

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-55-26>

УДК 004.4

Філь Наталія Юріївна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2081-7176>

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна

## МОДЕЛЬ ВИБОРУ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ ДЛЯ МОДУЛЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

**Філь Н.Ю.** Моделі вибору датчика температури та вологості для модуля системи екологічного моніторингу.

Система екологічного моніторингу в Україні є застарілою та не дозволяє збирати дані в режимі реального часу та накопичувати їх в єдиному цифровому форматі. Сьогодні ситуація особливо загострилася, бо деякі метеорологічні станції зруйновані, тому заміри концентрацій забруднюючих речовин проводяться нерегулярно, що впливає на отримані результати. Проблема реінжинірингу системи екологічного моніторингу є актуальною. В роботі розроблена модель вибору датчика температури та вологості повітря для модуля системи екологічного моніторингу. Наведено приклад вибору датчику за обраними критеріями.

**Ключові слова:** екологічний моніторинг, датчик, критерій, альтернатива, функція корисності.

**Fil N. Model for Selecting a Temperature and Humidity Sensor for a Module of an Environmental Monitoring System.** The system of environmental monitoring in Ukraine is outdated, it does not allow accumulating data in a single digital format and viewing them in real time. Today, the situation has become particularly acute, as some meteorological stations have been destroyed, so measurements of pollutant concentrations are not carried out regularly, which affects the results obtained. The problem of re-engineering the environmental monitoring system is urgent. The paper develops models for selecting a temperature and humidity sensor for a module of an environmental monitoring system. An example of sensor selection according to the selected criteria is given.

**Keywords:** environmental monitoring, sensor, criterion, alternative, utility function.

### Постановка наукової проблеми

Екологічна катастрофа довкілля, яку спричинила війна, не знає кордонів, адже циркуляція повітря, води поширюють негативний вплив війни по всьому світу. Необхідно вже зараз забезпечити ефективне подолання екологічних наслідків війни, яке неможливо зробити без сучасної системи екологічного моніторингу [1].

В Україні існує державна системи екологічного моніторингу (СЕМ). Проби атмосферного повітря відбираються з періодичністю 3-4 рази на добу 6 днів на тиждень на 129 державних стаціонарних постах. Під обстріли попадають промислові об'єкти, склади нафтопродуктів, тому необхідно проводити постійно моніторингу повітря в онлайн режимі. Але на більшості постів використовується старе апаратне забезпечення, тому потрібно проводити реінжиніринг системи екологічного моніторингу. Всі ці недоліки не дозволяють приймати ефективні рішення щодо зменшення негативного впливу на довкілля [2].

В прийнятій «Концепції Державної цільової екологічної програми моніторингу довкілля» зазначено, що екологічна ситуація в Україні є вкрай складною, навантаження на навколишнє природне середовище зростає. У більшості міст за окремими показниками спостерігається високий рівень забруднення атмосферного повітря. Така незадовільна екологічна ситуація зумовлена рядом факторів, зокрема неефективним функціонуванням державної системи моніторингу навколишнього природного середовища [3].

Через воєнний стан та економічні складнощі державна система екологічного моніторингу не відповідає викликам та вимогам сьогодення, потребує реінжинірингу апаратного забезпечення на основі сучасних технологій.

**Аналіз досліджень.** Проблеми екологічного моніторингу довкілля присвячено багато досліджень вітчизняних та закордонних авторів.

Захист повітря від забруднення є важливим елементом європейської політики захисту довкілля. В державах Європейського Союзу міжнародний стандарт з управління навколишнім середовищем ведеться з початку 1990-х рр [4].

Забруднення повітря є першою у списку найбільших екологічних проблем у Європі. На якість повітря в державах ЄС впливає рівень забруднення повітря, а концентрація твердих частинок значно перевищує останні рекомендації Всесвітньої організації охорони здоров'я.

Повітря є одним з елементів природного середовища, захист якого належить до пріоритетних напрямків державної політики в Польщі. Станції моніторингу якості атмосферного

повітря встановлюються за рахунок Воєводського фонду охорони довкілля і водного господарства, а результати щогодинного автоматичного вимірювання забруднення повітря доступні на порталі «Якість повітря» в модулі «Поточні дані вимірювань» та в мобільних програмах «Якість повітря в Польщі» [4].

Україна їде по шляху вдосконалення системи оцінки школи довкіллю. Нещодавно, підписана угода про співпрацю з Фінляндією для розбудови національної системи моніторингу води та біорізноманіття [5]. Проект технічної допомоги планують реалізувати у 2024-2027 роках, що дозволить покращити екологічний води і біорізноманіття в Україні.

В роботі [6] автори пропонують використання технологія Інтернету речей (IoT), що дозволить збирати, обробляти дані в реальному режимі. Така система повинна бути розроблена з використанням датчиків, мікроконтролерів на основі IoT. Це дозволить проводити ефективний екологічний моніторинг та прогнозувати зміни навколишнього середовища.

В роботі [7] зазначено, що використання сучасних інформаційних технологій з використанням геопросторових даних екологічних викликів скоротить час прийняття управлінських рішень, а також. Необхідно проводити постійний моніторинг атмосферного повітря, у частині впливу постійно тліючих торф'яних полів навколо Києва, попередження пожеж у лісах, вибухів на об'єктах нафтопереробної промисловості.

В роботах [8-9] розглядається застосування бездротових датчиків на базі Інтернету речей для контролю за довкіллям. Використовуються дві методології, перша з яких – зв'язок Wi-Fi на основі протоколу користувацьких дейтаграм (UDP), а інші – через Wi-Fi, а також протокол передачі машиночитаемого тексту (HTTP). Обидві системи дозволяють спостерігати за географічно широкими територіями.

В роботі [10] автори розглянули основні вимоги для СЕМ. Запропоновано структурна схема багато сенсорної системи екологічного моніторингу. Автори розглянули взаємозв'язок різних елементів СЕМ.

Таким чином, через воєнний стан та економічні складнощі державна система екологічного моніторингу не відповідає викликам та вимогам сьогодення та потребує реінжинірингу.

#### **Мета та задачі дослідження**

Метою дослідження є розробка моделей датчика температури та вологості для модуля системи екологічного моніторингу (МСЕМ) в умовах невизначеності вхідної інформації, що дозволить автоматизувати процес розробки модуля системи екологічного моніторингу та підвищити швидкість збору і точність даних, які спостерігаються.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз проблеми вибору датчика температури та вологості для МСЕМ;
- розробити модель вибору датчику температури та для МСЕМ в умовах невизначеності вхідної інформації;
- навести приклад використання розробленої моделі.

#### **Модель вибору датчика температури та вологості повітря для МСЕМ**

Відомо множина датчиків для вимірювання температури та вологості повітря сумісні з мікроконтролером, який буде використовуватися для МСЕМ  $STV = \{STV_j\}$ ,  $(j = \overline{1, j^*})$ , які можливо використовувати для модуля системи екологічного моніторингу, де  $j^*$  – кількість датчиків для вимірювання температури та вологості повітря.

Кожен датчик для вимірювання температури та вологості повітря характеризується наступними параметрами:

- діапазон вимірювання температури –  $STV^{DT} = \{STV_j^{DT}\}$ ,  $(j = \overline{1, j^*})$ ;
- діапазон вимірювання вологості –  $STV^B = \{STV_j^B\}$ ,  $(j = \overline{1, j^*})$ ;
- похибка вимірювання температури –  $STV^{IT} = \{STV_j^{IT}\}$ ,  $(j = \overline{1, j^*})$ ;
- похибка вимірювання вологості –  $STV^{IB} = \{STV_j^{IB}\}$ ,  $(j = \overline{1, j^*})$ ;
- максимальне значення струму, що споживається –  $STV^C = \{STV_j^C\}$ ,  $(j = \overline{1, j^*})$ ;

– час відгуку –  $STV^{CB} = \{STV_j^{CB}\}, (j = \overline{1, j^*})$

– вартістю –  $STV^{BAP} = \{STV_j^{BAP}\}, (j = \overline{1, j^*})$ .

Введемо змінну  $x_j^{STV} = 1$ , якщо обрано  $j$ - датчик для вимірювання температури та вологості повітря, та  $x_j^{STV} = 0$  в протилежному випадку.

Основними вимогами для вибору датчика для вимірювання температури та вологості повітря системи екологічного моніторингу є:

– мінімальна вартість датчика для вимірювання температури та вологості повітря для модуля системи екологічного моніторингу

$$STV^{BAP} = \sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^{BAP} \rightarrow \min ; \quad (1)$$

– максимальний діапазон вимірювання температури

$$STV^{DT} = \sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^{DT} \rightarrow \max ; \quad (2)$$

– максимальний діапазон вимірювання вологості

$$STV^B = \sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^B \rightarrow \max ; \quad (3)$$

– мінімальна похибка вимірювання температури

$$STV^{ITT} = \sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^{ITT} \rightarrow \min ; \quad (4)$$

– мінімальна похибка вимірювання вологості

$$STV^{IB} = \sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^{IB} \rightarrow \min ; \quad (5)$$

– мінімальний час відгуку

$$STV^{CB} = \sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^{CB} \rightarrow \min . \quad (6)$$

Область допустимих рішень визначається обмеженнями:

– витрати на датчика для вимірювання температури та вологості повітря системи екологічного моніторингу не повинні бути більше заданих  $STV_{зад}^{BAP}$

$$\sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^{BAP} \leq STV_{зад}^{BAP} ; \quad (7)$$

– діапазон вимірювання температури повинен бути не менше заданого  $STV_{зад}^{DT}$

$$\sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^{DT} \geq STV_{зад}^{DT} ; \quad (8)$$

– діапазон вимірювання вологості повинен бути не менше заданого  $STV_{зад}^B$

$$\sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^B \geq STV_{зад}^B ; \quad (9)$$

– похибка вимірювання температури повинна бути не більше заданої  $STV_{зад}^{ITT}$

$$\sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^{ITT} \leq STV_{зад}^{ITT} ; \quad (10)$$

– похибка вимірювання вологості повинна бути не більше заданої  $STV_{зад}^{IIB}$

$$\sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^{IIB} \leq STV_{зад}^{IIB} ; \quad (11)$$

– час відгуку повинен бути не більше заданого  $STV_{зад}^{ЧВ}$

$$\sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^{ЧВ} \leq STV_{зад}^{ЧВ} ; \quad (12)$$

– максимальний струм, що споживається повинен бути не більше заданого  $STV_{зад}^C$

$$\sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} STV_j^C \leq STV_{зад}^C ; \quad (13)$$

– необхідно обрати тільки один датчик для вимірювання температури та вологості повітря

$$\sum_{j=1}^{j^*} x_j^{STV} = 1. \quad (14)$$

Таким чином, розроблена модель вибору датчика температури та вологості повітря для МСЕМ, що дозволяє вибрати ефективний датчик температури та вологості повітря за заданими критеріями й обмеженням в умовах нечіткої вхідної інформації.

Розроблена модель (1) – (14) відноситься до задач багатокритеріального дискретного програмування з булевими змінними.

Найбільш поширений підхід до розв'язання багатокритеріальної задачі – її зведення до однокритеріальної [11]. Основою такого підходу є теорія корисності.

Для вирішення задачі використовується функція корисності часткових критеріїв  $R_f(k_f)$ ,  $f = 1, F$ , яка є універсальною та відображає особливості конкретних альтернатив і критеріїв [7]

$$R_f(k_f) = \frac{k_f - k_f^{HG}}{k_f^{HK} - k_f^{HG}}, f = \overline{1, F}, \quad (15)$$

де  $k_f, k_f^{HG}, k_f^{HK}$  – поточне, найгірше (гранично допустиме) і найкраще значення  $f$ -го часткового критерію, що відповідають наблизеній області компромісів.

Функція корисності часткових критеріїв (15) має наступні властивості:

– має єдиний інтервал змін  $[0, 1]$ ;

– є безрозмірною;

– інваріантною до виду екстремуму часткового критерію (min и max), тобто, найкращому значенню відповідає 1, а найгіршому – 0.

Інформація про значущість часткових критеріїв визначається безрозмірними коефіцієнтами, що враховують важливість критеріїв, тобто:

$$\sum_{f=1}^F \lambda_f = 1, \text{ де } \lambda_f \in [0,1] \text{ (} j = \overline{1, F} \text{)}. \quad (16)$$

Велика група схем компромісу заснована на принципі максимальної адитивної корисності часткових критеріїв. Якщо відомі значення вагових коефіцієнтів  $\lambda_f$  ( $j = \overline{1, F}$ ) часткових критеріїв та їх функцій корисності  $R_f(x)$  оцінка проектних рішень  $x \in X$  та вибір найкращого  $x^0$  проводиться за узагальненим критерієм виду [7-8]:

$$W(x^0) = \max_{x \in X} \sum_{f=1}^F \lambda_f R_f(x) \quad \left| \quad \sum_{f=1}^F \lambda_f = 1. \quad (17)$$

Метод багатокритеріальної оптимізації має певні переваги. Цей метод є більш стійким в порівнянні з методом аналізу ієрархій, та має меншу трудомісткість [11-12].

Як перевагу можна зазначити, що метод багатокритеріальної оптимізації дозволяє враховувати приховану інформацію. Експерти визначають значущість критеріїв за якими проводиться вибір альтернатив. В цьому випадку особа, що приймає рішення покладається не тільки на свій досвід прийняття рішень.

Розглянемо приклад використання розробленої моделі.

#### Приклад використання розробленої моделі

В якості альтернатив розглянемо датчики температури та вологості повітря, які є в наявності на ринку України. Технічні характеристики альтернатив – датчиків температури та вологості повітря, представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Технічні характеристики датчиків температури та вологості повітря

	Діапазон виміру температури, °C	Похибка виміру температури, °C	Діапазон виміру вологості, %	Похибка виміру вологості, %	Час відгуку, с	Максимальний струм, що споживається, мА	Вартість, грн
DHT-11	0-50	2	20-90	5	1	2	59
DHT-22	-40-80	0,5	0-100	2	2	1,5	145
GYSHT31-D	-40-125	0,3	0-100	2	1	2	277
GY-21 HTU21	-10-85	0,3	0-80	3	2	0,15	98
Sensiron SHT31-D	0-90	0,2	0-100	2	8	2	177
BME280 5B I2C	-40-85	0,5	0-100	3	2	0,35	235

В середовищі Microsoft Excel були виконані розрахунки функцій корисності за кожним критерієм для всіх альтернатив за формулою (15), а також узагальненого критерію – за формулою (17) (Табл. 2). Вагові коефіцієнти значущості критеріїв були визначені експертами та відповідають умові (16).

Таблиця 2. Значення функції корисності для альтернатив

	Похибка виміру температури, °C	Похибка виміру вологості, %	Час відгуку, с	Максимальний струм, що споживається, мА	Вартість, грн	Загальний пріоритет
DHT-11	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,450
DHT-22	0,833	1,000	0,857	0,270	0,606	0,576
GYSHT31-D	0,944	1,000	1,000	0,000	0,000	0,294
GY-21 HTU21	0,944	0,667	0,857	1,000	0,821	0,884
Sensiron SHT31-D	1,000	1,000	0,000	0,000	0,459	0,361
BME280 5B I2C	0,833	0,667	0,857	0,892	0,193	0,615

найгірше	2,000	5	8	2	277	
найкраще	0,200	2	1	0,15	59	
Важливість	0,10	0,10	0,10	0,35	0,35	1,00

Функція корисності за критеріями діапазони виміру температури та вологості не розраховувались, адже всі альтернативи мають необхідні допустимі діапазони виміру температури та вологості.

За розрахунками кращою альтернативою є датчик GY-21 HTU21, який має максимальне значення загального пріоритету.

#### Висновки та перспективи подальшого дослідження.

В роботі розроблена модель вибору датчика температури та вологості повітря для модуля системи екологічного моніторингу в умовах нечіткої вхідної інформації, яка дозволяє вибирати ефективний датчик за багатьма функціональними та вартісними критеріями та обмеженнями. Модель вибору датчика температури та вологості повітря для модуля системи екологічного моніторингу відноситься до задач багатокритеріального дискретного програмування з булевими змінними. Для розв'язання поставленого завдання запропоновано використовувати метод багатокритеріальної оптимізації, який є ефективним при розробці систем підтримки прийняття рішень для слабоформалізованих багатокритеріальних задач. Метод багатокритеріальної оптимізації дозволяє здійснити вибір датчика температури та вологості повітря для модуля системи екологічного моніторингу шляхом розрахунку функції корисності.

В роботі наведено приклад використання розробленої моделі вибору комутатору для системи цифрового відеоспостереження.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку системи підтримки прийняття рішень, щодо вибору сучасного апаратного забезпечення для модуля системи екологічного забезпечення.

#### Список бібліографічного опису

1. Вишницька А. Повітря під час війни. Чому важливо моніторити забруднення та розповісти про це. <https://ua.boell.org/uk/2022/11/16/povitrya-pid-chas-viyny-chomu-vazhlyvo-monitoryty-zabrudnennya-ta-rozpovidaty-pro-tse>
2. Черноцова М. Роль повітря війни: доповідь у Верховній Раді про моніторинг якості атмосферного повітря та радіації. <https://cleanair.org.ua/7758/parlament>
3. Про схвалення Концепції Державної цільової екологічної програми моніторингу довкілля. Розпорядження Кабінету Міністрів України; Концепція від 07.07.2023 № 610-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/610-2023-%D1%80#n9>
4. Моніторинг якості повітря у Республіці Польща. <https://epl.org.ua/environment/monitoring-atmosfernogo-povitrya-v-polshhi/>.
5. Україна посилює співпрацю з Фінляндією для розбудови національної системи моніторингу води та біорізноманіття. <https://www.kmu.gov.ua/news/ukraina-posyliuie-spivpratsiu-z-finliandiieiu-dlia-rozbudovy-natsionalnoi-systemy-monitorynhu-vody-ta-bioriznomanittia>
6. Hulwan P. D. B. Environmental Monitoring System. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2023. Vol. 11, no. 5. P. 3590–3595. URL: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.51826>.
7. Бондар О.І., Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю. (2022) Екологічні виклики воєнного часу: оцінка впливу на довкілля космічними системами дистанційного зондування та GPS-навігації. *Екологічні науки*. 4 (43), 40-49. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.7>.
8. Mois, George, Silviu Folea, and Teodora Sanislav (2017). Analysis of three IoT-based wireless sensors for environmental monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* (66.8) 2056-2064.
9. Santhosh G., Dhanne B., Upender G., (2020). Design and Implementation of IoT-Based Wireless Sensors for Ecological Monitoring System. In: Solanki, V., Hoang, M., Lu, Z., Pattnaik, P. (eds) *Intelligent Computing in Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Singapore (Vol 1125) [https://doi.org/10.1007/978-981-15-2780-7\\_39](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2780-7_39).
10. Nefedov L, Fil, N. The model of the regional environmental monitoring system organization // 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens 13 October 2023 до 15 October 2023. 1-6.
11. Петров Э. Г., Брынза Н. А., Колесник Л. В., Пискалова О.А. Методы и модели принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности. Херсон, 2014. 192 с.
12. Безкоровайний В. В., Петришин Л. Б., Шевченко О. Ю. (2020) Виділення підмножин ефективних варіантів в технологіях прийняття проектних рішень. *Прикладні аспекти інформаційних технологій*. (V 3. №. 1) 443–455. <https://doi.org/10.15276/aait.01.2020.6>.
13. Датчики температури. <https://arduino.ua/ru/cat38-emperatyravlajnost>

## References

1. Vyshnytska A. Air during the war. Why it is important to monitor pollution and talk about it. <https://ua.boell.org/uk/2022/11/16/povitrya-pid-chas-viyny-chomu-vazhlyvo-monitoryty-zabrudnennya-ta-rozpovidaty-pro-tse>
2. Chernotsova M. The Role of the Air of War: A Report to the Verkhovna Rada on Monitoring Air Quality and Radiation. <https://cleanair.org.ua/7758/parlament>
3. On approval of the Concept of the State Target Environmental Monitoring Program. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine; Concept of 07.07.2023 № 610-p. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/610-2023-%D1%80#n9>
4. Air quality monitoring in the Republic of Poland. <https://epl.org.ua/environment/monitoryng-atmosfernogo-povitrya-v-polshhi/>
5. Ukraine strengthens cooperation with Finland to develop a national water and biodiversity monitoring system. <https://www.kmu.gov.ua/news/ukraina-posyliuie-spivpratsiu-z-finliandiieiu-dlia-rozbudovy-natsionalnoi-systemy-monitorynhu-vody-ta-bioriznomanittia>
6. Hykavchuk M.S., Petrovsky S.S., Skripnik T.K. (2019) Information technology analysis competitiveness of web portal. *Herald of Khmelnytskyi national university*, Issue 6, (279). P. 120-124. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2019-279-6-120-124>.
7. Bondar O., Finin G., Shevchenko R. (2022). Environmental challenges of wartime: environmental impact assessment by Space Remote Sensing Systems and GPSnavigation. *Ecological Sciences*. 4 (43), 40-49. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.7>
8. Mois, George, Silviu Folea, and Teodora Sanislav (2017). Analysis of three IoT-based wireless sensors for environmental monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* (66.8) 2056-2064.
9. Santhosh G., Dhanne B., Upender G., (2020). Design and Implementation of IoT-Based Wireless Sensors for Ecological Monitoring System. In: Solanki, V., Hoang, M., Lu, Z., Pattnaik, P. (eds) *Intelligent Computing in Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Singapore (Vol 1125) [https://doi.org/10.1007/978-981-15-2780-7\\_39](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2780-7_39).
10. Nefedov L., Fil, N. The model of the regional environmental monitoring system organization // 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens 13 October 2023 до 15 October 2023. 1-6.
11. Petrov E. G., Brynza N. A., Kolesnik L. V., Pisklakova O.A. *Metody i modeli priniattia reshenii v usloviiakh mnogokriterial'nosti i neopredelennosti [Methods and models of decision-making in conditions of multicriteria and uncertainty]*. Kherson, 2014. 192 p.
12. Beskorovainyi V., Petryshyn L., Shevchenko O (2022). Models for the selection of car service equipment. *Applied Aspects of Information Technology*, (V3. 1), 443–455. <https://doi.org/10.15276/aait.01.2020.6>.
13. Temperature sensors. <https://arduino.ua/ru/cat38-emperatyravljajnost>