. Чиркун Д.И., Левданский Э.И. Математическое описание процесса разделения на вращающейся перфорированной лопатке / Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. – Минск, БГТУ. – вып.13. – 2005. – С.151 – 153.
4. Левданский Э.И., Левданский А.Э., Чиркун Д.И. Высокоэффективная машина для предпосевной подготовки зерна // Белорусское сельское хозяйство. – 2006. – №2 (46). – С. 56 – 58.

Тезисы докладов и материалы конференций

5. Левданский А.Э., Левданский Э.И., Волк А.М., Чиркун Д.И. Роторный проточный классификатор / Новые технологии в химической промышленности: Тезисы докладов межд. научно-техн. конф., Минск, 20 – 22 нояб. 2002 г. / БГТУ. – Минск, 2002. – С.198 – 201.
6. Левданский А.Э., Левданский Э.И., Чиркун Д.И. Исследования роторного центробежно-проточного классификатора / Центробежная техника – высокие технологии: Тезисы докладов межд. научно-техн. конф., Минск, 12 – 14 нояб. 2003 г. / НПО «Центр». – Минск, 2003. – С. 27 – 28.
7. Чиркун Д.И., Левданский А.Э., Левданский Э.И. Экспериментальные исследования классификации тонкодисперсных порошков в центробежно-проточном классификаторе / Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: Тезисы докладов межд. научно-техн. конф., Минск, 26 – 28 мая 2003 г. / БГТУ. – Минск, 2003. – С. 113 – 116.
8. Левданский Э.И., Чиркун Д.И., Левданский А.Э. Роторный классификатор с полыми перфорированными лопатками / Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: Материалы межд. науч.-техн. конф. Минск, 24 – 26 нояб. 2004 г. / БГТУ. – Минск, 2004. – С. 211 – 214.

9. Чиркун Д.И., Левданский Э.И. Исследование воздушной классификации материалов в многокаскадном полочном сепараторе / Новые технологии рециклинга отходов: Материалы межд. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 нояб. 2004 г. / БГТУ. – Минск, 2004. – С. 214 – 215.
10. Чиркун Д.И., Левданский Э.И., Левданский А.Э., Гребенчук П. С. Экспериментальные исследования роторного сепаратора для разделения сыпучих полидисперсных материалов / Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы развития: Тезисы докладов межд. науч.-техн. конф., Минск, 25 – 26 мая 2005 г. / БГТУ. – Минск, 2005. – С.134 – 136.
11. Чиркун Д.И., Левданский А.Э., Гребенчук П.С. Теоретические исследования проходного центростремительного классификатора / Центр обожная техника – высокие технологии: Тезисы докладов межд. науч.-техн. конф., Минск, 27 – 29 сент. 2005 г. / НПО «Центр». – Минск, 2005. – С. 65 – 68.
12. Чиркун Д.И., Левданский А.Э., Гребенчук П.С. Классификация полидисперсных порошков в проходном центростремительном классификаторе / Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: Материалы межд. науч.-техн. конф., Минск, 16 – 18 нояб. 2005 г. / БГТУ. – Минск, 2005. – С. 116 – 117.

Патенты и заявки на изобретения

13. Патент № 8246 РБ, МПК В 07 В4/00. Роторно-центробежный классификатор / Левданский Э. И., Левданский А. Э., Волк А. М., Чиркун Д. И. – Заявл. 19.12.2002; опубл. 30.06.2004 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.–2004. – № 2.–С.34.
14. Заявка на изобретение №а 20030888 РБ, МПК В 07 В 4/00. Центростремительный сепаратор / Левданский А.Э., Чиркун Д.И., Плехов И.М., Левданский Э.И. – Заявл. 23.09.2003; опубл. 30.03.2005// Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2005. – № 1. – С. 20.



РЕЗЮМЕ**Чиркун Дмитрий Иванович****Совершенствование процесса разделения полидисперсных материалов в воздушных классификаторах****КЛАССИФИКАЦИЯ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ДИСПЕРСНОСТЬ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, ФРАКЦИЯ, ЧАСТИЦА, СКОРОСТЬ, ПОТОК**

Объектом исследования являются новые конструкции воздушных классификаторов и протекающие в них процессы разделения сыпучих полидисперсных материалов, а предметом исследования являются зависимости параметров процесса разделения в классификаторах от их конструктивных и технологических характеристик.

Целью диссертационной работы является повышение качества разделения сыпучих полидисперсных материалов на фракции и разработка новых высокоэффективных воздушных классификаторов.

В работе на основе теоретического анализа выявлены наиболее перспективные направления развития воздушной разделительной техники, разработаны технические решения для повышения эффективности разделения в промышленных многокаскадных полочных классификаторах, проведены теоретические исследования новых конструкций отбойно-вихревых классификаторов и разработана инженерная методика их расчета, проведены теоретические и экспериментальные исследования новых конструкций проточных классификаторов.

Полученные результаты диссертационной работы позволили спроектировать, изготовить и внедрить несколько конструкций классификаторов на предприятиях республики, таких, как РУП «Белмедпрепараты», ТПУП «Крупеник плюс», УНПП «Агромел».

РЕЗЮМЭ

Чыркун Дзмітрый Іванавіч

Удасканальванне працэсу раздзялення полідысперсных
матэрыялаў у паветраных класіфікатарах

КЛАСІФІКАЦЫЯ, ЭФЕКТЫЎНАСЦЬ, ДЫСПЕРСНАСЦЬ,
ПРАДУКЦЫЙНАСЦЬ, ФРАКЦЫЯ, ЧАСЦІНКА, ХУТКАСЦЬ, ПАТОК

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца новыя канструкцыі паветраных класіфікатараў і працэсы раздзялення сыпучых полідысперсных матэрыялаў, а прадметам даследавання з'яўляюцца залежнасці параметраў працэсу раздзялення ў класіфікатарах ад іх канструкцыйных і тэхналагічных характарыстык.

Мэтаю работы з'яўляецца павелічэнне якасці раздзялення сыпучых полідысперсных матэрыялаў і распрацоўка новых высокаэфектыўных паветраных класіфікатараў.

У рабоце на аснове тэарэтычнага аналізу выяўлены найбольш перспектыўныя напрамкі развіцця паветранай раздзяляльнай тэхнікі, распрацаваны тэхнічныя рашэнні для павелічэння эфектыўнасці раздзялення ў прамысловых шматкаскадных палічных класіфікатарах, праведзены тэарэтычныя даследаванні новых канструкцый адбойна-віхравых класіфікатараў і распрацавана інжынерная методика іх разліку, праведзены тэарэтычныя і эксперыментальныя даследаванні новых канструкцый праточных класіфікатараў.

Атрыманья вынікі дысертацыйнай работы дазволілі спраектаваць, вырабіць і ўкараніць некалькі канструкцый класіфікатараў на прадпрыемствах рэспублікі, такіх, як РУП "Белмедпрэпараты", ГВУП "Крупенік плюс", УНВП "Аграмел".

SUMMARY**Chirkun Dmitry Ivanovich****Perfection of process of division of polydisperse materials in air
qualifiers****CLASSIFICATION, EFFICIENCY, DISPERSIVENESS, PRODUCTIVITY,
FRACTION, PARTICLE, SPEED, STREAM**

Object of research are new designs of air separators and processes of division of loose polydisperse materials proceeding in them, and an object of research are dependences of parameters of process of division in separators from their constructive and technical characteristics.

The purpose of dissertational work is improvement of quality sorting of loose polydisperse materials and development of new highly effective air separators.

In work on the basis of the theoretical analysis the most perspective directions of development of air dividing technics are revealed, technical decisions are developed for increase of efficiency of division in industrial multicascade separators, carried out theoretical researches of new designs of impactal-vortical separators and the engineering technique of their calculation is developed, are lead theoretical and experimental researches of new designs of flowing separators.

The received results of dissertational work have allowed to design, make and introduce some designs of separators at the enterprises of republic, such as RUI «Belmedpreparations», TIUI «Krupenik plus », USII «Agromel».

Чиркун Дмитрий Иванович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ
ПОЛИДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ВОЗДУШНЫХ
КЛАССИФИКАТОРАХ**

Подписано в печать 23.06.2006. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,3.
Тираж 70 экз. Заказ 381

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050, Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050, Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.

ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ

в текст автореферата диссертации
Чиркуна Дмитрия Ивановича
«Совершенствование процесса разделения
полидисперсных материалов в воздушных
классификаторах»

В автореферате диссертации на стр. 10 рис. 6 название горизонтальной оси графиков «Граничный размер разделения, мкм» следует читать как «Расход воздуха, м³/с», название вертикальной оси графиков «Частота вращения ротора, об/мин» следует читать как «Граничный размер разделения, мкм».

соискатель



Д.И. Чиркун

Ученый секретарь совета
Д 02.08.02 по защите
диссертаций



А.Э. Левданский