

Двтор ер.
П 28

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М.В.ДОМОНОСОВА

На правах рукописи

Песчаный Евгений Федорович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ ПОРОШКООБРАЗНЫХ
ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ В ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Специальность 05.18.12 -- процессы и аппараты пищевых
производств

Переучет 1984

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Одесса - 1980

SW

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Широкое применение тонкоизмельченных материалов в пищевой, химической, горнообогатительной отраслях промышленности, производстве источников тока, твердых топлив возможно только при наличии достоверных методов определения их дисперсности, которая определяет качество готового продукта, энергетические затраты при производстве порошка, степень уноса тонкодисперсной фракции в атмосферу и т.д. Внедрение автоматических систем управления технологическими процессами и повышение производительности труда требуют разработки экспрессных методов контроля гранулометрического состава и создания автоматических первичных преобразователей контроля дисперсности.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ заключается в исследовании процесса псевдооживления порошкообразных пищевых продуктов в импульсном электрическом поле и разработке электроимпульсного метода автоматической классификации тонкодисперсных порошкообразных материалов.

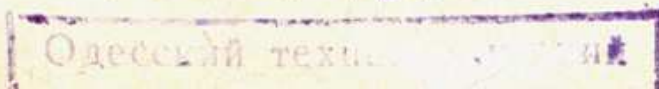
В ОСНОВУ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ были положены:

- теоретические определения влияния параметров поля на пространственное распределение полидисперсных частиц и время витания;
- экспериментальное исследование явления отрыва частиц от высоковольтного электрода и с поверхности агрегатов, определение электродинамических характеристик отдельных частиц;
- зондирование псевдооживленного слоя и экспериментальное исследование приборной реализации метода;
- статистическая обработка экспериментальных данных.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ - тонкодисперсные порошкообразные пищевые продукты:

- метод автоматической классификации частиц в электроимпульсном поле путем зондирования взвеси;
- метод селективной подачи частиц;

013425



- метод сепарации частиц по форме.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА работы состоит в том, что в ней:

- обоснована избирательность воздействия импульсного электрического поля на частицы различных размеров;
- экспериментально подтверждено наличие эффекта классификации частиц полидисперсной среды, находящихся в межэлектродном пространстве и образующих псевдооживленный слой;
- определены основные электродинамические характеристики псевдооживленных систем, образуемых воздействием импульсного электрического поля на порошкообразные пищевые продукты;
- разработаны основные принципы построения датчиков контроля степени дисперсности частиц псевдооживленных в импульсном электрическом поле;
- для описания формы частиц использована методика, позволяющая прогнозировать поведение частиц различной формы в переменном электрическом поле;
- осуществлена и исследована приборная реализация метода классификации полидисперсных систем в импульсном электрическом поле.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ заключается в разработке аппаратуры автоматического измерения степени дисперсности материалов в диапазоне размеров единицы-сотни мкм. Использование данной аппаратуры в системах автоматического управления технологическими процессами повышает экспрессность и позволяет вести технологические процессы измельчения с минимальным запаздыванием. Разработанный способ сепарации частиц по форме позволяет надежно и корректно характеризовать форму частиц порошкообразного материала.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Выводы и положения, явившиеся результатом работы, прошли проверку в процессе ведения научно-исследовательских изысканий по созданию аппаратуры экспрессного анализа гранулометри-

ческого состава порошков.

Основные положения диссертационной работы были изложены и получили одобрение на III Всесоюзной научно-технической конференции "Механика сыпучих сред" (Одесса, 1975г.), на двенадцатой Всесоюзной конференции по вопросам испарения, горения и газовой динамики дисперсных систем (Одесса, 1976г), на III Всесоюзной научной конференции по использованию электронной технологии (Ереван, 1978г.), на II Всесоюзной конференции по электронно-ионной технологии в промышленности (Тбилиси, 1978г.).

ПУБЛИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ. По теме диссертации опубликовано 7 работ.

СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, выводов и приложений. Работа изложена на 195 страницах машинописного текста, включает 39 рисунков, 25 таблиц. Библиография 139 наименований.

Характер процессов измельчения, обогащения, сепарирования, экстрагирования и других, где промежуточными продуктами являются порошковые материалы, в основном определяется степенью их дисперсности. Это относится к пищевым дисперсным продуктам и особенно продуктам детского питания, порошкам используемым в качестве катализаторов, для химических источников тока, для твердых топливных элементов, строительных материалов, наполнителей в микроэлектронной технологии и др. Дисперсность продукта, являясь показателем качества порошкообразного материала, естественно отвечает требованиям критерия, по которому возможно автоматическое управление технологическим процессом. Понятно, что возможности интенсификации процессов измельчения и экстрагирования, в основном, определяются точностью, надежностью и экспрессностью первичных датчиков гранулометрического состава. Этим требованиям отвечают первичные преобразователи, где операции

отбора и подготовки пробы к анализу отсутствуют либо сведены к минимуму, а сам процесс измерения гранулометрического состава полностью автоматизирован, информация получается в виде удобном для автоматизации процесса и длительность измерения не превышает нескольких минут.

Исследованию таких методов посвящены работы О.А.Мяздрикова, Н.К.Наремского, М.М.Пашина, Л.И.Калакутского, В.И.Белова, И.Б.Зеленова, О.С.Курбатова, А.А.Подольского и др. Причем, как правило, указанные авторы при разработке датчиков используют электрические поля высокой напряженности. На значительные возможности воздействия электрических полей высокой напряженности на дисперсные системы указывается в работах В.И.Попкова, И.П.Верещагина, Е.Н.Бершева, В.И.Ревнивецова, А.И.Ангелова, Ю.Н.Набиулина, В.И.Левитова, Н.Ф.Олофинского, И.Н.Плаксина и др. Их работы явились основополагающими при разработке и использовании методов электронно-ионной технологии в научных исследованиях и промышленности.

Обзор методов гранулометрического анализа основанных на использовании электрических полей позволяет поставить следующие задачи исследования:

- обоснование избирательности воздействия импульсного электрического поля на полидисперсную систему;
- разработка принципов построения датчиков контроля дисперсности, основанных на эффекте разделения материала различной крупности по высоте;
- определение предельных режимных параметров электрического поля для создания устойчивого аэрозольного столба;
- определение предельной концентрации частиц в датчике;
- разработка методики описания частиц по форме;
- разработка устройства для разделения частиц по форме.

Применение импульсного электрического поля высокой напряженности для исследования дисперсных материалов обеспечивает воздействие электрической энергии на дисперсный продукт без промежуточных преобразований, что позволяет иметь большое число простых управляющих параметров (напряженность, частота, скважность, форма импульса, конфигурация поля) при значительном диапазоне регулирования. Возможность широкого и плавного управления параметрами электрического поля, воздействующего на дисперсный материал, помещенный, например, в систему электродов, ограниченную с боков диэлектрическим корпусом, позволяет создавать в межэлектродном пространстве устойчивый электрически псевдооживленный слой различной структуры. Структура образованного аэрозольного динамического столба определяется параметрами электрического поля и физико-химическими характеристиками дисперсного материала. При заданных параметрах поля и постоянстве влажности, температуры и неизменности химического состава порошка, что как правило, можно обеспечить при измерительных операциях, структура аэрозольного облака, предельная высота витания, изменение концентрации по высоте столба полностью определяются гранулометрическими характеристиками исследуемого материала.

Теоретическое обоснование исследуемого метода определения дисперсности продуктов построено на доказательстве избирательности воздействия импульсного электрического поля на сферические частицы порошка различного размера.

Так, уравнение движения частицы в импульсном электрическом поле для Стоксовского режима обтекания

$$\frac{m d^2 z}{dt^2} = q(a_0 + \sum_1^{\infty} a_n \cos n\omega_0 t + \sum_1^{\infty} b_n \sin n\omega_0 t) - mg - 6\pi\eta r \frac{dz}{dt} \quad (I)$$

имеет следующее решение относительно высоты витания

$$z = \frac{1}{p} \left[\sum L_n \frac{n\omega_0}{p^2 + n^2\omega_0^2} - \sum R_n \frac{p}{p^2 + n^2\omega_0^2} - \frac{Q}{p} \right] [1 - e^{-pt}] - \sum R_n \frac{1}{p^2 + n^2\omega_0^2} - \sum L_n \frac{n\omega_0}{p^2 + n^2\omega_0^2} + \frac{Q}{p} t + \sum R_n \frac{\frac{p}{n\omega_0} \sin n\omega_0 t - \cos n\omega_0 t}{p^2 + n^2\omega_0^2} - \sum L_n \frac{\frac{p}{n\omega_0} \cos n\omega_0 t + \sin n\omega_0 t}{p^2 + n^2\omega_0^2}, \quad (2)$$

где m , z , q , \mathcal{E} - масса, высота витания, заряд и размер частицы соответственно;

D , Q , L_n , R_n - коэффициенты, определяющиеся параметрами поля и характеристиками частицы.

Анализ выражения (2) позволяет утверждать, что высота витания частицы является осциллирующей функцией, которая изменяясь от нуля достигает некоторого абсолютного максимума, опять возвращается в нуль. То есть частица, оторвавшись от электрода, осциллируя с небольшой амплитудой колебаний, достигает своего предельного уровня витания для данных условий отрыва, продолжая осциллировать, возвращается на нижний электрод.

Доказано, что при определенных параметрах электрического поля можно создать такие условия движения частиц полидисперсного порошка, что в пределах размеров от \mathcal{E}_{min} до \mathcal{E}_{max} зависимость предельной высоты витания от размера является однозначной. Причем высота витания, тем меньше, чем крупнее частица. Значение \mathcal{E}_{min} определяется условиями отрыва и означает тот наименьший размер частиц, которые отрываются при данных параметрах поля от электрода. Для определения \mathcal{E}_{max} предлагается формула

$$\mathcal{E}_{max} = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{(k+1)E_0^2}{g\rho^2}}, \quad (3)$$

где k - степень разнополярности импульсов,

E - напряженность электрического поля, соответствующая вершине импульса,

- σ - поверхностная плотность заряда частицы,
- η - динамическая вязкость среды,
- g - ускорение тяготения,
- ρ - плотность материала частиц.

Таким образом доказывается избирательность воздействия импульсного электрического поля на полидисперсный порошок, которая приводит к пространственному разделению частиц различной крупности.

Для образования псевдооживленного аэрозольного облака необходимым требованием является отрыв частиц от электрода либо с поверхности слоя порошка. Достаточным условием для отрыва частицы есть выполнение неравенства

$$F_{\text{э}} > F_{\text{св}} + F_{\text{в}}, \quad (4)$$

- где $F_{\text{э}}$ - электростатическая сила отрыва, действующая на частицу, находящуюся на нижнем электроде,
- $F_{\text{св}}$ - сила адгезионной либо когезионной связи, зависящая от размера частицы, условий контакта, формы, состояния поверхности и прочих факторов,
- $F_{\text{в}}$ - сила веса частицы.

Из (4) следует выражение для граничного наименьшего значения напряженности поля, при котором возможен отрыв частицы от электрода

$$E_{\text{зр}} = \frac{m(\xi, \psi) [g + F_{\text{св}}(\xi, \eta)]}{q(\xi, E, \psi)}, \quad (5)$$

- где $m(\xi, \psi)$ - масса частицы, определяемая размером, формой, плотностью и др. факторами,
- $q(\xi, E, \psi)$ - заряд частицы, являющийся функцией размера, напряженности поля, условий контактирования, формы и др.

Как видно из (5) на значение напряженности отрыва влияют размер,

масса частицы и такие факторы как форма частицы, условия контактирования, состояние поверхности как частицы так и электрода. Причем величина вклада последних является случайной. Следовательно, получение точного значения E_{2p} из (5) невозможно. Однако, анализ выражения (5) позволяет правильно интерпретировать экспериментальные результаты по определению E_{2p} .

В практике получения электрически псевдооживленного слоя важным параметром является напряженность поля соответствующая началу псевдооживления частиц со слоя, т.е. отрыв частиц контактирующих не с электродом, а друг с другом. Результаты определения напряженности отрыва от размера приведены на рис. I.

Характер кривых полностью соответствует уравнению (5). Понятно, что для крупных частиц (сотни мкм) силы веса преобладают над адгезионными, поэтому с увеличением размера растет необходимая для отрыва напряженность поля. С уменьшением размера до 30-60 мкм характер кривой несколько изменяется и, начиная с момента, где силы адгезии превышают силы веса, необходимая для отрыва напряженность начинает расти, причем субмикронные частицы практически можно оторвать лишь обеспечив пробой в межэлектродном пространстве. Из условий отрыва нижний предел метода ограничен размером $(0,5 + I)$ мкм, а верхний определяется весом частицы и для металлов доходит до 1000 мкм, для органических порошков до 1500 мкм. Кривые (1) и (2) соответствуют отрыву одиночных частиц и со слоя. Некоторое различие в ходе кривых объясняется агрегированием частиц. Следует указать, что при загрузке на нижний электрод избыточного количества материала, отрыв частиц оказывается существенно затрудненным, а зачастую и невозможным. Вызвано это уплотнением материала на электроде, происходящим при ударах витающих частиц по поверхностному слою порошка. Для определения массы загружаемого продукта можно рекомендовать эмпирическую

ЗАВИСИМОСТЬ.

$$m = k\rho V E H, \quad (6)$$

где k — эмпирический коэффициент зависящий от формы частиц, функции распределения размеров, условий эксперимента, характеристик поля его величина для широких пределов изменений формы, поля, материалов равна

$$(1 \pm 0,1) \times 10^{-6} \frac{1}{B};$$

V — объем камеры межэлектродного пространства.

Под E следует понимать такое значение напряженности, которое обеспечивает отрыв всего размерного диапазона частиц в смеси, для H подразумевается модальное значение.

На точность определения гранулометрического состава существенное влияние оказывает агрегирование порошка. Исследуемый метод имеет значительные преимущества перед остальными, где требуется предварительная подготовка пробы. Как показали эксперименты при колебательном движении в межэлектродном пространстве имеющиеся агрегаты разрушаются и через 20 — 80 сек после подачи напряжения порошок оказывается подготовленным к анализу.

Важным параметром при воздействии на дисперсную систему импульсным электрическим полем является частота питающего напряжения. Естественно, что предельная максимальная частота определяется временем отрыва частиц от электрода, а минимальная — временем пролета частицы между электродами. В исследуемом методе колебательное движение частиц предусмотрено без касания верхнего электрода, поэтому минимальная предельная частота несколько больше частоты колебаний в постоянном поле.

Для исследованных материалов рабочий диапазон частот находится в пределах десятки-сотни Гц.

Экспериментальное определение напряженности и времени отрыва,

отношения заряда к массе позволили выбрать диапазон изменения параметров электрического поля по частоте, скважности, разнополярности, амплитуде питающего напряжения.

Витающие частицы, как указывалось выше, образуют аэрозольный столб переменной структуры, причем показано, что плотность вероятности распределения их по высоте при нулевых начальных условиях для режима симметричных импульсов можно описать выражением

$$\varphi(z) = \frac{f^2}{A\sqrt{A^2 - Bzf^2}}, \quad (7)$$

где f - частота поля,

A и B - коэффициенты определяемые параметрами поля и частицы.

Максимальная высота витания частицы определяется из зависимости

$$z_{max} = \frac{A^2}{8\pi^2 f^2 g} \quad (8)$$

Так как коэффициент A включает отношение заряда частицы к ее массе, то из (8) вытекает, что максимальная высота витания уменьшается с ростом размера частицы.

Для частиц, представленных слабопроводящими либо диэлектрическими материалами, где контактное зарядение обусловленное, преимущественно, поверхностной проводимостью за счет адсорбированной влаги, загрязнений либо другими причинами, идет с малой скоростью, выражение (7) оказывается удовлетворительно описывающим вероятность нахождения частицы на некотором уровне. Об этом свидетельствуют экспериментальные данные по определению концентрации взвеси на различных уровнях сканирования, проведенные на монодисперсных порошках муки, крахмала, кофе, ПСБ-3 и др. Так, на рис. 2 приведен график изменения концентрации электрически псевдооживленного облака по высоте для муки "а" и алюминия "б" при симметричном напряжении

Зависимости имеют три четко выраженные области. Первая характеризует приэлектродный участок, повышенная концентрация объясняется процессами перезарядки, микрокоронирования, соударениями, нулевой начальной скоростью. Вторая определяет зону рабочих изменений высоты сканирования. Для этой области хорошо работают предлагаемые теоретические зависимости. И третья зона характеризует предел высоты витания частиц при данных параметрах поля.

Ход кривых в области II имеет различный вид по следующей причине. Частицы проводящих материалов перезаряжаются практически мгновенно, поэтому удар их об электрод носит упругий характер и, следовательно, фаза отрыва является случайно распределенной для всего периода воздействующих импульсов. Нулевые условия отрыва естественно полагать распределенными по равномерному закону. Поэтому из (2) следует равномерное распределение высоты от 0 до Z_{max} .

Для слабопроводящих материалов удар является неупругим, длительность процессов перезарядки соизмерима с длительностью воздействующих импульсов, поэтому фаза отрыва является величиной вполне определенной и следовательно плотность вероятности нахождения частицы на некотором уровне может быть описана (7).

Полученные теоретические и экспериментальные данные по пространственному разделению частиц различной дисперсности в импульсном электрическом поле, а также закономерности взаимодействия электромагнитного излучения оптического диапазона с дисперсной системой позволили разработать метод измерения гранулометрического состава электрически псевдооживленного порошка. Для этого производится сканирование столба взвеси оптическим лучом на различных уровнях от Z_{min} до Z_{max} , причем Z_{max} соответствует предельной высоте витания наименьших частиц полидисперсной среды.

Показано, что логарифм отношения интенсивности светового потока

на выходе взвеси для уровня h_e к нулевому потоку определяется выражением

$$e_n \frac{I_{h_e}}{I_0} = K \pi h_e t_0 \int_0^\infty \varphi(\xi) \xi^2 d\xi \int_{h_{e-1}}^{h_e} \varphi(z) dz, \quad (9)$$

где e - номер уровня сканирования.

А для двух соседних уровней можно записать

$$\frac{I_{h_{e-1}}}{I_{h_e}} = \frac{\sum_{k=1}^{K-P} \varphi_k(\xi) \xi^2 \int_{h_{e-1}}^{h_e} \varphi(z) dz \Big|_{\xi=\xi_k}}{\sum_{k=1}^{K-P} \varphi_k(\xi) \xi^2 \int_{h_{e-2}}^{h_{e-1}} \varphi(z) dz \Big|_{\xi=\xi_k}} \quad (10)$$

На основе экспериментальных данных значения интеграла в выражении (10) находятся легко. Левая часть определяется по результатам зондирования взвеси, а искомые значения для плотности вероятности функции распределения частиц по размерам $\varphi(\xi)$ вычисляются решением системы алгебраических уравнений. Понятно, что необходимо выполнить условие $e \geq P$, где P - число классов гистограммы распределения.

Использование разделительных свойств импульсного электрического поля на дисперсную среду позволяет также предложить метод дифференциального гранулометрического анализа с поштучным исследованием частиц, причем подача частиц в зону регистрации осуществляется избирательно по мере увеличения размера. Работа устройств построенных по такому принципу осуществляется в следующем порядке. В специальную камеру вносится проба порошка, последовательным изменением режимов питания электродов обеспечивается вывод частиц и подача их в зону измерения. Причем достаточно, чтобы схема лишь обеспечивала регистрацию сигнала, например, ФЭУ фиксирует часть светового потока рассеянного частицей при пересечении сканирующего луча без условий сохранения линейности преобразования. Последовательная пораз-

мерная подача частиц требует лишь подсчета их количества соответствующего своему режиму электрического поля и относящегося к каждому размерному диапазону. Такая разновидность метода фотоэлектрического сканирования позволяет анализировать широкий размерный диапазон с размахом до трех порядков, без перенастройки сканирующего устройства. Кроме того, создается возможность пренебречь нелинейностью преобразования "размер-сигнал". Возможность простого подсчета импульсов безусловно упрощает электрическую схему регистрации, отпадает необходимость включения сложных и дорогостоящих устройств анализа импульсов.

Гранулометрический анализ является многоплановой задачей, где основополагающими элементами выступают такие ключевые понятия как размер и форма частиц. Следует сказать, что использование до настоящего времени этих терминов в различных литературных источниках неоднозначное. Так, существует целый ряд средних, наибольших, наименьших, определяющих и прочих размеров. Что касается формы, то наблюдается еще большее число количественных параметров и факторов формы: сферичность, удлиненность, окатанность и прочие. По нашему мнению, такое положение безусловно способствует пониманию и трактовке конкретных физических свойств и процессов, определяемых гранулометрическими характеристиками порошка. Однако синтетические задачи обобщения, аналогии оказываются затрудненными. Для решения таких задач следует предложить описание размера и формы частицы, основанное лишь на геометрических представлениях об исследуемой частице. Таковым, по нашему мнению, может быть функция распределения длины радиуса-вектора, проведенного с центра тяжести частицы до точек поверхности. Используя приемы методов статистики просто и корректно описывается размер частицы, под которым следует понимать математическое ожидание радиуса-вектора. Кроме того, оказываются легко определимы все имеющиеся ко-

личественные показатели формы.

Практически для подавляющего большинства исследуемых материалов оказалось, что распределение имеет равномерный характер либо даже антимодальный (для проекций близких к эллипсам). Если полагать ориентацию частиц на предметном столике случайной, что вполне оправдано, то для получения распределения радиуса-вектора по объему частицы достаточно объединить результаты измерений по шести-восьми контурам, принадлежащим различным частицам из одной размерной группы. Выявлено, что последнее распределение для многих порошков оказалось логарифмически-нормальным. Повидимому, для измельченных материалов этот закон имеет некоторую универсальность. Его применимость для описания формы, вообще говоря, понятна, так как естественно при измельчении ожидать большее число малых отклонений, чем больших. Малые отклонения формируются на меньших участках поверхности и при образовании требуют меньших порций энергии. На рис. 3 представлены типичные гистограммы распределения для одиночных контуров и объединенных из 8 контуров, где N - частость (для мукки).

Нами показано, что частицы различных размерных групп из данной полидисперсной совокупности, как правило, имеют одинаковый закон распределения с воспроизводимостью относительных параметров, таких как: коэффициент вариации, отношение наибольшего размера к наименьшему и др.

По нашему мнению, одним из существенных достоинств предлагаемого метода описания формы является возможность введения качественных и количественных соотношений между параметрами закона распределения и реальными физическими характеристиками сыпучих материалов: удельная поверхность, площадь контактирования, величина заряда приобретаемого при контактной зарядке и возможно угол трения, текучесть и др.

Предлагаемая методика описания формы позволила предсказать возможность сепарации частиц по форме в устройствах, использующих импульсное электрическое поле между двумя электродами. Экспериментальная проверка сепарирующих свойств устройства проводилась на искусственно синтезированных смесях металлических порошков и подтвердила теоретический прогноз. Так, создавались бинарные смеси порошков одной размерной группы различной формы - близкой к сферической и удлиненной. Для одного режима питания межэлектродного пространства предельная высота витания частиц неправильной формы оказалась меньше, чем для шаров. Получено выражение максимальной высоты витания для частиц неправильной формы с логнормальным распределением радиуса-вектора.

$$Z_{max}^{ch} = \left[\frac{3}{\rho} \frac{1}{\mu_0 \exp(\frac{5}{2} \sigma_0^2)} \right]^2 L, \quad (II)$$

где σ_0 - дисперсия логнормального распределения,
 μ_0 - мода распределения,
 L - множитель определяемый параметрами поля и среды.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований выполненных в диссертационной работе легли в основу разработки электро-сепаратора для огнетушащего порошка ПСБ-2, внедренного во ВНИИПО, а также явились основой при создании электроклассификатора тонкодисперсных порошков пищевых продуктов (кофе, напиток "Летний"). Производственные испытания и внедрение последнего на КПК г. Одессы позволили определить следующее:

1. Погрешность определения частоты классов прибором с доверительной вероятностью 0,95 составляет 5%.

2. Сходимость результатов с контрольным микроскопическим анализом не хуже 5% для модальных классов.

№. 0. 13425

3. Время проведения анализа не более 5 мин.

4. Режимная настройка позволяет разделить частицы порошка по форме.

5. Разработанные устройства можно рекомендовать как для исследования гранулометрического состава, так и в качестве датчиков в системе автоматического управления технологическими процессами измельчения.

Следует отметить, что исследуемые устройства классификации просты в технической реализации и состоят, как правило, из высоковольтного импульсного источника напряжения, камеры с исследуемым порошком, узла оптического сканирования, регистрирующего и анализирующего узлов. Для сепарации порошка камера выполняется с окнами для вывода частиц.

Методика определения дисперсности состоит из следующих последовательных этапов:

1. На нижний электрод загружается известная навеска исследуемого порошка (1-10) мг.

2. К электродам на время (30 + 120) сек прикладывается постоянное напряжение, обеспечивающее в межэлектродном пространстве напряженность поля порядка 20 + 22 кВ/см.

3. После разрушения агрегатов на электроды подается импульсное высоковольтное напряжение. Причем его параметры: амплитуда, разнополярность, период, скважность выбираются особо для каждого материала.

4. Образованную в межэлектродном пространстве псевдооживленную систему сканируют на нескольких уровнях посредством оптического либо другого излучения.

5. По данным просвечивания при помощи формул определяют гistogramмы дисперсного состава.

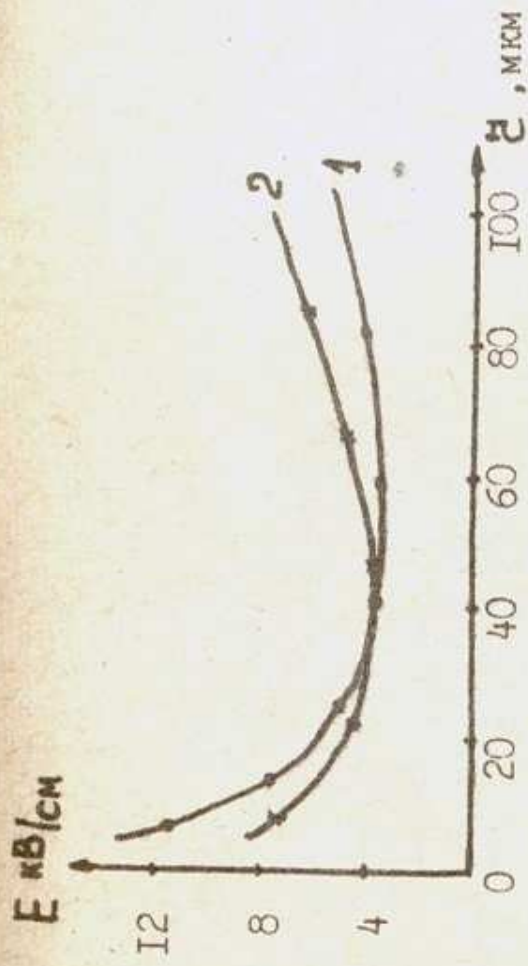


Рис.1. Зависимость напряженности отрыва от размера частиц.

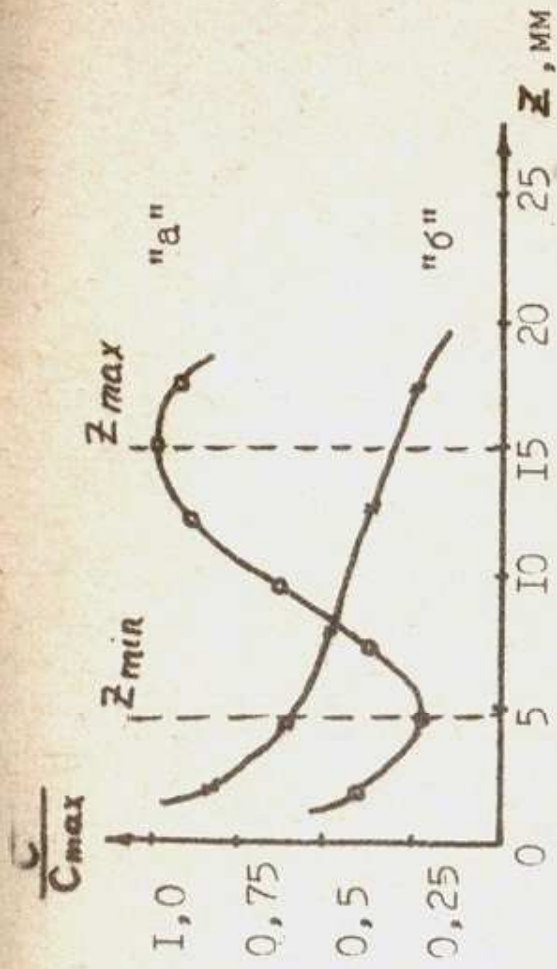
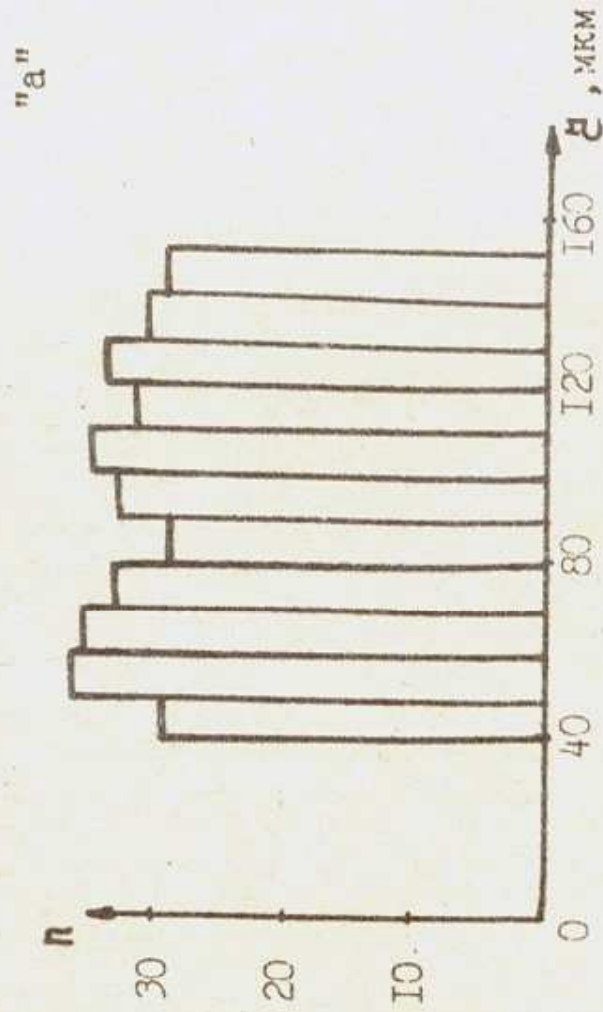


Рис.2. Изменение концентрации по высоте электрически псевдооживленного слоя.



"a"

"б"

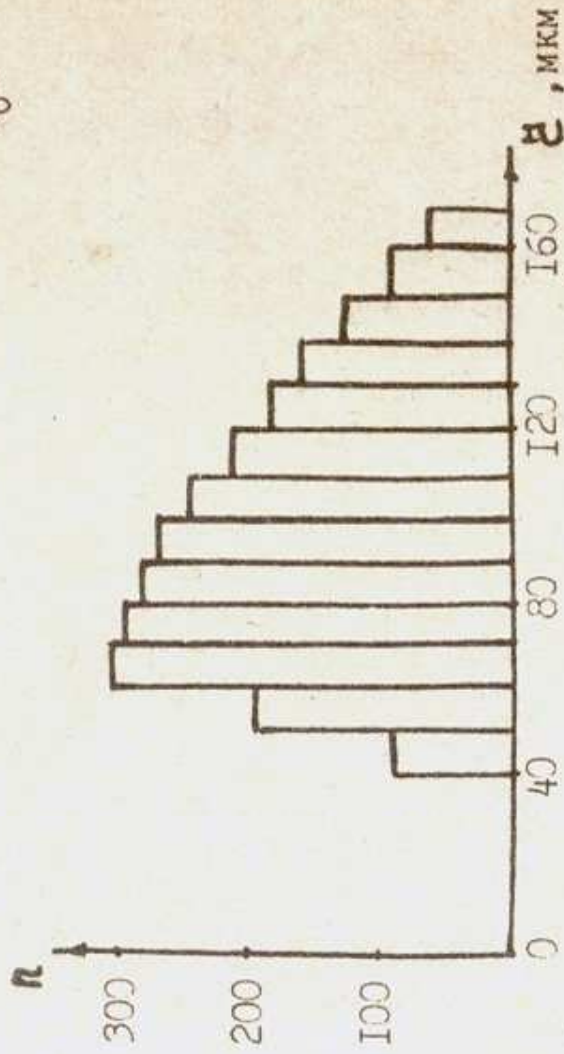


Рис.3. Гистограммы распределения радиуса-вектора "a"- для одной проекции; "б"- для нескольких проекций.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ поведения единичной частицы в импульсном электрическом поле, определение предельного времени витания и вероятности нахождения на некотором уровне, позволяют утверждать, что такое поле избирательно воздействует на полидисперсную среду.

2. Создание псевдооживленного слоя с эффектом разделения частиц различной дисперсности по высоте достигается воздействием импульсного электрического поля на порошкообразный материал, помещенный в систему электродов.

3. Показано, что существует область размеров для которых справедлива однозначная зависимость между предельной высотой витания и размером частиц. Для большинства исследованных материалов (мука, кофе, крахмал, песок, Al_2O_3 , бронза) эта область составляет от единиц до сотен микрометров.

4. Экспериментальные исследования поведения частиц порошкообразных продуктов в импульсном электрическом поле позволили указать область рабочих изменений параметров поля по напряженности (10 ± 22) кВ/см, частоте (10 ± 1000) Гц, скважности $(0,4 \pm 0,5)$, разнополярности $(0,8 \pm 1,2)$, при которых наблюдается эффект разделения.

5. Явление разделения порошкообразных материалов по размерам положено в основу построения датчиков контроля дисперсности. Предлагаются принципы построения датчиков на основе определения оптической плотности взвеси на различных уровнях, поштучном выводе и подсчете частиц определенной дисперсности, сепарации частиц по их форме.

6. Впервые предложено и исследовано использование воздействия электрического поля на дисперсный материал с целью разделения частиц по форме. Предлагается методика описания формы частиц.

7. Показано, что форма частиц таких продуктов, как мука, крахмал

и другие удовлетворительно описывается логарифмически-нормальным законом распределения.

8. Для многих порошкообразных материалов с логнормальным законом распределения частиц по размерам предельная концентрация частиц в датчике составляет 50 ± 100 мг/литр.

9. Устройства, выполненные на основе разработанного метода, являются быстродействующими (время анализа не более 10 мин) с достаточной точностью (погрешность в модальных классах не выше 10%). Являясь электрическими, они органично вливаются в системы автоматического управления технологическими процессами пищевой промышленности.

10. Диапазон определения дисперсности разработанных устройств, измерения грансостава порошков составляет единицы-сотни микрометров.

11. Получены выражения для передаточных функций датчика грансостава как элемента автоматической системы регулирования при производстве порошкообразных пищевых продуктов (муки, кофе и др.).

12. Внедрение электроклассификатора порошкообразных пищевых продуктов на КПК (г.Одесса), путем оптимизации режима работы гранулятора, обеспечило повышение эффективности процесса экстракции. Годовая экономическая эффективность внедрения составляет 5,6 тыс.руб.

13. Разработанный на базе исследуемого метода прибор гранулометрического анализа огнетушащих порошков внедрен во ВНИИПО (г.Москва). Внедрение направлено на улучшение огнетушащих свойств порошковых смесей.

Основные положения диссертации
опубликованы в следующих работах

1. Наремский Н.К., Песчаный Е.Ф. О контактном зарядении частиц.- В кн.: Тезисы докладов III Всесоюзной конференции "Механика сыпучих материалов": Тез.докл. Одесса, 1975, с. 185.

2. Наремский Н.К., Недранец В.С., Песчаный Е.Ф., Тигарев А.М. Пути увеличения чувствительности фотоэлектрических анализаторов гранулометрического состава. - В кн.: Двенадцатая Всесоюзная конференция по вопросам испарения, горения и газовой динамики дисперсных систем: Тез. докл. Одесса, сентябрь 1976г.: Одесса, 1975, с.74.

3. Песчаный Е.Ф., Наремский Н.К., Тигарев А.М. Исследование формы грубодисперсного аэрозоля. - В кн.: Материалы физико-химической, промышленной и приборной секций III Всесоюзной конференции по аэрозолям (Ереван, 12-14 октября 1977г.): Тез. докл. М.: Наука, 1977, с. 176-177.

4. Песчаный Е.Ф., Каленов О.С. Метод корректного описания формы частиц полидисперсных систем. - В кн.: II Всесоюзная конференция по применению электронно-ионной технологии в народном хозяйстве (г.Тбилиси, 24-27 октября 1978г.): Тез. докл. М.: Информэлектро, 1978, с. 29-30.

5. Наремский Н.К., Песчаный Е.Ф. Электронанесение порошков на подложку. - В кн.: II Всесоюзная конференция по применению электронно-ионной технологии в народном хозяйстве (г. Тбилиси, 24-27 октября 1978г.): Тез. докл. М.: Информэлектро, 1978, с. 69-70.

6. Песчаный Е.Ф., Наремский Н.К. Классификация порошков в импульсном электрическом поле. - В кн.: II Всесоюзная конференция по применению электронно-ионной технологии в народном хозяйстве (г.Тбилиси, 24-27 октября 1978г.): Тез. докл. М.: Информэлектро, 1978, с.62-63

7. Песчаный Е.Ф., Наремский Н.К., Недранец В.С. Стартовые параметры поля при сепарации твердой фазы аэрозоля. - В сб. : Физика аэродисперсных систем, Вып. I7. Киев-Одесса: Виша школа, 1978, с. 39-43.