

О.А. Сущенко, д.т.н., С.О. Долгоруков, к.т.н.  
(Національний авіаційний університет, Україна)

## **Оброблення даних датчика висоти безпілотних літальних апаратів**

*Розглянуто особливості обробки інформації барометричного датчика висоти безпілотних літальних апаратів. Представлені теоретичні засади барометричного способу вимірювання висоти. Розроблено алгоритм обробки інформації датчика висоти програмними засобами на основі фільтра Батерворта. Представлено результати моделювання.*

### **Вступ.**

На сьогоднішній день розвиток безпілотних літальних апаратів є перспективним напрямком аеронавігації. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) багатороторного типу представляють великий інтерес для таких застосувань, як аерофотозйомка та моніторинг параметрів навколишнього середовища. Малі розміри таких БПЛА забезпечують можливість здійснення польотів в умовах обмеженого простору та в місцях, небезпечних для життя людей. Основною тенденцією мультироторного БПЛА є підвищення автономності польоту. Це підвищує надійність і зручність використання БПЛА та знижує вартість його обслуговування та процесу проектування [1].

Автономність польоту забезпечує система управління, яка включає такі базові компоненти, як мікроконтролер, акселерометри, гіроскопи, магнітометр і датчик тиску. Мікроконтролер забезпечує виконання таких функцій, як зв'язок з периферійними пристроями. Він реалізує драйвери та алгоритм керування, який забезпечує стабілізацію та навігацію БПЛА [1].

Як датчик тиску у БПЛА можна використовувати BMP085. Такий датчик відноситься до нового покоління високоточних цифрових датчиків абсолютного атмосферного тиску. BMP085 розроблений за технологією п'єзорезисторів. Це забезпечує його високу надійність, точність, лінійність і тривалу стабільність. Типовими застосуваннями BMP085 є CPS-навігатори, барометричне вимірювання висоти та навігація безпілотних літальних апаратів. Датчик складається з п'єзорезисторного датчика, аналого-цифрового перетворювача та блоку керування. Датчик відкалібрований і має вбудовану систему термокомпенсації [2].

Датчик може функціонувати ку таких режимах: режим обмеженого енергоживлення; стандартний режим; режим високої роздільної здатності; режим ультра-високої роздільної здатності.

Використовуючи різні режими, можна досягти оптимального компромісу між енергоспоживанням і роздільною здатністю.

Проблема полягає у визначенні алгоритму вимірювання висоти і тиску та підвищення точності вимірювань за допомогою фільтрації.

### **Алгоритм вимірювання тиску.**

Висоту можна виміряти на основі виміряного тиску та тиску на рівні моря за барометричною формулою [3]

$$H = \frac{T_0}{\tau} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{R\tau} \right], \quad (1)$$

де  $H$  – висота, обчислена у метрах;  $T_0, p_0$  – температура та тиск у стандартних погодних мовах;  $\tau$  – температурний градієнт;  $R$  – газова питома стала.

Рівняння (1) після підстановки числових даних є таким

$$H = 44330 \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{1/5.255} \right]. \quad (2)$$

Відповідно до (2) зміна тиску на 1 гПа відповідає висоті 8,43 м для =1013,25 гПа. Аналіз характеристик BMP085 [2] показує, що точність вимірювання тиску становить 0,03 гПа. Це значення відповідає похибці висоти 0,25 м [1]. Слід зазначити, що на сьогоднішній день сенсор BMP085 є одним з кращих в сенсорах цього класу. Але цей датчик має деякі недоліки. Він сприймає високочастотні коливання навколишнього повітря. Щоб уникнути зниження точності, необхідно використовувати фільтрацію. Апроксимована графічна залежність представлена на рис. 1.

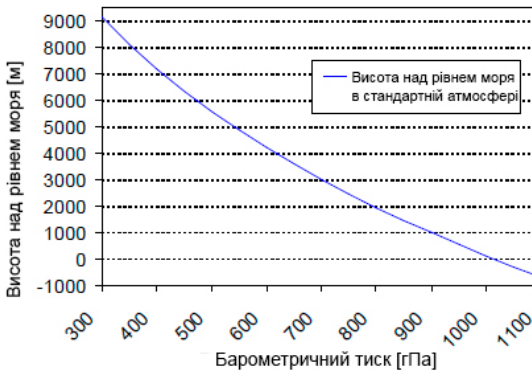


Рис.1. Залежність тиску від висоти на рівні моря

Низькочастотну фільтрацію реалізовано за допомогою фільтра Баттерворта [4]. Фільтр розроблено в цифровому вигляді. Це забезпечує обмеження спектра високочастотного шуму. Вибрано схему фільтра Баттерворта нижніх частот з плоскою характеристикою та лінійною фазовою характеристикою в смузі пропускання.

Фільтр (3) розроблено на основі наступних вихідних даних: частота вхідного сигналу 200 Гц; частота зрізу 30 Гц; рівень пульсацій у смузі пропускання 2 дБ; рівень пульсацій у смузі загасання 30дБ.

Імпульсну характеристику фільтра Баттерворта представлено на рис. 2.

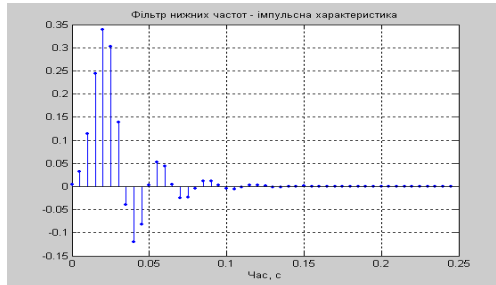


Рис. 2. Імпульсна характеристика фільтра Батерворта.  
Перехідна функція розробленого фільтра має вигляд

$$H(z) = 0.01 \frac{0,4 + 2z^{-1} + 6z^{-2} + 8z^{-3} + 6z^{-4} + 2z^{-5} + 0,4z^{-6}}{1 - 2,1z^{-1} + 2,4z^{-2} - 1,6z^{-3} + 0,7z^{-4} - 0,2z^{-5} + 0,02z^{-6}} \quad (3)$$

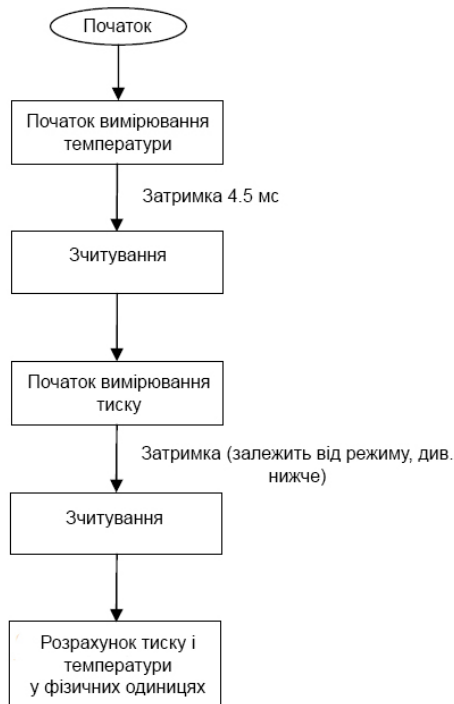


Рис. 3. Блок-схема обробки вимірювальної інформації

Перевагами розробленого фільтра є його простота та можливість виконання процедури проектування без попередньої інформації про похибки вимірювання та вибору вагових коефіцієнтів. Слід зазначити, що власне датчик може бути описаний передатною функцією

$$W = \frac{1}{Ts + 1},$$

де  $T$  – стала часу. Алгоритм обробки даних. Блок-схема обробки даних представлена на рис. 3.

Дані зчитуються з пам'яті пристрою. Вони містять цифрові значення датчиків температури і тиску, які надходять з цифро-аналогових перетворювачів, а також калібрувальні коефіцієнти. Дані зчитуються в цифровому форматі та перетворюються в стандартні одиниці вимірювання за допомогою формули (2). Фільтрація за допомогою фільтра Баттерворта низьких частот реалізована програмним способом.

Цифрові дані передаються 11 словами, що складаються з 16 біт. Вони включають 11 калібрувальних коефіцієнтів. Дані перевіряються на неприпустимі значення, такі як 0 FFFF. Розрахунок справжнього тиску здійснюється з кроком 1Па (0,01мбар), а справжньої температури – з кроком 0,1 °C.

#### Результати моделювання.

Моделювання вимірювань проводилося з використанням тестових сигналів, таких як синусоїдальний і ступінчастий. Результати тиску та обчислення температури, тиску та висоти представлені на рис. 4.

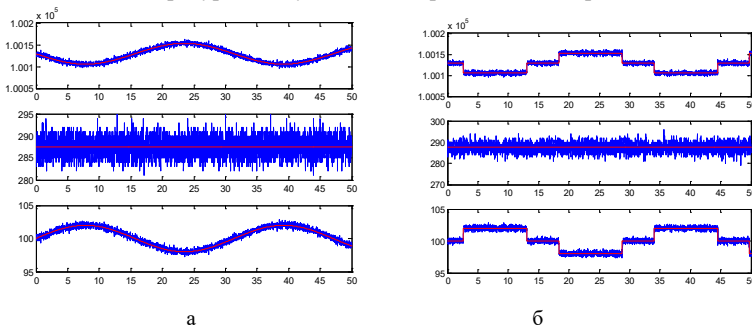


Рис. 4. Моделювання сигналів: а – синусоїдальний сигнал; б – ступінчастий сигнал

Результати фільтрації для ступінчастого сигналу представлені на рис. 5. Аналіз представлених графіків показує значне ослаблення високочастотного шуму. Такого зниження достатньо для недорогих застосувань.

Програмна реалізація запропонованого алгоритму може бути здійснена на платформі Arduino, яка є інструментом розробки програмованих електронних пристроїв [5]. Aurdino являє собою відкриту платформу, що містить плату з мікроконтролером, а також спеціальне середовище розробки для створення програмного забезпечення мікроконтролера.

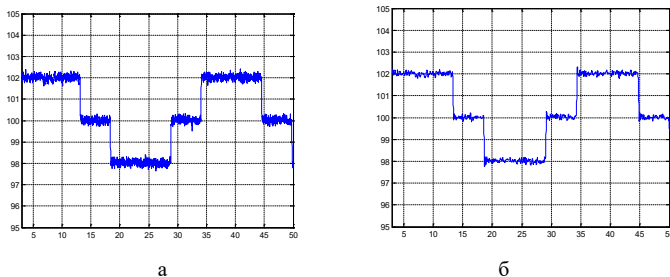


Рис. 5. Сигнал до фільтрації (а) та після фільтрації (б)

### Висновки.

Запропонований алгоритм обробки даних забезпечує підвищення точності, діапазону вимірювання та стійкості до перешкод досліджуваного приладу BMP085. У такий спосіб можна підвищити надійність і безпеку польоту

### Список літератури

1. M.A.AI. Shareeda, M. Ali. Unmanned aerial vehicles: a review and future directions. – Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2023. – Vol. 30. – No. 2. – P. 778 –786.
2. BMP085, Digital barometric pressure sensor, BOSCH, <http://boschsensortec.com/>.
3. BOSCH Inc. - Data sheet Bosch BMP085 Digital Pressure sensor, Germany, 2009, 27 p.
4. E. Xossain. MATLAB and Simulink Crash Course for Engineers. Berlin: Spinger, 2022.
5. Arduino <http://arduino.ua/>