

МЕТОДИ І ЗАСОБИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК 551.508:543.275.1

Б.О. Іванов, В.Б. Осіс

КОМПЛЕКСНИЙ НЕФЕЛОМЕТРИЧНИЙ ВИМІРЮВАЧ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Наведено опис розробленого вимірювача метеорологічних параметрів, структуру та результати лабораторних досліджень діючого макета вимірювача.

Ключові слова: нефелометричний метод, коефіцієнт розсіювання, інтенсивність опадів, температура, тривалість імпульсу, поляризація світла, алгоритми обробки інформації, макет вимірювача метеорологічних параметрів, програмне забезпечення.

Діючий макет комплексного нефелометричного вимірювача метеорологічних параметрів (далі вимірювач), побудову якого розглянуто в статті, створено на базі нефелометричного вимірювача дальності видимості ВВ-1. Вимірювач спроможний визначати не тільки МОД і інтенсивність опадів, а й ідентифікувати такі природні явища як серпанок, туман, імла, дощ, мокрий сніг, сніг, крупа, град.

Будова діючого макета вимірювача метеопараметрів

Діючий макет вимірювача метеорологічних параметрів створено на базі вимірювача метеорологічної оптичної дальності видимості ВВ-1, який був виготовлений АТ “Міррад”.

Роботу діючого макета вимірювача метеорологічних параметрів розглянемо по функціональній схемі (рис. 1). Аналогові сигнали від двох вимірювальних каналів вимірювача дальності видимості ВВ-1, які мають дві складові (постійну складову – фон від часток туману та змінну складову – імпульси від часток опадів), надходять на два узгоджуючих підсилювачі сигналів – „Сигн. 1” та „Сигн. 2”. Узгоджуючі підсилювачі виконують функції узгодження вихідного опору вимірювача ВВ-1 з вхідними елементами схеми макета та підсилювання аналогових сигналів

до рівня, необхідного для роботи блока корекції фону (постійної складової).

Блок корекції фону робить за принципом різниця-сума. Він виконує виділення змінної складової сигналу (імпульсів від часток опадів на фоні сигналів від часток туману – постійна складова сигналу). Блок корекції фону містить дві схеми віднімання сигналів („Сигн. 1- Сигн. 2” та „Сигн. 2 - Сигн. 1”) і схему суматора.

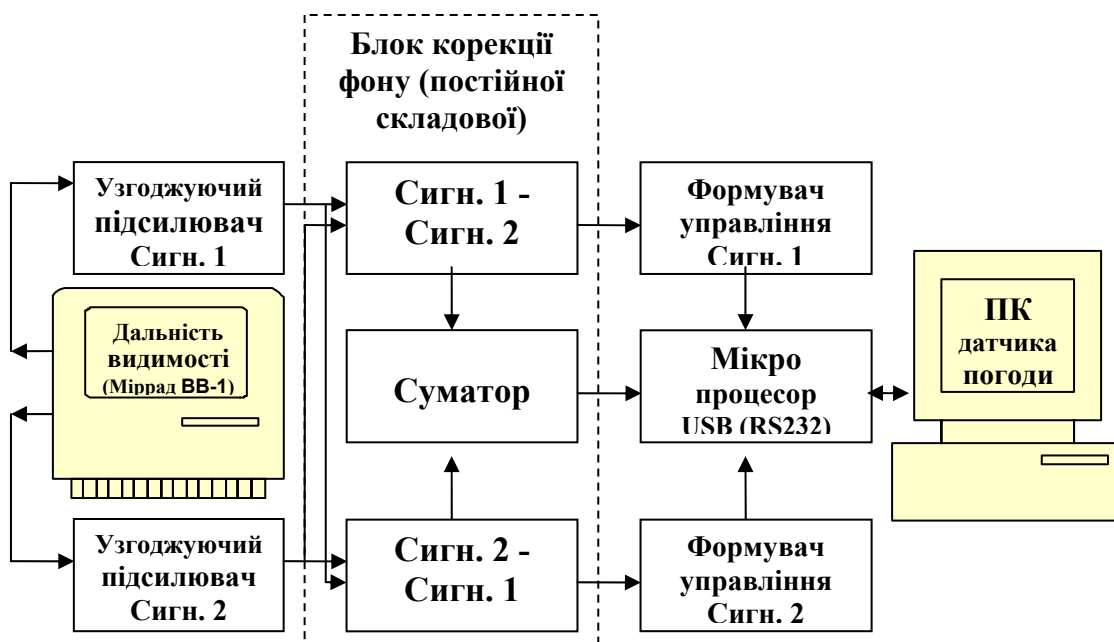


Рис. 1. Функціональна схема діючого макета вимірювача метеопараметрів

З виходів блока корекції фону змінна складова сигналу надходить до двох формувачів сигналів управління („Сигн. 1”, „Сигн. 2”) та мікропроцесора. Формувачі сигналів управління формують сигнали, які синхронізують роботу мікропроцесора. Мікропроцесор за сигналами синхронізації виконує вимірювання параметрів імпульсів (A – амплітуда, N – кількість, τ – тривалість) від часток опадів, які знаходяться у вимірювальному об’ємі вимірювача метеопараметрів та перетворення їх у цифровий код. Ця інформація надходить до буфера пам’яті мікропроцесора і далі по каналу зв’язку RS 232 або USB до персонального комп’ютера датчика погоди.

Обмін інформацією між мікропроцесором та персональним комп’ютером датчика погоди виконується по радіоканалу (для макета використовується провідний канал зв’язку).

Персональний комп’ютер датчика погоди виконує оброблення отриманої інформації за пакетом програм розробленого програмного

забезпечення, її зберігання на електронному носії та вивід на екран монітора.

Зовнішній вигляд діючого макета вимірювача метеорологічних параметрів показано на рис. 2. На цьому ж рисунку також наведено осцилограми напруги на виході електронних схем макета вимірювача метеорологічних параметрів.

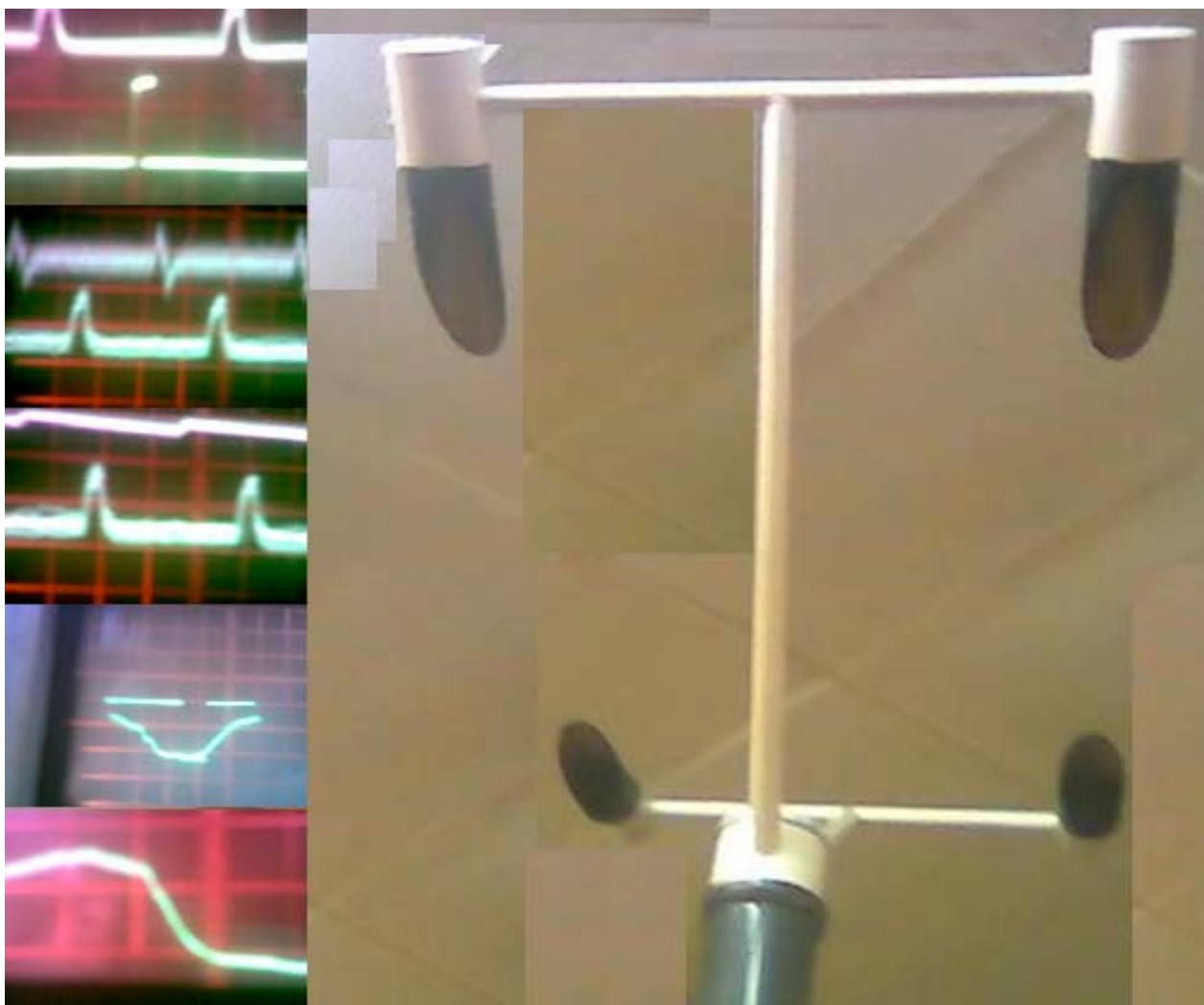


Рис. 2. Зовнішній вигляд діючого макета вимірювача метеорологічних параметрів

Додатково розроблені електронні схеми змонтовано на платі, яка встановлюється у вільному просторі електронного блока датчика вимірювача дальності видимості ВВ-1. Додаткові механічні вузли макета вимірювача метеорологічних параметрів (касети з поляризаційними фільтрами-поляроїдами) встановлюються у вільний простір оптичного блока датчика вимірювача дальності видимості ВВ-1. Установка касет

повинна забезпечувати можливість повороту поляроїдів на кут, не менший як 90° , що необхідно під час проведення регулювання коефіцієнтів підсилувачів та визначення площі перерізу вимірювального об'єму вимірювача метеорологічних параметрів.

Алгоритми оброблення інформації вимірювача метеопараметрів *Функціональна схема первинних перетворювачів*

Функціональна схема первинних перетворювачів (рис. 3) складається з 3 каналів вимірювання та перетворення інформації: каналу температури і двох нефелометричних (основного і додаткового) каналів перетворення інформації.

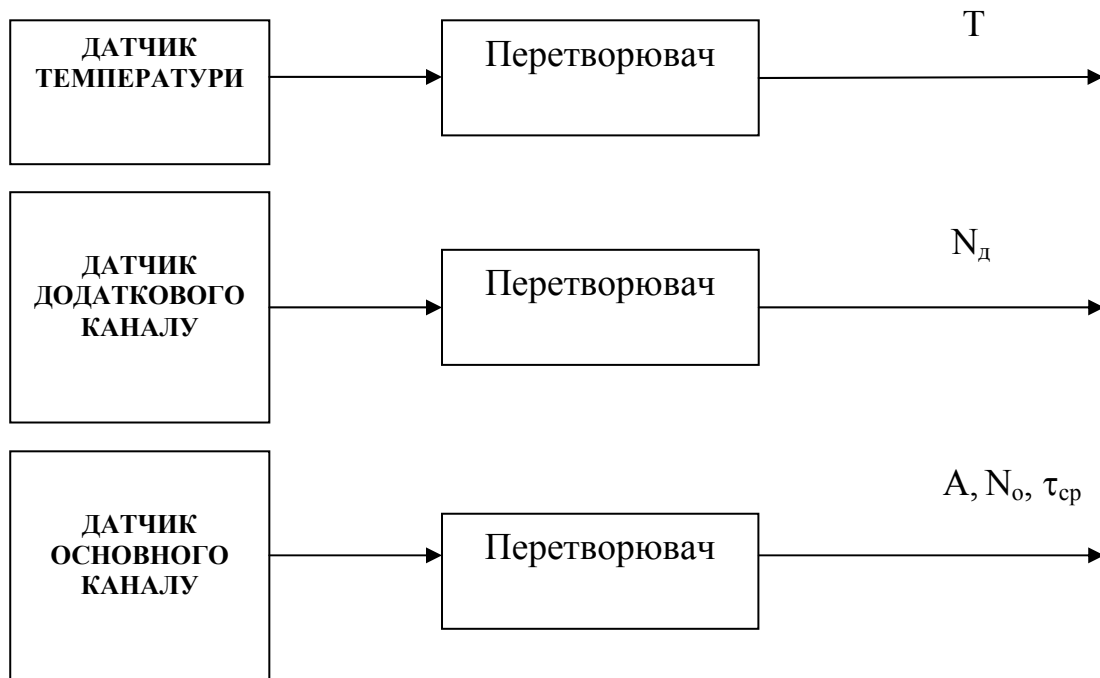


Рис. 3. Функціональна схема первинних перетворювачів

Канал температури містить датчик температури та перетворювач, який змінює аналоговий сигнал датчика температури у цифровий, відповідний до температури навколишнього середовища T .

Основний канал містить датчик та перетворювач, який перетворює аналоговий сигнал датчика у цифрові сигнали відповідно до:

- амплітуди імпульсу на виході датчика A ;
- кількості імпульсів N_o на виході датчика за час осереднення;
- середньої тривалості імпульсу $\tau_{ср}$ на виході датчика за час осереднення.

Додатковий канал містить датчик додаткового каналу та перетворювач, який перетворює аналоговий сигнал датчика у цифровий сигнал, відповідний до кількості імпульсів N_d на виході датчика за час осереднення.

Час осереднення вибирається рівним 1 хв та повинен мати можливість змінюватись від 1 до 10 хв.

Алгоритм ідентифікації видів опадів за температурою

Алгоритм ідентифікації видів опадів за температурою наведено на рис. 4. Діапазон температур навколишнього середовища розділено на 3 частини:

- температура менша як T_n ;
- температура більша як T_n , але менша як T_b ;
- температура більша як T_b .

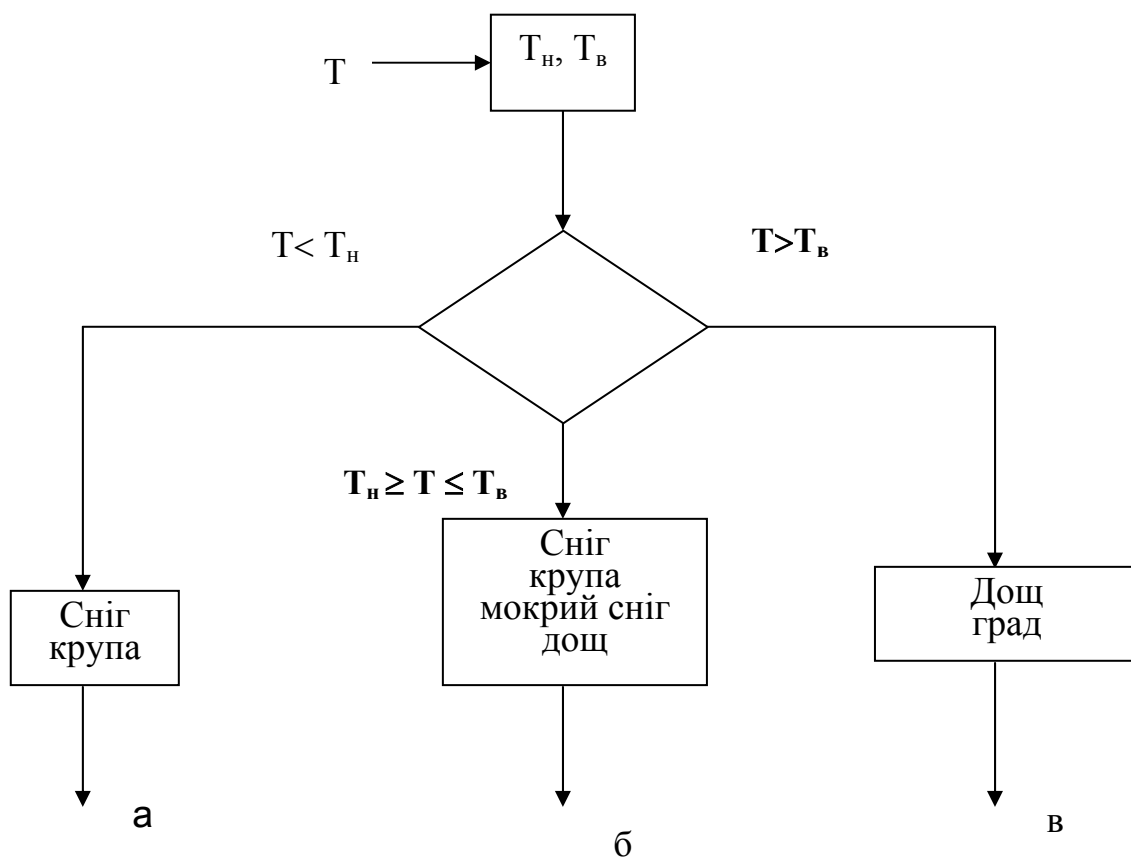


Рис. 4. Алгоритм ідентифікації видів опадів за температурою

За температури, меншої як T_n , можливе випадіння тільки твердих видів опадів (сніг та крупа). Коли ж температура більша як T_b , то можливе

випадіння твердих та рідких видів опадів (дощ та град). За температури більшої як T_n , але меншої як T_b , можливе випадіння твердих, рідких та змішаних видів опадів (сніг, крупа, мокрий сніг та дощ).

Алгоритм ідентифікації видів опадів за середньою тривалістю імпульсу

Алгоритм ідентифікації видів опадів за середньою тривалістю імпульсу τ_{cp} наведено на рис. 5.

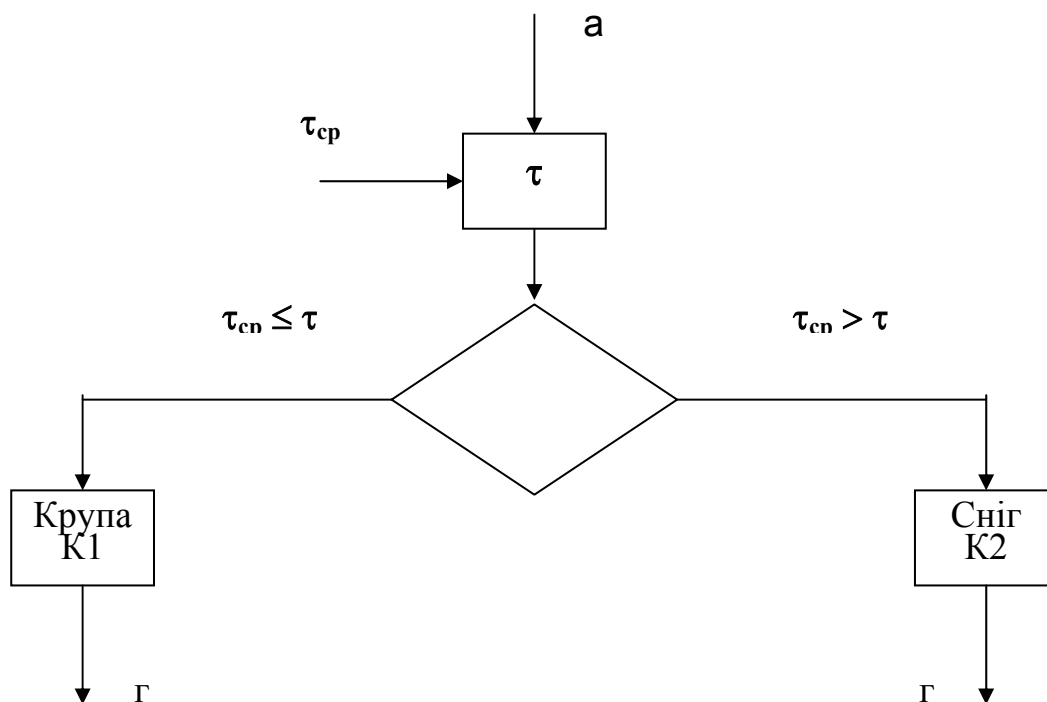


Рис. 5. Алгоритм ідентифікації видів опадів за середньою тривалістю імпульсу

Згідно з [1] швидкість падіння часток опадів (крупа, сніг) пропорційна їхній питомій вазі. У зв'язку з цим тривалість імпульсу, який формується під час проходження часток крізь вимірювальний об'єм датчика, буде пропорційна питомій вазі часток опадів (крупа, сніг).

Питома вага часток крупи більша за питому вагу часток снігу не менш як у 4-6 разів. Це надає можливість ідентифікувати крупу та сніг, визначаючи середню тривалість імпульсу τ_{cp} на виході датчика за час осереднення.

Коефіцієнт тривалості імпульсу τ визначається експериментально. Він повинен бути більшим від τ_{cp} крупи, але меншим за τ_{cp} снігу.

Коефіцієнти виду опадів: K1 – крупа, K2 – сніг. Числові значення K1 і K2 визначаються експериментально в натурних умовах у разі проведення атестації або повірки та використовуються для розрахунку інтенсивності опадів.

Алгоритми ідентифікації видів опадів за оптичними властивостями

Алгоритми ідентифікації видів опадів за оптичними властивостями наведено на рис. 6 та рис. 7.

Ідентифікація видів опадів виконується на основі різної поляризації світла рідкими (краплями дощу) та твердими опадами (сніг, крупа, град).

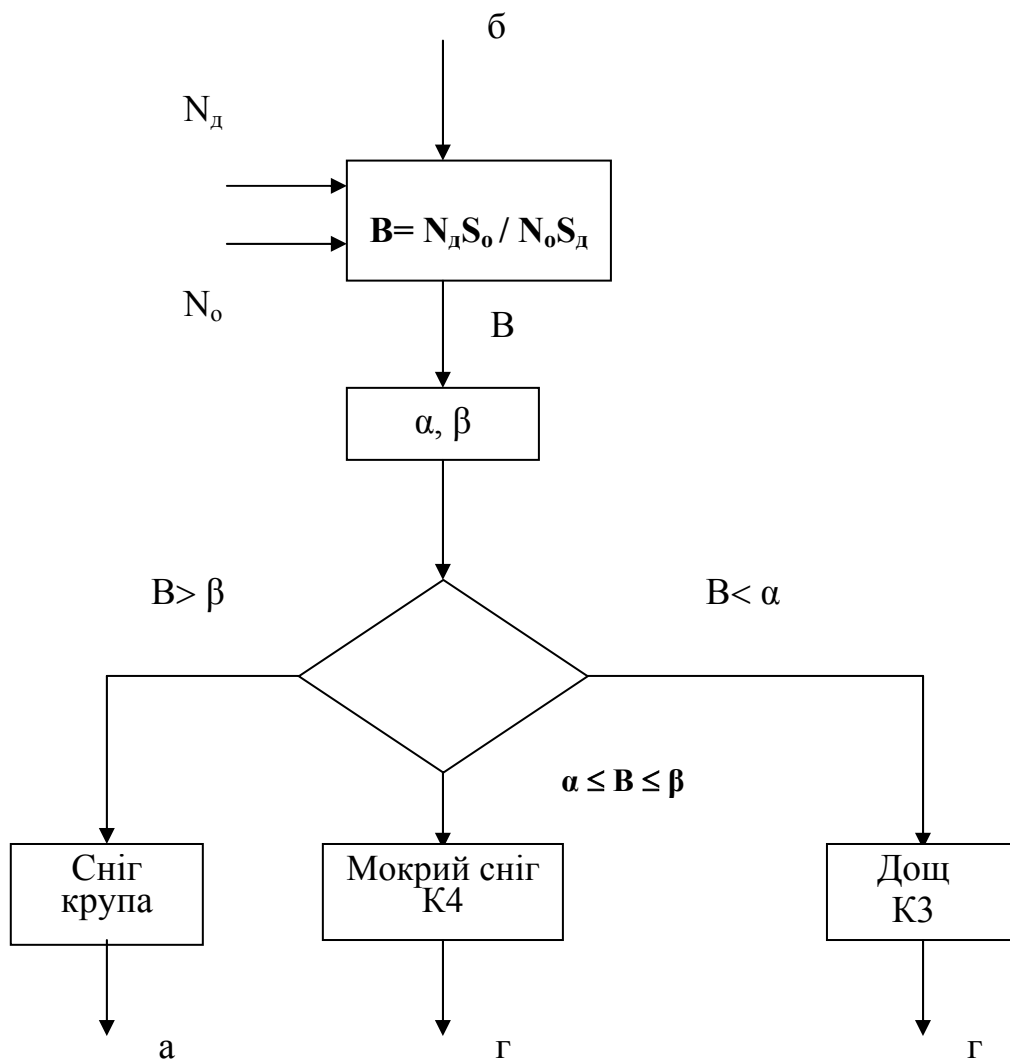


Рис. 6. Алгоритми ідентифікації видів опадів за оптичними властивостями за $T_H \geq T \leq T_B$

У приймачі та випромінювачі датчика додаткового каналу

використовуються 2 схрещені поляроїди. У цьому випадку під час проходження часток дощу (крапель) крізь вимірювальний об'єм датчика поляризоване світло, яке розсіюється краплею в напрямку приймача, не проходить через другий поляроїд [2] і датчик додаткового каналу не формує сигналу від краплі.

У разі проходження часток твердих опадів (сніг, крупа, град) крізь вимірювальний об'єм датчика буде деполаризація розсіяного світла [3] і датчик додаткового каналу сформує сигнал від часток твердих опадів.

Датчик основного каналу формує сигнал як від часток твердих опадів (сніг, крупа, град), так і від часток рідких опадів (краплі дощу).

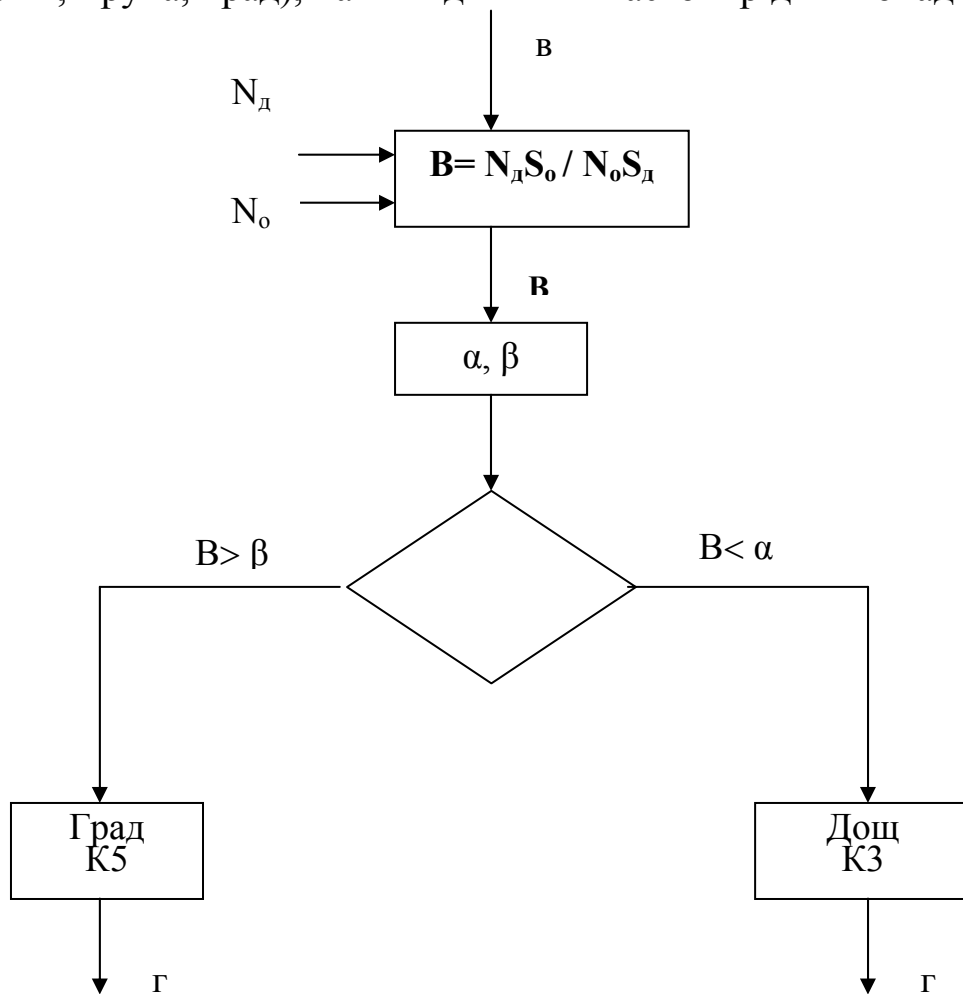


Рис. 7. Алгоритми ідентифікації видів опадів за оптичними властивостями, якщо $T > T_b$

Виходячи з цього, кількість імпульсів за час осереднення N_o на виході основного оптичного каналу буде відрізнятися від кількості

імпульсів за час осереднення N_d на виході додаткового каналу. Це надає можливість ідентифікувати вид опадів за оптичними властивостями.

Коефіцієнти α (числове значення близьке до 0) та β (числове значення близьке до 1) визначаються експериментально.

Коефіцієнти видів опадів: K_3 – дощ, K_4 – мокрий сніг, K_5 – град. Числові значення K_3 , K_4 і K_5 визначаються експериментально в натурних умовах під час проведення атестації або повірки та використовуються для розрахунку інтенсивності опадів.

S_0 та S_d – площа перерізу вимірювального об'єму датчиків основного та додаткового оптичних каналів визначається експериментально при визначенні характеристик вимірювача метеопараметрів.

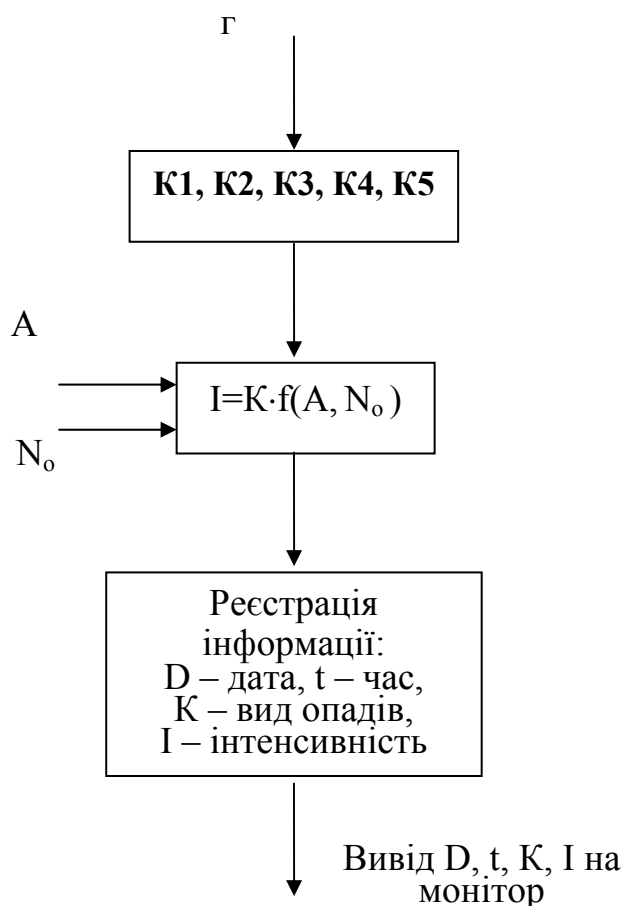


Рис. 8. Алгоритм подання інформації

Алгоритм подання інформації

Алгоритм подання інформації наведено на рис. 8. У цьому блоці перетворення інформації виконується завдяки інтенсивності опадів. Залежно від виду опадів (крупа, сніг, дощ, мокрий сніг, град) у формулі для розрахунку інтенсивності I використовується числове значення коефіцієнтів виду опадів (K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , K_5).

Реєстрація інформації виконується як у електронному форматі (у вигляді масиву даних D , t , K , I , придатному для подальшого оброблення), так і у візуальному форматі (у вигляді рядка даних D , t , K , I на екрані монітора).

Прикладні програми вимірювача метеопараметрів

Розроблено програмне забезпечення для мікропроцесора PIC18 та персонального комп'ютера ПК. Програмне забезпечення мікропроцесора PIC18 (рис. 9) складається з наступних модулів:

- модуля обслуговування вихідних сигналів датчиків основного та додаткового оптичних каналів і сигналу датчика температури;
- модуля обміну інформацією між мікропроцесором PIC18 та ПК по каналу USB.

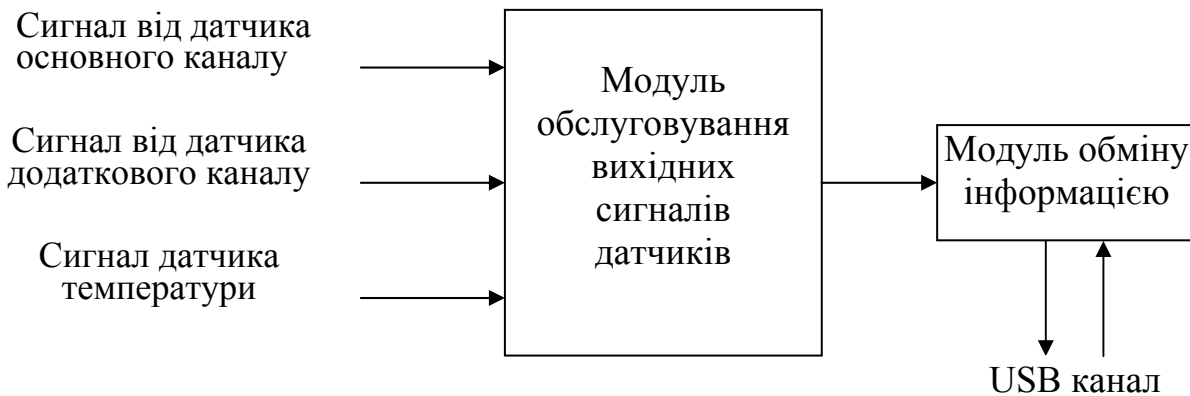


Рис. 9. Програмне забезпечення мікропроцесора PIC18

Модуль обслуговування вихідних сигналів датчиків основного та додаткового оптичних каналів і сигналу датчика температури виконує опитування внутрішнього аналого-цифрового перетворювача АЦП мікропроцесора PIC18 по зовнішніх сигналах переривання, які формуються синхронно з приходом сигналів від часток опадів.

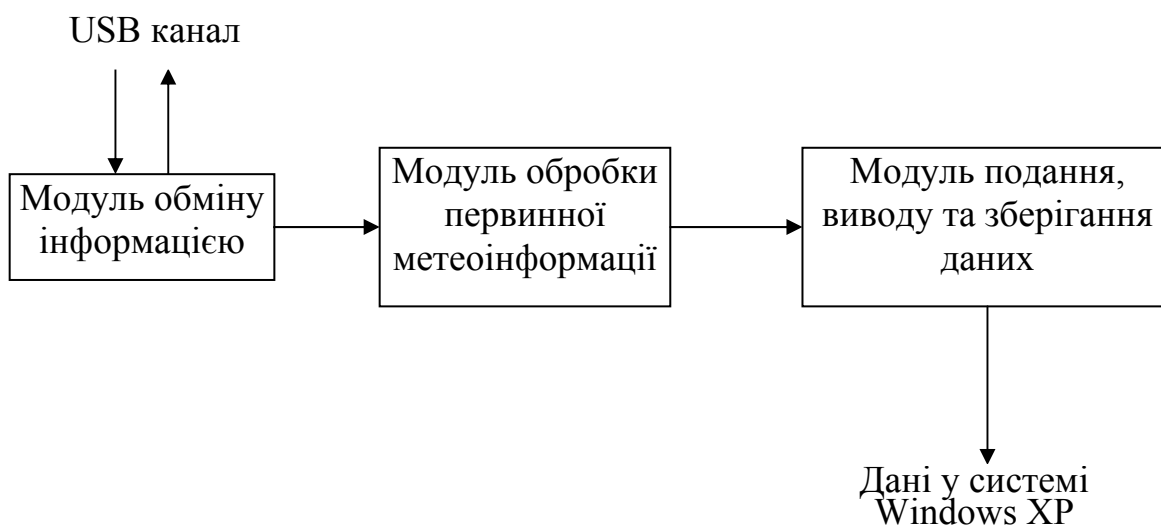


Рис. 10. Програмне забезпечення ПК

Модуль обміну інформацією виконує обмін та передачу інформації по USB каналу між мікропроцесором PIC18 та ПК. Програмне забезпечення ПК (рис. 10) складається з наступних модулів:

- модуля обміну інформацією між ПК та мікропроцесором PIC18 по каналу USB;
- модуля обробки первинної метеоінформації;
- модуля подання, виводу та зберігання отриманих даних у системі Windows XP.

Модуль обміну інформацією виконує обмін та передачу інформації по USB каналу між мікропроцесором PIC18 та ПК.

Модуль обробки первинної метеоінформації виконує опрацювання метеоінформації від мікропроцесора PIC18 за спеціальними алгоритмами, що описані раніше.

Модуль подання, виводу та зберігання отриманих даних забезпечує подання, вивід та зберігання даних у системі Windows XP, що вможливорює в подальшому використовувати отриману інформацію.

Випробування діючого макета вимірювача метеорологічних параметрів



Рис. 11. Будова лабораторної установки

Будова лабораторної установки

У ході проведення лабораторних випробувань використовувався додатково виготовлений пристрій (рис. 11), який складався із прямокутної рамки з закріпленими на ній за допомогою двох кронштейнів шприцами. Рамка встановлена на кронштейнах оптичного датчика вимірювача дальності видимості ВВ-1 та закріплена так, щоб краплі, які відриваються від голки шприца, падали

приблизно у центр вимірювальних об'ємів датчиків основного та додаткового каналів.

Використання цього пристрою дозволяє імітувати проходження часток опадів крізь вимірювальні об'єми оптичних датчиків макета вимірювача метеорологічних параметрів.

Випробування діючого макета вимірювача метеопараметрів за температури навколишнього середовища меншої як T_n

Програмним шляхом задаємо температуру навколишнього середовища $T = -8\text{ }^\circ\text{C} < T_n$ (за такого значення температури можливе випадіння тільки твердих опадів, імітація твердих опадів – сніг, крупа), робота макета виконується за алгоритмом рис. 5. Ідентифікація снігу та крупи здійснюється за допомогою програмного коефіцієнта τ . Якщо $\tau \geq \tau_{\text{ср}}$, то відбувається випадіння крупи (на екрані монітора повинен з'явитися напис „Крупа” та код SYNOP „77”), якщо $\tau < \tau_{\text{ср}}$, то відбувається випадіння снігу (на екрані монітора повинен з'явитися напис „Сніг” та код SYNOP „70”).

Для проведення випробувань діючого макета вимірювача метеопараметрів пропускаємо краплі крізь вимірювальний об'єм оптичного датчика основного каналу, тоді середня тривалість імпульсів $\tau_{\text{ср}}$ знаходиться в межах (3 – 20) мС. Програмним шляхом задаємо $\tau = 1\text{ мС}$ (імітування випадіння снігу), у цьому разі на екрані монітора з'являється напис „Сніг” та код SYNOP „70”. Задаємо $\tau = 30\text{ мС}$ (імітування випадіння крупи), тоді на екрані монітора з'являється напис „Крупа” та код SYNOP „77”.

Випробування діючого макета вимірювача метеопараметрів за температури навколишнього середовища більшої як T_e

Програмним шляхом задаємо температуру навколишнього середовища $T = +8\text{ }^\circ\text{C} > T_e$ (за цього значення температури можливо випадіння як твердих опадів (град), так і рідких опадів (дощ), імітація опадів – град, дощ), робота макета виконується за алгоритмом рис. 7.

Ідентифікація граду від дощу здійснюється за допомогою програмних коефіцієнтів $\alpha = 0,3$ та $\beta = 0,7$. За $B < \alpha$ відбувається випадіння дощу (на екрані монітора повинен з'явитися напис „Дощ” та код SYNOP „60”), якщо $B > \beta$, то відбувається випадіння граду (на екрані монітора повинен з'явитися напис „Град” та код SYNOP „89”). Значення B розраховується персональним комп'ютером діючого макета

вимірювача метеопараметрів за співвідношенням кількості часток, які проходять крізь вимірювальні об'єми оптичних датчиків основного та додаткового каналів.

Для проведення випробувань діючого макета вимірювача метеопараметрів пропускаємо краплі крізь вимірювальний об'єм тільки оптичного датчика основного каналу. У такому разі $B = 0$, тому що краплі в додатковому каналі відсутні (імітація випадіння дощу), на екрані монітора з'являється напис „Дощ” та код SYNOP „60”. Пропускаємо однакову кількість крапель крізь вимірювальні об'єми оптичних датчиків основного та додаткового каналів ($B = 1$ – імітування випадіння граду), на екрані монітора з'являється напис „Град” та код SYNOP „89”.

Випробування діючого макета вимірювача метеопараметрів за температури навколишнього середовища $\geq T_n$, але $\leq T_v$

Програмним шляхом задаємо температуру навколишнього середовища $T_n \leq T = 0^\circ\text{C} \leq T_v$ (за цього значення температури навколишнього середовища можливе випадіння твердих опадів – сніг, крупа; рідких опадів – дощ; змішаних опадів – мокрий сніг), робота макету виконується за алгоритмом рис. 6.

Ідентифікація видів опадів (дощ, мокрий сніг, сніг, крупа) здійснюється за допомогою програмних коефіцієнтів $\alpha = 0,3$ та $\beta = 0,7$. Якщо $B < \alpha$, то відбувається випадіння дощу (на екрані монітора повинен з'являтися напис „Дощ” та код SYNOP „60”). За $\alpha \leq B \leq \beta$ відбувається випадіння мокрого снігу (на екрані монітора повинен з'являтися напис „Мокрий сніг” та код SYNOP „67”). Коли ж $B > \beta$, то відбувається випадіння снігу або крупи (на екрані монітора повинен з'являтися напис „Сніг” та код SYNOP „70” або „Крупа” та код SYNOP „77”, у залежності від того, яке значення коефіцієнта τ вибрано. Значення B розраховується персональним комп'ютером діючого макета вимірювача метеопараметрів за співвідношенням кількості часток, які проходять крізь вимірювальні об'єми оптичних датчиків основного та додаткового каналів.

Для проведення випробувань діючого макета вимірювача метеопараметрів пропускаємо краплі крізь вимірювальний об'єм тільки оптичного датчика основного каналу. У такому разі $B = 0$, тому що краплі у додатковому каналі відсутні (імітація випадіння дощу), на екрані монітора з'являється напис „Дощ” та код SYNOP „60”. Пропускаємо однакову кількість крапель крізь вимірювальні об'єми оптичних датчиків

основного та додаткового каналів ($B = 1$ – імітування випадіння снігу або крупи), на екрані монітора з'являється напис „ Сніг ” та код SYNOP „70” або „ Крупа ” та код SYNOP „77” залежно від того, яке значення коефіцієнта τ вибрано. Пропускаємо крізь вимірювальний об'єм оптичного датчика додаткового каналу у два рази менше крапель, ніж крізь вимірювальний об'єм оптичного датчика основного каналу ($B = 0,5$ – імітація випадіння мокрого снігу), на екрані монітора з'являється напис „ Мокрий сніг ” та код SYNOP „67”.

Визначення залежності амплітуди сигналу від розміру краплі

Для визначення залежності амплітуди сигналу від розміру краплі послідовно встановлюємо на шприц голки різного діаметра та пропускаємо краплі крізь вимірювальний об'єм оптичного датчика основного каналу. Формуємо в пам'яті персонального комп'ютера діючого макета вимірювача метеопараметрів файл амплітуд імпульсів (амплітуди сигналів від крапель, які пройшли крізь вимірювальний об'єм оптичного датчика основного каналу). На основі цього файлу розраховуємо середню амплітуду імпульсу від крапель, яка залежить від діаметра встановленої на шприц голки.

Одночасно з цим оператор виконує відбір крапель (не менш як 100), які пройшли крізь вимірювальний об'єм оптичного датчика основного каналу в спеціальну склянку, та визначає радіус краплі. Дані проведених випробувань наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Залежність амплітуди сигналу від розміру краплі

| Номер голки | Середня амплітуда імпульсу, умовні одиниці | Радіус краплі, мм |
|-------------|--|-------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Голка 1 | 725,67 | 1,553 |
| Голка 2 | 374,77 | 1,377 |
| Голка 3 | 193,55 | 1,221 |

Перевірка визначення кількості часток опадів

Під час проведення перевірки визначення кількості часток опадів, які пройшли крізь вимірювальний об'єм діючого макета вимірювача метеопараметрів, виконується наступне:

- пропускаємо краплі крізь вимірювальний об'єм оптичного датчика основного (додаткового) каналу;

- формуємо в пам'яті персонального комп'ютера діючого макета вимірювача метеопараметрів файл кількості імпульсів N_o або N_d (кількість сигналів від крапель, які пройшли крізь вимірювальний об'єм оптичного датчика).

Одночасно з цим оператор візуально підраховує кількість крапель N_B , які пройшли крізь вимірювальний об'єм оптичного датчика основного (додаткового) каналу. Ці дії виконуються не менше ніж 3 рази для обох каналів (основного та додаткового), лише кількість крапель не повинна бути меншою за 40. Результати перевірки наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати перевірки визначення кількості часток опадів

| Основний канал | | | Додатковий канал | | |
|----------------|-------|-------------|------------------|-------|-------------|
| N_o | N_B | $N_B - N_o$ | N_d | N_B | $N_B - N_d$ |
| 45 | 45 | 0 | 50 | 50 | 0 |
| 50 | 50 | 0 | 45 | 45 | 0 |
| 40 | 40 | 0 | 45 | 45 | 0 |

Висновки

Побудовано діючий макет комплексного нефелометричного вимірювача метеорологічних параметрів на базі вимірювача дальності видимості ВВ-1, здатний визначати спектри розмірів дощових крапель та середні значення розмірів часток у снігопадах.

Розроблено алгоритми обробки інформації вимірювача метеопараметрів. Ідентифікація видів опадів здійснюється за 3-ма параметрами: температурою навколишнього середовища, тривалістю імпульсу від часток опадів та оптичними властивостями (поляризація розсіяного частками опадів світла).

Проведені випробування діючого макета вимірювача метеопараметрів виявили, що макет надійно виконує ідентифікацію всіх видів опадів (твердих – сніг, крупа, град; рідких – дощ; змішаних – мокрий сніг) під час імітації погодних умов. Інформація про види опадів представляється візуально на екрані монітора персонального комп'ютера діючого макета вимірювача метеопараметрів та фіксується в пам'яті комп'ютера в спеціальних файлах у виді, зручному для подальшого використання.

Визначена залежність амплітуди імпульсів від розміру крапель та перевірена правильність визначення діючим макетом вимірювача

метеопараметрів кількості імпульсів (кількості часток опадів), що необхідно в ході розрахунків інтенсивності та кількості опадів.

Лабораторні випробування діючого макета вимірювача метеопараметрів виявили, що макет працездатний та виконує всі функції, які обумовлено технічним завданням.

* *

1. *Матвеев Л.Т.* Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 640 с.
2. *Мельхер А.Н., Волков А.Д.* Оценка коэффициента поляризации света, рассеиваемого частицами водного аэрозоля различной концентрации и дисперсности. – Тр. УкрНИГМИ. – Вып. 165. – 1978. – С. 118-123.
3. *Сиротин Ю.И., Шакольская М.П.* Основы кристаллофизики. – М.: Наука. – 1975. – 420 с.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*

Б.А. Иванов, В.Б. Осис

Комплексный нефелометрический измеритель метеорологических параметров

Приведено описание разработанного измерителя метеорологических параметров, структуру и результаты лабораторных исследований действующего макета измерителя.

Ключевые слова: нефелометрический метод, коэффициент рассеяния, интенсивность осадков, температура, длительность импульса, поляризация света, алгоритмы обработки информации, макет измерителя метеорологических параметров, программное обеспечение.

B.O. Ivanov, V.B. Osis

Complex nephelometric measuring instrument of meteorological parameters

The description of the developed measuring instrument of meteorological parameters, structure and results of laboratory researches of a working breadboard model of measuring instrument is given.

Keywords: nephelometric method, factor of dispersion, intensity of deposits, temperature, duration of a pulse, polarization of light, algorithms of processing of the information, breadboard model of measuring instrument of meteorological parameters, software.