

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ

Предлагается способ приготовления порошковых масс с заданными полидисперсными характеристиками. Их формирование предполагается производить путём перемешивания «базисных порошков». Устанавливаются условия, при выполнении которых изготовление порошковой массы с заданными распределениями её частиц по размерам может быть сведено к перемешиванию базисных порошков. Их основные характеристики предполагаются известными.

1. Введение и постановка задачи

Исследован процесс изготовления порошковой массы Π с заданным распределением её частиц по размерам. Её формирование производится путём перемешивания нескольких базисных порошков

$$\Pi_i \quad (i = 1, \dots, n), \quad (1)$$

полидисперсные свойства которых известны. Далее считаем, что порошки Π_i из (1) нумеруются в порядке роста диаметров частиц, из которых они состоят (диаметры частиц из Π_i меньше диаметров частиц из Π_{i+1}). Массы перемешиваемых порошков выбраны так, чтобы после их тщательного перемешивания, произведённого специальным образом, был получен требуемый порошок Π .

При изготовлении порошковых масс описанным выше способом возникают следующие трудности: при перемешивании набора порошков Π_i распределения их частиц по размерам изменяются из-за их взаимного трения и столкновения друг с другом. Это приводит к частичному разрушению и изменению их полидисперсных характеристик. Процесс перемешивания часто протекает неодинаково (с различными скоростями) для разных пар фракций.

При формировании требуемой порошковой массы часто заранее неизвестно, в какой степени проявят себя перечисленные факторы (измельчение отдельных фракций порошков Π_i , различие в скоростях их перемешивания).

Следует учитывать, что порошковые смеси, используемые на производстве, обычно требуются в больших количествах и поэтому желательно знать, как будет протекать процесс их формирования при заданном наборе порошков Π_i . В связи с этим прежде чем приступить к приготовлению порошковых смесей для нужд производства, следует произвести лабораторные испытания с тем, чтобы выявить и устранить изъяны в общей схеме реализации процесса перемешивания порошков, в которой они не учтены.

Следует подчеркнуть, что приготовление порошковых масс с заданными полидисперсными характеристиками для использования их в будущем нежелательно, так как порошки со временем «стареют» – их полидисперсные характеристики при длительном хранении часто изменяются. Это происходит, в основном, из-за разности в скоростях разрушения отдельных фракций, из которых состоит порошковая смесь.

К настоящему времени не был произведён всесторонний анализ процессов формирования порошковых смесей. Динамики перемешивания порошков с разными полидисперсными характеристиками и те трудности, с которыми здесь приходится сталкиваться, детально не изучались.

Целью работы является исследование процессов формирования многокомпонентных смесей, отдельные фракции которых в силу различия их характеристик (размеры частиц, из которых состоят различные фракции, характеристики рельефа поверхностей частиц, наличие пор на их поверхностях) ведут себя неодинаково при перемешивании. *Задачей* работы является анализ дисперсных характеристик порошковых масс, полученных путём перемешивания.

2. Анализ процесса перемешивания порошков

Рассмотрим один способ получения порошковой массы с заданным процессом распределения частиц по размерам, основанный на последовательных возмущениях занимаемого объёма. Он сводится к перемешиванию порошков Π_i из (1). Полидисперсные характеристики порошков Π_i отличаются друг от друга. Эти различия состоят в следующем: диаметры частиц, из которых состоит порошок Π_i ($i = 1, \dots, n-1$), меньше диаметров частиц, из которых состоит порошок Π_{i+1} . Индекс i нумерует порошки в соответствии с ростом размеров частиц. Ранее указывалось, что такая схема приготовления порошковой смеси имеет определённые изъяны (измельчение частиц порошковой массы при перемешивании, различие в скоростях перемешивания порошковых масс, принадлежащих разным Π_i).

Рассмотрим одну схему перемешивания порошков, при реализации которой вероятности столкновения крупных и мелких частиц (а значит и их дробление) сведены к минимуму. Правильность выбора этой схемы перемешивания подтверждают лабораторные испытания. Пусть порошки $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ заполняют, соответственно, объёмы V_1, V_2, \dots, V_n . Объёмы V_i связаны между собой следующим образом:

$$V_{i,i+1} = V_i \cap V_{i+1} \neq \emptyset \quad (i = 1, \dots, n-1); \quad V_{i,i+k} = \emptyset, \quad \text{для всех } k \geq 2.$$

Эти условия определяют следующее расположение объёмов V_i (рис. 1). Предполагается, что все V_i представляют собой круговые цилиндры одинаковых радиусов R . Их общая ось направлена горизонтально. Во всех $V_{i,i+1}$ ($i = 1, \dots, n-1$) порошковая смесь представляет собой смесь порошков Π_i и Π_{i+1} . Все V_i помимо порошков заполнены нейтральной (т.е. не обладающей активными химическими свойствами) жидкостью. В частности, это может быть дистиллированная вода.

Основания цилиндров $V_{i,i+1}$ представляют собой вертикальные перегородки. При обработке смеси часть их в определённые моменты времени убирается. Так, при обработке смеси в V_i убирается перегородка, разделяющая объёмы V_i и $V_{i+1} \setminus V_i$. Остальные перегородки остаются на своих местах. Далее для удобства записи через V_1, \dots, V_n будем обозначать соответствующие цилиндры или их объёмы.

Исследуемый далее способ перемешивания порошков Π_i состоит в следующем. Цилиндр $V_1 = V_1 \setminus V_2 + V_{12}$ отделяется от цилиндра $V_2 \setminus V_1$ перегородкой. После этого жидкость, содержащаяся в цилиндре, подвергается горизонтальным и вертикальным вибрациям. Эти вибрации (их частоты и длительность во времени) подбираются так, чтобы после окончания их действия распределение всех компонент порошковой массы было одинаковым (однородным) во всём объёме V_1 . Подчёркнём, что: до реализации указанных вибраций объём $V_1 \setminus V_2$ был заполнен порошком Π_1 , а объём V_{12} – смесью порошков Π_1 и Π_2 ; вибрации, которым подвергался цилиндр V_1 , действовали достаточно долго.

На самом деле в описанной ситуации (если частицы не дробятся) распределение частиц в V_1 будет иметь место после реализации бесконечного числа вибраций. Хорошее приближение к однородному распределению порошковой массы [1-2] в V_1 будет достигнуто, если V_1 подвергался вибрациям достаточно долго.

После того как смесь в V_1 стала однородной, подвергнем последовательно горизонтальным и вертикальным вибрациям объёмы V_2, \dots, V_n . При этом всякий раз будем получать одинаковые результаты: распределение порошковых масс, неоднородных в V_i ($i = 2, \dots, n$) до реализации в них многократных возмущений, после окончания их действия становятся однородными.

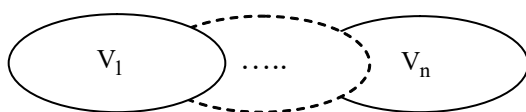


Рис. 1. Расположение объёмов V_i

Повторим m раз возмущения всех цилиндров V_i ($i = 1, \dots, n$) в том же порядке, что и в первом их возмущении. Пусть m достаточно велико. Существуют две возможности.

1. Распределение порошковой смеси будет одинаково (точнее, будет лишь незначительно различаться) во всех объёмах $V_{i,i+1}$, а значит и в $V = \bigcup_{i=1}^n V_i$.

2. Найдётся хотя бы одна пара цилиндров $V_\alpha, V_{\alpha+1}$, для которой распределение смеси в каждом из них будут однородными, однако не будут совпадать в $V_{\alpha,\alpha+1}$.

Порошки Π_1, \dots, Π_n можно распределить по объёмам V_1, \dots, V_n $n!$ различными способами и затем для каждого из них реализовать схему возмущений объёмов V_i , которая была описана выше. При этом будем по-прежнему возмущать объёмы V_i в порядке их нумерации, но теперь всякий раз будем сталкиваться, вообще говоря, с иными распределениями порошков Π_α по объёмам V_i , чем прежде.

Разобьём множество Π_α , элементами которого являются всевозможные расположения порошков Π_α ($\alpha = 1, \dots, n$) по объёмам V_i ($i = 1, \dots, n$), на два класса: к элементам первого класса отнесём распределения порошков Π_α по объёмам V_i , для которых, после многократных возмущений всех объёмов V_i по описанной выше схеме, найдутся такие V_j, V_{j+1} , на которых распределения порошков на каждом из них не будут совпадать в $V_{j,j+1} = V_j \cap V_{j+1}$.

Ко второму классу отнесём те элементы множества $\{\Pi_\alpha\}$ (т.е. те распределения порошков Π_α по цилиндрам V_i), для которых указанные V_j, V_{j+1} не существуют.

Далее выясним, что элементы второго класса могут возникать, если порошковая смесь содержит пористые частицы и частицы с резко выраженными гранями и остриями (пиками).

Вибрации, действующие в объёмах V_i , подбираются так, чтобы после их многократного повторения частицы были распределены равномерно в каждом из них. Частоты вибраций, инициирующие равномерные распределения порошковых масс, содержащихся в V_i , зависят от их дисперсных свойств. Их подбирают, производя предварительные испытания для всех порошковых масс, перемешивание которых по описанной выше схеме даёт смесь с заданным распределением частиц по их размерам.

Частота амплитуды вибраций, действующих в V_i , изменяется с изменением времени. Испытания показывают, что амплитуды вибраций в начале обработки порошковой массы следует выбирать большими, чем в конце. Что касается частот вибраций, то здесь ситуация противоположная – частоты вибраций в начале обработки меньше, чем в конце. Обычно данные об оптимальных изменениях амплитуд и частот вибраций во времени для каждой порошковой смеси получают опытным путём. Часто они не являются наилучшими для её формирования. При выборе частот и амплитуд вибраций, инициирующих перемешивание частиц, следует избегать их дробления, так как это приводит к изменению полидисперсности всей порошковой массы. При проведении лабораторных испытаний частоты вибраций выбирают постоянными.

Описанная выше схема перемешивания порошков, основанная на последовательных возмущениях пересекающихся цилиндров V_i , была опробована в лабораторных условиях. Две порошковые массы, состоящие, соответственно, из алюминиевых и кварцевых частиц, были распределены в пяти металлических цилиндрах, соединённых между собой в соответствии с общей схемой, описанной выше.

При планировании эксперимента алюминий и кварц были выбраны, поскольку их плотности почти совпадают (они равны соответственно 2,7 и 2,65 г/см³). Поверхности около 18% кварцевых частиц имели резко выраженные грани и острия (пики). Поверхности 25% алюминиевых частиц содержали поры. Их размеры до перемешивания были в 10-20 раз меньше размеров частиц, на поверхностях которых поры не фиксировались.

Все цилиндры были полностью заполнены дистиллированной водой. Для указанных порошковых масс с заданными полидисперсными свойствами (распределениями частиц по размерам) испытания проводились для двух случаев:

А. В каждом цилиндре объёмы, занимаемые частицами и водой, совпадали.

Б. В каждом цилиндре объёмы, занимаемые частицами, были в два раза больше объёмов, занимаемых водой.

Частицы кварца и алюминия в соответствии с их размерами были разделены на пять фракций. В каждой из них массы алюминиевых и кварцевых частиц совпадали. Границы изменения размеров частиц для каждой фракции представлены в следующей таблице

(учитываем, что длины $V_{i,i+1} = \frac{1}{4} V_i$).

Размеры частиц	0-5 мкм	5-15 мкм	15-25 мкм	25-35 мкм
Алюминий	–	–%	9%	19%
Кварц	4%	14%	21%	24%
Размеры частиц	35-45 мкм	45-55 мкм	55-65 мкм	65-80 мкм
Алюминий	26%	35%	11%	–%
Кварц	17%	9%	7%	4%

Затем все цилиндры V_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) последовательно в течение пяти минут подвергались продольным (направленным вдоль осей цилиндра) и вертикальным вибрациям. Вертикальные вибрации частотой 5 Гц не изменялись с изменением времени. Их реализация сводилась к вибрациям плоской горизонтальной поверхности, на которой лежали все цилиндры, будучи жёстко скреп-

лёнными с ней.

Длины и радиусы всех цилиндров равны, соответственно, 200 и 12мм. Продольные вибрации, которым последовательно подвергался каждый цилиндр V_1, \dots, V_5 , составляли 15 Гц. Эта схема возмущения цилиндров была реализована 50 раз.

Затем для каждого цилиндра V_i было выяснено, на сколько распределение фракций смеси, содержащейся в нём, отличаются от однородного распределения. Это сравнение было произведено для двух случаев: а) объёмы, занимаемые частицами и водой, совпадали; б) объёмы, занимаемые частицами, были в два раза больше объёмов, занимаемых водой.

Для случая а): максимальное отклонение в распределениях фракций по всем V_i не превосходило 5,5%; около 1,5% обработанной смеси составили слипшиеся частицы кварца и алюминия (поверхности слипшихся частиц содержали соответственно резко выраженные грани и поры); измельчённые частицы, размеры которых были в десятки раз меньше 1мкг, составляли около 0,4% от общей массы частиц (рассматривается суммарная масса частиц по всем V_i).

Для случая б): максимальное отклонение в распределениях фракций по всем V_i не превосходило 7%; около 2% обработанной смеси составили слипшиеся частицы кварца и алюминия; доля измельчённых частиц составила около 0,6%.

Был рассмотрен случай, когда длины цилиндров составляли 100мм. При этом длины $V_{i,i+1} = \frac{1}{2} V_i$. Приведём данные о перемешивании порошковых масс для случая, когда длины цилиндров $V_{i,i+1}$ равны 100мм. Порошковые фракции алюминия и кварца распределены по всем V_i так же, как и в прошлом испытании. Поперечные и продольные вибрации и длительности их действия в каждом V_i остаются прежними.

Теперь для случая а): максимальное отклонение в распределениях фракций не превысило 4,2%; процентное содержание слипшихся частиц кварца и алюминия составило 1,4%. Для случая б): максимальное отклонение в распределениях по всем V_i не превысило 5,2%; около 1,8% обработанной смеси составили слипшиеся частицы кварца и алюминия; около 0,4% обработанной смеси состояло из измельчённых частиц.

Выясним, насколько удачным был выбор постоянной частоты продольных вибраций цилиндров V_i .

Пусть $V_{i,i+1} = \frac{1}{4} V_i$ для всех i и по-прежнему выполняется условие: число продольных колебаний всех цилиндров $V_{i,i+1}$ на временном промежутке 5 минут остаётся прежним, но теперь их частота изменяется во времени.

Были рассмотрены два случая изменения частоты:

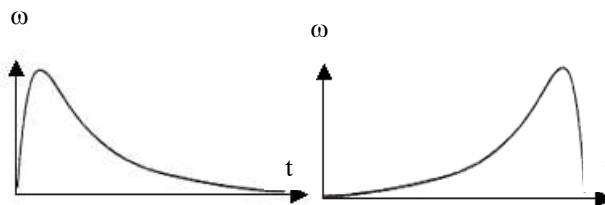


Рис. 2. Графики рассматриваемых частот

Описанная выше схема испытаний была реализована для порошковых смесей, частицы которых: состояли лишь из кварца, состояли лишь из алюминия. Для каждого из этих случаев характеристики фракций порошков в каждом цилиндре V_i лежали в тех же границах, что и раньше. Точно такими же были режимы вибраций всех цилиндров: вертикальная и горизонтальная частоты остались прежними. По-прежнему испытания были проведены для двух случаев заполнения цилиндров V_i водой.

Сравнение полученных здесь результатов с прежними (для смеси порошков кварца и алюминия) показало, что: а) слипшиеся частицы алюминия отсутствуют; б) доля измельчённых частиц кварца составила около 0,12% всей массы частиц (в три раза меньше, чем прежде); в) однородность распределения кварцевых частиц по объёмам V_i осталась прежней; г) для измельчённых частиц алюминия однородность не могла быть точно определена, так как после реализации вибраций часть мелких частиц частично заполнила поры. Как и раньше, испытания были проведены для двух случаев:

$$V_{i,i+1} = \frac{1}{4} V_i, \quad V_{i,i+1} = \frac{1}{2} V_i.$$

Кривые, приведённые на рис.2, являются огибающими гармоник с изменяющимися амплитудами. Испытания, проведённые для каждого из этих случаев, дали следующие результаты.

Рис. 1: максимальное отклонение в распределении фракций по всем V_i превысило 8%. Доля измельчённых частиц составила около 1,2%; около 1,6% обработанной смеси составляли слипшиеся частицы.

Рис. 2: максимальное отклонение в распределениях фракций по всем V_i не превысило 3%. Доля измельчённых частиц составила около 0,4%; около 1,2% составили слипшиеся частицы.

Сравнение данных по всем характеристикам обработанных смесей показывает, что реализация распределения амплитуд (см. рис.2) приводит к лучшим результатам.

3. Заключение

Научная новизна. Исследован процесс формирования фракций порошковой массы, основанный на последовательных возмущениях всех частей занимаемого ею объёма. Эти возмущения реализуются до тех пор, пока не будет получена смесь с заданными полидисперсными характеристиками.

Были проведены лабораторные испытания, целью которых являлась эмпирическая проверка предложенного способа формирования порошковых масс.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть применены при формировании массивов частиц, используемых на производстве. Предполагается, что формирование массивов частиц будет предварительно апробировано в лабораторных условиях.

Список литературы: 1. Гора Н.Н. Уравнения процесса формирования многокомпонентных смесей // АСУ и приборы автоматики. 2006. Вып. 133. С. 124-130. 2. Гора Н.Н., Вовк А.В. Вывод системы дифференциальных уравнений, описывающей процесс обработки многокомпонентной смеси // Вестник НТУ ХПИ, тематический выпуск «Информатика и моделирование», В23, 2006. С. 19-28. 3. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельчённых материалов. Л.: Химия, 1987. 264с. 4. Коузов П.А., Склябина Л.Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Л.: Химия, 1983. 143с.

Поступила в редколлегию 30.08.2007

Вовк Александр Владимирович, аспирант кафедры прикладной математики ХНУРЭ. Научные интересы: теория вероятностей, случайные процессы. Адрес: Украина, 61100, Харьков, пр. Маршала Жукова, 45, кв. 16, тел. 716-16-88.

Дикарев Вадим Анатолиевич, д-р физ.-мат. наук, профессор каф. прикладной математики ХНУРЭ. Научные интересы: теория вероятностей, случайные процессы. Адрес: Украина, 61164, Харьков, пр. Ленина, 66, кв. 21, тел. 343-57-03.

Подгорбунский Никита Сергеевич, стажёр-исследователь кафедры прикладной математики ХНУРЭ. Научные интересы: теория вероятностей, случайные процессы. Адрес: Украина, 61195, Харьков, ул. Метростроителей, 15, кв. 23, тел. 716-02-70.

УДК 681.513

М.К. АЛЬ МАДИ, Д.Н. МОАМАР, Т.Ю. УТКИНА

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

Предлагается информационная технология синтеза структурно-функциональных моделей цифровых автоматов, которая позволяет определить требуемое количество состояний, соответствующих управляющим и контролирующим операциям. Технология проектирования моделей конечных автоматов применяется для преобразования информации, содержащейся на циклограммах, в промежуточную форму, удобную для синтеза цифровых автоматов при помощи современных инструментальных средств.

Введение

Разработка графов состояний цифровых автоматов для автоматизированного управления сложными технологическими процессами является трудоемкой задачей, поскольку в синтезируемых алгоритмах необходимо строго соблюдать последовательность активизации исполнительных механизмов, которая определяется технологом и задается в виде циклограммы. Кроме того, во время выполнения операций технологического процесса нужно контролировать не только факты включения исполнительных механизмов, но и моменты времени, в которые механизмы достигают своих конечных положений. Ухудшают динамические свойства данных механизмов изношенность движущихся элементов и неисправности в системе энергообеспечения, например, утечки воздуха в трубопроводах пневмосистемы.

Автоматы удобно описывать с помощью двух таблиц, одна из которых раскрывает функцию переходов $y: (QDX)^{\circledR} Q$, а другая - функцию выходов $j: (QDX)^{\circledR} Y$. Однако приведенная в циклограммах информация о причинно-следственных связях между исполнительными механизмами не позволяет формализовать процесс синтеза функций переходов и выходов, необходимых для построения моделей цифровых автоматов [1].

Целью данного исследования является разработка новой технологии преобразования исходной информации в последовательность операций управления технологическими процессами, что обеспечит сокращение трудоемкости разработки описаний цифровых автоматов. Решение данной задачи осуществляется в условиях, когда объектом управления является сложная техническая система, состоящая из заданного количества N исполнительных механизмов, положения которых контролируются датчиками. Так как обычно все механизмы имеют два конечных положения, то число датчиков равно $2N$.

Для каждого исполнительного механизма необходимо обеспечить строгое соблюдение последовательности выполнения следующих операций:

- активизация механизма в заданный момент времени;
- контроль достижения механизмом первого конечного положения;
- задание продолжительности включенного состояния механизма и его выключение;
- контроль достижения механизмом второго конечного положения.