

# **МЕТОДИ І ЗАСОБИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

УДК 551.508:543.275.1

Б.О.Іванов, В.Б.Осіс

## **ВИМІРЮВАЧ КОЕФІЦІЄНТА ОСЛАБЛЕННЯ СВІТЛА В АТМОСФЕРІ**

Наведено опис розробленого вимірювача коефіцієнта ослаблення світла, структуру та результати лабораторних досліджень експериментального зразка вимірювача.

**Ключові слова:** вимірювач, коефіцієнт ослаблення, оптична схема, електрична схема, випробування, аерозоль, лабораторні дослідження, дальність видимості, діапазон, похибка вимірювання.

Згідно з рекомендаціями Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО), калібрування нефелометрів у природних умовах необхідно проводити шляхом порівняння їх показань із показаннями еталонного засобу визначення метеорологічної дальності видимості МДВ або прозорості атмосфери. При цьому еталонним засобом (еталоном прозорості атмосфери) має бути комплект приладів, одним з яких є вимірювач коефіцієнта ослаблення світла (далі вимірювач), побудову якого розглянуто в статті.

### **Оптична схема вимірювача**

Побудова оптичної схеми вимірювача виконується з урахуванням того, що база вимірювача повинна мати довжину 20 м (розраховано за формулою Бугера [1]). Для проведення досліджень вимірювач змонтовано на оптичній лаві довжиною 2 м, а необхідна довжина бази досягається за допомогою системи дзеркал. Застосування кронштейнів надає можливість регулювати довжину бази.

Оптична схема вимірювача (рис. 1) складається з випромінювача *1* (твердотільний лазер), який призначений для формування майже паралельного пучка світла (випромінювання). Розподільна призма *2* виконує функцію ділення випромінювання на 2 пучки. Один з них за допомогою системи дзеркал *8* та фокуруючої лінзи *5* спрямовується на

фотодіод каналу вимірювання 7. Другий пучок за допомогою фокусуючої лінзи 4 спрямовується на фотодіод каналу корекції 6. Електричні сигнали з фотодіодів 6 та 7 подаються на електронну схему (входи каналів вимірювання та корекції електронної схеми вимірювача) для подальшої обробки. Випромінювач 3 (світлодіод) формує пучки світла, що спрямовуються на фотодіоди каналів вимірювання та корекції й використовуються для того, щоб задавати положення робочої точки на характеристиці фотодіодів. На рис. 1 напрямок руху світлових пучків показано стрілками.

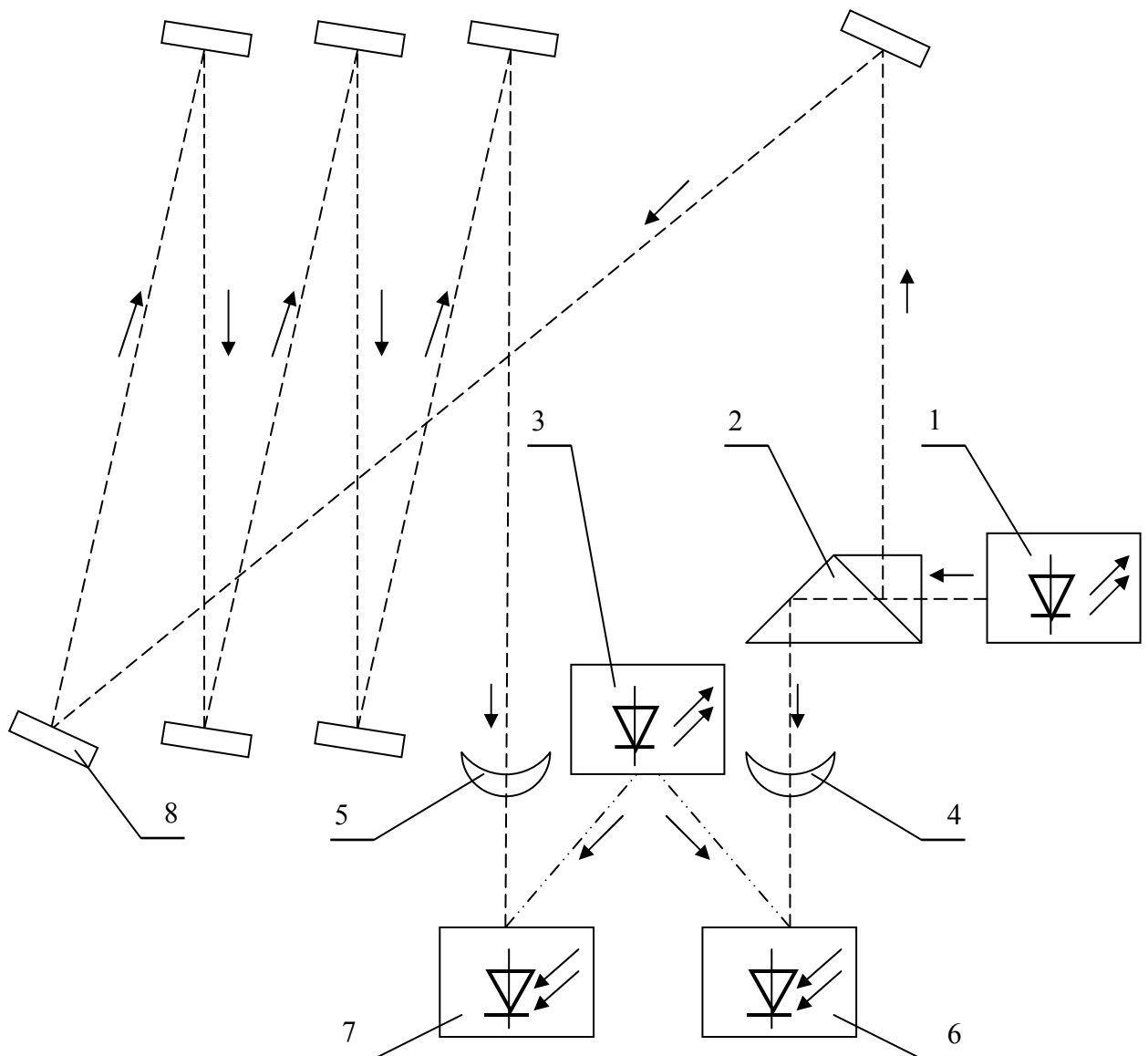


Рис. 1. Оптична схема вимірювача

### Структурна електрична схема вимірювача

Структурна електрична схема вимірювача (рис. 2) містить 2 ідентичних

канали: канал корекції й канал вимірювання, на входи яких подаються сигнали з фотодіодів каналів корекції та вимірювання.

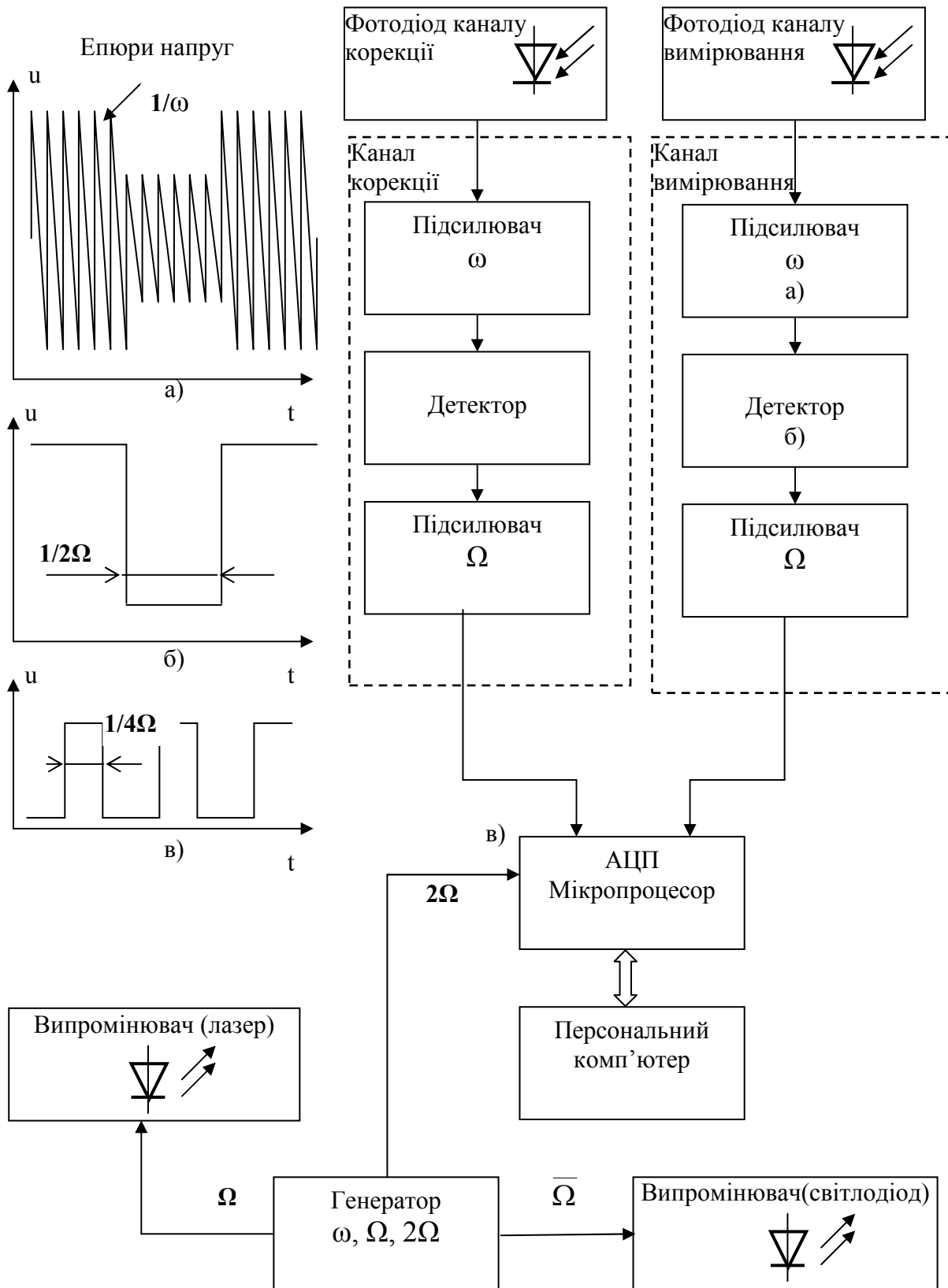


Рис. 2. Структурна електрична схема вимірювача

У каналах корекції й вимірювання виконується підсилення та детектування сигналів як по високій  $\omega$  (несучій), так і по низькій  $\Omega$  (модулюючій) частотах. Підсилені сигнали частоти  $\Omega$  поступають на входи АЦП мікропроцесора (PIC18F4550), де обробляються по синхросигналу подвоєної частоти модуляції  $2\Omega$  по входах переривання.

З мікропроцесора сигнали в цифровому виді надходять по каналу USB на персональний комп'ютер для обробки та виводу інформації. Генератор формує частоти  $\omega$  і  $\Omega$ , які управляють роботою випромінювачів та синхросигналу  $2\Omega$ . На рис. 2 також представлено епюри напруг сигналів, що ілюструють роботу каналу вимірювання.

### Розрахункові співвідношення

На рис. 3 наведено епюру світлового потоку, що надходить на

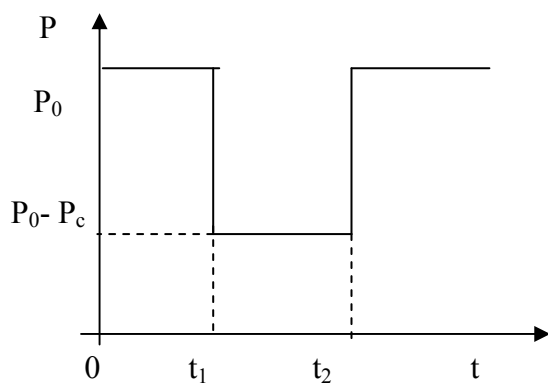


Рис. 3. Епюра світлового потоку, що надходить на фотодіод

фотодіод каналу вимірювання електричної схеми вимірювача, де  $P_0$  – величина світлового потоку, що надходить на фотодіод в разі відсутності поглинання в середовищі;  $(P_0 - P_c)$  – величина світлового потоку, що надходить на фотодіод при наявності поглинання в середовищі;  $P_c$  – величина світлового потоку, що поглинається за час його проходження в середовищі.

Сигнал  $U_c$ (корисний сигнал) на виході з каналу вимірювання електричної схеми вимірювача визначається за рівнянням:

$$U_c = K \cdot (P_0 - P_0 + P_c) = K \cdot P_c, \quad (1)$$

де  $K$  – коефіцієнт перетворення світлового потоку в каналі вимірювання електричної схеми вимірювача.

Для реалізації рівняння (1) необхідний швидкодіючий оптичний комутатор, який дозволяє переключати світлові потоки  $P_0$  і  $(P_0 - P_c)$ , подаючи їх по черзі на фотодіод каналу вимірювання електричної схеми вимірювача. Створення такого оптичного комутатора є складним завданням, а з огляду на те, що він повинен забезпечувати високу швидкодію, практично не здійсненним.

У зв'язку з вищенаведеним, для реалізації рівняння (1), без застосування оптичного комутатора, в електричній схемі вимірювача передбачено канал корекції. У цьому разі сигнал  $U_c$  на виході з каналу вимірювання електричної схеми вимірювача визначається за рівнянням:

$$U_c = K \cdot (P_0 - P_k + P_c), \quad (2)$$

де  $P_k$  – величина світлового потоку, що надходить на фотодіод від випромінювача каналу корекції.

Сигнал  $U_k$  на виході з каналу корекції електричної схеми вимірювача визначається за рівнянням:

$$U_k = K_k \cdot (P_k / n_1 - P_0 / n_2) = K_k / n \cdot (P_k - P_0), \quad (3)$$

де  $K_k$  – коефіцієнт перетворення світлового потоку в каналі корекції електричної схеми вимірювача;  $n_1$  і  $n_2$  – коефіцієнти розподілу світлових потоків  $P_k$  і  $P_0$ , що надходять на фотодіод каналу корекції електричної схеми, які встановлюють при налагоджуванні так, що  $n_1 = n_2 = n$ .

Рівняння (3) можна навести в такій формі:

$$P_k - P_0 = U_k \cdot n / K_k, \quad (4)$$

тоді, при  $K_k \rightarrow \infty$  (коефіцієнт перетворення світлового потоку в каналі корекції електричної схеми трансмісометра не менш як  $10^5$ )  $P_k = P_0$  і рівняння (2) набуває вигляд:

$$U_c = K \cdot P_c, \quad (5)$$

що відповідає рівнянню (1).

### **Випробування вимірювача**

Випробування вимірювача проводилися в лабораторних умовах із використанням зразкових світлофільтрів. Як поглиначі світлового потоку вимірювача використано нейтральні світлофільтри (НС) з різними каліброваними показниками ослаблення (імітація ослаблення світлового потоку випромінювача вимірювача аерозольним середовищем у реальних природних умовах).

Було проведено вимірювання для різних значень коефіцієнта ослаблення  $\lambda$  і величини сигналу у разі відсутності світлофільтра (без ослаблення). Результати вимірювань записувалися у файл, зберігалися в

комп'ютері та виводилися на екран монітора. Вид сигналу на екрані монітора представлено на рис. 4.

Далі було проведено статистичну обробку отриманої інформації (більш як 6500 вимірів), у результаті якої отримано калібровочну характеристику вимірювача. Результати обробки інформації представлено в табл. 1, а калібровочну характеристику – на рис. 5.

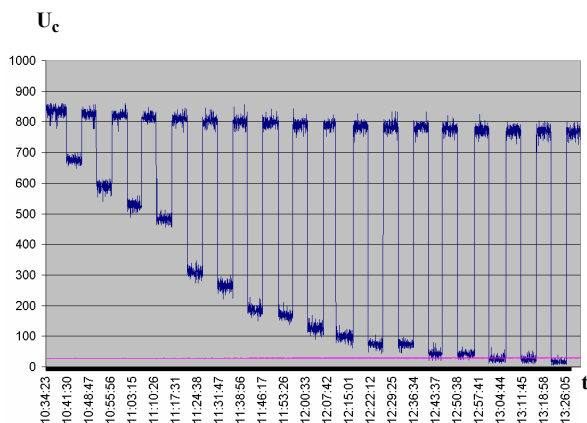


Рис. 4. Вид сигналу на екрані монітора

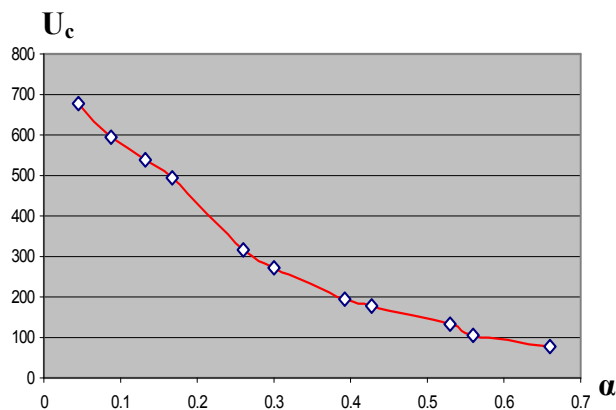


Рис. 5. Калібровочна характеристика вимірювача

У результаті проведених випробувань встановлено, що випадкова похибка у всьому діапазоні вимірювання  $\gamma < 1\%$ . Крутизна характеристики вимірювача становить  $S = 1800$  од. $U_c$ /од. $\alpha$ , що дає можливість вимірювати коефіцієнт ослаблення  $\alpha$  з похибкою не більш як 6%. Вимірювач забезпечує вимірювання коефіцієнта ослаблення  $\alpha$  у діапазоні від 0,04 до 0,6, що по дальності видимості відповідає діапазону МДВ від 100 м до 2 км. Для розширення діапазону вимірювання до області ослаблення  $\alpha > 0,6$  необхідно збільшити потужність випромінювача вимірювача до 500 мВт. Це дасть можливість вимірювати коефіцієнт ослаблення до значень  $\alpha = 6$ , що відповідає вимірюванню МДВ до 10 м. Вимірювання значень  $\alpha < 0,04$  не проводилися у зв'язку з відсутністю каліброваних світлофільтрів з малим коефіцієнтом ослаблення, хоча очевидно, що й у цьому випадку вимірювач має ті ж самі характеристики. Усе це надає можливість проводити вимірювання коефіцієнта ослаблення  $\alpha$  у

Таблиця 1  
Результати обробки інформації

№ п/п	Світлофільтр	Коефіцієнт ослаблення $\alpha$	Значення сигналу $U_c$
1	1 скло	0,0440	675,7
2	2 скла	0,0880	595,2
3	НС6	0,1320	536,4
4	НС1	0,1672	496,1
5	НС7	0,2596	317,6
6	НС6 + НС1	0,2992	274,2
7	НС7 + НС6	0,3916	193,8
8	НС7 + НС1	0,4269	175,6
9	НС2	0,5292	132,1
10	НС7 + НС6 + НС1	0,5588	104,5
11	НС2 + НС6	0,6612	78,69

діапазоні від 0,0012 до 6, що відповідає всьому діапазону вимірювання МДВ від 10 м до 50 км.

### **Висновки**

Експериментальні дослідження показали, що розроблений вимірювач коефіцієнта ослаблення світла в атмосфері надає можливість вимірювати коефіцієнт ослаблення  $\alpha$  у діапазоні від 0,0012 до 6, що відповідає всьому діапазону вимірювання МДВ від 10 м до 50 км. Встановлено, що випадкова похибка у всьому діапазоні вимірювання  $\gamma < 1 \%$ . Крутизна характеристики вимірювача  $S = 1800 \text{ од.}U/\text{од.}\alpha$ , що дає можливість вимірювати коефіцієнт ослаблення  $\alpha$  з похибкою не більш як 6 %.

Вимірювач можна використовувати для калібрування нефелометрів у природних умовах як еталонний засіб визначення коефіцієнта ослаблення  $\alpha$ .

\* \*

1. *Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 639 с.

*Український науково-дослідний  
гідрометеорологічний інститут, Київ*

**Б.А. Иванов, В.Б. Осис**

### **Измеритель коэффициента ослабления света в атмосфере**

*Приведено описание разработанного измерителя коэффициента ослабления света, структура и результаты лабораторных исследований экспериментального образца измерителя.*

**Ключевые слова:** измеритель, коэффициент ослабления, оптическая схема, электрическая схема, испытания, аэрозоль, лабораторные исследования, дальность видимости, диапазон, погрешность измерения.

**B.A. Ivanov, V.B. Osis**

**Measuring instrument of factor of easing of light in atmosphere**

*The description of the developed measuring instrument of factor of easing of light, structure and results of laboratory researches for an experimental sample of measuring instrument is given.*

**Keywords:** Measuring instrument, factor of easing, optical circuit, electrical circuit, test, aerosol, laboratory researches, range of visibility, range, error of measurement.