

66
Л34

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ЛЕВДАНСКИЙ Александр Эдуардович

УДК 66.022:621.928

**СОРТИРОВКА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ГАЗОЦЕНТРОБЕЖНЫХ
И ИНЕРЦИОННО-ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ КЛАССИФИКАТОРАХ**

05.17.08 - Процессы и аппараты химической
технологии

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1994

Работа выполнена в Белорусском государственном технологическом университете.

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор ПЛЕХОВ И.М.
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Бородуля В.А., кандидат технических наук, доцент САМОЙЛОВ М.В.
Ведущая организация	Гомельский химический завод.

Защита диссертации состоится " 3 " _____ марта _____ 1994 г. в _____ 15 час. на заседании специализированного совета К 056.01.03 по присуждению ученой степени кандидата наук в Белорусском государственном технологическом университете (220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13а).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного технологического университета.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
к.т.н., доцент

Марков - МАРКОВ В.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Процессы классификации, т. е. разделения зернистых материалов на фракции, широко используются в химической, горнорудной промышленности, в производстве строительных материалов, а также во многих других отраслях и сельском хозяйстве. В большинстве производственных процессах они являются одним из самых ответственных звеньев определяющих качество конечного продукта. В настоящее время существует целый ряд способов классификации, однако несмотря на широкое применение этих способов в промышленности и сельском хозяйстве, аппараты для их осуществления имеют целый ряд недостатков, и требуют дальнейшего совершенствования. Решение данной проблемы являлось целью проведенных исследований.

Цель работы: Разработка высокоэффективных аппаратов для классификации сыпучих материалов, теоретические и экспериментальные исследования движения разделимых частиц, математическое моделирование происходящих процессов, исследование эффективности классификации в зависимости от конструктивных и технологических параметров, промышленное внедрение разработанных конструкций

Научная новизна. Разработаны и изучены физические модели процесса классификации сыпучих материалов в проточных газоцентрифужных и инерционно-отражательных классификаторах и определены основные стадии этого процесса.

Разработана математическая модель свободного движения твердой частицы под воздействием закрученного газового потока в перфорированном элементе, получена математическая модель движения частицы по поверхности вращающегося диска с учетом воздействия на нее окружающей воздушной среды.

Впервые теоретически и экспериментально определен граничный размер частиц проходящих через отверстия перфорированного цилиндрического элемента при совместном движении в нем закрученного газового потока и твердой фазы.

Получена теоретическая зависимость для условия скользящего движения частицы по поверхности разбрасывающего диска.

Экспериментально исследована эффективность процесса классификации сыпучих материалов в газоцентрифужных и инерционно-отражательных классификаторах и определены оптимальные режимно-конструктивные параметры разработанных аппаратов.

Патентная ценность и реализация работы.

Разработаны инженерные методики расчета газоцентрифужных и

инерционноотражательных классификаторов. Газоцентробежные классификаторы использованы при разработке принципиально новых малогабаритных установок по производству перловой крупы. Применение газоцентробежных классификаторов позволило в 16 раз уменьшить металлоемкость новых установок, в 2 раза снизить расход электроэнергии на 1 тонну продукции в сравнении с промышленными аналогами и обеспечить высокое качество продукта, в результате чего эти агрегаты выпускаются серийно и пользуются большим спросом. Инерционно-отражательные классификаторы внедрены на установках по производству гречневой крупы также выпускаемых серийно, что позволило получать продукт высокого качества при минимальных его потерях.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях Белорусского технологического института в 1991-1993 годах.

Автор защищает:

- Новые конструкции газцентробежных и инерционно-отражательных классификаторов.

- результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению величины граничного зерна разделения в газцентробежных классификаторах;

- результаты экспериментальных исследований эффективности разделения в новых конструкциях классификаторов в зависимости от конструктивных и технологических параметров.

Математические модели : - свободного движения твердой частицы под воздействием вращенного газового потока в перфорированном элементе.

- движения частицы по поверхности равномерно вращающегося диска с учетом воздействия на нее окружающей среды.

Результаты промышленных испытаний и внедрений, газцентробежных и инерционно-отражательных классификаторов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 статьи и получено 3 авторских свидетельства на изобретения .

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы (136 наименований), приложения. Работа изложена на 189 страницах машинописного текста, содержит 59 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА.

Процессы классификации, широко используются во многих отраслях народного хозяйства.

Из известных способов классификации наибольшее распространение получили: механическая классификация, воздушная сепарация и гидравлическая классификация.

При механической классификации применяя сита с разными отверстиями, можно разделить зернистый материал практически на любое число фракций. Однако эксплуатация грохотов доставляет много хлопот. Наличие в грохотах узлов совершающих вращающие, колебательные, вибрационные или другие сложные движения делают эти машины не надежными в эксплуатации. Второй причиной является забивание классифицирующих сит.

Для очистки сит широко используются различные способы и предлагается много новых, однако во всех случаях достижение положительных результатов происходит за счет усложнения оборудования, что приводит к дальнейшему снижению его надежности.

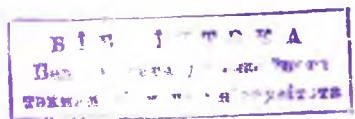
Пневматическая и гидравлическая классификация особенно широко используется при работе помольных агрегатов.

В сравнении с аппаратами механического грохочения, воздушные классификаторы имеют два важных преимущества: процесс классификации происходит во всем пространстве рабочей зоны аппарата, благодаря чему можно достичь высокой удельной производительности; отсутствие классифицирующей поверхности с отверстиями, позволяет обеспечить высокую эффективность и производительность при разделении мелких и тонких классов материала, а также легче разрешима проблема защиты рабочих органов аппаратов от абразивного износа.

Основным недостатком данных сепараторов является невозможность достижения высокой четкости разделения классифицируемого материала по граничному зерну.

Главным недостатком гидравлической классификации является то, что после разделения все фракции материала имеют высокую влажность.

Таким образом для дальнейшего совершенствования процесса классификации сыпучих материалов требуется разработка новых способов и конструкций для их осуществления, а также проведение теоре-



тических и экспериментальных исследований с целью разработки инженерных методов расчета.

2. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОЧНЫХ ГАЗО-ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ.

Устранить недостатки, присущие обоим способам при сохранении многих их достоинств, можно путем использования для классификации способа проточного разделения, при котором в отверстия перфорации будут проходить частицы, размер которых значительно меньше диаметра отверстий и, тем самым, исключается их заклинивание в отверстиях перфорированной поверхности.

Одна из конструкций проточного газоцентрибежного классификатора представлена на рис. 1. Движущей силой процесса классификации в этих аппаратах является скоростной воздушный поток.

При работе аппарата в патрубке 5 вентилятором подается воздух, который за счет многолопастного завихрителя 4 в вихревой камере 3 приобретает вращательное движение.

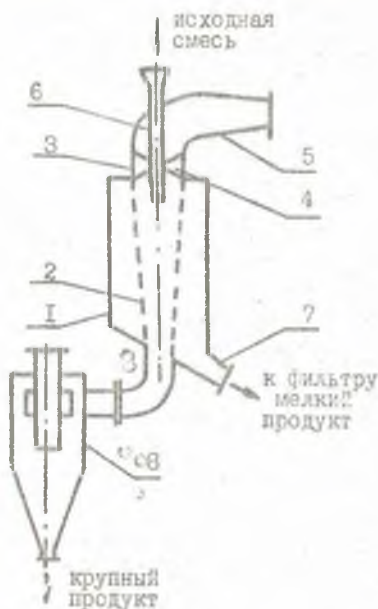


Рис. 1. Схема газоцентрибежного классификатора

В вихревую камеру через патрубок 6 также подается полидисперсный материал. На выходе из патрубка он отражается об отражательный конус, подхватывается закрученным потоком воздуха, за счет центробежных сил отбрасывается к стенке и далее, вращаясь по перфорированной стенке элемента 2 движется вниз. Так как давление вращающегося воздушного потока у перфорированной стенки элемента будет повышенным, то часть его будет поступать из элемента через отверстия перфорации в корпус 1 аппарата. Мелкие частицы материала, двигаясь по стенке и пролетая над от-

верстиями перфорации элемента за счет центробежной силы и за счет воздействия радиального отходящего потока воздуха, также будут вовлекаться в отверстие перфорации. С учетом воздействия всех сил, действующих на частицу, она будет двигаться над отверстием под определенным углом. Опуститься в отверстие на глубину, равную половине диаметра, и тем самым пройти через него и попасть в корпус могут частицы, размер которых значительно меньше размера отверстия. Из корпуса частицы с воздухом поступают через патрубок 7 в пылеулавливающие устройства, где происходит отделение твердой фазы от газового потока. Более крупные частицы материала и основной поток воздуха, двигаясь внутри перфорированного элемента, при выходе из аппарата поступают в циклон 8, где происходит их отделение. Таким образом при данном способе классификации забивка отверстий частицами, исключается.

Изучение влияния конструктивно-технологических факторов на эффективность классификации и величину граничного зерна разделения в газоцентробежных классификаторах является темой дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Изучение физической модели процесса классификации в газоцентробежных классификаторах позволило сформулировать основные задачи дальнейших исследований. Для решения которых были проведены теоретические и экспериментальные исследования по изучению: а) длины участка элемента необходимая для того, чтобы частицы сыпучего материала достигли его поверхности; б) оптимального диаметра отверстий перфорации, в зависимости от требуемого размера граничного зерна разделения; в) оптимальной длины второго участка перфорированного элемента, необходимого для осуществления более полного процесса разделения; г) влияния конструктивно-технологических параметров на эффективность классификации.

С целью проведения экспериментальных исследований и проверки теоретических результатов, была разработана и изготовлена экспериментальная установка, позволившая получать более полную информацию о происходящем процессе разделения по всей длине перфорированного элемента.

Определение длины участка перфорированного элемента, на которой частицы достигнут его стенки изучалось не только экспериментально но и теоретически. Из литературного обзора установлено, что описание движения потока частиц не представляется возможным из-за сложности многих явлений, происходящих при их взаимодействии между

собой. Поэтому задача была несколько упрощена и рассматривалось движение одиночной частицы в закрученном газовом потоке.

За основу математического описания распределения скоростей газовой среды в рабочем перфорированном элементе принимались зависимости представленные в виде полиномов третьей степени, которые были получены экспериментально, при условиях адекватных нашему случаю.

Произведя анализ и оценку действующих на частицу сил, составлены уравнения движения частицы в цилиндрической системе координат под воздействием закрученного газового потока.

$$\begin{cases} m \left(\frac{dV_z}{dt} - \frac{V_\varphi^2}{r} \right) = \frac{1}{2} \rho_0 |W_z - V_z| (W_z - V_z) \pi \delta^2 \\ m \left(\frac{dV_\varphi}{dt} - \frac{V_\varphi V_z}{r} \right) = \frac{1}{2} \rho_0 |W_\varphi - V_\varphi| (W_\varphi - V_\varphi) \pi \delta^2 \\ m \frac{dV_z}{dt} = mg + \frac{1}{2} \rho_0 |W_z - V_z| (W_z - V_z) \pi \delta^2 \end{cases} \quad (1)$$

Используя разработанную математическую модель движения одиночной частицы в закрученном газовом потоке, были получены теоретические кривые достижения частицей стенки перфорированного элемента в зависимости от: размера частиц; среднерасходной скорости газовой среды; угла закрутки газовой среды и т.д. С целью выявления области применимости полученных теоретических результатов были проведены экспериментальные исследования на опытной установке.

Анализируя полученный теоретический и экспериментальный материал, можно с достаточной точностью утверждать, что длину первого участка рабочего разделительного элемента можно принять равной двум диаметрам этого элемента на входе. Кроме того, следует отметить, что данный участок разделительного элемента целесообразно выполнять не из перфорированного, а из сплошного материала. Данное конструктивное решение позволит предотвратить необоснованные потери газовой среды из объема разделительного элемента и, как следствие сохранит первоначальную крутку газового потока.

В дальнейшем решалась задача по определению размеров отверстий перфорации рабочего элемента, через которые проходили бы частицы заданной крупности. Вполне реальна и обратная постановка задачи, кроме того возможна и такая задача, когда известен диаметр отверс-

тий перфорации и известен граничный размер зерна разделяемой смеси, необходимо найти условия (скорость газа, степень его закрутки и т. д.) при которых будет обеспечиваться требуемое разделение. В литературе отсутствуют сведения по результатам таких исследований, и поэтому определение величины граничного зерна разделения в перфорированном элементе при воздействии на него закрученного газового потока представляет как научный так и практический интерес.

Для решения поставленной задачи была более подробно рассмотрена физическая модель происходящих явлений. Было выявлено, что критерием прохождения частицы через отверстие перфорации является направление результирующей скорости центра тяжести частицы в момент соприкосновения с противоположной стенкой отверстия. Если результирующая скорость центра тяжести направлена таким образом, что линия действия этой результирующей пройдет выше точки соприкосновения частицы с этой стенкой, то возникнет момент, вырывающий частицу из отверстия, если ниже данной точки, то частица пройдет через отверстие.

В результате детального анализа сил воздействующих на частицу находящуюся непосредственно у отверстия перфорированного элемента, было получено квадратное уравнение для расчета необходимого диаметра отверстий перфорации через которые будут проходить частицы с диаметром равным или меньше δ .

$$\frac{0,36 \rho_0 W_{\text{ист}}^2 (d - \frac{\delta}{2})^2}{2 \delta \rho_n v_{\text{ст}}^2} + \frac{v_z (d - \frac{\delta}{2})}{v_{\text{ст}}} - \frac{\delta}{2} = 0 \quad (2)$$

Основными факторами влияющими на величину скорости частицы, входящую в данное уравнение, является скорость газового потока и степень его закрутки, определяемая углом наклона лопастей, а также диаметр и плотность частицы. Скорость частицы у стенки классифицирующего элемента в зависимости от всех выше перечисленных параметров была рассчитана на ЭВМ с использованием системы дифференциальных уравнений (1).

Скорость истечения воздуха через отверстия при наличии проточного течения газа вдоль перфорированного элемента, отлична от статических условий. Большинство исследователей учитывают этот фактор через поправку для коэффициента сопротивления, как функцию отношения скорости вдоль перфорированного элемента к скорости истечения. Для дальнейших расчетов была выбрана следующая зависимость:

$$\xi = 1 + \left(\frac{W}{W_{\text{крит}} \sin \psi} \right)^{1.2} \quad (3)$$

Величина давления у стенки перфорированного элемента зависит как от скорости движения газового потока, так и от конструктивных параметров. Для определения величины перепада давления проводились эксперименты на опытном перфорированном элементе.

После обработки результатов всех экспериментов по определению перепада давления газового потока на стенке перфорированного элемента была получена эмпирическая зависимость.

$$\Delta P = 80 P_0 W^2 (L/D)^{0.5} e^{\frac{1}{4.95 \psi}} e^{\frac{1}{5.38 \sin \psi}} \quad (4)$$

Зная составляющие скорости частицы при ее подходе к стенке перфорированного элемента, а так же скорость истечения газовой среды через эти отверстия, легко найти величину граничного зерна разделения. С этой целью необходимо воспользоваться полученным ранее выражением (2). Результаты таких расчетов приведены в диссертационной работе в графическом виде. Достоверность полученных результатов в дальнейшем проверена на экспериментальной установке. Результаты теоретических и экспериментальных исследований дали хорошую сходимость.

Основными показателями работы газоцентрибегных классификаторов являются эффективность разделения полидисперсных сыпучих материалов и производительность. На эффективность разделения влияют многие факторы, такие как: среднерасходная скорость и угол закрутки газового потока; нагрузка по твердой фазе; гранулометрический состав разделяемого материала; форма частиц материала и т. д. . Значительное влияние на эффективность классификации будут оказывать и геометрические параметры перфорированного элемента, такие как: длина, степень перфорации, конусность и т. д. .

Хотя конструкция газоцентрибегного классификатора весьма простая, однако процесс разделения представляет довольно сложную комбинацию физических явлений и влияние многих факторов на качество разделения приводит к сложности математического анализа, поэтому строгое математическое описание эффективности разделения не представляется возможным. Учитывая выше изложенное, для определения эффективности классификации в газоцентрибегных классификаторах был выбран метод эмпирических исследований. Результаты исследова-

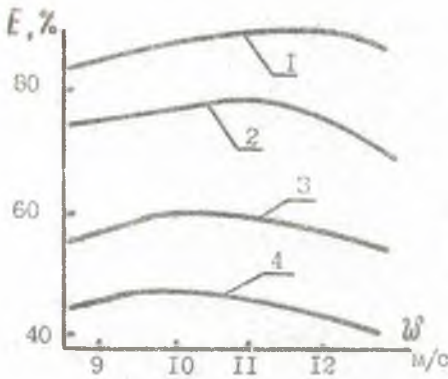


Рис. 2. Зависимость эффективности классификации от среднерасходной скорости газовой среды. Граничная крупность

1-0,08+0,14 мм; 2-0,14+0,315 мм;
3- 0,315+0,63 мм; 4- 0,63+1 мм

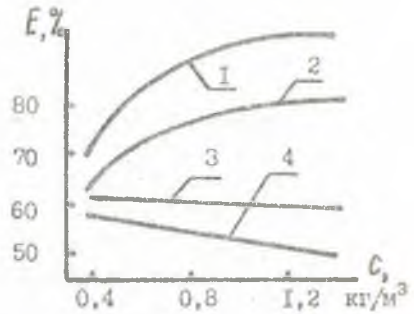


Рис. 3. Зависимость эффективности классификации от концентрации разделяемого материала в газовом потоке

1 - 0,08+0,14 мм; 2- 0,14+0,315 мм;
3- 0,315+0,63 мм; 4- 0,63+1 мм

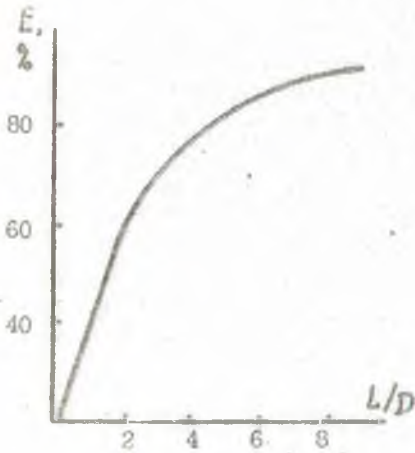


Рис. 4. Зависимость эффективности классификации от длины перфорированного элемента

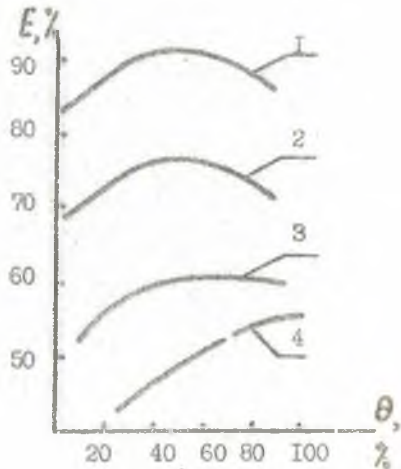


Рис. 5. Зависимость эффективности классификации от количества газовой среды, прошедшей через отверстия перфорации

1- 0,08+0,14 мм; 2- 0,14+0,315 мм;
3- 0,315+0,63 мм; 4- 0,63+1 мм

ний влияния на эффективность классификации среднерасходной скорости газовой среды, концентрации разделяемого материала в газовом потоке, длины перфорированного элемента и количества газовой среды прошедшей через отверстия перфорации приведены в графической форме на рис. 2 - рис. 5.

Все выше описанные исследования позволяют установить оптимальные конструктивно-технологические параметры для проведения процесса классификации в газоцентробежных классификаторах.

3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЕРЦИОННО-ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ.

Разработанные конструкции инерционно-отражательных классификаторов предназначены для выделения из смеси сыпучих материалов частиц с размером более 1 мм.

Принципиальная схема наиболее перспективного дискового инерционно-отражательного классификатора представлена на рис. 6.

При работе классификатора вал 1 с дисками 2 приводится во вращение. Так как воронки 3 с отбойным кольцом жестко крепятся к валу 1, то и они будут вращаться с такой же угловой скоростью. Через патрубок 9 в верхнюю воронку 3 подается полидисперсный материал на классификацию. Из воронки материал просыпается на диск 2 и начинает вращаться вместе с ним. За счет центробежной силы частицы начинают скользить по гладкой поверхности диска к краю, где срываются и по инерции двигаются к отбойному кольцу 5. Так как по вертикали между диском и отбойным кольцом устанавливается определенный зазор, то частицы, меньшие этого зазора, пролетают, не задевая отбойное кольцо, и, ударяясь о кожух 7, сползают вниз и через патрубки 10 удаляются из классификатора. Крупные частицы при вылете с диска ударяются об отбойное кольцо 5, падают вниз в камеру, образованную неподвижным кольцом 6 и кожухом 8, откуда они скатываются в воронку 3 нижележащего диска. Затем процесс разделения повторяется, но вертикальный зазор между диском и отбойным кольцом здесь больше. Таким образом, через патрубки 11 будут выводиться более крупные частицы. Самые крупные частицы, ударяясь об отбойное кольцо, будут падать вниз камеры и выводиться через патрубок 12. Очевидно, что количество классов, на которые разделится материал, зависит от количества дисков и колец, закрепленных на валу. Поднимая вверх или опуская вниз отбойное кольцо 5, можно регулировать размер отделяемых частиц.

С целью получения возможности практического использования данной конструкции были проведены теоретические и экспериментальные исследования. Наиболее ответственным моментом при работе дискового инерционно-отражательного классификатора является момент разгона разделяемых частиц по поверхности равномерно вращающегося диска. В начальный момент касания частицы с диском частица обладает скоростью относительно поверхности вращающегося диска.

Если скорость диска мала, то частица быстро потеряет имеющуюся относительную скорость и будет покоится на его поверхности. Если же скорость диска достаточна, то частица будет продолжать движение относительно его поверхности до того, как сорвется с его кромки.

Из выше сказанного видно, что минимальная скорость разбрасывающего диска должна обеспечивать беспрепятственное продвижение частицы вдоль всей его поверхности. Для теоретического определения такой скорости необходимо иметь функциональные зависимости, описывающие движение частицы вдоль поверхности разбрасывающего диска. Отдельными авторами предприняты попытки получить подобные зависимости аналитическим путем, однако использовать их для практических расчетов не представляется возможным, так как эти зависимости содержат несколько взаимно зависимых переменных и неопределенные коэффициенты. Поэтому были составлены дифференциальные уравнения, описывающие движение частицы по поверхности диска.

Движение частицы представим как сложное движение материальной точки, состоящее из переносного движения диска с постоянной угловой скоростью и относительного движения частицы по поверхности разбрасывающего диска. Так как относительное движение частицы по поверхности диска также является сложным, то его также необходимо разбить на относительное и переносное, т.е. данная задача является двухуровневой. В данном случае все величины, относящиеся к внешнему уровню, обозначим двумя штрихами, а величины, относящиеся к относительному движению частицы по диску, одним штрихом. Абсолютное ускорение частички можно записать следующим образом:

$$\bar{a} = \bar{a}_e'' + \bar{a}_e' + \bar{a}_e'' + \bar{a}_e' + \bar{a}_r' + \bar{a}_c' + \bar{a}_c'' \quad (5)$$

В данном случае на частицу действуют сила трения и силы сопротивления воздушной среды.

Направление и величину силы трения легко найти из классических представлений теоретической механики.

Сила сопротивления воздушной среды определяется разностью

абсолютных скоростей воздушной среды и частицы. Следует отметить, что воздушная среда вблизи вращающегося диска не покоится, а увлекаемая последним, приобретает движение. За основу было взято более точное решение этой задачи, предложенное В. Кохреном. Проанализировав это решение, можно сделать вывод, что радиальная составляющая несопоставимо мала с окружной составляющей скорости потока воздуха, и поэтому радиальной составляющей пренебрегаем. После аппроксимации имеющегося решения получена функциональная зависимость окружной составляющей скорости потока воздуха.

$$\omega r = 1,095 \sqrt{\omega e} \quad -0,154 Z \sqrt{\frac{\omega}{r}} \quad (6)$$

Для определенности форму частицы принимаем кубической, такая форма близка к реальной. Гидродинамические силы можно представить в виде

$$F = F_A + F_T \quad (7)$$

Разложим данные гидродинамические силы на радиальное и тангенциальное направления. Рассмотрим сначала все составляющие гидродинамических сил, действующие в радиальном направлении. Значение силы гидравлического (лобового) сопротивления F можно найти по формуле

$$F_A^2 = \frac{1}{2} \rho_0 \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \delta^2 \quad (8)$$

Силу воздействия касательных напряжений за счет обтекания частицы потоком воздуха верхней и двух боковых граней частицы можно найти по формуле

$$F_T^2 = 2,1 \rho_0 \mu^{0,5} \left(\frac{dr}{dt} \right)^{1,5} \delta^{1,5} \quad (9)$$

Рассмотрим все составляющие гидродинамических сил, действующие в тангенциальном направлении.

Сила гидравлического лобового сопротивления

$$F_A^T = \frac{1}{2} \rho_0 \left(\frac{dF}{dt} r + \omega r - 1,28 \frac{r}{\delta} \sqrt{\omega} \left(1 - e^{-0,154 \delta \sqrt{\frac{\omega}{r}}} \right) \right)^2 \delta^2 \quad (10)$$

Силы воздействия касательных напряжений на грани частицы в данных условиях надо находить отдельно для случая обтекания боковых граней и отдельно для обтекания верхней грани.

Для обтекания боковых граней частицы сила воздействия касательных напряжений запишется

$$F_{z\beta}^{\gamma} = 1,4 \rho_0^{0,5} \mu^{0,5} \left(\frac{d\gamma}{dt} r + \omega r - 1,28 \frac{r \sqrt{\omega \gamma}}{\delta} \left(1 - e^{-0,8548 \sqrt{\frac{\omega \gamma}{\delta}}} \right) \right)^{1,5} \delta^{1,5} \quad (11)$$

Для обтекания верхней грани частицы сила воздействия касательных напряжений запишется

$$F_{z\beta}^{\nu} = 0,7 \rho_0^{0,5} \mu^{0,5} \left(\frac{d\gamma}{dt} r + \omega r - 1,095 r \omega e^{-0,8548 \sqrt{\frac{\omega \gamma}{\delta}}} \right)^{1,5} \delta^{1,5} \quad (12)$$

Запишем основное уравнение динамики относительного движения материальной точки для нашего случая :

$$m \bar{a}_r = \bar{Q}_e + \bar{P}_e + \bar{F}_{TP} + \bar{F}_A + \bar{F}_C \quad (13)$$

Силы, входящие в выражение (13), были спроецированы на оси X и Y. В результате получена система дифференциальных уравнений, описывающая движение частицы по поверхности диска.

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^2 r + \omega^2 r - \omega \frac{d\gamma}{dt} r - f g \frac{\frac{dr}{dt}}{\sqrt{\left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + r^2 \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^2}} -$$

$$- \frac{1}{2} f \rho_0 \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \frac{\delta^2}{m} - 2,1 \rho_0^{0,5} \mu^{0,5} \left(\frac{dr}{dt} \right)^{1,5} \frac{\delta^{1,5}}{m}$$

$$\frac{d^2 \gamma}{dt^2} r + 2 \frac{d\gamma}{dt} \frac{dr}{dt} = -2 \omega \frac{dr}{dt} - f g \frac{r \frac{d\gamma}{dt}}{\sqrt{\left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + r^2 \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^2}} + \quad (14)$$

$$+ \frac{1}{2} f \frac{\rho_0}{m} \left(\frac{d\gamma}{dt} r + \omega r - \frac{1,28 r \sqrt{\omega \gamma}}{\delta} \left(1 - e^{-0,8548 \sqrt{\frac{\omega \gamma}{\delta}}} \right) \right)^2 \frac{\delta^2}{m} + 1,4 \rho_0^{0,5} \mu^{0,5}$$

$$\left(\frac{d\gamma}{dt} r + \omega r - 1,28 \frac{r \sqrt{\omega \gamma}}{\delta} \left(1 - e^{-0,8548 \sqrt{\frac{\omega \gamma}{\delta}}} \right) \right)^{1,5} \frac{\delta^{1,5}}{m} + 0,7 \rho_0^{0,5} \mu^{0,5} \left(\frac{d\gamma}{dt} r + \omega r - 1,095 r \omega e^{-0,8548 \sqrt{\frac{\omega \gamma}{\delta}}} \right)^{1,5} \frac{\delta^{1,5}}{m}$$

Система дифференциальных уравнений (14) полностью описывает движение одиночных частиц по поверхности разбрасывающего диска. Решить систему этих уравнений аналитическим методом не представля-

ется возможным, поэтому данная система дифференциальных уравнений решалась численно методом Рунге-Куты.

С целью определения минимальной скорости вращения диска, при решении полученной системы дифференциальных уравнений задавались размер частицы, ее плотность, радиус удаления от оси вращения, точки касания этой частицы с поверхностью равномерно вращающегося диска. Подставляя различные величины скорости вращения диска, определялась та минимальная скорость при которой частица в данных условиях может достигнуть кромки этого диска. Результаты данных теоретических исследований приведены на рис. 7. Правомерность результатов теоретических исследований подтверждена экспериментальным путем.

Большой практический интерес представляет величина абсолютной скорости частицы в момент ее схода с поверхности равномерно вращающегося диска. С этой целью был проведен ряд теоретических расчетов на ЭВМ.

Анализируя принцип работы дискового классификатора, не трудно заметить, что высокой эффективности разделения в данной конструкции можно добиться лишь в том случае, когда частицам сыпучего материала будет придаваться скользкое движение по поверхности разбрасывающего диска. Исходя из этого, можно сделать заключение, что максимальная скорость разбрасывающего диска будет ограничена условием придания частицам разделяемого материала максимальной скорости скольжения. Нарушение же скользкого движения частиц может возникнуть за счет градиента скорости потока воздуха, срывающего эту частицу, и воздействия на нее центробежной силы. Для определения критического случая, момента опрокидывания частицы, использовался полный принцип Даламбера. В результате были получены выражения содержащие большое количество взаимозависимых и постоянно меняющихся параметров. Определение критических случаев осуществлялось косвенным путем, посредством подстановки этих выражений в программу вычислений движения одиночной частицы по поверхности равномерно вращающегося диска. При решении данной программы при помощи ЭВМ, на каждом шаге производились расчеты по этим выражениям для выявления момента опрокидывания частицы. В результате на основании большого числа выполненных решений было обнаружено, что для частиц кубической формы, в диапазоне реальных коэффициентов трения и угловых скоростей вращения разбрасывающего диска опрокидывание частиц не происходит.

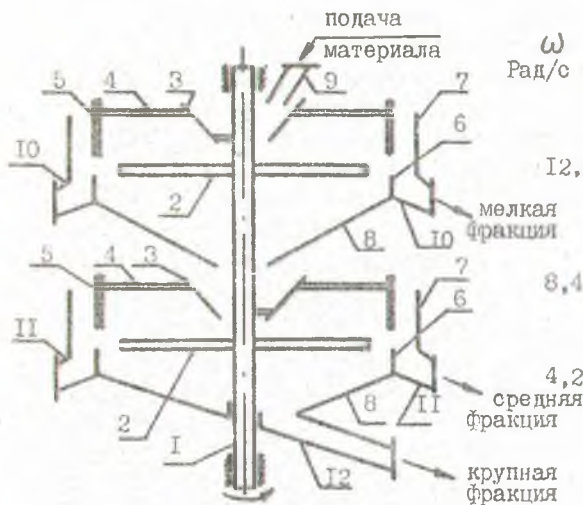


Рис. 6. Схема дискового инерционно-трагательного классификатора

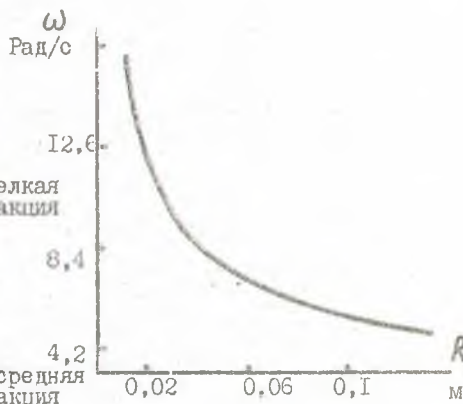


Рис. 7. Зависимость минимальной скорости вращения диска от радиуса ввода частиц

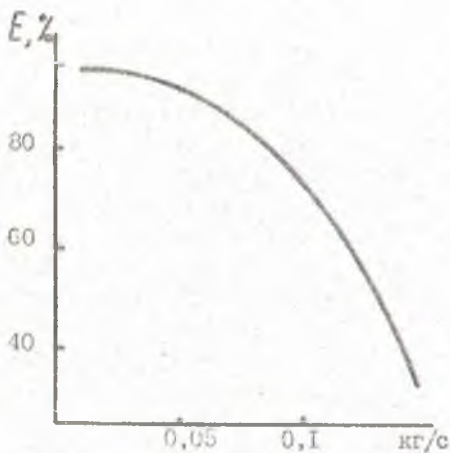


Рис. 8. Зависимость эффективности классификации от производительности по исходной смеси

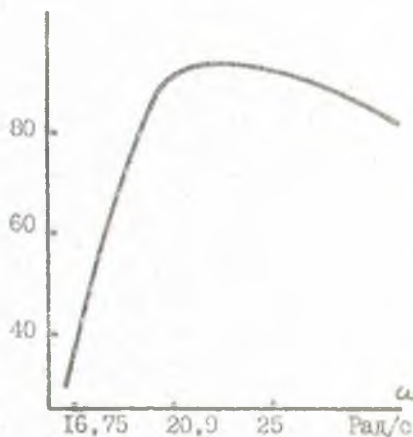


Рис. 9. Зависимость эффективности классификации от скорости вращения диска

Были проведены опыты по изучению влияния на эффективность классификации производительности по исходному сыпучему материалу и угловой скорости вращения разбрасывающего диска.

Изменение эффективности разделения от производительности по исходной смеси сыпучего материала, представлено на рис. 8.

Результаты экспериментов по изучению влияния на эффективность классификации угловой скорости вращения диска представлены на рис. 9.

4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Результаты экспериментальных исследований разработанных конструкций классификаторов показали их высокую эффективность, что является основой для внедрения их в производство.

При совместном творческом сотрудничестве с производственным кооперативом "Технолог" газоцентробежный классификатор был использован при разработке принципиально новой конструкции машины для производства перловой крупы.

В разработанной машине благодаря использованию газоцентробежного классификатора весь процесс получения крупы, состоящий из стадий шелушения, шлифования и полирования, осуществляется в одном агрегате.

В настоящее время кооператив "Технолог" освоил серийное производство таких машин, и их уже изготовлено около 50. Промышленные испытания показали, что расход электроэнергии на получение 1 кг. крупы снизился с 0,12 кВт/ч в линиях старого образца до 0,05 кВт/ч в новых машинах. В настоящее время машины производства перловой крупы успешно эксплуатируются во многих колхозах, совхозах, фермерских и арендных хозяйствах республики. На конструкцию машины оформлена заявка для получения патента.

Результаты исследований дискового инерционно - отражательного классификатора также были предложены кооперативу "Технолог". Серийно выпускаемая раньше машина не обеспечивала хорошего отделения крупы от шелухи. Содержание шелухи в готовом продукте достигало 5 %, и наоборот содержание дробленой крупы в шелухе достигало 3 %. Это приводило к снижению качества готового продукта и большим его потерям при частичном его удалении с шелухой.

Промышленные испытания показали, что такой классификатор обеспечивает сто процентное отделение крупы от шелухи и в шелухе содержит не более 1 % крупы, причем только дробленой. В настоя-

щее время все установки для производства гречневой крупы оснащаются только дисковыми инерционно-отражательными классификаторами.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

1. На основании критического анализа известных способов и конструкций для классификации сыпучих материалов разработаны принципиально новые высокоэффективные конструкции классификаторов, отличающиеся от ранее известных высокой эффективностью разделения и отсутствием забивки классифицирующей поверхности.

2. Изучены физические модели процессов разделения в газоцентробежных и инерционно-отражательных классификаторах. Разработаны математические модели: а) свободного движения твердой одиночной частицы под воздействием закрученного газового потока в перфорированном элементе; б) движения частицы по поверхности равномерно вращающегося диска с учетом воздействия на нее окружающей среды. Получена полуэмпирическая зависимость для определения граничного зерна разделения, в газоцентробежных классификаторах. Экспериментально исследовано влияние на эффективность классификации конструктивно-технологических параметров. На основании выше изложенного разработана инженерная методика расчета разработанных конструкций классификаторов.

3. Даны рекомендации по области применения, проектированию и инженерному расчету разработанных конструкций классификаторов.

4. Внедрения и промышленные испытания разработанных конструкций классификаторов показывают высокую надежность и эффективность данных аппаратов. Результаты сравнения показали снижение энергоемкости более чем в два раза, металлоемкости в 5-15 раз.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах.

1. А. с. N 1510951 СССР. Устройство для разделения суспензий. Левданский Э. И., Кохно Н. П., Плехов И. М., Зайцев А. И. и Левданский А. Э. - Оpubл. 1989 Бюл. N 36.

2. А. с. N 1232302 СССР, Центробежный классификатор. Левданский Э. И., Вайтехович П. Е., Волк А. М., Левданский А. Э., Твердовская Е. Г. - Оpubл. 1986, Бюл. N 19.

3. Левданский Э. И., Левданский А. Э., Волк А. М. Разработка и исследование газоцентробежных классификаторов полидисперсных материалов. Труды Белорусского технологического института. Выпуск N 1., Т. Химия и технология неорганических веществ. Минск, 1993, с.

65-68 .

4. Левданский Э. И., Волк А. М., Труханович В. Б., Левданский А. Э. Исследование поведения частиц при проточном фильтровании суспензий. На прав. рукописи. Депон. в ЦИТИ-химнефтемаш, N 20008 - ХН, 1989.

Б. Волк А. М., Левданский А. Э. Разработка и исследование газопленочного сгустителя суспензий. // Гидромеханические процессы разделения гетерогенных систем. - Тамбов. 1991.

6. Левданский А. Э., Плехов И. М., Левданский Э. И., Бокун Г. С. Разработка и исследование дискового классификатора. Труды Белорусского технологического института. Выпуск N 1., Т. Химия и технология неорганических веществ. Минск, 1993, с. 74-78 .

7. А. с. N -1600847 СССР. Фильтр - сгуститель. Бобрович В. А., Кохно Н. П., Ковалев А. Р., Левданский А. Э. - Оpubл. 1990. Бюл. N 39.

Условные обозначения.

δ - размер частицы, м; d - размер отверстия перфорации, м; L - длина элемента, м; R - радиус, м; D - диаметр, м; r - текущий радиус, м; φ - угол поворота частицы по поверхности диска, рад; ψ - угол наклона лопастей завихрителя, град; W - скорость газа, м/с; V - скорость частицы, м/с; ω - угловая скорость вращения, рад/с; a - ускорение частицы, м/с²; g - ускорение свободного падения, м/с²; C - концентрация частиц твердой фазы в газовом потоке, кг/м³; ρ - плотность, кг/м³; m - масса частицы, г; F - сила, Н; Φ - сила инерции, Н; ΔP - перепад давления на стенке перфорированного элемента, Па; τ - касательные напряжения сил трения, Н/м; μ - динамический коэффициент вязкости среды, Н·с/м²; ν - кинематический коэффициент вязкости среды, м²/с; ξ - коэффициент гидродинамического сопротивления отверстия; f - коэффициент трения; θ - количество газовой среды прошедшей через отверстия перфорации, %.

Индексы

z - в осевом направлении; r - в радиальном направлении; φ - в касательном, направлении; o - относящийся к газовой фазе; ист - относящийся к истечению газа через отверстия перфорации; ч - относящийся к частице; тр - трения; эл - перфорированного элемента; с - кориолисово; e - перепонное; r - относительное.

А.И.С.

Левданский Александр Эдуардович
СОРТИРОВКА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ГАЗОЦЕНТРОБЕЖНЫХ
И ИНЕРЦИОННО-ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ КЛАССИФИКАТОРАХ

Подписано в печать 20.01.94. Формат 60x84^I/16. Печать
офсетная. Усл.печ.л.1,4. Усл.кр.-отт.1,4. Уч.изд.л. 1,2.

Тираж 80 экз. Заказ 25

Белорусский государственный технологический университет.
220630. Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротапринтере БГТУ. 220630. Минск, Свердлова, 13.