

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ТІГАРСЬВ Анатолій Михайлович

УДК 681.518.52:544.023.523.002.56

**КОНТРОЛЬ ТА УПРАВЛІННЯ ДИСПЕРСНИМ СКЛАДОМ ПОРОШКІВ
У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ЇХ ВИРОБНИЦТВА**

05.13.07 - Автоматизація технологічних процесів

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Одеса – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

кандидат технічних наук, доцент
Монтік Петро Миколайович, Одеська
національна академія харчових технологій,
завідувач кафедри електротехніки

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук,
Гогунський Віктор Дмитрович,
Одеський національний політехнічний
університет, завідувач кафедри охорони праці
і безпеки життєдіяльності

кандидат технічних наук,
Беспалов Ігор Миколайович,
Одеський інженерно-технологічний інститут
“Біотехніка”, заступник директора по науковій
праці

Провідна установа

Національний університет
"Львівська політехніка", м. Львів

Захист відбудеться 24.06.2004 р. о 13-30 годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 41.052.01 в Одеському національному
політехнічному університеті за адресою: 65044, м. Одеса 44, пр. Шевченка, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеського національного
політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1.

Автореферат розісланий 21.05.2004 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

Ямпольський Ю.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дисперсні матеріали широко застосовуються в порошковій металургії, хімічній, електронній, будівельній, харчовій, фармацевтичній, мікробіологічній галузях промисловості. Вони являють собою двохфазні дисперсні системи, що складаються з рідкого або газового дисперсійного середовища і дисперсної фази з твердих або рідких частинок (порошки, суспензії, аерозолі). Основні властивості дисперсних систем (ДС) визначаються дисперсним складом, що звичайно оцінюють усередненими показниками (середній арифметичний, медіанний діаметри частинок, повна, питома поверхні дисперсної фази). Ці показники визначають технологічні параметри ДС (насіпну масу, щільність упакування, текучість, тощо) і, тим самим, якість порошоків і виробів із них (електрорадіоматеріали, люмінофори, композити, абразиви, пігменти, тощо). Найбільш інформативною характеристикою ДС є функція розподілу частинок за розмірними параметрами, наприклад, еквівалентним діаметром, що дозволяє визначати вміст будь-якої фракції дисперсної фази в порошок.

Технологічні процеси (ТП) виробництва і переробки ДС характеризуються неповнотою апріорної інформації, у першу чергу, про дисперсний склад, значним запізнюванням у каналах управління, інтенсивними неконтрольованими збуреннями, що призводить до погіршення якості одержуваних порошоків. У більшості випадків існуючі засоби управління засновані на результатах ситового, мікроскопічного, седиментаційного та інших методів, що не дозволяють експресно одержувати достовірну інформацію про дисперсний склад і, відповідно, забезпечувати оперативність управління ТП і необхідну якість виробництва дисперсних матеріалів.

Тому розробка систем контролю і оперативного управління дисперсним складом при виробництві ДС є актуальною науково-технічною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі автоматизації виробничих процесів Одеської національної академії харчових технологій у рамках її основного наукового напрямку № 3 "Створення і розробка нового вискоєфективного обладнання, теорії, методів його розрахунку і проектування; автоматизація виробничих процесів харчових і зернопереробних виробництв".

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – засобами автоматизованого оперативного контролю і управління забезпечити підвищення ступеня відповідності дисперсного складу порошкових матеріалів заданому, домогтися зниження питомих витрат енергії і втрат сировини. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести порівняльний аналіз, обґрунтувати вибір і конкретизувати експрес-метод контролю дисперсного складу порошоків для розробки експрес-аналізатора ДС, орієнтованого на використання в системах управління;
- обґрунтувати і оптимізувати інформаційні можливості експрес-аналізаторів, що реалізують обраний метод контролю, при одержанні і обробці статистичної інформації про параметри ДС;
- розробити структури експрес-аналізаторів із різноманітними первинними перетворювачами, включаючи пристрої відбору і підготування проби, визначити вимоги до його вузлів, а також розробити їх математичні моделі, визначити похибки оцінки дисперсного складу і розробити методику градування експрес-аналізаторів;
- обґрунтувати регульовані перемінні і розробити ієрархічну автоматизовану систему управління дисперсним складом одержання ДС на прикладі виробництва алюмінієвого порошку.

Об'єкт дослідження. Автоматизовані системи експресного контролю і управління дисперсним складом порошкових матеріалів в ТП їх виробництва.

Предмет дослідження. Експрес-аналізатори дисперсного складу порошоків, засновані на вимірі розмірів окремих частинок, і системи управління дисперсним складом на їх основі.

Методи дослідження. Системний аналіз структур експрес-аналізаторів дисперсного складу; методи статистичного імітаційного моделювання алгоритмів їх функціонування; методи теорії імовірностей, теорії інформації, математичної статистики для оцінки обсягу аналізованої інформації при проведенні аналізу дисперсного складу; імітаційне моделювання систем управління дисперсним складом у середовищі MATLAB.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розвитку і поглибленні основ побудови систем контролю і управління дисперсним складом ДС. При цьому отримані такі наукові результати.

Одержали подальший розвиток:

- метод підготування проби для експрес-аналізатора, що забезпечує руйнацію агрегатів із частинок впливом перемінних і імпульсних електричних полів високої напруженості;
- методи визначення обсягу вибірки аналізованих частинок і кількості інтервалів їх розбивки при аналізі дисперсного складу ДС диференціальними методами, що забезпечують підвищення достовірності функції розподілу частинок ДС по розмірах;
- математичні моделі перетворювачів розмірних параметрів частинок в електричний сигнал: кондуктометричного, що враховує вплив розподілу електричного поля в його об'ємі на параметри електричних сигналів і фотоелектричного, що враховує оптичні властивості, форму і орієнтацію частинок;
- математична модель системи управління дисперсним складом ДС, що включає модель інформаційно-вимірювального каналу і модель системи управління дисперсним складом алюмінієвих порошків, одержуваних розпиленням.

Вперше розроблені, обгрунтовані:

- методика імітаційного моделювання функціонування інформаційно-вимірювального каналу, яка використовується для розробки аналізаторів дисперсного складу і систем управління дисперсним складом при виробництві різноманітних порошкових матеріалів;
- вимоги до стандартних зразків ДС, які використовують при градуванні аналізаторів, в залежності від їх технічних характеристик;
- регульовані змінні, які забезпечують можливість управління дисперсним складом розпиленних алюмінієвих порошків, що подають статистичні параметри, що характеризують однозначно функцію їх розподілу по розмірах.
- модель розпилювальної установки як об'єкта управління, на основі якої реалізована система стабілізації дисперсного складу алюмінієвих порошків, одержуваних розпиленням розплаву;
- структура системи автоматичного регулювання параметрів дисперсного складу алюмінієвих порошків, яка включає блок розрахунку початкових наближень керуючих впливів, що забезпечує підвищення динамічної точності в перехідних процесах, при великих запізненнях в каналах регулювання.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновані і розроблені: пристрій підготування проби, використовуваний в аналізаторах дисперсного складу (а.с. № 1636730); первинний кондуктометричний перетворювач, що забезпечує підвищення точності аналізатора дисперсного складу і його перешкодозахищеності (патент України №12085).

Розроблені експрес-аналізатори дисперсного складу порошків із кондуктометричним первинним перетворювачем впроваджені – в Українському науково-дослідному інституті вогнетривів, м. Харків і в НДІ "Реактивелектрон", м. Донецьк.

Оцінена ефективність системи пилоуловлювання в повітреводах металургійного заводу (Молдавія, м. Рибниця) за результатами визначення дисперсного складу пилових відкладень кондуктометричним аналізатором (ОНПУ, г.д. №1376-100р).

Розроблено і досліджено систему регулювання дисперсного складу алюмінієвого порошку, одержуваного розпиленням розплаву, із системою контролю на основі розробленого експрес-аналізатора дисперсного складу з фотоелектричним первинним перетворювачем (г.д. № 21/78, 33/82 ІркАЗ).

Розроблений кондуктометричний експрес-аналізатор дисперсного складу, а також алгоритм опрацювання статистичної інформації визначення параметрів ДС використовуються в навчальному процесі в Одеському національному університеті.

Особистий внесок здобувача. У [1] проведена класифікація існуючих методів аналізу дисперсного складу ДС і їх апаратної реалізації. З використанням системного підходу в [1] розроблені структури експрес-аналізаторів дисперсного складу. У [3] запропонована методика розпізна-

вання законів розподілу ДС. У [2,6] обґрунтоване і запропоновано пристрій для підготування проби до аналізу. У [8] запропонований пристрій, що забезпечує підвищення точності при аналізі дисперсного складу кондуктометричним методом. У [4] запропонована методика градування аналізатора і обґрунтовано вимоги до вибору стандартних зразків ДС. З використанням робіт [2,6,8] виконана класифікація методів підготування проби. На підставі робіт [9,10,12] обґрунтовано вибір критеріїв управління дисперсним складом при виробництві ДС. У [4] запропонований підхід до побудови систем регулювання дисперсного складу порошків.

Апробація результатів дисертації. Висновки і положення, що явилися результатом роботи, пройшли перевірку в процесі виконання науково-дослідних робіт із розробки аналізаторів і систем управління дисперсним складом порошкових матеріалів. Основні положення дисертаційної роботи були викладені і одержали схвалення на Всесоюзних науково-технічних конференціях: "Механіка сипких середовищ" (Одеса 1975, 1980), "Випар, горіння і газова динаміка дисперсних систем" (Одеса 1976), "Актуальні питання фізики аеродисперсних систем" (Одеса 1986), "Застосування апаратів порошкової технології і процесів термосинтезу в народному господарстві" (Томськ 1987), "Шляхи розвитку науки і техніки в м'ясній і молочної промисловості" (Углич 1988); на другій Української конференції по автоматичному управлінню "Автоматика-95" (Львів 1995), 5-й Міжнародній конференції "Застосування комп'ютерних технологій в народному господарстві" (Харків 2002) та 61, 62, 63-ій наукових конференціях ОНАХТ (Одеса 2001, 2002, 2003).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 35 друкованих праць. З них п'ять статей в наукових журналах, п'ять статей у збірниках наукових праць, два авторські посвідчення і патент України, два депоновані рукописи, 20 тез конференцій. Основні з них приведені в списку опублікованих праць.

Структура дисертації. Дисертація складається з вступу, п'ятох розділів, загальних висновків. Обсяг дисертації – 180 сторінок. Дисертація містить 81 рисунок, 18 таблиць і список використаних джерел з 230 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** приведено загальну характеристику роботи, що підкреслює її актуальність, наукову новизну і практичне значення; визначені об'єкт і предмет дослідження, сформульовано його мету і завдання.

У **першому розділі** показано, що оскільки ДС являє собою статистичну сукупність частинок різноманітного розміру, що характеризується дисперсним складом, то одержання інформації про ДС містить у собі як вимір розмірних параметрів частинок, так і опрацювання статистичної інформації для визначення параметрів і виду функції розподілу. Виконано *огляд методів аналізу дисперсного складу* і запропонована їх класифікація, заснована на засобах одержання інформації про ДС, відповідно до якої методи діляться на два основних класи: інтегральні і диференціальні. Апаратна реалізація методів аналізу в промисловості обмежується ситовим, седиментаційним, мікроскопічним або методами визначення питомої поверхні, що потребують значного часу для проведення аналізу і одержання результатів. Показано, що диференціальні методи є більш "інформативними" і експресними, і тому найбільше придатний для використання в системах контролю і управління дисперсним складом в процесі виробництва і переробки ДС. З цих методів найбільше поширення одержали мікроскопічний, фотоелектричний і кондуктометричний, причому останні два є найбільш перспективними для побудови експрес-аналізаторів дисперсного складу ДС.

Показано, що *методика виконання аналізу дисперсного складу* цими методами містить такі основні етапи (рис.1).

Рис. 1. Основні етапи аналізу дисперсного складу ДС диференціальними методами

При відборі проби основною вимогою є її ставність, обумовлена об'ємом, місцем і періодичністю відбору. При підготуванні проби до аналізу необхідно виконати *руйнацію агрегатів* із частинок для зменшення похибок при визначенні дисперсного складу. З виконаної класифікації мето-

дів руйнації агрегатів впливає, що найбільше ефективним є використання електричних полів високої напруженості, застосованих для широкого класу ДС у великому діапазоні розмірів частинок.

Поодинокна подача частинок у зону аналізу первинного перетворювача є основною вимогою до пристроїв подачі частинок (ППЧ), що досягається формуванням сфокусованого потоку частинок в рідині або газі.

Первинні перетворювачі (ПП) фотоелектричного і кондуктометричного методів забезпечують *перетворення розмірних параметрів*, що характеризують кожну окрему частинку, в електричний імпульс, у якого амплітуда, форма, площа, тривалість окремо або в сукупності утримують інформацію про розмір частинки. Таким чином, на виході ПП формується потік цих імпульсів. Опрацювання імпульсного потоку (сортування імпульсів по їх електричних параметрах і накопичення інформації про кількість зареєстрованих частинок) виконують багатоканальними аналізаторами і одержують гістограму розподілу густини імовірності.

Одержання достовірної інформації про дисперсний склад ДС істотно залежить від *ставності проби, кількості інтервалів розбивки* діапазону аналізованих розмірів і їхньої *ширини*, що не завжди досягається існуючими методами опрацювання. Зокрема, вибір *апроксимуючої функції* розподілу зумовлює значні труднощі, які пов'язані з невизначенністю вибору із різноманіття існуючих законів розподілу частинок за розмірами.

Відомі математичні моделі кондуктометричного і фотоелектричного ПП недостатньо повно враховують конструктивні і режимні параметри і їх вплив на амплітудні і часові характеристики одержуваних імпульсів. Також в літературі недостатньо повно розглянуті питання градування аналізаторів, оцінки впливу різноманітних похибок на результати аналізу.

ТП виробництва ДС є *складними, багатопараметричними, нестаціонарними об'єктами управління зі значним запізнюванням*, характерною особливістю яких є наявність *перехресних зв'язків* по каналах управління і збурень. Управління дисперсним складом ДС у таких об'єктах реалізується, звичайно, стабілізацією технологічних режимів, яка не забезпечує необхідну якість ДС, що задовольняє вимогам більшості споживачів. Необхідність підвищення якості ДС і недостатня експресність одержання інформації потребує розробки і удосконалювання засобів контролю і управління дисперсним складом ДС в процесі виробництва.

В другому розділі виконаний *математичний опис аналізатора*, виходячи з того, що основним призначенням аналізатора є одержання функції розподілу частинок ДС по розмірних параметрах. Тому, що реальні аналізатори мають визначений діапазон аналізованих розмірів частинок, цільову функцію аналізатора Φ_A уявимо в такому виді:

$$\Phi_A = \min \left[\int_0^{\infty} [F_c(x_i) - F_a(x_i)]^2 dx \right] = \min \int_0^{\infty} [f_c(x_i) - f_a(x_i)]^2 dx, \quad (1)$$

де $F_c(x_i)$, $F_a(x_i)$ функції розподілу і $f_c(x_i)$, $f_a(x_i)$ – густини імовірності отримані, відповідно, стандартними методами і з використанням аналізатора.

Рух матеріальних і інформаційних потоків при аналізі дисперсного складу в аналізаторі визначило його структуру в вигляді трьох самостійних функціональних частин (рис. 2). В першій частині здійснюється формування матеріального потоку частинок, в другий відбувається перетворення розмірних параметрів частинок в відповідні аналогові електричні сигнали і формування потоку імпульсів із наступним їх перетворенням в цифрову форму. В третій частині забезпечується перетворення і обробка інформаційного цифрового потоку. В дисертації обґрунтовано, що структурну схему аналізатора аналогічно можна уявити в вигляді трьох блоків, кожний із яких складається з окремих функціональних вузлів.

Показано, що ММ інформаційно-вимірювального каналу системи управління дисперсним складом ДС являє собою систему рівнянь, які описують процеси, що протікають в його вузлах і блоках (рис. 2).

Встановлено, що *відбір проби* в залежності від агрегатного стану ДС (нерухомий або потік, що рухається) і виду ТП регламентується нормативними документами, в яких враховується періодичність і місце відбору проби, конструкція пробовідбірника, що забезпечують мінімальні пере-

ручування потоку і ставність проби. Тоді, математичну модель пристрою відбору проби (ПВП) можна представити функціоналом

$$K_{ПВП} = f(m, M_B, C, t_{ei\delta}),$$

де m – маса проби; C – концентрація частинок у дисперсному середовищі; M_B – місце відбору і конструкція пробовідбірного пристрою; $t_{ei\delta}$ – періодичність відбору проби.

Рис. 2. Схема розподілу матеріальних і інформаційних потоків при аналізі дисперсного складу ДС

У математичній моделі *пристрою підготування проби* (ППП) враховані адгезіони F_{ad} , аутогезіони F_{aum} і когезіони $F_{коз}$ сили, які викликають агрегування або коагуляцію, що дозволяє оцінити необхідні зовнішні силові впливи F_p для їхнього подолання і одержання проби у виді сукупності окремих частинок

$$F_p > F_{ce} = F_{ad} + F_{aum} + F_{коз}.$$

Таким чином, математична модель ППП має вигляд функціонала

$$F_{ППП} = f(x, F_{ce}, m, Z, c_u, c_{cp}, G, F_n, F_p),$$

де x – швидкість руху дисперсної фази; m – маса проби; Z – концентрація частинок у пробі; c_u – густина матеріалу частинок; c_{cp} – густина дисперсійного середовища; G – геометричні розміри ППП; F_n – функціонал, який описує сили, що забезпечують рух дисперсної фази.

Математична модель *пристрою подачі частинок* (ППЧ) в загальному випадку подає функціонал, що описує залежність силового впливу (тиску P) на дисперсійне середовище для забезпечення заданої швидкості руху x частинок різноманітних розмірів R в зоні аналізу з врахуванням параметрів потоку

$$F_{ППЧ} = f(P, R, v, c_u, c_{cp}).$$

Математична модель первинних перетворювачів (ПП) аналізу дисперсного складу ДС, що використовують диференціальні методи, описує операцію перетворення параметрів частинок в електричний сигнал і являє собою в загальному випадку,

$$l(t) = d [t_U(f, k), A(f, k), S_U(f, k)], \quad (2)$$

де $l(t)$ – вектор апріорно невідомих параметрів, що характеризує розмір частинки в довільний момент часу в зоні аналізу; $t_U(f, k)$ – тривалість імпульсу від частинки; $A(f, k)$ – амплітуда імпульсу від частинки; $S_U(f, k)$ – площа імпульсу від частинки; k – коефіцієнт орієнтації частинок у зоні аналізу; f – чинник форми частинок.

В роботі розроблена уточнена ММ кондуктометричного ПП, який являє собою електрохімічну комірку, тобто ємкість, заповнену суспензією електроліту з частинками ДС, мікрокапіляром радіусом r_0 , по обидва боки якого встановлені електроди HG і KJ , підключені до джерела постійної напруги (рис.3).

Рис.3. Кондуктометричний ПП, криві граничної чутливості і форми імпульсів від частинок

Проходження частинки через капіляр викликає зміну струму між електродами і виникнення імпульсу з амплітудою, пропорційною об'єму частинки. При цьому рівень і форма імпульсу залежить від концентрації електроліту і його температури, положення, форми, розміру частинок, потоку вектора напруженості під час їхнього руху через вимірювальний об'єм комірки, який визначається областями, розташованими на вході, всередині і на виході капіляра. При постійній температурі, визначеній концентрації електроліту і заданих геометричних параметрах комірки, амплітуда і форма імпульсу буде визначатися положенням частинки щодо вхідного торця (від HG до торця капіляру) і осі (r) капіляра під час її руху в відповідних областях вимірювального об'єму.

З урахуванням цих умов для амплітуди сигналу U_δ отримано залежність від сферичної частинки діаметром δ з координатами її центру (z, r) у момент часу t , якщо на торцях капіляра електричне поле неоднорідне, а всередині нього – однорідне:

$$U_\delta(r, z) = c_0 U_0 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\delta^2}{r^2(t) + (z + c_1 r_0)^2}} \right) \quad (3),$$

де U_0 – рівень сигналу при відсутності частинок у капілярі; c_0, c_1 – сталі, що враховує розмір електродів і його відстань від капіляра, діаметр капіляра та фізичні властивості частинки, $r(t)$ – функція, що описує траєкторію руху частинок.

Отримані рівняння сім'ї кривих для вимірювального об'єму ПП, що визначає його граничну чутливість для різних діаметрів частинок. Поріг чутливості ПП для частинок різного діаметра визначається їхнім положенням в областях вимірювального об'єму у вході в капіляр і характеризується рядом кривих радіусом R_I (півсфер). Показано, що за розміром цього об'єму можна визначити максимальну концентрацію частинок в процесі підготування суспензії до аналізу, при якій відбувається одночасне попадання двох і більш частинок в вимірювальний об'єм, що являє собою внутрішній об'єм капіляра та півсфері з його обох сторін.

Отримано вирази для визначення тимчасових параметрів імпульсного сигналу з урахуванням значень порігових сигналів U_n від частинок за умов, що рух потоку суспензії в капілярі ламінарний ($Re < 500$), у вхідній області здійснюється по експоненціальних траєкторіях, а в вихідній – являє собою "утоплену струмінь", а саме:

$$\text{- тривалості переднього фронту } \tau_1 = \frac{1}{B} \left(A_2 - \int_0^{z_0} e^{-\phi(x)} dx \right), \quad \text{де } A_2, B - \text{ постійні інтегрування, } \phi(x) - \text{ функція параметрів траєкторії руху частинок;}$$

- тривалості вершини імпульсу $\tau_2 = \frac{\phi_0 r_0^2}{Q}$, де l_0 – довжина капіляра, Q – витрата суспензії через капіляр;

$$\text{- тривалості заднього фронту } \phi_3 \text{ отримана з рівняння}$$

$$Q_{-1}(\tau_3) = \delta / \sqrt{1 - \left(1 - \frac{U_n}{c_0 U_0}\right) - c_1 r_0},$$

де Q_{-1} - функція, обернена до функції координати $I(z)$.

З виразу (3) отримані форми імпульсів за умови випадкового влучення частинок (1, 2, 3) в різних областях вимірювального об'єму (рис. 3).

В фотоелектричному ПП сканування частинок вузькою щілиною амплітуда імпульсів від них залежить від їх розміру, орієнтації і коефіцієнта поглинання матеріалу частинок. З врахуванням закону Бугера-Ламберта-Бера отримано вираз для амплітуди імпульсу на виході фотоелектричного ПП для частинок із найбільше характерною формою, в виді еліпсоїда обертання

$$U(t) = k_1 \int_{y_1}^{y_2} \{ \exp[-k_0 h(x, y)] \} dy, \quad (4)$$

де k_0 – коефіцієнт, що враховує параметри фотоприймача; k_1 – коефіцієнт оптичної проникності матеріалу частинки; x – поточна координата частинки при перетинанні щілини, що залежить від швидкості її руху x та t часу проходження частинкою щілини; y – поточні значення координат хорд, що перетинають частинку; h – розмір частинок в напрямку сканування.

Тривалість імпульсу ϕ рівна часу затінення щілини частинкою і дорівнює $\tau = (\beta + d_{щ})/v$, де v – максимальна проекція частинки по осі X , $d_{щ}$ – ширина щілини. Тривалість визначається з рівняння (4) при $U(t) = U(\phi) = U_n$, де U_n – поріг чутливості вимірювального каналу аналізатора.

Показано, що узагальнена ММ вимірювального каналу, яка виконує: опрацювання імпульсних сигналів ПП, перетворення їх в цифрову форму і накопичення інформації про кількість проаналізованих частинок, має вигляд

$$F[x(t)] = \begin{cases} N(t_i) = K[x(t_i) + \xi q(x(t_i))] \\ x(t) = y(t_i + \tau_i) \end{cases}$$

де $F[x(t)]$ – функція перетворення вхідного сигналу x в момент часу t , $N(t_i)$ – значення вихідного коду в момент t_i , K – номінальний статичний коефіцієнт перетворення, o – похибка квантування, q – крок квантування.

У третьому розділі розглянуті шляхи розширення інформаційних можливостей експрес-аналізаторів оптимізацією методів опрацювання інформації, що містять визначення необхідного обсягу вибірки, інтервалів її дискретизації, розпізнавання законів опису ДС і одержання повної функції розподілу. Запропоновано структури аналізаторів і визначені його похибки.

Відомо, що визначення параметрів ДС виконується шляхом опрацювання гістограм по експериментальним даним і їх достовірність залежить від обсягу вибірки. Необхідний обсяг вибірки визначено із умов мінімізації похибки побудови кривої густини імовірності закону розподілу ДС. Показано, що оптимальний обсяг вибірки можна одержати шляхом обчислення емпіричних моментів m_k , використовуючи їхню збіжність при зростанні вибірки. При неперервному потоці сигналів випадкового розміру обчислене значення емпіричного моменту, отримане рекуррентно в процесі аналізу ДС, наближається до теоретичного, обумовленого значенням математичного чекання E : $\lim_{N \rightarrow \infty} m_k(N) = Ex^N$. Звідси випливає, що обсяг вибірки визначається вимогами до похибки тієї статистики (зокрема, моментів), що є метою дисперсного аналізу. Таким чином, задаючи абсолютну похибку ε обраного емпіричного моменту, процес його обчислення зупиняється при дотриманні нерівності $|m_k(N+1) - m_k(N)| \leq \varepsilon$, а отримане число частинок N визначає необхідний обсяг вибірки.

Відомо, що при ширині інтервалу, більшої 3σ -ого інтервалу середньоквадратичного відхилення, забезпечується взаємна компенсація переходів вимірюваних значень випадкових розмірів в сусідні інтервали. Звідси випливає, що при ширині інтервалу, рівному 3σ -ому, апаратні похибки виміру випадкового розміру не будуть викликати похибок емпіричних частот гістограми. Тоді, найменшу ширину інтервалу DP можна визначити так

$$DP = P_k - P_{k-1} = 3y, \quad (5)$$

а максимальне число інтервалів n при роздільній здатності методу вимірювання Δ_0 і коефіцієнті розмаху $K = P_k / P_0$, становитиме

$$n \geq \frac{\Delta_0 (K-1)}{3\sigma}, \quad (6)$$

де k – номер інтервалу; y – середньоквадратична похибка параметра P , що вимірюється, P_0, P_n – відповідно ліва і права межа розмаху варіації.

Оцінку ступеня наближення обраного аналітичного закону розподілу до емпіричного у виді гістограми виконують по відомих критеріях згоди Колмогорова, χ^2 та інших, що не завжди однозначно визначають вид відомих аналітичних законів.

Запропоновано метод розпізнавання відомих законів розподілу шляхом введення критеріїв, які зображають функції від статистичних параметрів, що зумовлює зменшення обчислювальних операцій. Отримано інваріанти розпізнавання найбільше поширених законів опису ДС, при цьому закон із найменшим модулем інваріанта приймається для апроксимації емпіричного розподілу. Це дозволяє одержати повний закон розподілу по експериментальним даним, що розширює інформаційні можливості експрес-аналізаторів.

Проведено перевірку запропонованої методики визначення обсягу вибірки шляхом імітаційного моделювання з використанням генератора випадкових чисел для формування вибірки, яка підпорядковується закону розподілу з завданими параметрами. Так, для розподілу Вейбулла з параметрами $b = 2, l = 0,05$, зміна параметрів функції розподілу при зміні обсягу вибірки від 500 до 60000 і розбивці інтервалу зміни значень випадкового розміру на 16, нижня межа одержання стійких оцінок статистичних параметрів не перевищував 20000... 30000 значень випадкового розміру при довірчій імовірності 0,98. Аналогічні результати були отримані з використанням логнормального, нормального, гама та ін. видів розподілу.

Визначення оптимальної кількості інтервалів розбивки проводилося з застосуванням імітаційного моделювання на основі розроблених алгоритмів і програм. Результати моделювання (рис. 4) показують, що кількість інтервалів, необхідна для апроксимації закону розподілу залежить від виду функції розподілу і складає 40...60, при обсягу вибірки до 30000 частинок.

По запропонованій методиці методом імітаційного моделювання проведено дослідження часового дозволу ПП в припущенні, що потік частинок надходить у зону аналізу за законом Пуассона. Визначено, що для кондуктометричного ПП максимальна частота проходження частинок ста-

новить 60 кГц (при $r_0=50$ мкм, $\delta=2...33$ мкм), а для фотоелектричного – 10 кГц (при $d_{ц}=10$ мкм, $l_{ц}=50$ мкм, $\delta=5...300$ мкм). За цими значеннями можна визначати тиск, що забезпечує подачу дисперсного середовища з такими частинками в зону аналізу ПП.

Рис. 4. Залежність кількості інтервалів від обсягу вибірки: 1 – логнормальній розподіл, 2 – розподіл Вейбулла, 3 – нормальній розподіл

Запропоновані структури експрес-аналізаторів по їх призначенню в вигляді послідовного з'єднання складових вузлів та загальні вимоги для автоматизації всіх етапів аналізу дисперсного складу ДС.

Основними похибками, що виникають при визначення дисперсного складу ДС диференціальними методами, є: *похибка від збігів, методична похибка, похибка від шумів ПП, інструментальна похибка вимірювального каналу*. Визначено, що основною складовою інструментальної похибки вимірювального каналу є *методична похибка* перетворення параметрів частинок в електричний сигнал (7...10%). Визначено *похибки фотоелектричного і кондуктометричного аналізаторів*, що приблизно складають, відповідно, 12% і 15%.

У четвертому розділі проведені *експериментальні дослідження* для перевірки адекватності розроблених ММ підготування проби, подачі частинок. Для експрес-аналізаторів розроблено *методику градуювання та інженерного проектування*.

Запропоновано та досліджено пристрій підготування проби (а.с. № 1636730). Руйнація агрегатів частинок в ньому здійснюється створенням напруженості електричного поля 3000...10000 В/см між двома горизонтальними електродами з порошком. Внаслідок зарядки агрегати після відриву співударяються з поверхнею електродів та між собою і руйнуються. Досліджувалися порошки металів і діелектриків, мінерального (кварцовий пісок, оксиди, рубін, абразиви, тощо) і органічного (мука, кава, сухе молоко, продукти дитячого харчування, тощо) походження у постійному електричному полі напруженістю 3...10 кВ/см, змінному – з тієї ж амплітудою і частотою 20...1500 Гц, а також імпульсного прямокутної форми з аналогічною амплітудою при тривалостях імпульсів 0,02...1 мс та частотою 0,02...5 кГц. Показано, що ефект максимальної руйнації досягається в постійному полі при напруженостях 7...9 кВ/см для металевих і більшості діелектричних порошків, а в змінних і імпульсних полях різноманітних частот – досягається при значеннях напруженості електричного поля до 5...7 кВ/см в межах частот 150...250 Гц та залежить від розмірів, форми, матеріалу частинок. Визначено, що час, необхідний для руйнації агрегатів, не перевищує 90...100 с.

Запропоновано і експериментально досліджено *двохкамерний пристрій*, що забезпечує підготування проби в верхній камері, та її подачу в нижню. Наступне виведенням частинок із неї здійснюється через тонку трубку створенням надлишкового тиску. Цим забезпечується *автоматизація підготовки проби і формування потоку частинок*, що поєднує обидва етапи в одному вузлі.

У зв'язку з відсутністю метрологічного забезпечення застосування аналізаторів у якості системи контролю дисперсного складу порошків, запропоновано методику їх градуювання. В ній з'являються значення рівнів напруги (струму), що відповідають певним каналам багатоканального аналізатора, зі значеннями амплітуд електричного сигналу напруги (струму) від частинок розміром $d_{зкв}$ не менше, ніж в трьох значеннях діапазону аналізованих розмірів:

$$d_{зкв} = \alpha n, \quad (7)$$

де α - градуювальний коефіцієнт, n - номер каналу аналізатора.

При градуюванні аналізаторів в якості *стандартних зразків* використовуються ДС із різко вираженою модою і малою дисперсією розмірів частинок, до яких відносяться частинки природного походження: пилок і суперечки рослин; частинки штучного походження: латекси, різні порошки. Ідеальний стандартний зразок ДС, у якому всі частинки мали б однаковий розмір, підібрати або виготовити неможливо. Тому що в аналізатор надходять сигнали, амплітуда яких може змінюватися в межах ширини його каналу, приймаємо, що сигнал U кожного каналу визначається при градуюванні його середнім значенням $\bar{\delta}$. У загальному випадку, ширина інтервалу розмірів частинок $h_{обр}$ стандартного зразка ДС обмежена "знизу" значенням інструментальної похибки електричного сигналу $D U$, а "зверху" – значенням дисперсії розмірів частинок реального стандарт-

ного зразка. Тоді, з урахуванням функції концентрації $Q(h) \geq 1 - \sigma_{обр}^2 / h_{обр}^2$, ширина інтервалу розмірів стандартного зразка повинна відповідати співвідношенню:

$$2\sqrt{3}\varepsilon_U \bar{\delta}_U \leq h_{обр} \leq \frac{2\sigma_{обр}}{\sqrt{\varepsilon_{обр}}}, \quad (8)$$

де $\sigma_{обр}$ - середньоквадратичне відхилення моди стандартного зразка.

На підставі проведених теоретичних і експериментальних досліджень розроблена *методика інженерного проектування експрес-аналізаторів* на основі диференціальних методів. За методикою розроблена серія фотоелектричних аналізаторів сканування частинок, що рухаються, вузькою щілиною з автоматичним пробопідготуванням (АДФ-1... АДФ-3) і серія кондуктометричних аналізаторів (АДК-1... АДК-6). Час аналізу 1...2 хв. Діапазон аналізованих розмірів частинок для фотоелектричних аналізаторів 5... 300 мкм, а для кондуктометричних 2... 180 мкм. Похибки фотоелектричних і кондуктометричних аналізаторів по каналах складають відповідно 14% і 16%.

У п'ятому розділі розглянуті два підходи до побудови систем управління дисперсним складом порошків. Перший, найбільше загальний, полягає в побудові систем підтримки прийняття рішень і доцільний для періодичних ТП (розмел у кульових млинах, здрібнювання в дезінтеграторах, тощо), де звичайно, застосовується ручний відбір проби. Другий, кращий – для процесів одержання порошків із можливістю безупинного відбору проби і реалізацією систем автоматичного регулювання дисперсним складом ДС.

Розглянуто синтез системи регулювання дисперсним складом алюмінієвого порошку, одержуваного розпиленням розплаву алюмінію. Технологічні агрегати, що забезпечують розпилення розплаву, розглянуті як об'єкт управління. Показано, що в загальному вигляді, цільовою функцією системи управління дисперсним складом в процесі виробництва є одержання ДС із функцією розподілу $\Phi = f(F_3(x))$, що задається, де $F_3(x)$ – функція розподілу, обумовлена вимогами ТП. Для більшості ТП виробництва ДС основною вимогою є умова максимального виходу частинок порошку певного діапазону розмірів (необхідної фракції), а, отже, – критерієм оцінки якості по дисперсному складі K_δ в такому вигляді

$$K_\delta = F(\delta_2) - F(\delta_1) \quad \text{або} \quad K_\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_2} f(\delta) d\delta, \quad 0 < K_\delta < 1,$$

де δ_1, δ_2 – мінімальний і максимальний розміри частинок фракції, $F(\delta)$ – функція розподілу частинок ДС по розмірних параметрах, $f(\delta)$ – густина імовірності.

В загальному вигляді пропонується використання системи, у якій для одержання оперативної інформації для управління використовується експрес-аналізатор (ЕА), а для корекції його показань (тарування) – лабораторний контроль (рис. 5), періодично виконуваний стандартизованими лабораторними методами з використанням метрологічно атестованих засобів вимірів. Впливом, що задає, в такій системі є критерій якості по дисперсному складі, що визначає необхідні параметри функції розподілу.

Проведено аналіз технологічних параметрів технологічного агрегату розпилення розплаву (ТАРР) з урахуванням їх ступеня впливу на дисперсний склад алюмінієвого порошку. На підставі аналізу визначені найбільш значимі параметри: тиск газу, що розпилює $P_{зф}$ найбільш впливає – на медіану d_{50} , площа кільцевого зазору форсунки S_3 – на середньоквадратичне відхилення у функції розподілу. Вони вибрані в якості змінних, що керуються.

Рис. 5. Узагальнена структурна схема автоматизованої системи управління технологічним агрегатом розпилення розплаву (ТАРР)

З використанням експериментальних статичних характеристик форсунки розроблена ММ ТАРР як об'єкта управління. ММ складається із: ланки транспортного запізнення, що описує осадження частинок у пилоосаджувачі, аперіодичної ланки другого порядку, що відповідає мембранному виконавчому механізмові із позиціонером на трубопроводі інертного газу, та аперіодич-

ної ланки першого порядку, що відповідає електромоторному виконавчому механізмові переміщення кільцевої вставки для зміни площі кільцевого зазору форсунки. До складу ММ ТАРР входить також ММ аналізатора в вигляді ланок запізнювання, що відображають відбір і підготування проби, формування потоку частинок, вимір їхніх розмірів і розрахунок параметрів функції розподілу, а також ланка, що забезпечує одержання усереднених на ковзному інтервалі (фільтр рівномірного усереднення) значень медіани $\hat{\delta}_{50}$ і середньоквадратичного відхилення $\hat{\sigma}$. Ланка усереднення виконує опрацювання обсягу вибірки, що змінюється рекуррентно. Для визначення оцінок параметрів функції розподілу ланка подана в виді складових, що усереднюють медіанний розмір δ_{50} і середньоквадратичне відхилення σ . Для спрощення процесів моделювання в моделі ланки усереднення проведено заміну дискретних по фізичній сутності результатів усереднень (оскільки подача кожної частинки в аналізатор є окремою подією) на безперервні. Це припустимо, тому що частинки надходять в первинний перетворювач експрес-аналізатора упорядковано (за рахунок чого час аналізу для однакової вибірки залишається приблизно однаковим), а обсяг аналізованої вибірки – значний. Аналітичні вирази для розрахунків оцінок $\hat{\delta}_{50}$ і $\hat{\sigma}$ мають вид:

$$\hat{\delta}_{50}(t) = \frac{0,5}{T_{ocp}} \int_t^{t+T_{ocp}} F(\delta_i)(t - \tau_{mp}) dt, \quad \hat{\sigma}(t) = \sqrt{\frac{1}{T_{ocp}} \int_t^{t+T_{ocp}} (\delta_i(t - \tau_{mp}) - \delta_{cp1})^2 dt},$$

де $\tau_{mp} \approx 600$ с – час транспортного запізнювання, $T_{ocp} \approx 1...2$ с – час усереднення статистичної інформації про параметри ДС.

З використанням запропонованих моделей розроблена структурна схема системи регулювання дисперсного складу пульверизата, характерною рисою якої є перехресні зв'язки по каналах управління δ_{50} і y (рис. 6).

Аналіз перехідних процесів, отриманих в результаті моделювання запропонованої системи, показує, що в пускових режимах при початкових положеннях регулюючих органів спостерігаються значні динамічні відхилення регульованих змінних від заданих значень і тривалий час виходу в область робочих режимів. Для забезпечення більш ефективного запуску технологічного устаткування використано підключений паралельно входові системи блок розрахунку початкових наближень управляючих дій, виконаний на основі алгоритму, що забезпечує розрахунок $P_{z\phi}^{нач}$ і $S_z^{нач}$ за квазістатичною моделлю об'єкта управління (рис. 6).

Рис. 6. Структурна схема системи регулювання дисперсного складу

де δ_{50}^{zd} , y^{zd} - значення медіанного розміру частинок пульверизата і середньоквадратичного відхилення функції розподілу пульверизата, що задаються; f - впливи, що збурюють

Розроблена система автоматичного регулювання дисперсним складом пульверизата пройшла випробовування на Іркутському алюмінієвому заводі. Експериментальні дослідження показують, що за вісім годин роботи пульверизаційної установки (ПУ) в типовому режимі відбувається зменшення K_d або виходу необхідної фракції приблизно на 30%. Значення розрахованого за результатами аналізу K_d на початковому етапі процесу розпилення приведено на ділянці 1.1 кривій (рис. 7а), на вирішальному – на ділянці 1.2. кривій (рис. 7а), а при використанні розробленої системи регулювання дисперсного складу отримано криву 2 (рис. 7а).

Рис. 7. Залежність K_d від часу роботи форсунки (а); густина імовірності функції розподілу пульверизату (б): 1.1 після запуску форсунки, - - - - 1.2 через п'ять годин роботи форсунки, ——— 2 при роботі із системою регулювання

Аналіз зміни густини імовірності, отриманої в сталому режимі після запуску ПУ (рис. 7б, крива 1.1) і через п'ять годин роботи, показує, що за цей час роботи ПУ в типовому режимі відбувається зменшення K_d або виходу необхідної фракції приблизно на 30% (рис. 7б, крива 1.2). При

роботі ПУ із системою автоматичного регулювання значення K_D практично не змінюються (крива 2), що обумовило збільшення виходу необхідної фракції порошку на 8,8%.

Запропоновано підхід до побудови системи підтримки прийняття рішень при виробництві ДС із використанням інформації про поточні значення параметрів ТП і параметрів дисперсного складу з аналізом ситуації і видачею рекомендацій технологу по управлінню ТП із наданням економічної оцінки по варіантах рішення.

ВИСНОВКИ

У дисертації подане нове рішення актуальної науково-технічної проблеми, що полягає в удосконалюванні систем контролю і управління дисперсним складом ДС в ТП їх виробництва. Основу рішення склали розробка експрес-аналізаторів, що забезпечують контроль дисперсного складу ДС в режимі реального часу і розробка з їх застосуванням систем регулювання дисперсного складу ДС, що полягає в перебуванні і використанні таких управляючих дій, що впливають на необхідні параметри функції розподілу одержуваних порошків для їх відповідності заданим. Це дозволяє підвищити техніко-економічні показники ТП виробництва ДС. У ході виконання роботи отримані такі найбільше важливі наукові і практичні результати:

1. Проведено класифікацію і обрані диференціальні методи аналізу ДС, що забезпечують експресність отримання інформації, і можливість їх використання в системах контролю і управління технологічними процесами.

2. Запропоновано методи визначення обсягу вибірки аналізованих частинок при оцінці дисперсного складу ДС диференціальними методами і закону розподілу ДС за розмірними параметрами, на підставі якого можна відновити повний розподіл по емпіричним даним, а також теоретичне обґрунтування розрахунку кількості інтервалів розбивки діапазону аналізованих розмірів частинок порошку. Це дозволило оптимізувати інформаційні можливості аналізаторів.

3. Розроблено структури експрес-аналізаторів дисперсного складу ДС і визначені вимоги до його вузлів. Розроблено двохкамерний пристрій, що забезпечує об'єднання етапів руйнації агрегатів частинок проби та подачі потоку частинок у ПП, заснований на застосуванні електричних полів високої напруженості. Експериментально визначені режимні параметри і вид використовуваних в пристрої підготування проби електричних полів напруженістю 5...10 кВ/см: для неорганічних матеріалів – постійне, змінне з частотою 20... 1500 Гц, для органічних - імпульсне, зі шпаруватістю 10...15. Час, достатній для руйнації агрегатів, складає 90... 100 с.

4. Розроблено математичні моделі основних вузлів експрес-аналізатора і модель інформаційно-вимірювального каналу для системи регулювання дисперсним складом порошків; проведено їх імітаційне моделювання по запропонованих алгоритмах і програмам. Розроблено структуру вимірювальної частини аналізатора, інваріантною до видів застосовуваних первинних перетворювачів.

5. За допомогою імітаційного моделювання виконана перевірка адекватності запропонованих методів визначення обсягу вибірки і числа інтервалів діапазону розбивки аналізованих розмірів частинок ДС, обумовлена необхідною похибкою аналізатора. Показано, що обсяг вибірки і число інтервалів розбивки залежить від виду закону розподілу ДС, і визначено, що при обсягу вибірки до 30000 частинок кількість каналів повинно бути не більш 40.

6. Визначено складові похибок аналізаторів, що виникають при оцінці дисперсного складу ДС диференціальними методами. Показано, що основною складовою є методична похибка перетворення параметра частинки, що вимірюється, в електричний сигнал. Для кондуктометричного аналізатора вона складає 9% при загальній похибці 15%, а для фотоелектричного – 8% при загальній – 12%.

7. Запропоновано методику проведення градуювання аналізатора в залежності від необхідної похибки статистичних параметрів аналізованої ДС. Встановлено, що основною вимогою до стандартних зразків ДС, застосовуваних при градуюванні, є значення середньоквадратичного відхилення розмірів частинок стандартного зразка з врахуванням відносної похибки зміни електричного сигналу від них.

8. Запропоновано методику інженерного проектування експрес-аналізаторів дисперсного складу, на підставі якої розроблені експрес-аналізатори, що використовують фотоелектричний і

кондуктометричний первинні перетворювачі. Похибка оцінки параметрів функції розподілу частинок по розмірах аналізаторами не перевищує 15%, при часі аналізу – не більш 60 с.

9. Обґрунтовано регульовані змінні в виді медіани і середньоквадратичного відхилення, що забезпечують можливість управління дисперсним складом алюмінієвих порошків за рахунок зміни тиску газу, що подається на форсунку, та площі її кільцевого зазору.

10. Розроблено структуру системи регулювання дисперсним складом із управляючими діями, що впливають на різні параметри функції розподілу ДС за розмірами при виробництві алюмінієвого порошку методом розпилення розплаву, та структура системи підтримки прийняття рішень по управлінню. Розроблена система автоматичного регулювання дисперсним складом алюмінієвого порошку пройшла виробничу перевірку на пульверизаційній установці Іркутського алюмінієвого заводу і забезпечила збільшення виходу заданої фракції на 8,8% за 5...8 часів роботи, при продуктивності ПУ 1000 кг/год. Застосування системи підтримки прийняття рішень на дослідному заводі ОАО УкрНДІВ (Харків) в ТП отриманні вогнетривких порошків у кульовому млині показали зниження витрат електроенергії на 300...500 кВт/год на тонну виробленого продукту.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Наремский Н.К., Тигарев А.М., Алёшин А.М. Теоретические и практические основы разработки многофункциональных экспресс-анализаторов дисперсности порошков. Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. 1988, №4, том XXXIII, с. 94–101.

2. Лашманов В.И., Алёшин А.М., Наремский Н.К., Тигарев А.М. Классификация порошков в электрическом поле // Порошковая металлургия. – 1990. – №12 с. 10–14.

3. Тигарев А.М., Монтик П.Н. Распознавание функции распределения при анализе дисперсности измельчённых материалов. // Нове в технології зберігання та переробки зерна: Наук. пр. / Одес. держ. акад. харч. техн. – Одеса, 2002. – Вип. 24.–С. 402–405.

4. Монтик П.Н., Тигарев А.М. Методика градуировки информационно-измерительных систем анализа дисперсности. // Тр. Одес. Политехн. ун-та. – Одесса, 2002. – Вып. 2(18) – С. 44–48.

5. Монтик П.М., Тигарев А.М. Система керування дисперсним складом порошкових матеріалів. Наук. пр. // Одес. нац. акад. харч. техн. – Одеса, 2003. – Вип. 25.– С 234–237.

6. Устройство для подготовки препаратов из грубодисперсных порошков к исследованию их грануломорфологических характеристик: А.с. № 1636730 СССР, МКИ G 01 N 15/00./ А.М. Тигарев, А.М. Алёшин, Б.В. Кузнецов (СССР).– № 4343292/25; Заявлено 05.11.87; Опубл. 23.03.91, Бюл. №11,–2 с.

7. Способ анализа дисперсности порошковых материалов и устройство для его осуществления: А.с. № 1767392 СССР, МКИ G 01 N 15/02./ Е.Ф. Песчаный, А.М. Тигарев (СССР).– № 4706866/25; Заявлено 05.07.89; Опубл. 07.10.92, Бюл. №37,–2с.

8. Пристрій для аналізу дисперсності порошків кондуктометричним методом: Патент на винахід №12085 Україна, МКИ G 01 N 15/02./ А.М. Тигарев, О.М. Алешін (Україна).– № 4497914/SU; Заявлено 25.10.88; Опубл. 25.12.96, Бюл. №4.

9. Тигарев А.М., Кузнецов Б.В. Автоматизированная система анализа степени дисперсности в лабораторных условиях // Всесоюзное совещание по математическому моделированию и управлению высокотемпературными процессами в циклонных и вихревых аппаратах. Тез. докл. - Одесса, 1980, с. 168.

10. Тигарев А.М., Кузнецов Б.В. Постановка задачи создания типовой автоматизированной системы оперативного контроля и управления степенью дисперсности мелкодисперсных материалов// IV Всесоюз. конф. "Механика сыпучих материалов". Тез. докл. – Одесса, 1980, с. 282.

11. Алёшин А.М., Тигарев А.М. Кондуктометрический анализатор АДК-03М – как элемент КТС управления и регулирования дисперсности порошковых материалов.– Львов: Материалы второй украинской конференции по автоматическому управлению "Автоматика-95", 1995, с. 26-27.

12. Тигарев А.М., Алёшин А.М., Кузнецов Б.В. Использование микропроцессорной ИИС для технологического контроля и управления процессами изготовления сыпучих материалов // Всесо-

юзная конференция "Применение аппаратов порошковой технологии и процессов термосинтеза в народном хозяйстве": Тез. докл. – Томск, 1987, с. 2.

Тигарев А.М. Контроль и управление дисперсным составом порошков в технологических процессах их производства. – Рукопись.

Дисперсные материалы широко используют в порошковой металлургии, химической, пищевой и других отраслях промышленности. Дисперсный состав определяет основные свойства порошковых материалов. От дисперсного состава зависят качественные показатели композиционных материалов, электрорадиоматериалов, люминофоров, цемента, муки кофе и других продуктов. Анализ дисперсного состава необходим в процессе производства для контроля и управления технологическими процессами и для научных исследований. Наиболее полной характеристикой дисперсного состава является функция распределения дисперсных систем (ДС) по размерным параметрам. Существующие измерительные средства для анализа дисперсного состава обладают недостаточной информативностью и низким быстродействием. Это не позволяет их использовать для оперативного управления технологическими процессами при производстве и переработке дисперсных систем. Исследования, направленные на разработку систем контроля и регулирования технологическими процессами производства и переработки дисперсных систем, являются актуальными.

Цель работы – средствами автоматизированного оперативного контроля и управления обеспечить повышение степени соответствия дисперсного состава порошковых материалов заданному, добиться снижения удельных энергозатрат и потерь сырья.

В диссертации проведен анализ существующих методов и устройств анализа дисперсного состава. Выполнена их классификация и определены наиболее перспективные дифференциальные методы анализа, основанные на измерении размерных параметров отдельных частиц. На основании анализа существующих дифференциальных методов получения информации о дисперсном составе ДС, распределения движения материальных потоков ДС и потоков информации выделены основные блоки анализатора, определён состав входящих в них узлов и их функции. Это позволило предложить целевую функцию анализатора и разработать математические модели (ММ) узлов устройств отбора, подготовки пробы и подачи частиц в зону анализа первичного преобразователя, а также измерительного канала анализатора.

В зависимости от агрегатного состояния ДС определены наиболее приемлемые методы подготовки пробы для использования в анализаторе. ММ устройства подачи частиц разработана с учётом, обеспечения требования формирования потока одиночных частиц в зону анализа.

Из дифференциальных методов наиболее перспективным является использование кондуктометрического и фотоэлектрического первичных преобразователей (ПП). Для них разработаны ММ преобразования размерных параметров частиц в электрический сигнал. Разработанная ММ кондуктометрического ПП учитывает влияние электрического поля и поля скоростей в капилляре датчика, что позволило уточнить зависимость амплитуды и параметры фронтов импульсного сигнала от размеров частиц. ММ фотоэлектрического ПП разработана с учётом геометрических размеров щели и параметров светового потока, а также оптических свойств материала частиц. Определены требования к необходимому количеству частиц и каналов, необходимых для получения функции распределения частиц по размерам с требуемой точностью. Предложена методика распознавания законов распределения частиц ДС по размерам с использованием инвариантов, основанных на взаимозависимости начальных моментов распределения. Разработан алгоритм и выполнено имитационное моделирование устройства подачи частиц для определения временных параметров формируемого потока частиц. Определена структура погрешностей, возникающих при анализе дисперсного состава ДС дифференциальными методами. Проведен их анализ и оценка составляющих погрешностей, вносимая в общую погрешность анализа. Установлено, что наибольший вклад вносит методическая погрешность, составляющая для кондуктометрического метода анализа 9% при общей погрешности 15%, а для фотоэлектрического метода 8% при общей 12%. Выполнено имитационное моделирование методов обработки информации и процессов функционирования основных узлов анализатора. Предложены структурные схемы анализаторов дисперсного со-

става для различных целей. Проведено экспериментальное исследование узлов анализатора подтвердившее их адекватность разработанным математическим моделям. Предложена методика градуировки анализаторов дисперсного состава с использованием эталонных порошков. Разработана методика инженерного проектирования анализаторов. Предложены структуры системы регулирования дисперсным составом при производстве, с использованием анализатора ДС в цепи обратной связи, и системы поддержки принятия решений. Обоснованы регулируемые переменные, обеспечивающие возможность управления дисперсным составом порошков, представляющие статистические параметры однозначно характеризующие функцию их распределения по размерам. Разработана модель распылительной установки как объекта управления, на основе которой реализована система стабилизации дисперсного состава алюминиевых порошков, получаемых распылением расплава. Предложена структура системы автоматического регулирования параметров дисперсного состава алюминиевых порошков, включающая блок расчёта начальных приближений управляющих воздействий, обеспечивающая повышение динамической точности в переходных процессах, при больших запаздываниях в каналах регулирования.

Ключевые слова: дисперсный состав, функция распределения, размерные параметры частиц, кондуктометрический и фотоэлектрический первичные преобразователи, разрушение агрегатов, экспресс-анализатор, стандартный образец, градуировка, математические модели, управление дисперсным составом.

Тігарев А.М. Система контролю та управління дисперсним складом порошків у технологічних процесах їх виробництва. - Рукопис.

Дисперсні матеріали широко використовують у порошковій металургії, хімічній, харчовій і інших галузях промисловості. Мета дослідження – засобами автоматизованого оперативного контролю і управління забезпечити підвищення ступеня відповідності дисперсного складу порошкових матеріалів заданому, домогтися зниження питомих витрат енергії і втрат сировини.

У дисертації проведено аналіз існуючих методів і пристроїв аналізу дисперсного складу. З них найбільш перспективними є кондуктометричний і фотоелектричний методи аналізу. Для цих методів розроблені математичні моделі перетворення розмірних параметрів частинок в електричний сигнал. Визначено вимоги до необхідної кількості частинок і каналів, необхідних для одержання функції розподілу частинок по розмірах з необхідною точністю. Запропоновано методику градування аналізаторів дисперсного складу з використанням еталонних порошків. Розроблено методику інженерного проектування аналізаторів. Запропоновано підхід до побудови систем контролю та управління дисперсним складом порошків при їх виробництві.

Ключові слова: порошок, дисперсний склад, функція розподілу, розмірні параметри частинок, кондуктометричний та фотоелектричний первинні перетворювачі, руйнація агрегатів, експрес-анализатор, стандартний зразок, градування, математичні моделі, управління дисперсним складом.

Tigarev A. M. Control and handle of a dispersible structure of dusts in master schedules of their production. - Manuscript.

Disperse materials widely use in a powder metallurgy, chemical, food and other industries. The researches directional on development of analyzers disperse structure intended for the control and regulation by technological processes of manufacture and processing of disperse systems are actual.

The purpose dissertation of activity is the increase of accuracy of the analysis disperse structure and expansion of information capabilities of analyzers by optimization of their structure and methods of processing of the information for control and regulation systems. For the conductometric and photoelectric methods of the analysis the mathematical models of transformation of dimensional parameters of particles in an electrical signal designed. The requirement to necessary quantity of particles and channels necessary for obtaining for a distribution function of particles on the sizes with required accuracy are determined. The simulation modeling of methods of processing of the information and processes of functioning of ba-

sics units of an analyzer is made. The technique of graduation of analyzers of disperse structure about use of reference powders is offered. The technique of engineering designing of analyzers designed. The control system of a disperse structure of an aluminium powder gained by sputtering of fluid metal by an injector is offered.

Key words: disperse structure, the distribution function of particles on the sizes, the conductometric and photoelectric methods, regulation disperse structure by technological processes.