

УДК 543.43.001:541.182.2/3

ББК 1 104.632 В 734.9-5

Я.Л. Миндюк

ОПТИЧНИЙ НЕФЕЛОМЕТРИЧНИЙ АЕРОЗОЛЬНИЙ АНАЛІЗАТОР

Розглянуто принципи побудови оптичного нефелометричного аерозольного аналізатора, можливості схемного рішення нефелометричного аналізатора в режимі градуювання та перевірки. Проаналізовано параметри пристрою градуювання та перевірки нефелометричного аналізатора. Показано, що запропоноване схемне рішення пристрою градуювання та перевірки дозволяє імітувати аерозольні середовища з коефіцієнтом світлорозсіювання в діапазоні $4 \cdot 10^2 \dots 5 \cdot 10^{12}$.

Розвиток робіт щодо виробництва мінеральних добрив, продуктів побутової хімії, будівельних матеріалів та інших дисперсних речовин харчової промисловості призводить до різкого збільшення кількості пилу, що викидається в атмосферу. Пил підприємств виробництва мінеральних добрив, побутової хімії переважно дрібнодисперсний. Наприклад, на підприємствах виробництва азотних добрив – карбаміду – концентрація карбамідного пилу складає $200 - 500 \text{ мг/м}^3$, діапазон розмірів частинок – від 0,1 до 10 мкм [1]. Під час вдихання повітря, що містить пил, з'являється подразнення дихальних шляхів, кон'юнктивіт, функціональні зміни серцево-судинної та нервової системи [2].

Неперервний контроль пилових викидів дозволяє настроїти працю пилоочисного устаткування на рівень гранично допустимих викидів аерозолів, прогнозувати поломки головних його вузлів, а також зменшити втрати продукту, що викидається в атмосферу. Одним з найкращих засобів контролю пилових викидів є оптичні нефелометричні аналізатори, які відрізняються безконтактністю, безінерційністю, високою чутливістю вимірів.

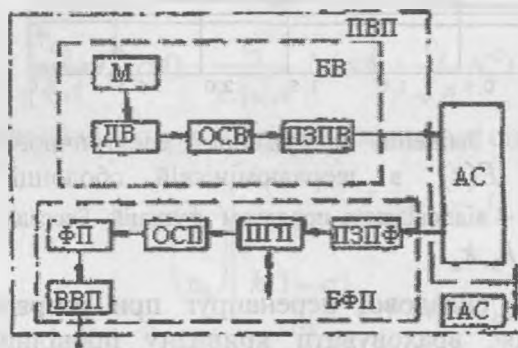


Рис. 1. Функціональна схема оптичного нефелометричного аерозольного аналізатора

Функціональна схема оптичного нефелометричного аналізатора наведена на рис. 1. Аналізатор складається з первинного ПВП та вторинного ВВП вимірювальних перетворювачів. Первинний вимірювальний перетворювач складається з блоку випромінювача БВ, фотоприймального блоку БФП та імітатора аналізованого середовища ІАС. Блок випромінювання має джерело випромінювання ДВ, яке модулюється модулятором М, оптичну систему ОСВ та пилозахисні пристрої випромінювача ПЗПВ. У фотоприймальний блок входять пилозахисні пристрої ПЗПФ, оптична система фотоприймального блоку ОСП, пристрій градуювання та перевірки ППІ, фотоелектричний приймач ФП та попередній підсилювач.

При контролі пилових викидів оптичним нефелометричним аерозольним аналізатором промодульоване випромінювання, сформоване оптичною системою випромінювання, проходить через пилозахисні пристрої випромінювання і потрапляє до аналізованого пилоповітряного середовища АС. Там проходить розсіювання випромінювання. Частина розсіяного випромінювання приймається фотоприймальним блоком, в якому воно проходить через пилозахисний пристрій, формується оптичною системою та направляється на фотоелектричний приймач. Після чого електричний сигнал підсилюється в попередньому підсилювачі.

Попередньо підсилений сигнал подається у вторинний вимірювальний перетворювач, де він підсилюється та перетворюється до вигляду, зручного для користувача.

При градуюванні аналізатора первинний вимірювальний перетворювач встановлюється на ділянці трубопроводу пилоповітряного стенда, в якому створюється пилоповітряне середовище з діапазоном концентрацій та дисперсним складом пилу, що відповідають

умовам праці аналізатора [3]. Вагова концентрація аерозолі, що створюється в стенді, атестується ваговим методом [2]. Концентрація аерозолі відтворюється стендом, вимірюється аналізатором, при цьому показуючий прилад вимірювального перетворювача органами керування встановлюється на значення, що відповідає значенню відтвореної концентрації. Далі первинний вимірювальний перетворювач знімається з робочого еталона і в зоні аналізу встановлюється імітатор аналізованого середовища, який є пластинкою з світлорозсіюючого матеріалу типу МС, а в фотоприймальний блок вводиться пристрій градування та перевірки, який є регульованим оптичним атенюатором, виконаний зі скла НС. За допомогою пристрою градування та перевірки домагаються такої ж реакції аналізатора, яка була при вимірюваннях на робочому еталоні. При цьому положенню регульованого елемента пристрою градування та перевірки відповідає значення концентрації, відтворюване робочим еталоном.

При перевірці аналізатора використовується пристрій градування та перевірки разом з імітатором аналізованого середовища. Якщо регульований елемент пристрою градування та перевірки встановлюється в одне з положень, що відповідає концентрації $C_i \pm \Delta C_{iq}$, де ΔC_{iq} – межа основної допустимої похибки, то аналізатор пройшов перевірку. В іншому випадку треба провести профілактичні роботи, при необхідності – підстройку органів керування вторинним вимірювальним перетворювачем, домагаючись необхідних показань приладу.

Розглянемо принципи побудови пристрою градування та перевірки, який входить до складу нефелометричного аналізатора аерозолей. Схема пристрою наведена на рис.2.

Вихідний сигнал нефелометричного аналізатора в режимі градування та перевірки

$$U = F_0 K_p \tau_1 \tau_2 \tau_3 S K, \quad (1)$$

де F_0 – світловий потік, що падає на світлорозсіюючу призму імітатора аналізованого середовища; K_p – коефіцієнт світлорозсіяння імітатора аналізованого середовища в заданому напрямку та тілесному куті; τ_1, τ_2, τ_3 – інтегральні коефіцієнти пропускання пілозахисного пристрою, пристрою градування та перевірки, оптичною системою відповідно; S – інтегральна чутливість фотоприймача; K – коефіцієнт передачі електронного тракту від фотоприймача до показуючого приладу вторинного вимірювального перетворювача.

Коефіцієнт світлорозсіяння імітатора аналізованого середовища в заданому напрямку та тілесному куті для світлорозсіюючого скла типу МС визначається виразом [4]

$$K(\lambda) = \frac{\varepsilon(\lambda) \pi d}{n^2},$$

де $\varepsilon(\lambda)$ – направлений показник розсіяння; d – товщина світлорозсіюючого скла; n – показник заломлення світлорозсіюючого скла.

Для скла МС 18 товщиною 20 мм при кутах розсіяння 30 та 150° коефіцієнт світлорозсіяння $K_p \cong 4 \cdot 10^{-2}$.

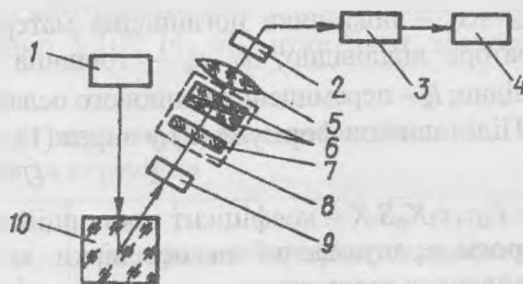


Рис. 2. Схема оптичного нефелометричного аналізатора в режимі градування та перевірки:

1 – блок випромінювача; 2 – фотоприймач; 3 – передній підсилювач; 4 – вторинний вимірювальний перетворювач; 5 – оптична система фотоприймального блока; 6 – регульований оптичний атенюатор – клиновий ослаблювач; 7 – змінні світлофільтри; 8 – пристрій градування та перевірки; 9 – пілозахисні пристрої фотоприймального блока; 10 – імітатор аналізованого середовища

Для цієї конструкції нефелометричного аналізатора величини K_p , τ_1 , τ_3 , S , F_0 , K постійні, а інтегральний коефіцієнт пропускання пристроєм градування та перевірки дорівнює

$$\tau_2 = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} y_\lambda S_\lambda \tau d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} y_\lambda S_\lambda d\lambda} (1-\rho)^m,$$

де y_λ – відносна спектральна щільність потоку випромінювання використовуваного джерела випромінювання; S_λ – відносна спектральна чутливість фотоприймача; τ_λ – спектральний коефіцієнт пропускання матеріалу пристроєм градування та перевірки (скло НС); λ_1, λ_2 – довжини хвиль спектрального діапазону випромінювача; m – кількість поверхонь з однаковим коефіцієнтом відбиття.

Враховуючи те, що пристрій градування та перевірки складається з регульованого атенюатора b та набору ослаблювачів 5 , вираз (2) можна подати у вигляді:

$$\tau_2 = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} y_\lambda S_\lambda 10^{-[K_{\lambda c} d_c + K_{\lambda k} 2(d_0 + l_k \sin(\beta))]} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} y_\lambda S_\lambda d\lambda} (1-\rho)^m, \quad (4)$$

де $K_{\lambda c}$, $K_{\lambda k}$ – показники поглинання матеріалів скла набору ослаблювачів та регульованого атенюатора відповідно; d_0 , d_c – товщина скла регульованого атенюатора та ослаблювачів відповідно; l_k – переміщення клинового ослаблювача регульованого атенюатора; β – кут клину.

Підставивши формулу (2) у вираз (1), одержимо

$$U = A \tau_2(l_k),$$

де $A = F_0 \tau_1 \tau_3 K_p S K$ – коефіцієнт пропорційності; $\tau_2(l_k)$ – інтегральний коефіцієнт пропускання пристроєм градування та перевірки як функція переміщення клинового ослаблювача регульованого атенюатора.

Розглянемо один з варіантів побудови пристрою градування та перевірки оптичного нефелометричного аерозольного аналізатора. Як джерело випромінювання використовується малогабаритна галогенна лампа розжарювання КГМ 6,3 x 15, як фотоприймач – кремнієві фотодіоди типу ФД – 7К (ФД-27К).

Відносні спектральні характеристики елементів пристрою градування та перевірки, джерела випромінювання – галогенної лампи розжарювання КГМ 6,3 x 15 – та фотоприймача – кремнієвого фотодіода ФД-7К – наведені на рис. 3.

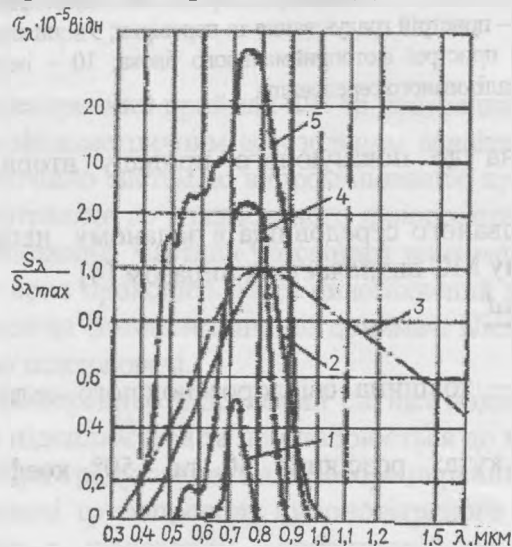


Рис.3. Спектральні характеристики елементів оптичного нефелометричного аерозольного аналізатора:

1 – крива пропускання пристрою градування та перевірки при мінімальному пропусканні клинового ослаблювача $d=16,9$ мм, світлофільтра НС-8 $d=3$ мм; 2 – відносна спектральна чутливість кремнієвого фотодіода ФД-7К (ФД-27К); 3 – відносна спектральна щільність потоку випромінювання галогенної лампи розжарювання типу КГМ; 4 – крива пропускання пристрою градування та перевірки при максимальному пропусканні клинового ослаблювача $d = 9,08$ мм, світлофільтра НС-9 $d = 4,1$ мм; 5 – спектральна крива пропускання пристрою градування та перевірки при максимальному пропусканні клинового ослаблювача – $d = 9,08$ мм, світлофільтра НС-8 – $d = 3$ мм

З таблиці видно, що розглянутий варіант пристрою градування та перевірки забезпечує ослаблення світлового потоку в діапазоні $1,515 \cdot 10^{-3} - 0,7465 \cdot 10^{-10}$, а регульований оптичний атенуатор – повільне регульоване ослаблення потоку на 2 порядки в залежності від положення клинів (рис. 4).

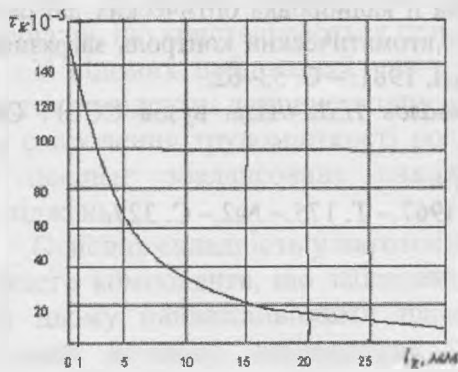


Рис.4. Графік залежності інтегрального коефіцієнта пропускання регульованого оптичного атенуатора від величини переміщення клина

Одержані розрахункові значення інтегральних коефіцієнтів пропускання оптичного атенуатора при інтерполюванні їх за методом найменших квадратів описуються виразом:

$$\tau_k = 13.87 \cdot 10^{-4} \exp(-0.1393748l_k).$$

Отже, в запропонованому оптичному нефелометричному аерозольному аналізаторі можливо імітувати аерозольні аналізовані середовища з коефіцієнтом світлорозсіяння в діапазоні ($4 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-12}$), відповідно градувати та перевіряти аналізатор за допомогою пристрою градування та перевірки імітатора аналізованого середовища. Наприклад, для контролю аерозольних викидів теплоелектростанцій, де концентрація пилу складає приблизно 200 мг/м^3 [5], коефіцієнт світлорозсіяння для випромінювання на

довжині хвилі $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$ дорівнює приблизно $5 \cdot 10^{-8}$ [4; 6], може бути застосовано запропонований аналізатор.

Головні конструктивні та технічні характеристики елементів пристрою градування та перевірки

Назва елементів імітатора аналізованого середовища	Матеріал	Товщина d_i , мм	Світловий діаметр, мм	Переміщення клина l_k , мм	Інтегральний коефіцієнт пропускання		
					τ_i	$\tau_2 \text{ max}$	$\tau_2 \text{ min}$
Клин	НС-8	1,8-11,2 на $L=42 \text{ мм}$	24	± 17	$15,15 \cdot 10^{-4}$ $9,94 \cdot 10^{-6}$	$1,515 \cdot 10^{-3}$	$0,994 \cdot 10^{-5}$
Світлофільтр-1	НС-8	3	24	–	$8,94 \cdot 10^{-2}$	$1,3546 \cdot 10^{-4}$	$0,8889 \cdot 10^{-6}$
Світлофільтр-2	НС-9	4,1	24	–	$7,27 \cdot 10^{-3}$	$1,1013 \cdot 10^{-5}$	$0,7227 \cdot 10^{-7}$
Світлофільтр-3	НС-10	3,6	24	–	$8,055 \cdot 10^{-4}$	$1,22019 \cdot 10^{-6}$	$0,8007 \cdot 10^{-8}$
Світлофільтр-4	НС-10	4,9	24	–	$7,297 \cdot 10^{-5}$	$1,1053 \cdot 10^{-7}$	$0,7253 \cdot 10^{-9}$
Світлофільтр-5	НС-10	5,0	24	–	$6,178 \cdot 10^{-5}$	$0,9359 \cdot 10^{-7}$	$0,6141 \cdot 10^{-9}$
Світлофільтр-6	НС-10	6,1	24	–	$7,51 \cdot 10^{-6}$	$1,1377 \cdot 10^{-8}$	$0,7465 \cdot 10^{-10}$

Примітка: L – основа клина; l_k – переміщення кожного клина уздовж гіпотенузної грані клина; d_i – товщина елементів пристрою градування та перевірки по оптичній осі фотоприймального блоку; τ_i – інтегральний коефіцієнт пропускання кожного з елементів пристрою градування та перевірки; τ_{ki} , τ_{ci} – інтегральні коефіцієнти пропускання клинового ослаблювача, світлофільтрів відповідно; $\tau_{2\text{min}} = \tau_{k\text{min}} \tau_{c1}$, $\tau_{2\text{max}}$ – мінімальний та максимальний інтегральні коефіцієнти пропускання пристрою градування та перевірки відповідно.

Список літератури

1. Горловский Д.М., Альтиулер Л.Н., Кучерявый В.И. Технология карбамида. – Л.: Химия, 1981. – С.210–215.
2. Клименко А. П., Королев В. И., Шевцов В. И. Непрерывный контроль концентрации пыли. – К.: Техніка, 1980. – С. 6–24.
3. Куренев Ю.П., Мищенко В.Ф., Осканьян Т.В. Проверка и калибровка оптических датчиков запыленности воздуха в условиях серийного производства // Автоматический контроль загрязняющих атмосферу промышленных выбросов: Сб. тр. – К.: ВНИИАП, 1981. – С. 53–62.
4. Донченко В.А., Кабанов М.В., Савельев Б.А., Самохвалов Н.В. //Изв. вузов СССР. Сер. физика.– 1986.– №1.– С. 158.
5. Kanther A.// VGB Kraftwerkstechn.– 1974.– Bd. 54.– № 10.
6. Зуев В.Е., Кабанов М.В., Савельев Б. А.// ДАН СССР.– 1967.– Т. 175.– №2.– С. 327.

Стаття надійшла до редакції 05.09.01.

УДК 621.315.5/61:666

Л 434.6-106.335 8647.01
0 52-035.5

М.В.Дмитрієв, В.В.Зубарєв, С.В.Лєнков,
Д.В.Лукомський, І.В.Огарь

МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЯМИ І ПАРАМЕТРАМИ СКЛОКЕРАМІКИ, ЩО ВИКОРИСТОВУВАТИМЕТЬСЯ В АВІАЦІЙНІЙ ТЕХНІЦІ

Запропоновано методику оцінки діелектричних параметрів скляного компонента, що забезпечує одержання композиційної склокераміки із заданими діелектричними властивостями.

У сучасній авіаційній техніці для ізолюючих виробів знайшли широке застосування такі матеріали, як кераміка та скло. Керамічні матеріали використовуються переважно у випадках, коли необхідні технічні (механічні) параметри, що значно перевищують характеристики скла. Зокрема це стосується теплопровідності, тривкості і діелектричних властивостей. Для реалізації більш збалансованих властивостей скла і кераміки сьогодні необхідно використання перспективних і економічно вигідних склокерамічних композицій, особливо у випадках, коли висока тривкість та теплопровідність кераміки з великим запасом перевищують задані значення.

Склокерамічні матеріали, що відрізняються малим терміном спікливості при низьких температурах $T=800-900^{\circ}\text{C}$, можуть успішно замінити традиційно використовувану кераміку в різноманітних діелектричних виробках і несучих конструкціях. Вони придатні для виготовлення основ підкладок мікроелектроніки (одношарових підкладок, багатошарових комутаційних плат, корпусів і кристалоносіїв), основ елементної бази (конденсаторів і багатьох типів резисторів), ізоляторів радіоапаратури і електровиробів [1]. Ці матеріали можна досить легко одержати безпористими, що дуже важливо для реалізації їх основних характеристик.

Застосування таких матеріалів в авіаційній техніці, в першу чергу в бортовій радіоелектронній апаратурі, обумовлено насамперед необхідністю створення високонадійних виробів. Для цього потрібна реалізація комплексу фізичних і експлуатаційних характеристик, до яких відносяться діелектричні, механічні, теплові характеристики, а також стійкість до впливу навколишнього середовища та ін. Тому створення ізолюючих склокерамічних виробів залежить від численних факторів, що впливають на властивості матеріалу (складу і чистоти вихідних компонентів і композицій, технологічних режимів формування матеріалу, стана компонентів у процесі виготовлення, можливості появи заново утворених компонентів у процесі спікання та ін.).

Особливе місце серед цих матеріалів займають склокерамічні композиційні матеріали (СКМ). Вони містять скляну матрицю з вкрапленнями функціонального керамічного наповнювача для поліпшення тривкості і теплопровідності (як керамічний наповнювач