

ЛАЗЕРНІ (ОПТИЧНІ) МЕТОДИ РЕЄСТРАЦІЇ ОКРЕМИХ ЧАСТИНОК В ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМАХ

С. М. Контуш, О. С. Черненко, В. В. Калінчак, В. В. Калугин,
С. А. Щекатоліна

Одеський національний університет ім.І.І.Мечникова, м.Одеса, Україна

Новатек-електро, м.Одеса, Україна

Одеська національна академія харчових технологій, м.Одеса, Україна

skontush@odessaglobe.com

У статті надано короткий огляд розвитку оптичних методів реєстрації частинок, зважених в повітрі, з використанням сучасних лазерних і комп'ютерних вимірювальних компонент. Приведені деякі дані про розробку в Одесі відповідних приладів – лазерних лічильників частинок – і їх використання в екології і деяких технологіях.

УДК 535

При проведенні екологічних досліджень важливим завданням є вимірювання концентрації в повітрі зважених частинок (частинок аерозолі). Відомо, що вдихання забрудненого повітря негативно впливає на здоров'я людини, особливо в легені потрапляють частинки малих розмірів (менших, ніж 2,5 мкм). Традиційний метод вимірювання концентрації частинок, заснований на осадженні частинок на фільтрі, дуже трудомісткий, не дає даних в режимі online і результатів вимірювань по фракціям. Фізичне явище розсіювання частинками світла дозволяє різко поліпшити процедуру вимірювання вмісту частинок аерозолі в повітрі. Відповідні оптичні прилади - лічильники частинок - сконструйовані багато років тому. Проте лише в останні роки в зв'язку з розвитком фотоніки, електроніки та комп'ютерної техніки з'явилися зручні для екологічних вимірювань прилади.

Розсіяння світла окремими частинками аерозолів або гідрозолей ретельно вивчається з часу робіт Релея. Один з перших результатів таких досліджень – пояснення блакитного кольору неба в стороні від сонця. У 30-х роках 20-го століття були виконані перші вимірювання поведінки зважених в повітрі або рідині окремих частинок методом ультрамікроскопії, тобто методом реєстрації розсіяного ними світла.

На основі розвитку фотоніки (тобто прикладної оптики) і електроніки в 40-х роках були створені автоматичні оптичні прилади не тільки для реєстрації частинок аерозолів, але і для вимірювань їх розмірів. Такий методичний прийом отримав назву SPOS – Single Particle Optical Sizing, тобто “вимірювання розмірів частинок оптичним методом”. Технічно це означає, що необхідно потік частинок (в повітрі або в рідині) освітлювати

дуже вузьким потоком світла і виділяти тим або іншим чином в потоці світла малу область, в яку частинки входять статистично по одній. На цю область сфокусован відповідний оптичний фотодетектор, і тому при появі в ній частинки виникає електричний сигнал, амплітуда якого залежить від інтенсивності розсіяного частинкою світла, в основному – від її розміру.

Особливий розвиток таких методів вимірювань отримав в результаті появи лазерних діодів, високочутливої електроніки і мікроконтролерів. Були створені різноманітні так звані лічильники частинок як для технологій, так і для екології. Як з'ясувалося приблизно 40-50 років тому, без ретельного очищення повітря від частинок неможливий розвиток сучасної електроніки і створення комп'ютерів. Тому лазерні лічильники частинок аерозолів виявилися вельми затребуваними приладами для електронної промисловості.

Відзначимо деякі фізичні проблеми, що виникають при реалізації методу SPOS. Основною проблемою є вибір такого режиму освітлення потоку частинок, при якому інтенсивність розсіяного кожною частинкою світла зростає із збільшенням розміру частинки. Теорія розсіяння світла частинками відома з робіт знаменитого фізика Мі, і останніми роками результати відповідних розрахунків приведені на декількох сайтах, наприклад, на сайті www.philiplaven.com. З цих даних можна знайти оптимальне розташування джерела світла по відношенню до фотоприймача. Якнайкращим визнане таке, при якому оптичні осі джерела світла і фото приймального пристрою складають кут близько 90 град.

Далі, розподіл інтенсивності світла у випромінюванні лазерних діодів описується кривою Гауса, і тому необхідно, щоб частинки перетинали промінь світла лише в тій області, де потік світла однорідний. Ця проблема вирішується або оптично шляхом перетворення потоку світла в П-подібний, або таким звуженням потоку аерозолу, при якому він значно вужчий, ніж потік світла.

У Одесі в ООО Новатек-Електро останніми роками було розроблено декілька приладів такого типу для вирішення різних завдань [1,2].

Одним з них є лічильник частинок аерозолу ИЗ-124, в якому вдалося вирішити вищезгадані проблеми і створити малогабаритний прилад з вельми високими характеристиками. В ньому використовується малопотужний лазерний діод потужністю близько 30 мВт червоного кольору. Розсіяний кожною частинкою світло реєструється не одним, а двома фотодіодами, для того, щоб порівняти між собою виникаючі два сигнали і тим самим поліпшити залежність між інтенсивністю розсіяного світла і розміром частинки. Кожен сигнал оцифровується, і за допомогою мікроконтролера відбувається обробка даних з виведенням отриманої інформації на дисплей лічильника або на зовнішній комп'ютер. Крім того, що **особливо важливо**, мікроконтролер проводить підсумовування

інформації і розраховує **вагову концентрацію** аналізованого аерозолі. Такі вимірювання дозволяють повністю замінити загальноприйнятту в екології методику вимірювань забруднення повітря за допомогою осадження частинок на фільтр.

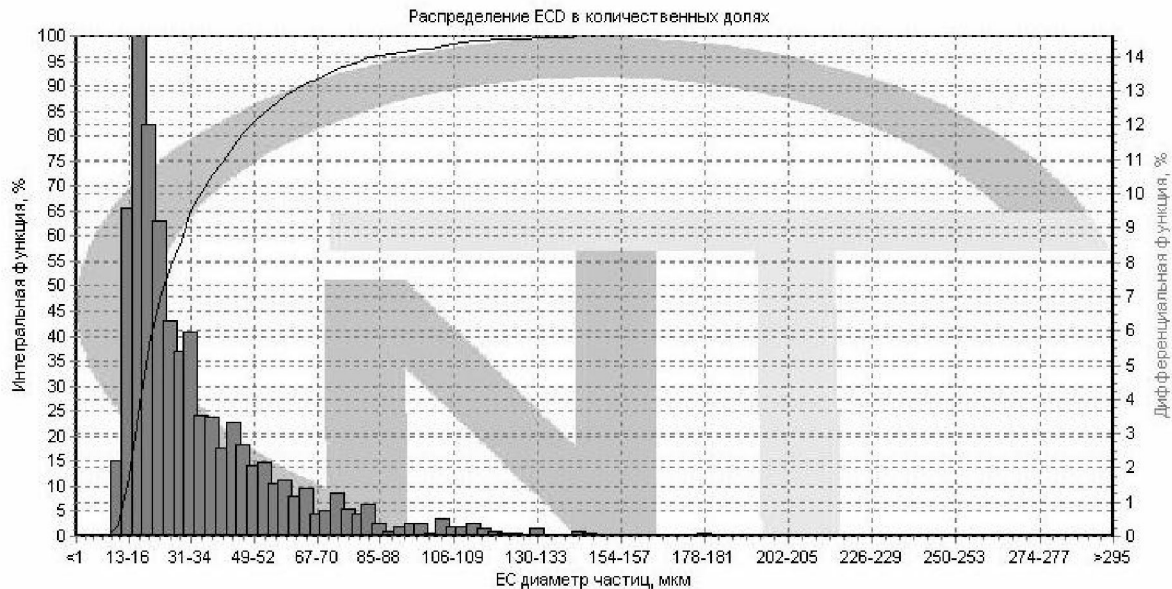


Рис. 1. Інтегральна та диференціальна функції розподілу за діаметром частинок пилу електродного вугілля, отриманого лазерним лічильником тінювим методом, реалізованого в АСОД. Загальна кількість частинок 1380. Модальний розмір дорівнює 25 мкм.

Цей лічильник реєструє частинки в межах від 0.5 до 5 мкм, має розміри близько 250x120x50 мм і вагу близько 0.5 кг.

Цей і деякі інші лічильники частинок аерозолі багато разів використовувалися студентами екологічних спеціальностей Академії холоду (що нині входить до складу Одеської національної академії харчових технологій) для вимірювань забруднення повітря в Одесі і деяких інших містах. Було знайдено, що наявна висока кореляція між свідченнями лазерних лічильників і вимірюваннями осадженням на фільтри. При цьому продуктивність процесу вимірювань підвищується в багато разів.

Інший варіант реалізації методу SPOS використаний в тінювому приладі АСОД – автоматичній системі визначення дисперсності порошків. У цьому приладі реєструється не розсіяне частинками світло, а тінь кожної частинки, що перетинає лазерний промінь. На фотоприймачі, освітлюваним променем лазера, виникає негативний імпульс по відношенню до основної його освітленості, амплітуда якого пропорційна площі перетину частинки. Легко показати, що чутливість системи до вимірювання малих частинок залежить від співвідношення між перетином лазерного променя і перетином частинки. Практично показано, що при

перетині лазерного променя, рівному приблизно 20x500 мкм, упевнено можна реєструвати частинки розміром 3 мкм. Проте для таких і менших частинок на утворення чіткої тіні великий вплив має явище дифракції світла на окремих частинках. Розрахунки і досліди підтвердили розумне вказане вище мінімальне значення вимірюваних частинок – близько 3 мкм.

Цей прилад призначений насамперед для вимірювання гранулометричного складу порошків різної природи (рис.1). Для цього невелика порція порошку розпилюється і отримана аеросуспензія вводиться у прилад. Вбудований мікроконтролер, як і в інших подібних пристроях, дає можливість в режимі поточного часу отримати дані про гранулометричний склад порошку. Відзначимо, що на відміну від приладів з розсіянням світла, вимірювання тінювим методом в АСОД майже не залежать від оптичних властивостей частинок.

Література

1. Черненко А.С., Контуш С.М., Зинченко Ю.А., Калинин В.В., Калугин В.В. *Определение гранулометрического состава порошков пылеугольного топлива автоматизированной системой // Приборы и методы измерений.* – 2015. – № 1. – С. 87-93.
2. Контуш С.М., Щекатолина С.А., Гужва А.Ю., Бурлака Т.В. *Лазерные счетчики частиц аэрозоля для экологических измерений // Физика аэродисперсных систем.* – 2014. – Т. 51. – С. 109-114.