

УДК 621.396.963

DOI: 10.31891/2219-9365-2021-67-1-6

ЯНОВИЦЬКИЙ О. С., ГОРЯЩЕНКО К. Л., ЦЮРПІТА Ю. С., СВАЧІЙ О. І.
Хмельницький національний університет

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ БАРОМЕТРИЧНОГО ТИСКУ НА БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТИ

У статті розглядається метод вимірювання барометричного тиску на безпілотних літальних апаратах для автоматичного визначення висоти. Вимірювання здійснюються за допомогою методу нівелювання та розрахункових формул Лапласа та Бабіне. Робота направлена на автоматичне визначення висоти БПЛА за допомогою зняття показів барометричного тиску, збір та передачу даних на пульт оператора безпілотного літального апарату. Створено програму яка зчитує певну вибірку значень та усереднює покази атмосферного тиску після чого обраховує значення висоти. Детально і поетапно описано програмний код, приведено блок-схеми.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, барометр, барометричний тиск, автоматичне визначення висоти, метод нівелювання, формула Лапласа, формула Бабіне, частота дискретизації, мікроконтролер, передавач.

A. YANOVITSKYI, K. GORIASCHENKO, Y. TSURPITA, O. SVACHII
Khmelnitskyi National University

METHOD OF MEASUREMENT OF BAROMETRIC PRESSURE ON UNMANNED AIRCRAFT FOR AUTOMATIC HEIGHT DETERMINATION

The use of unmanned aerial vehicles is becoming increasingly popular in the actions of rescue teams. The most commonly used unmanned aerial vehicles are multicopters capable of vertical takeoff and hovering, as well as aircraft or motor gliders that take off from a place or a special catapult. The choice of the appropriate type of UAV entails taking into account certain advantages and disadvantages. The main disadvantage of multi-propeller aircraft is their longevity, as a rule, it is in the range from 1 to 60 minutes, depending on battery capacity. On the other hand, the main advantage of multi-propeller aircraft is their maneuverability, which in combination with their equipment with a special camera can significantly reduce the impact of terrain conditions when using UAVs for search activities.

It is worth noting that UAVs have always been an achievement of military technology, but recently such representatives of drones as quadcopters, are gaining their place in various spheres of civilian life. Drones predict the fate of mobile phones, that is, in the near future they may become an indispensable attribute of our lives. This is due to the relatively low cost of these devices, ease of operation, low operating and maintenance costs.

The report discusses the method of measuring barometric pressure on unmanned aerial vehicles for automatic altitude determination. Measurements are performed using the leveling method and Laplace and Babine calculation formulas. The work is aimed at automatically determining the height of the UAV by taking barometric pressure readings, collecting and transmitting data to the operator's panel of the unmanned aerial vehicle. A program has been created that reads a certain sample of values and averages the atmospheric pressure readings and then calculates the altitude values. The program code is described in detail and step by step, block diagrams are given.

Key words: unmanned aerial vehicles, barometer, barometric pressure, automatic altitude determination, leveling method, Laplace formula, Babine formula, sampling rate, microcontroller, transmitter.

Вступ. Безпілотні літальні апарати (БПЛА), на даний час є найбільш інноваційним елементом, що використовується в різноманітних промислових секторах. Темпи розвитку цієї сфери наздоганяють зростання сфери інформаційних технологій. [1]

БПЛА можуть використовуватися в різних видах діяльності як державного і приватного сектора, таких як:

- державна сфера: військові, прикордонники або служби, які надають допомогу у разі стихійних лих;
- підприємницька сфера: моніторинг та обслуговування будівель, технологічний супровід тваринних комплексів, ферм, аграрного бізнесу, геологічні відкриття або аерофотозйомка;
- сфера обслуговування: доставка товарів, ігри, реклама.

Використання безпілотних літальних апаратів стає все більш популярним в діях рятувальних загонів. Найбільш часто використовувані безпілотні літальні апарати – це мультикоптер, здатні до вертикального зльоту і зависання, а також літаки або моторні планери, злітають з місця або спеціальної катапульты. Вибір відповідного типу БПЛА тягне за собою врахування певних переваг і недоліків. Основним недоліком багатогвинтових літаків є їх довготривалість польоту, як правило, вона знаходиться в діапазоні від 1 до 60 хв залежно від ємності батареї. З іншого боку, основною перевагою багатогвинтових літаків є їх маневреність, яка в поєднанні з їх оснащенням спеціальною камерою може значно знизити вплив умов місцевості при використанні БПЛА для пошукової діяльності.

Варто зазначити, що БПЛА завжди були досягненням військових технологій, проте останнім часом такі їх представники безпілотників, як квадрокоптер, завойовують своє місце ще й у різних сферах цивільного

життя. Дронам пророкують долю мобільних телефонів, тобто в недалекому майбутньому вони можуть стати незамінним атрибутом нашого життя. Це пояснюється, порівняно невеликою вартістю даних пристроїв, простотою керування, малими витратами на експлуатацію та обслуговування.

На сьогодні можна перелічити безліч прикладів використання БПЛА, нижче наведені основні:

1. Картографія.

Сьогодні широко використовують невеликі, легкі безпілотники, які завдяки спеціальному програмному забезпеченню можуть досліджувати природні та міські ландшафти, промислові карти, створюючи не тільки фото, а й тисячі цифрових зображень, які об'єднуються у 3D-моделі.

2. Захист дикої природи.

Уряд США, Малайзії та Індонезії вже використовує БПЛА для захисту своїх земель та тварин що їх населяють. Так, за допомогою повітряних зйомок проводяться заходи по збереженню рідкісних диких тварин, вивчається їх розподіл та щільність на певній території. Використання БПЛА є дієвішим способом моніторингу у густих лісах адже наземні способи спостереження є дорогими та мають менший результат. У деяк національних парках світу використання безпілотників зменшує таке негативні явище, як браконьєрство.

3. БПЛА в аграрній справі.

Ефективне землеробство неможливе без знання точної площі полів. Більш того, відомостей про стан рослин і ґрунтів є також дуже важливі. Аерозйомка з повітря - це найбільш дієвий метод для отримання таких даних. Кілька хвилин польоту на невеликій контролюємій висоті дозволять отримати детальні карти сантиметрової точності і 3D-моделі рельєфу. З допомогою БПЛА можна виконувати інвентаризацію та моніторинг земель, проводити точні агрохімічні дослідження і контролювати стан рослин.

4. Безпілотні літальні апарати у рятувальних цілях.

Дрони, що обладнанні спеціальними інфрачервоними датчиками дають можливість виявляти людей, Які попали у полон пожежі, автоаварії, завали будівель, снігових лавин та других катастроф як природного, так и техногенного характеру, коли людські ресурси не можуть зібрати потрібну інформацію про тих, кого ще можна врятувати.

Все перелічене не можливе без оцінки висоти БПЛА, адже це надзвичайно важлива інформація при виконанні таких маневрів польоту, як посадка, зліт, політ на малій висоті і т.д. Найпоширенішим пристроєм вимірювання висоти, що присутній практично в будь-якій бортовій системі, є барометр. Найважливішою характеристикою цього приладу є те, що він вимірює висоту (above middle sea level) AMSL, а не (Above Ground Level) AGL. Це означає, що висоту над рівнем моря необхідно оцінювати, використовуючи висоту зльоту.

Також одним з способів оцінки висоти може бути GPS. Однак стандартний GPS має вертикальну точність від 25 до 50 метрів та при передачі в міському середовищі чутливий до перешкод. Незважаючи на те, що він підходить для польотів на великій висоті, для будь-яких операцій на малих висотах, даний метод є не ефективним та створюється необхідність використання датчику, який може вимірювати висоту AGL з похибкою близько метра або менше. Для вирішення цього завдання були розроблені візуальні методи дослідження та оцінки висоти, для досягнення цієї мети використовують камери та методи машинного навчання.

Найбільш широко вживані в комерційних цілях методи – це оптичні методи, методи на основі радіолокаційних станцій, що пов'язано з їх простотою і надійністю. Оскільки вони не вимагають високої обчислювальної потужності і з меншою ймовірністю генерують артефакти (в порівнянні з методами комп'ютерного зору), ці системи використовуються в безлічі БПЛА. Радіолокаційні альтиметри часто використовують у об'єднанні з технологією GPS, для визначення висоти виключно при взльоті та посадці.

Функція Altitude Hold Mode (автоматичне утримання висоти) присутня в багатьох моделях, вона корисна при проведенні аерофото зйомок, та також стане в нагоді і починаючому оператору БПЛА.

Завдяки спеціальним датчикам, встановленим на безпілотні літальні апарати вони легко утримують сталу висоту над землею, навіть якщо пілот відпускає пульт керування.

Для професійних операторів – це можливість зосередитися на зйомці, а для новачків – справжня знахідка, адже в такому режимі знижується аварійність ситуацій, і як наслідок – значна економія на ремонті та усуненні дрібних поломок. В цьому режимі пілот керує нахилами вправо/вліво, не змінюючи висоти польоту. Якщо з'являється потреба змінити висоту, тоді використовуються команди джойстика пульта оператора що відповідають за дану команду.

Найбільш часто моделі БПЛА оснащені цифровими барометричними датчиками (барометрами). [2] Принцип роботи таких моделей досить простий: зі збільшенням висоти, атмосферний тиск падає, а значить, польотний контролер реагує відповідним чином і подає необхідні сигнали на двигуни, регулюючи потужність моторів.

Однак не у всіх випадках система працює коректно, оскільки на невеликій відстані від землі, різниця тиску практично не відчутна, а тому барометр може давати збій на малих висотах.

При необхідності відносно великої точності на висоті 8–10 м, використовують ультразвук. Ультразвукові датчики часто застосовують в селфі-дронах, головна функція яких – фото, на невеликих висотах і навіть у приміщенні. Але такі датчики теж можуть дати збій, якщо польоти проводяться у приміщенні зі звукоізоляцією.

Наступний вид сенсорів для активації режиму утримання висоти – детектори візуального позиціонування. По суті – це спеціальна відеокамера, яка в онлайн-режимі знімає і постійно моніторить поверхню, над якою зависає дрон. Такий принцип часто використовується в більш дорогих моделях від відомих виробників. Нажаль, ця система також може дати збій, у випадках коли поверхня під коптером занадто яскраво освітлена, або навпаки, дуже темна.

Дорожчі моделі мають в своєму списку переваг GPS приймачі – обладнання останнього покоління, яке використовує дані супутникових навігаційних систем.

Основна частина. Для перетворення даних тиску, що видає датчик, у даній статті описується метод барометричного нівелювання [3].

Метод передбачає у собі визначення різниці висот між двома точками простору за допомогою різниці тиску між ними. Атмосферний тиск окрім висоти над рівнем моря також залежить від інших чинників, таких як:

- вологість повітря, e ;
- температура, t ;
- широта, φ .

Дані чинники можна врахувати в формулі Лапласа (1).

$$h = 18401,2(1 + 0,00366t) \left(1 + 0,378 \frac{e}{p_0} \right) (1 + 0,0026 \cos 2\varphi) (1 + \beta h) \lg \frac{p_0}{p_h} \quad (1)$$

де φ – широта місця виміру тиску;

e – абсолютна вологість повітря;

t – температура повітря;

p_0 – значення тиску в першій точці;

p_h – значення тиску в другій точці.

У цій статті описується простіша формула (2), яка з усіх чинників враховує тільки температуру. Дану формулу (2) було вибрано через можливість з її допомогою зменшення часу обчислення. Врахування тільки температури не є критичним фактором обрахунку висоти, адже час та дальність польоту безпілотної не настільки великі, щоб в період польоту накопилася велика похибка.

Формулу (2) називають формулою Бабіне

$$h = 8000 \frac{2(p_0 - p_h)}{p_0 + p_h} (1 + \alpha t) \quad (2)$$

де α – коефіцієнт розширення газів.

В період без комп'ютерів, дані обрахунку були досить складними та займали час, тому були створені допоміжні таблиці барометричних ступенів.

Барометрична ступінь – зміна висоти, при якій тиск знижується на 1мм рт. ст.

Для побудови таких таблиці використовують спрощену формулу Бабіне (3):

$$h = 8000 \frac{(1 + \alpha t)}{p} \quad (3)$$

Керуючий мікроконтролер відправляє послідовність команд для запуску початку вимірювання тиску або температури. Після перетворення АЦП датчика, значення результату можна прочитати через інтерфейс I2C. Для розрахунку температури в °C та тиску в гПа слід використовувати дані калібрування. Ці дані можна прочитати з BMR085 EEPROM через I2C інтерфейс за допомогою програмного забезпечення.

Частоту дискретизації можна збільшити до 128 разів на секунду (стандартний режим) для динамічного вимірювання. У цьому випадку температуру достатньо вимірювати лише раз на секунду і використовувати це значення для всіх вимірювань тиску на той період часу.

Використовуючи різні режими вимірювання, можна вибрати оптимальний варіант між споживанням енергії, швидкістю та точністю (табл. 1).

Таблиця 1

Режим	Параметр дискретизації	Внутрішній номер параметра	Час перетворення АЦП (мс)	Споживання струму (мкА)	Похибка (м)
Малого споживання	0	1	4,5	3	0,5
Стандартний	1	2	7,5	5	0,4
Високої роздільності	2	4	13,5	7	0,3
Ультрависока роздільність	3	8	25,5	12	0,25

Користуючись технічною документацією датчика BMP085 [4], використано алгоритм перетворення значень даних з реєстрів у фізичні величини (рис. 1). На рис. 2 показано алгоритм роботи передавача з керуючим мікроконтролером.

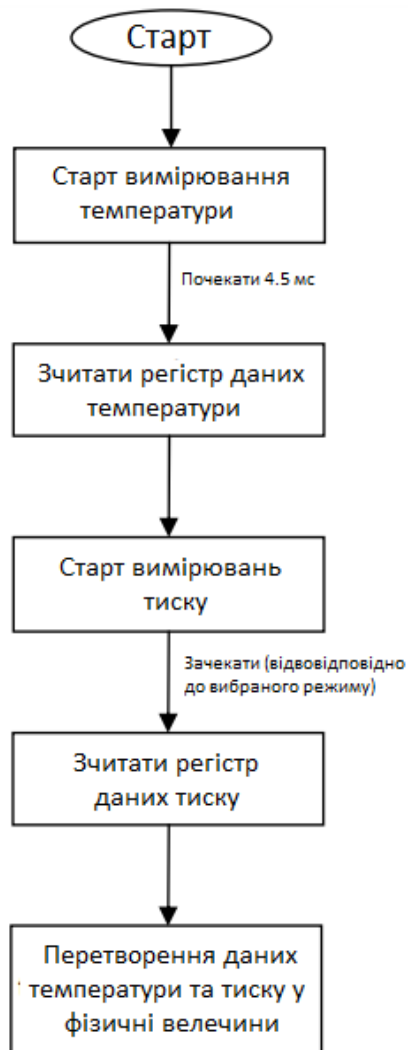


Рис. 1. Алгоритм отримання показників датчика

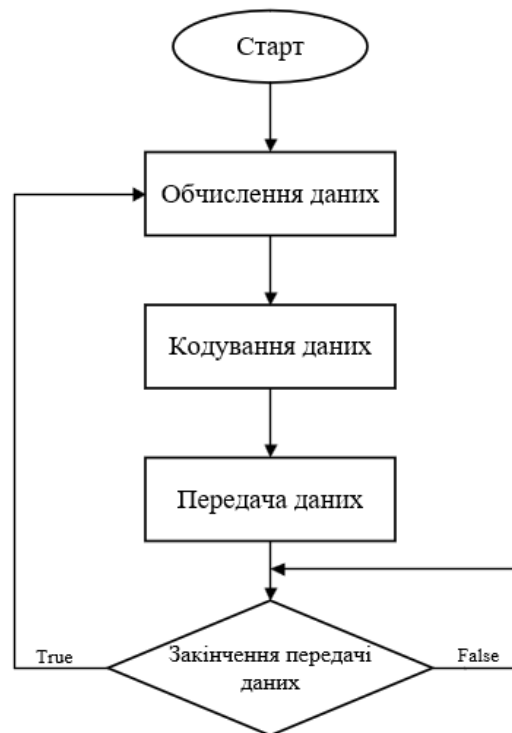


Рис. 2. Алгоритм роботи передавача

Керуючий мікроконтролер, після обробки даних з датчика готує їх для передачі та кодує. Після кодування, він передає дані по інтерфейсу 1-wire по вхід передатчика та слідує за закінченням передачі. Потім програма повторює цикл.

На рис. 3 показано алгоритм роботи приймача з керуючим мікроконтролером, на рис. 4 – алгоритм роботи керуючого мікроконтролера з LED-дисплеєм на базі TM1637.

Прототип передаючої частини автоматизованої системи розроблявся за схемою, що зображена на рис. 5. Для прототипування використовувались такі модулі:

- модуль датчика барометричного тиску BMP180;
- модуль-передавач каналу RF433 FS1000A;
- плата Arduino Nano.



Рис. 3. Алгоритм роботи приймача з мікроконтролером



Рис. 4. Алгоритм роботи приймача

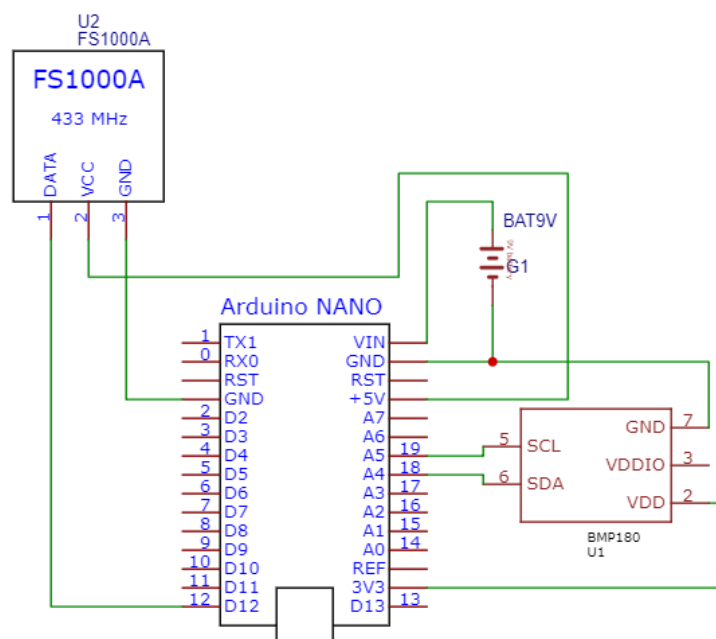


Рис. 5. Схема прототипу передавальної частини барометричного висотоміра

Схема створювалась за допомогою безплатного програмного забезпечення EASYEDA. Це програмне забезпечення дозволяє створювати і редагувати принципові, змішані аналогові та цифрові схеми.

Прототип приймаючої частини автоматизованої системи розроблявся за схемою, що зображена на рис. 6. Для прототипування використовувались такі модулі:

- 4-розрядного 7-сигментного дисплея TM1637;
- приймач каналу RF433 MX-RM-5V;
- плата Arduino Nano.

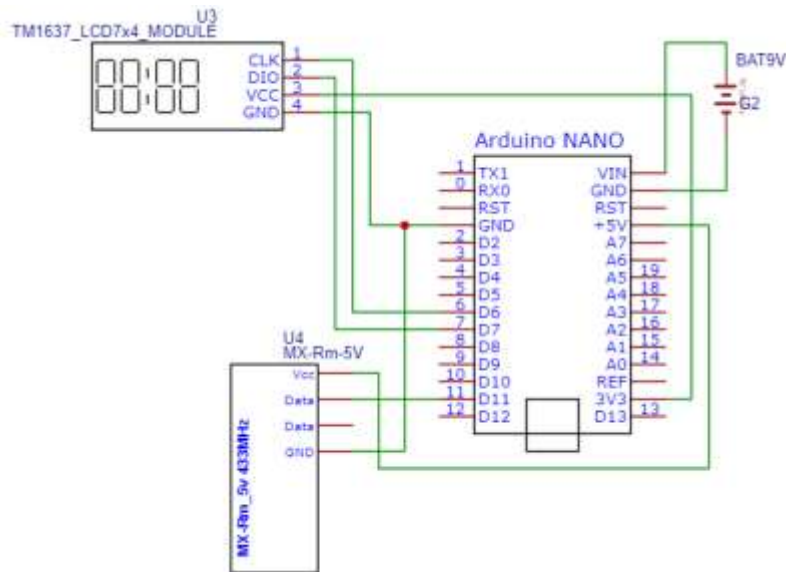


Рис. 6. Схема прототипу приймаючої частини барометричного висотоміра

Алгоритм роботи передавача у передаючій частині системи вимірювання висоти за допомогою барометричного тиску зображено на рис. 7.

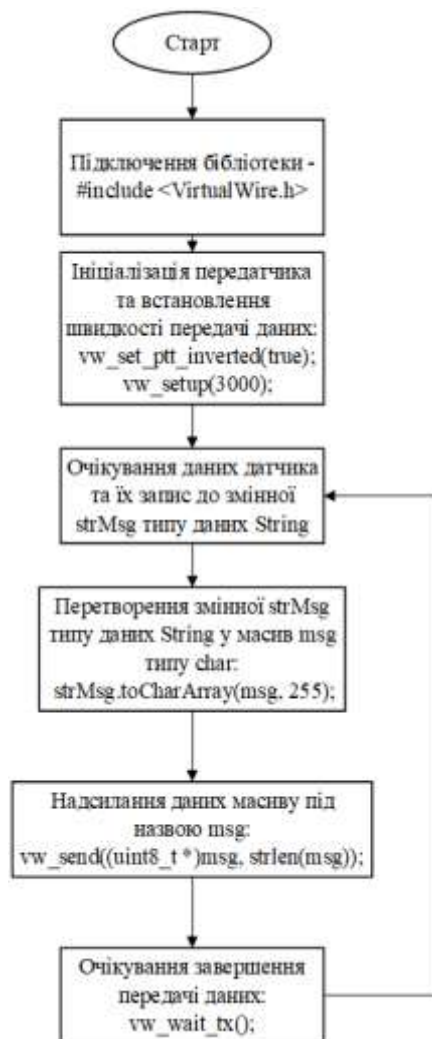


Рис. 7 Блок-схема алгоритму роботи передавача у передаючій частині системи

Передавач FS1000A, що знаходиться на борту безпілотної повинен отримати масив даних по протоколу OneWire перед передачею даних на пульт оператора, тому програмне забезпечення працює за алгоритмом описаним нижче.

Після підключення бібліотеки відбувається ініціалізація передавача та програмне встановлення швидкості передачі даних. Надалі відбувається очікування даних, що знімаються з датчика тиску та обробляються. Після цього відбувається перетворення змінних у тип даних, що відповідає можливості реалізації передачі даних згідно підключеної бібліотеки, у даному випадку цей тип даних є масивом `char`.

Далі програмний код звертається до оператора бібліотеки, який відповідає для подальшого перетворення масиву та надсилання даних на вхід приймача. Після надсилання цикл повторюється з моменту очікування даних.

Нижче вказані та прокоментовані стрічки коду, що відповідають за роботу з передавачем.

```
#include <VirtualWire.h>
// підключення бібліотеки
////////////////////////////////////
void setup(void)
{
    //////////////////////////////////////
    vw_set_ptt_inverted(true);
    // також необхідно для ініціалізації
    vw_setup(3000);
    // Встановлення швидкості передачі пакету даних (біт/с)
}
void loop(void) // початок циклу програми
{
    //////////////////////////////////////
    char symbol = 'h';
    // опис даних що надсилаються у даному випадку h - висота
    String strMsg = "z ";
    // ID безпілотної літального апарату що надсилає дані
    strMsg += symbol;
    strMsg += " ";
    // заповнення змінної
    strMsg += inth1;
    //заповнення змінної, у даному випадку дані висоти
    strMsg += " ";
    // заповнення змінної
    char msg[255];
    // масив призначений для передачі даних
    strMsg.toCharArray(msg, 255);
    // перетворення змінної в масив
    //////////////////////////////////////
    vw_send((uint8_t *)msg, strlen(msg));
    // надсилання даних
    vw_wait_tx();
    // очікування завершення надсилання даних
    //////////////////////////////////////
}
```

Алгоритм роботи зняття показів датчика, барометричного тиску BMP180 у передаючій частині системи вимірювання висоти безпілотної приведено на рис. 8.

У програмному коді ми спочатку підключаємо бібліотеки, що відповідають за обробку даних датчика BMP180. Після підключення бібліотеки призначається назва датчику(у даному випадку назва датчика – h) та створюються змінні якими програмний код буде оперувати. Далі відбувається ініціалізація датчика.

Після ініціалізації, спочатку, знімаються дані температури та заносяться в змінну. Значення температури необхідне для подальшого корегування залежності зміни висоти від тиску. Отримавши значення температури, програма зчитує певну вибірку значень та усереднює покази атмосферного тиску після чого обраховує значення висоти за формулою Бабіне (2).

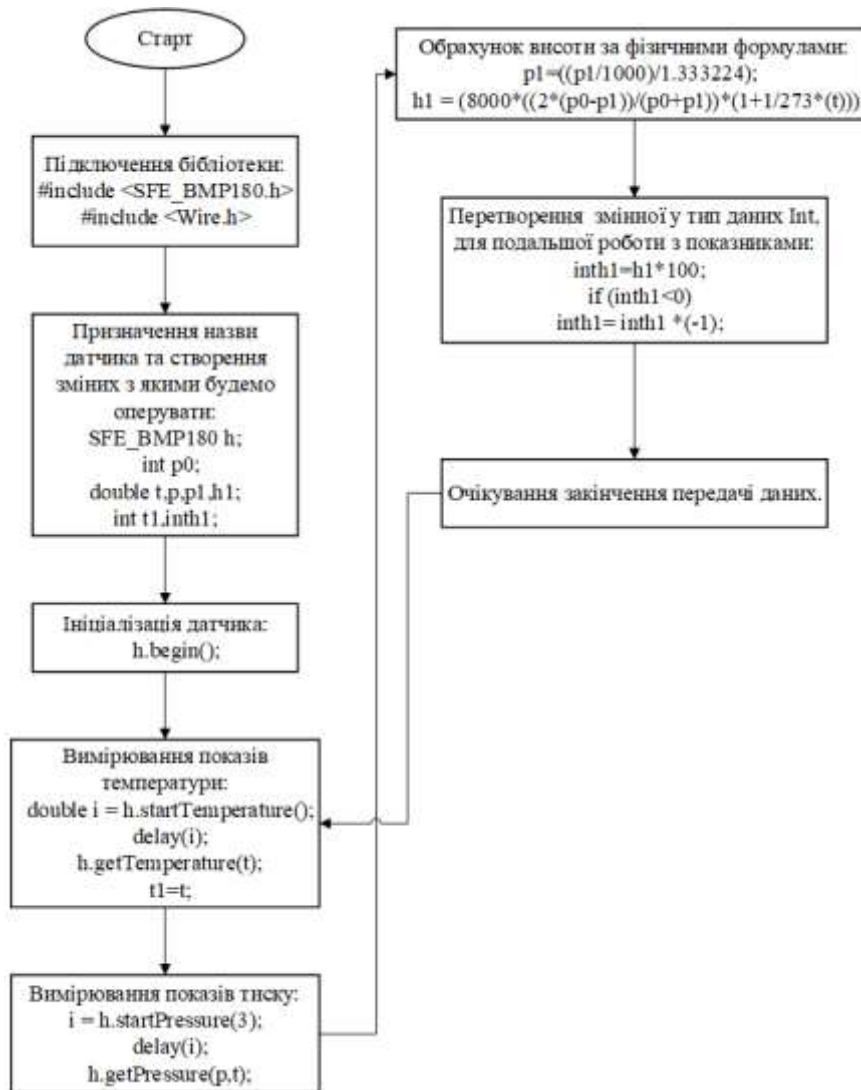


Рис. 8. Блок-схема алгоритму роботи зняття показів датчика у передаючій частині системи

Для передачі даних змінну що відповідає за покази висоти необхідно перетворити у відповідний тип даних для коректного надсилання на передавач. Після закінчення передачі цикл повторюється починаючи з вимірювання температури.

Нижче вказані та прокоментовані стрічки коду, що відповідають за роботу з датчиком тиску.

```

#include <SFE_BMP180.h>
#include <SFE_BMP180.h>
// підключення бібліотеки
SFE_BMP180 h;// задання назви датчику
int p0;
double t,p,p1,h1;
int t1,inth1;// створення змінних для подальшої роботи
////////////////////
void setup(void)
{
    h.begin();// ініціалізація
    //////////////////
}

void loop(void) // початок циклу програми
{
    double i = h.startTemperature();// запит на вимір температури
    
```



```
delay(i); // час виміру
h.getTemperature(t); // зняття показів у змінну
i = h.startPressure(3); // запит на вимірювання та встановлення режиму виміру тиску
delay(i); // час виміру
p1 = 0; // онулювання змінної, для запобігання помилок виміру
for (int i=0; i<100; i++)
// початок циклу для знаходження середнього значення серед 100 вибірок
{
delay(1); // затримка для коректного зняття показів з датчика
h.getPressure(p,t); // Вимір тиску
p1 = p1+p; // заповнення суми зі 100 вибірок
}
p1 = (p1/100)/1.333224;
// знаходження середнього значення в мм рт. ст.
h1 = (8000*((2*(p0-p1))/(p0+p1))*(1+1/273*(t)));
// обрахунок висоти за формулою Бабіне (2)
inth1 = h1*100; // перетворення double в int без втрати сотих
if (inth1<0)
inth1 = inth1 *(-1); // модуль числа при виконанні умови
////////////////////
}
```

Алгоритм роботи приймаючої частини приведено на рис. 9.

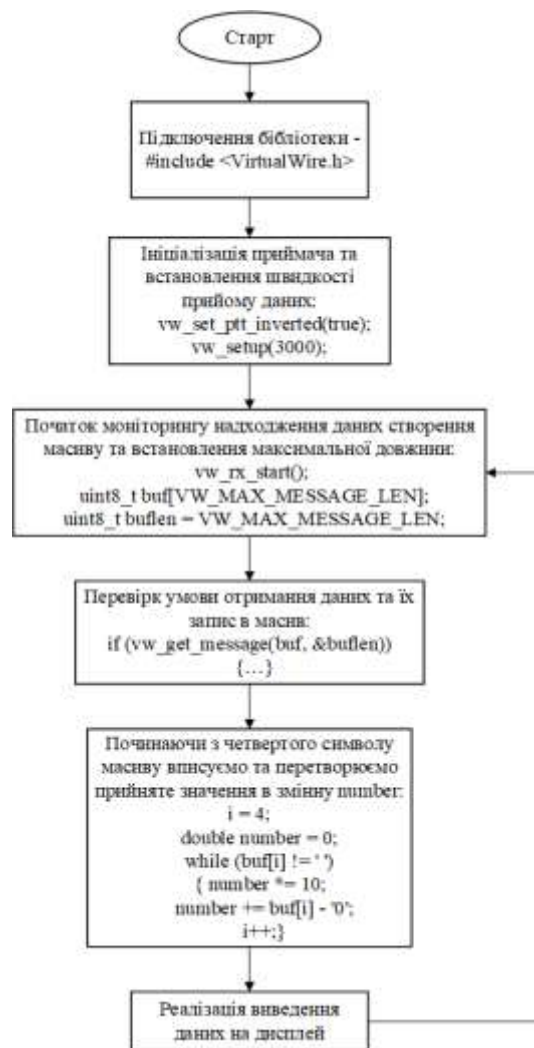


Рис. 9. Блок-схема алгоритму роботи приймаючої частини системи

Першим у алгоритмі програмного забезпечення, є підключення бібліотеки. Далі йде ініціалізація приймача та встановлення швидкості прийому даних. Для коректної роботи дана швидкість має відповідати швидкості передачі даних передавача. Після ініціалізації у програмному коді прописано створення масиву максимальної довжини.

Коли програма перевірила отримання даних, йде перевірка першої частини отриманого пакету. Це перевірка ID приймача та перевірка фізичної величини, що прийшла. Надалі відбувається перетворення пакету у тип даних який дасть змогу програмі в подальшому працювати з даними та виводити їх на дисплей. Після виводу значення, цикл повторюється починаючи з початку моніторингу надходження даних.

Нижче вказані та прокоментовані стрічки коду, що відповідають за роботу з приймаючою частиною.

```
#include <VirtualWire.h>
// підключення бібліотеки
////////////////////////////////////

void setup(void)
{
  //////////////////////////////////////
  vw_set_ptt_inverted(true); // ініціалізація приймача
  vw_setup(3000); // Встановлення швидкості прийому
  //////////////////////////////////////
}

void loop(void) // початок циклу програми
{
  vw_rx_start(); // Починаємо моніторинг
  uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN]; // створення масиву для даних
  uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN; // максимальна довжина масиву
  if (vw_get_message(buf, &buflen))
  // перевірка умови отримання повідомлення
  {
    int i;
    // створення змінної що описує положення символу в масиві
    if (buf[0] != 'z') // перевірка ID передавача
    {
      return;
    }
    char command = buf[2];
    // command – команда що описує фізичну величину
    i = 4; // число починається з 4 розряду масиву
    double number = 0; // створення змінної для прийнятих значень
    while (buf[i] != '\0')
    // Оскільки передача посимвольна потрібно перетворити набір символів в число
    {
      number *= 10;
      number += buf[i] - '0';
      i++;
    }
    while (command == 'h') // виведення даних на дисплей при виконанні умови, що відповідає за
    // фізичну величину
    {
      //////////////////////////////////////
    }
  }
}
```

Алгоритм роботи програмного коду приймаючої частини що відповідає за вивід даних на дисплей зображено на рис. 10.

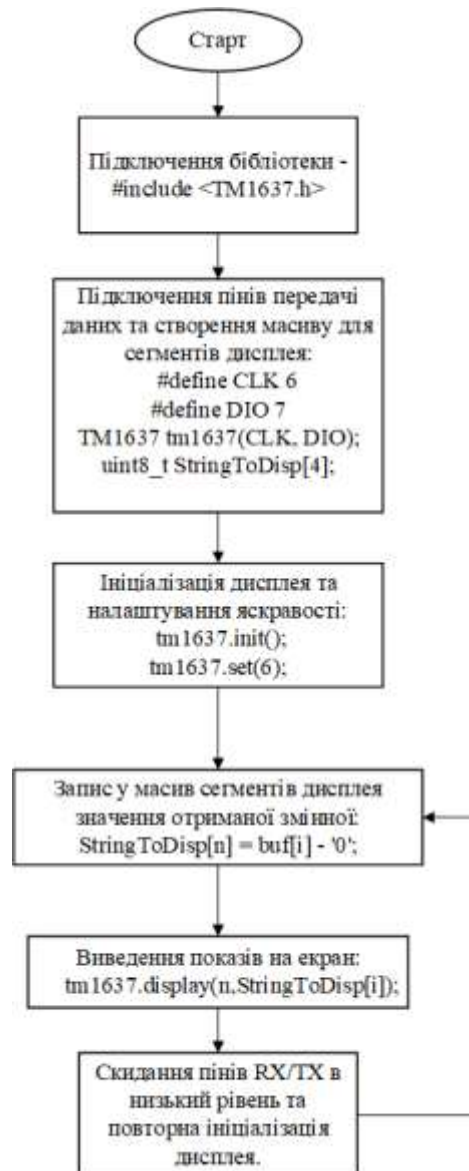


Рис. 10. Блок-схема алгоритму виводу даних на дисплей

Після підключення бібліотеки для роботи з дисплеєм, відбувається програмне підключення пінів CLK та DIO. Також створюється чотирисимвольний масив для чотирирозрядного дисплея.

Ініціалізація дисплея відбувається у двох місцях коду, на самому початку та у кінці кожного циклу після скидання в нуль пінів CLK та DIO. Далі програмне забезпечення зводиться до запису отриманої змінної у масив сегментів дисплея після чого відбувається виведення даних на екран. В кінці циклу програмного коду є обов'язковим скидання пінів передачі даних інакше вони будуть блокувати роботу приймача.

Нижче вказані та прокоментовані стрічки коду, що відповідають за роботу з дисплеєм.

```
////////////////////////////////////  
#include "TM1637.h" // Підключення бібліотеки роботи з дисплеєм  
#define CLK 6 //Підключення піна даних  
#define DIO 7// Підключення піна даних  
TM1637 tm1637(CLK, DIO);  
//Звертаємось до об'єкта tm1637 класу TM1637  
uint8_t StringToDisp[4];  
//Створюємо масив для відображення на дисплеї  
void setup(void)  
{
```

```
tm1637.init();//Ініціалізація дисплея
//////////
tm1637.set(6);//налаштування яскравості
}

void loop(void) // початок циклу програми
{

// прийом та обробка даних
//////////
    while (command == 'c')    // початок виведення даних на дисплей при виконанні умови, що
відповідає за фізичну величину
        StringToDisp[0] = 12;
        StringToDisp[1] = buf[4] - '0';
        StringToDisp[2] = buf[5] - '0';
        StringToDisp[3] = buf[6] - '0';
// Запис даних що надійшли на дисплей у масив
tm1637.display(0,StringToDisp[0]);
tm1637.display(1,StringToDisp[1]);
tm1637.display(2,StringToDisp[2]);
tm1637.display(3,StringToDisp[3]);
// Виведення даних що надійшли, на дисплей
    delay (200); // затримка для сприйняття виведеної інформації
    digitalWrite(6, LOW);
    digitalWrite(7, LOW);
// скидання пінів RX/TX в низький рівень
    tm1637.init(); // ініціалізація дисплея
}
}
```

Висновки. Створено програмну модель, яка за допомогою методу нівелювання і розрахункових формул Бабіне та Лапласа програмним кодом виконувала розрахунки. Програма зчитує певну вибірку значень та усереднює покази атмосферного тиску після чого обраховує значення висоти. У роботі детально і поетапно приведено і описано програмний код, також приведені блок схеми.

Дисплей дає можливість виконувати правила сприйняття що є одним з найважливіших речей у людино-машинному інтерфейсі. Дисплей повинен мати високу роздільну здатність. Чіткість і якість відтворення важлива для розробки зручного дисплея. Якщо відтворювані символи або об'єкти, будуть мало помітні, оператор не зможе керуватись ними. Цю проблему при використанні обраного дисплея можливо використати програмно при «прошивці» керуючого мікроконтролера кодом, що програмує його максимальну яскравість. Сприймаючи чітко виведену інформацію на дисплеї, оператор пульта керування БПЛА може корегувати висоту польоту безпілотної. Інтерфейс I2C дозволяє легко інтегрувати датчик у систему з мікроконтролером. BMP085 забезпечує міцність, високу точність та лінійність електромагнітної сумісності, а також довготривалу стабільність.

References

1. Elektronnyi resurs: <http://euinfocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/28939.pdf>
2. Elektronnyi resurs: <https://www.rc-hobby.com.ua/infocenter/obzory-i-stati/dlya-chego-v-kvadrokoptere-barometr-ili-kak-rabotaet-rezhim-uderzhaniya-vysoty/>
3. Elektronnyi resurs: <https://helpiks.org/5-10511.html>
4. Elektronnyi resurs: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132068/BOSCH/BMP180.html>