

О. В. Кочан<sup>1</sup>  
В. Д. Погребенник<sup>1</sup>,  
В. В. Кочан<sup>2</sup>  
Д. І. Піташевський<sup>1</sup>  
С. О. Новосад<sup>2</sup>

## ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ БЛОКОМ ЗБОРУ ДАНИХ USB6009

<sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка"

<sup>2</sup> Західноукраїнський національний університет

### **Анотація**

*Запропоновано ad-hoc пристрій вимірювання швидкості вітру на базі термістора та блоку збирання даних. Завдяки індивідуальному калібруванню термістора точність вимірювання є прийнятною.*

**Ключові слова:** швидкість вітру, термістор, індивідуальне калібрування, USB 6009, ad-hoc вимірювання.

### **Abstract**

*An ad-hoc device based on the thermistor and the data acquisition unit to measure wind speed is proposed. Due to the individual calibration of the thermistor, the measurement accuracy is acceptable for monitoring of the environment.*

**Keywords:** wind speed, thermistor, individual calibration, USB 6009, ad-hoc measurement.

### **Вступ**

Для вимірювання напряму і швидкості вітру доцільно побудувати мережу сенсорів на принципах Ad-hoc [1] вимірювання, що передбачають використання широко розповсюджених універсальних засобів. Вимірювачі швидкості вітру – анемометри [2] – відрізняються конструкцією сенсора. Для Ad-hoc вимірювань найкраще придатні теплові анемометри. Метою роботи є розроблення теплового анемометра, придатного до Ad-hoc вимірювань.

### **Метод вимірювання швидкості вітру**

Принцип дії теплового анемометра полягає у тому, що нагрітий до деякої температури сенсор температури охолоджується вітром, а зниження температури залежить від швидкості потоку повітря. Але охолодження залежить і від температури повітря. Температура нагріву сенсора не має перевищувати 60°C за температури експлуатації від -20°C до +40°C. Для зменшення похибки слід зменшувати температуру нагріву, але тоді зростає похибка вимірювання змін температури. Тому слід використати високочутливі сенсори – термістори [3]. Їх температурний коефіцієнт опору сягає 4%/°C. Але вони мають значні відхилення функції перетворення (ФП) від номінальної – до 20% при +20°C та до ±5% за температурним коефіцієнтом. Тому необхідно перейти до індивідуальної ФП термістора.

### **Методика переходу до індивідуальної функції перетворення термістора**

Під час Ad-hoc вимірювань слід спиратися не на еталонне обладнання, а на природні явища та універсальне обладнання. Переваги термісторів: висока чутливість, низька ціна, широкий вибір опору (10 Ом - 1 МОм при 20°C) і відповідність їх ФП експоненті [3] –  $R_T = A \cdot \exp(-B/T)$ , де  $R_T$  опір за абсолютної температури  $T$ ;  $A$ ,  $B$  – параметри. Для індивідуальної ФП досить знати опір термістора при двох температурах. Для Ad-hoc вимірювань доцільно вибрати ці температури 0°C (температура танення льоду, її можна створити, заморозивши кип'ячену воду) і 36,6 °C (температура тіла здорової людини, її можна перевірити медичним термометром). Похибки цих температур не перевищують ±0,2°C. Для зменшення похибки слід добитися рівності напруг на послідовно ввімкнених термісторах та магазині опору, а ці напруги повинні наближатися до максимального показу цифрового тестера.

Параметри термісторів А і В знаходимо з формул  $B = \frac{\ln R_{T1} - \ln R_{T2}}{1/T2 - 1/T1}$ ,  $A = \frac{R_{T1}}{e^{-B/T1}}$ , де  $R_{T1}$ ,  $R_{T2}$  - опори термісторів відповідно при абсолютних температурах  $T1$ ,  $T2$ .

### Налаштування каналів вимірювання температури

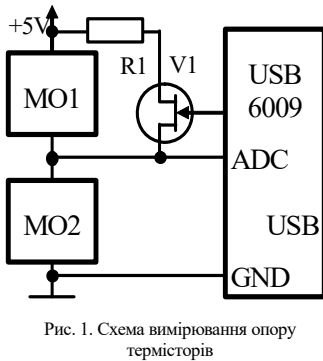


Рис. 1. Схема вимірювання опору термісторів

Для вимірювання опору термісторів використано розповсюджені блоки збору даних, наприклад, USB6009 [4]. Схема їх вхідного кола ускладнена через вимірювання напруги у діапазоні  $\pm 10V$  при живленні від USB напругою  $+5V$ . Пропонована методика налаштування каналів виміру температури і швидкості вітру: 1) визначити параметри А і В термісторів вимірювання температури і швидкості вітру; 2) розрахувати опори термісторів у температурах від  $-20$  до  $+40^{\circ}C$  з кроком  $5^{\circ}C$ ; 3) зібрати схему рис. 1 (V1 запертий); 4) на магазині опору MO2 виставити опори термісторів відповідного каналу при  $-20^{\circ}C$  і магазином MO1 встановити показ USB6009 1В; 5) замінити магазин опору MO1 постійним резистором дещо більшого опору; 6) встановлюючи на MO2 обчислених у п. 2 опори обох термісторів фіксувати покази USB6009; 7) за

результатами п. 4 апроксимувати ФП обох каналів; 8) у каналі вимірювання швидкості вітру виміряти поточну температуру повітря, відкрити транзистор V1, прогріти термістор 5 хв; 9) закрити V1 і відразу виміряти температуру прогрітого термістора; 10) перегрів термістора рівний різниці температури до і після прогріву; 11) підбором R1 задати потрібне значення перегріву.

### Методика калібрування термоанемометра

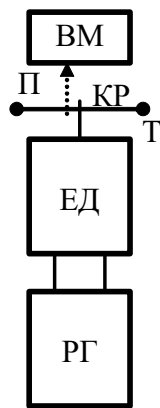


Рис. 2. Стенд калібрування вимірювального каналу

Вимірювання швидкості вітру залежить від коефіцієнту тепловіддачі від прогрітого термістора до середовища. Тому слід визначити наскрізну ФП вимірювального каналу. Наскрізна ФП залежить від швидкості вітру і температури повітря, тобто це нелінійна поверхня. Зменшити обсяг експериментальних досліджень для її ідентифікації можна шляхом розпізнавання швидкості вітру навченою нейронною мережею (НМ). Для створення навчальної вибірки для НМ слід виготовити стенд, ескіз якого подано на рис. 2. Він містить електродвигун ЕД, на осі якого закріплено коромисло КР з прогрітим термістором Т на кінці та противагою П на іншому кінці. Число обертів ЕД за секунду встановлюється регулятором напруги РГ і вимірюється системою ВМ, наприклад, за числом переривань світлового потоку коромислом КР.

Швидкість «вітру»  $S$  при обертанні, обчислимо як  $S = \frac{L}{\tau} = \frac{2\pi Rn}{\tau}$ , де  $L$  - відстань, яку пройшов термістор за час  $\tau$ ;  $R$  - довжина плеча коромисла;  $n$  - кількість обертів коромисла. Навчальну вибірку для НМ слід сформулювати як набір векторів  $T1, \Delta T1 \rightarrow S_{\Delta T1}^{T1}$ , де  $T1, \Delta T1$  - температура повітря і отримана зміна

температури термістора Т для заданого співвідношення  $n/\tau$ , тобто числа обертів ЕД за секунду, а  $S_{\Delta T1}^{T1}$  - експериментально отримана за (3) швидкість «вітру». Попередня оцінка показала, що похибка швидкості вітру не перевищує 5%.

### Висновки

Запропонований метод Ad-hoc вимірювання швидкості вітру спирається на широко доступне обладнання загального використання і вимагає для реалізації мінімальних затрат.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Что такое ad-hoc тестирование? <https://cutt.ly/wW3iDUX>
2. Анемометр. <https://cutt.ly/RW3iZHm>
3. Webster, J. G. (1998). The measurement, instrumentation and sensors handbook. CRC press.
4. NI USB6009. <https://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>.

**Кочан Орест Володимирович** – д.т.н., доц. кафедри ІВТ Національного університету «Львівська політехніка», email: [orest.v.kochan@lpnu.ua](mailto:orest.v.kochan@lpnu.ua).

**Погребенник Володимир Дмитрович** – д.т.н., проф. кафедри ЕБПД Національного університету «Львівська політехніка».

**Кочан Володимир Володимирович** – к.т.н., проф. кафедри ІОСУ Західноукраїнського національного університету.

**Піташевський Даніель Ігорович** – студент Національного університету «Львівська політехніка»,

**Новосад Станіслав Олександрович** - студент Західноукраїнського національного університету.

**Kochan Orest V.** – science doctor, associate professor, department of MIT, Lviv Polytechnic National University, email: [orest.v.kochan@lpnu.ua](mailto:orest.v.kochan@lpnu.ua).

**Pohrebennyk Volodymyr D.** – science doctor, professor, department of ESNS, Lviv Polytechnic National University.

**Kochan Volodymyr Volodymyrovych** – ph. d., professor, department ICSC, West Ukrainian National University.

**Піташевський Даніель Ігорович** – student, Lviv Polytechnic National University.

**Новосад Станіслав Олександрович** – student, West Ukrainian National University.