

## АВТОНОМНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

**Е. Васінський,**

**Н. Яремчук,** канд. техн. наук,  
e-mail: juicyfrootz16@gmail.com  
НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»,

**В. Гусар,** канд. техн. наук,  
e-mail: vitality\_gusar@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6235-2552>  
ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

**Анотація.** У статті представлено розробку автономної системи для моніторингу кліматичних параметрів, таких як температура та відносна вологість повітря, а також рівень вуглекислого газу в повітрі. Розробка системи обумовлена високою вартістю та недостатньою автономністю наявних на ринку аналогів. У статті розглянуто структурну схему системи та описано принцип її роботи, а також описується розробка структури системи нечіткої логіки, яка використовується для прийняття рішення про комфортність мікроклімату на виробництві. Розглянуто вибір логіки, за якою побудована система нечіткої логіки.

Розроблена система дозволяє проводити точний моніторинг та вимірювання кліматичних параметрів. Автономність забезпечується наявністю акумулятора та сонячної панелі, а передача даних проводиться за допомогою тех-

**Вступ.** Зараз багато галузей промисловості та наукових досліджень, зокрема в галузі сільськогосподарського виробництва, потребують моніторингу таких факторів як температура, відносна вологість повітря та рівень вуглекислого газу в повітрі [1]. Від цих параметрів залежить працездатність людини та її самопочуття. Надмірний рівень вуглекислого газу в повітрі може стати причиною головних болів, запаморочень, сонливості і т. д. Особливу увагу слід приділити школам та дитячим садкам, де рівень вуглекислого газу в повітрі значно перевищує допустимі норми, приміщення не завжди провітрюються, що призводить до негативних наслідків. Також на людину негативно впливає надмірна температура, або навпаки понижена. Зазначені характеристики повітря пронормовані в державних санітарних та державних будівельних нормах, однак їх моніторинг не завжди є

нології Bluetooth.

Застосування методів опрацювання отриманих даних з використанням нечіткої логіки дозволяє класифікувати стан навколишнього середовища за рівнями комфортності.

У кінці статті наведені приклади можливих застосувань цієї системи моніторингу, зокрема розроблену систему можна використовувати на виробництвах для моніторингу допустимих кліматичних параметрів, що описані у відповідних нормативних документах. Також систему можна використовувати під час проведення польових вимірювань у процесі досліджень сучасних агротехнологій.

**Ключові слова:** кліматичні параметри, моніторинг, класи еквівалентності, комфортність середовища, система вимірювання, програмне забезпечення.

можливим.

Система моніторингу потребує джерела живлення, яке не завжди може бути наявним у польових умовах у процесі досліджень сучасних агротехнологій. До того ж, більшість таких систем під'єднуються за допомогою дротів, що не завжди є зручним для тих вимірювань, які потрібно проводити на відстані.

Для вирішення цих проблем запропонована автономна система вимірювання кліматичних параметрів, таких як температура, відносна вологість повітря та рівень вуглекислого газу в повітрі. Для забезпечення автономності роботи системи було вирішено використовувати джерелом живлення сонячну батарею з акумулятором.

Сонце є майже невичерпним джерелом енергії, яке нам доступне майже в необмеженій кількості - екологічно чиста і безкоштовна енергія. Зараз сонячна енергетика – один з найперспек-

тивніших напрямів енергозабезпечення людини. З кожним роком вартість сонячних батарей зменшується, а їх якість та продуктивність зростає.

**Постановка проблеми.** Проаналізувавши наявні рішення, було зроблено висновок, що вони мають певні недоліки, а саме: висока вартість, недостатня мобільність, відсутність передачі даних про вимірювання на відстань. Розроблена система не повинна мати цих недоліків.

**Метою досліджень** є створення автономної системи для моніторингу кліматичних параметрів, таких як температура та відносна вологість повітря, а також рівень вуглекислого газу в повітрі.

Автономність системи забезпечується наявністю акумулятора та сонячної панелі для заряджання акумулятора. Передача даних відбувається технологією бездротового зв'язку Bluetooth. Уся система побудована на недорогих, легкозамінних компонентах, що забезпечує невисоку ціну всієї системи.

#### Викладення основного матеріалу.

**Структурна схема системи.** Структурна схема системи автономного моніторингу кліматичних параметрів зображена на рисунку 1. Розроблена система складається з датчика температури повітря, датчика відносної вологості повітря, датчика якості повітря, датчика швидкості руху повітря, мікроконтролера, Bluetooth-модуля, акумулятора та сонячної панелі. Мікроконтролером слугує мікроконтролерна плата Arduino Uno R3, а як Bluetooth-модуль – модель HC-05, яка з'єднана з мікроконтролером послідовним інтерфейсом.

Для вимірювання температури повітря та відносної вологості повітря було обрано датчик DHT22, який поєднує в собі датчики відносної вологості та температури, та має в своєму складі захисний корпус, що дозволяє використовувати датчик у польових умовах.

Датчиком якості повітря обрано датчик MQ-135. Датчик калібрується за значеннями температури та відносної вологості повітря. Ці значення знімаються датчиком DHT22. Для вимірювання швидкості руху повітря використано датчик WindSensorRev. C.

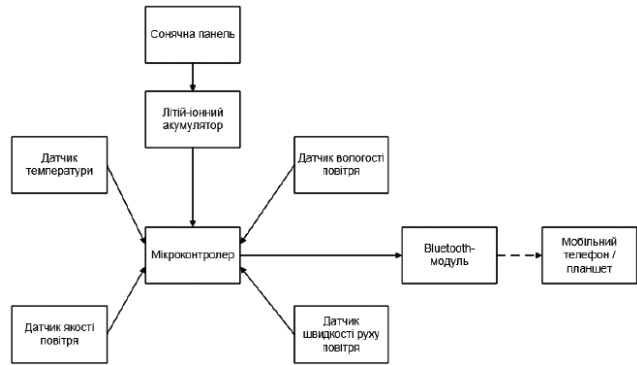


Рисунок 1 - Структурна схема автономної системи вимірювання кліматичних параметрів

Підбираючи сонячну батарею, яка буде живити всю систему, слід відштовхуватись від її головної характеристики – напруги. Напруга сонячної батареї обирається залежно від ємності акумулятора та напруги живлення основних компонентів системи. Заряд із сонячної батареї накопичується та зберігається в акумуляторі, який використовується як джерело живлення для роботи приладу. Сигнали з датчиків опрацьовуються в мікроконтролері та за допомогою Bluetooth-модуля передаються на мобільний телефон.

**Програмне забезпечення.** Система також повинна забезпечувати передачу даних на мобільний телефон або планшет за допомогою технології Bluetooth. На смартфоні відбувається збір, аналіз, збереження вимірювальних даних та приймається рішення про відповідність кліматичних параметрів державним санітарним нормам. Ці дані можуть бути використані для подальшої обробки на комп'ютері.

Дані передаються у вигляді рядка "HxxTyuNzzWtt", де xx, уу,zzта tt–значення відносної вологості повітря (%), температури повітря (°C), концентрації вуглекислого газу в повітрі (ppm) та швидкості руху повітря (м/с). Такий спосіб передачі даних дозволяє створення програмних продуктів, які можуть приймати дані від системи та використовувати їх для своїх задач.

У ході роботи було розроблено програмний додаток на базі операційної системи Android, що являє собою рекомендаційну систему. Додаток отримує дані від системи, обробляє їх за допомогою апарата нечіткої логіки та видає рішення про відповідність кліматичних параметрів державним санітарним нормам.

*Побудова системи нечіткої логіки.* Для по-

будови системи нечіткої логіки слід визначити змінні, які будуть брати участь у прийнятті рішення. Система моніторингу кліматичних параметрів дозволяє виміряти 4 кліматичні параметри: температуру повітря, відносну вологість повітря, рівень вуглекислого газу в повітрі та швидкість руху повітря. Кожну змінну поділено на лінгвістичні терми, які відповідають нормованим значенням: «нормальні умови», «допустимі умови» та «недопустимі умови». Поділ проводиться на основі нормативних документів. Температура повітря, відносна вологість повітря та швидкість руху повітря нормуються в Державних санітарних нормах мікроклімату виробничих приміщень [2]. Рівень вуглекислого газу в повітрі на виробництві не нормується, проте концентрація CO<sub>2</sub> впливає на працездатність та самопочуття людини. Для нормування рівня вуглекислого газу в повітрі було використано дослідження [3].

Кожну змінну поділено на різну кількість лінгвістичних термів, згідно з нормованими значеннями мікрокліматичних параметрів. Нормовані значення різняться залежно від: періоду року, категорії робіт та від того, чи є робоче місце постійним чи ні. Для наочності було обрано норми для теплого періоду року, категорії робіт «легка Іб» на постійних робочих місцях. Однак логіка системи залишиться незмінною і зі зміною цих факторів. Нормальні та допустимі умови наведено в таблицях 1 і 2.

**Таблиця 1** - Нормальні умови мікроклімату

Температура, °С	Відносна вологість, %	Вуглекислий газ, ppm	Швидкість повітря, м/с
22-24	40-60	<1000	<0.2

**Таблиця 2** - Допустимі умови мікроклімату

Температура, °С	Відносна вологість, %	Вуглекислий газ, ppm	Швидкість повітря, м/с
21-28	60-75	1000-2000	0.2-0.3

На основі цих таблиць можна побудувати функції приналежності (ФП) для кожної змінної. Для простоти та наочності, похибками засобів вимірювання знехтувано, тому форма ФП – прямокутна.

Діапазон вимірювання залежить від характеристик датчиків та окремо взятих елементів.

Діапазон вимірювання наведено в таблиці 3.

**Таблиця 3** - Діапазон вимірювання

Температура, °С	Відносна вологість, %	Вуглекислий газ, ppm	Швидкість повітря, м/с
0-40	0-100	0-10000	0-1

*Вибір логіки та побудова правил.* Для роботи системи нечіткої логіки слід задати правила, за якими буде прийматись висновок, щодо придатності мікроклімату санітарним нормам.

Обрана логіка дозволяє приймати висновок «Комфорт» у випадку коли три або більше мікрокліматичні параметри відповідають нормальним умовам, а четвертий лежить в межах допустимих умов. Якщо ж хоча б два параметри відповідають допустимим умовам – приймається висновок «Субкомфорт». У випадку хоча б одного мікрокліматичного параметра, який не відповідає ні допустимим, ні нормальним умовам – приймається висновок «Дискомфорт». Вага кожного правила – 1.

Виходячи із заданих варіантів побудови логіки, можна зробити висновок, що, коли у вибірці присутня хоча б одна величина, яка не відповідає ні допустимим, ні нормальним умовам, буде прийнято рішення «Дискомфорт». Саме тому подальший розгляд логіки буде проводитись для величин, які відповідають нормальним та/або допустимим умовам.

Зважаючи на те, що класифікація мікрокліматичних умов задана в Державних санітарних нормах, не можна застосувати до них вагові коефіцієнти, тобто кожен з параметрів (температура повітря, відносна вологість повітря, кількість вуглекислого газу в повітрі та швидкість руху повітря) можна розглядати як рівноцінний. На основі цього, можна зробити висновок, що порядок параметрів не важливий, важливе тільки їхнє значення. Це дозволяє розглядати кожен вибірку як набір величин, ранжованих за порядком спадання градацій вербальної шкали. «Високому» рівню («В») відповідають величини, які відповідають нормальним умовам. «Середньому» рівню («С») відповідають величини, які відповідають допустимим умовам. А «Низькому» рівню («Н») відповідають величини, які не відповідають ні нормальним, ні допустимим умовам [4]. Однак, як зазначалось вище, вибірки, в яких присутні такі величини («Низького» рівня) не розгля-

даються.

Скориставшись відношенням домінування («В» > «С» > «Н») та оператором OWA можна побудувати класифікацію станів, що відповідають вибіркам за  $n = 4, t = 2$ .

Оператор OWA може бути обрахований так [5]:

$$OWA = \max_{k=1}^n [\min \{Q(k)\}, b_k],$$

де  $Q(k) = S(f_k)$ ;

$k=1, 2, \dots, n$ , де  $n$  – розмір вибірки;

$S(f_k)$  –  $f_k$ -тий рівень вербальної шкали, що розраховуються як:

$$f_k = \text{Int} \left\{ 1 + \frac{k(t-1)}{n} \right\},$$

де  $\text{Int}\{x\}$  – найближче ціле число відносно  $x$ ;

$t$  – кількість градацій вербальної шкали;

$b_k$  –  $k$ -тий елемент вибірки, попередньо ранжованої за порядком спадання градацій вербальної шкали.

За відношенням домінування вибірки відносяться так: («СССС» < «ВССС» < «ВВСС» < «ВВВС» < «ВВВВ»).

**Таблиця 4** - Класифікація станів, що відповідають вибіркам за  $n = 4, t = 2$

Ранжовані вибірки, які відповідають різним станам	Клас еквівалентності за оператором OWA	Номери назва класу еквівалентності за відношенням домінування
СССС	С (субкомфорт)	1 (субкомфорт)
ВССС		2 (трохи краще, ніж субкомфорт)
ВВСС		3 (краще ніж субкомфорт)
ВВВС	В (комфорт)	4 (трохи нижче за комфорт)
ВВВВ		5 (комфорт)

Система повинна приймати рішення про стан мікроклімату, такі як «Комфорт», «Субкомфорт» та «Дискомфорт». Оскільки, рішення про стан мікроклімату «Дискомфорт» приймається окремо, то розглядаються тільки варіанти «Комфорт» та «Субкомфорт». За відношенням домінування, вибірки розподілились на 5 класів. Можна провести об'єднання цих класів, однак можна скористатись класами еквівалентності за оператором OWA. В такому випадку, клас еквівалентності «Середній» відповідає логічному

терму «Субкомфорт», а клас еквівалентності «Високий» - логічному терму «Комфорт».

*Сфера застосування.* Розроблена система має широку сферу застосування. Її можна використовувати на виробництвах для моніторингу допустимих кліматичних параметрів, описаних у відповідних нормативних документах. Також систему можна використовувати для проведення польових вимірювань у процесі досліджень сучасних агротехнологій, оскільки вона забезпечена акумулятором та сонячною панеллю, що дозволяє використовувати систему без додаткових дротів.

Ще однією можливою сферою застосування є житлові приміщення та навчальні заклади, зокрема дитячі садки. Як відомо, надмірна концентрація вуглекислого газу негативно впливає на розумову активність, спричиняє втомлюваність та сонливість. Водночас, підвищена або навпаки, понижена вологість повітря, можуть призвести до захворювань, таких як респіраторні інфекції, астма, риніт і т.д. Саме тому моніторинг кліматичних параметрів є важливим для нормальної життєдіяльності людини.

*Висновки.* У ході аналізу наявних на ринку аналогів було прийнято рішення розробити автономну систему моніторингу кліматичних параметрів. Система повинна мати низьку ціну, забезпечувати вимірювання таких кліматичних параметрів як відносна вологість та температура повітря, концентрація вуглекислого газу в повітрі. Також необхідно забезпечити автономність та передачу даних на відстань.

Розроблена система дозволяє проводити точний моніторинг та вимірювання кліматичних параметрів. Автономність забезпечується наявністю акумулятора та сонячної панелі, а передача даних проводиться за допомогою технології Bluetooth.

Застосування методів опрацювання отриманих даних з використанням нечіткої логіки дозволяє класифікувати стан навколишнього середовища за рівнями комфортності.

## Література

1. Біосфера і агротехнології, інженерні рішення/ В. Кравчук, А. Кушнарьов, В. Таргоня, М. Павлишин, В. Гусар// за редакцією В. Кравчука; УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого – Дослід-

ницьке, 2015. – 228 с.

2. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

3. Myatt, Theodore A. “A Study of Indoor Carbon Dioxide Levels and Sick Leave among Office Workers.” // Environmental Health v.1, 2002.

4. G. Brondino, F. Franceschini, M. Galetto, G. Vicario. Synthesis maps for multivariate ordinal variables in manufacturing // International Journal of Production Research. v.44, №20, 2006, 4241-4255.

5. F. Franceschini, M. Galetto, M. Varetto. Ordered samples control charts for ordinal variables // Quality and reliability engineering international. 2005:21; 177-195.

6. Н. Яремчук, Р. Семенюк. Опрацювання вербальних даних за побудови контрольних карт // Метрологія та прилади, №5, 2017, 58-61.

### Literature

1. Biosphere and agrarian technologies, engineering / V. Kravchuk, A. Kuchnarev, V. Targonja, M. Pavlishin, V. Gusar// after the release of V.Kravchuk; Leonid Pogorilyy UkrNDIPVT, Doslidnitske, 2015.

2. DSN 3.3.6.042-99. Sanitary norms of microclimate of shop floors.

3. Myatt, Theodore A. “A Study of Indoor Carbon Dioxide Levels and Sick Leave among Office Workers.” // Environmental Health v.1, 2002.

4. G. Brondino, F. Franceschini, M. Galetto, G. Vicario. Synthesis maps for multivariate ordinal variables in manufacturing // International Journal

of Production Research. v.44, №20, 2006, 4241-4255.

5. F. Franceschini, M. Galetto, M. Varetto. Ordered samples control charts for ordinal variables // Quality and reliability engineering international. 2005:21; 177-195.

6. N. Yaremchuk, R. Semenjuk Working of verbal data for the constructions of card/ Metrology and devices, №5, 2017.

### Literatura

1. Biosfera i agrotehnologii, inzhenerni rishennja/ v. Kravchuk, a. Kushnar'ov, v. Targonja, m. Pavlishin, v. Gusar// za redakcieju v. Kravchuka; ukrndipvt im. L. Pogorilogo – doslidnic'ke, 2015. – 228 s.

2. Dsn 3.3.6.042-99. Sanitarni normi mikroklimatu virobnychih primishhen'.

3. Myatt, theodore a. “a study of indoor carbon dioxide levels and sick leave among office workers.” // environmental health v.1, 2002.

4. G. Brondino, f. Franceschini, m. Galetto, g. Vicario. Synthesis maps for multivariate ordinal variables in manufacturing // international journal of production research. V.44, №20, 2006, 4241-4255.

5. F. Franceschini, m. Galetto, m. Varetto. Ordered samples control charts for ordinal variables // quality and reliability engineering international. 2005:21; 177-195.

6. N. Jaremchuk, r. Semenjuk. Opracjuvannja verbal'nih danih za pobudovi kontrol'nih kart // metrologija ta priladi, №5, 2017, 58-61.

UDC 551.508.824

## OFF-LINE SYSTEM MEASURING CLIMATIC PARAMETERS

**E. Vasinsky,**

**N. Yaremchuk,** Candidate of Engineering Sciences (Ph. D.),

e-mail: juicyfrootz16@gmail.com

NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

**V. Gusar,** Candidate of Engineering Sciences (Ph. D.),

e-mail: vitaly\_gusar@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6235-2552>

L. Pogorilyy UkrNDIPVT, Doslidnitske

**Summary.** In the article development of the off-line system is presented for monitoring of climatic parameters, such as a temperature and relative humidity of air, and also level of carbon dioxide in mid air. Development of the system is conditioned

by a high cost and insufficient noninteraction of present to the market analogues. In the article the flow diagram of the system is considered and principle of her work is described, and also development of structure of the system of fuzzy logic, that

is used for a decision-making about the comfort of microclimate on a production, is described.

The choice of logic after that there is the built system of fuzzy logic is considered. The worked out system allows to conduct the exact monitoring and measuring of climatic parameters. Anoninteraction is provided by a presence to the accumulator and sunny panel, and communication of data is conducted by means of technology of Bluetooth.

Application of methods of working of the obtained data with the use of fuzzy logic the state of environment allows to classify after the levels of

comfort.

At the end of the article examples of possible applications of this system of monitoring are made, in particular the system can be used on productions for monitoring of possible climatic parameters that is described in corresponding normative documents. Also the system can be used for realization of the field measuring in the process of researches of modern agrarian technologies.

**Keywords:** climatic parameters, monitoring, classes of equivalence, comfort of environment, measuring system, software.

УДК 551.508.824

## АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

**Е. Васинский,**

**Н. Яремчук,** канд. техн. наук,

e - mail: juicyfruit16@gmail.com

НТУУ "КПИ им. И. Сикорского", г. Киев

**В. Гусар,** канд. техн. наук,

e - mail: vitaly gusar@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6235-2552>

ГНУ "УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого, пгт Дослідницьке

**Аннотация.** В статье представлена разработка автономной системы для мониторинга климатических параметров, таких как температура и относительная влажность воздуха, а также уровень углекислого газа в воздухе. Разработка системы обусловлена высокой стоимостью и недостаточной автономностью имеющихся рынку аналогов. В статье рассмотрена структурная схема системы и описан принцип ее работы, а также описывается структура системы нечеткой логики, которая используется для принятия решения о комфортности микроклимата на производстве. Рассмотрен выбор логики, по которой построена система нечеткой логики. Разработанная система позволяет проводить точный мониторинг и измерение климатических параметров.

Автономность обеспечивается наличием аккумулятора и солнечной панели, а передача дан-

ных проводится с помощью технологии Bluetooth.

Применение методов обработки полученных данных с использованием нечеткой логики позволяет классифицировать состояние окружающей среды за уровнями комфортности.

В конце статьи приведены примеры возможных применений данной системы мониторинга, в частности, разработанную систему можно использовать на производствах для мониторинга допустимых климатических параметров, которые описаны в соответствующих нормативных документах. Также систему можно использовать при проведении полевых измерений в процессе исследований современных агротехнологий.

**Ключевые слова:** климатические параметры, мониторинг, классы эквивалентности, комфортность среды, система измерения, программное обеспечение.