**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ АВІАЦІЙНИХ І КОСМІЧНИХ СИСТеМ**

**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНО – ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

|  |  |
| --- | --- |
| «На правах рукопису»  УДК 551.508.824 | «До захисту допущено»  Завідувач кафедри  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.С. Єременко  «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2018 р. |

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**

**на тему: «Мобільні засоби вимірювання температури і вологості»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ВВ-61м

Васінський Едуард Павлович \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Керівник:

професор, к.т.н., доцент

Яремчук Н. А. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Рецензент:

професор, к.т.н., професор

Туз Ю. М. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Київ – 2018 року

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 119 с., 35 рис., 48 табл., 3 додатки, 41 джерело.

Мета роботи – розроблення системи моніторингу стану мікроклімату, яка здатна вимірювати температуру повітря, відносну вологість повітря та концентрацію вуглекислого газу в повітрі.

Актуальність даної роботи полягає в тому, що питання моніторингу мікроклімату є важливим для нормальної життєдіяльності людини. Несприятливі умови мікроклімату призводять до погіршення самопочуття, втомлюваності та можуть стати причиною більш серйозних захворювань. Розробка системи моніторингу стану мікроклімату дозволить інформувати користувачів про комфортність стану мікроклімату.

Об’єктом дослідження є процес вимірювання кліматичних характеристик навколишнього середовища за допомогою мобільних засобів вимірювання.

Предметом дослідження є методи визначення ступеня комфортності клімату навколишнього середовища за допомогою мобільних засобів вимірювання.

Методи дослідження – методи оцінювання невизначеності вимірювання, методи теорії нечітких виведень.

Було висунуто наступні вимоги до системи моніторингу стану мікроклімату: автономність від мережі живлення, передача даних про вимірювання за допомогою безпровідної технології, узагальнення результатів вимірювання параметрів мікроклімату навколишнього середовища та надання висновку щодо стану мікроклімату.

В процесі роботи над магістерською дисертацією було розглянуто аналогічні рішення, що наявні на ринку. Проаналізувавши аналоги, було прийнято рішення про необхідність розробки системи моніторингу стану мікроклімату. У роботі розглянуто способи узагальнення даних про стан мікроклімату та наведено процес отримання висновку з застосуванням апарату нечіткої логіки.

Для забезпечення узагальнення результатів вимірювання та надання висновку про стан мікроклімату навколишнього середовища було розроблено систему нечіткої логіки. Система приймає в якості вхідних даних значення виміряної температури повітря, відносної вологості повітря та концентрації вуглекислого газу в повітрі. Вихідним параметром системи є висновок щодо стану комфортності навколишнього середовища.

Під час роботи було розроблено макет системи моніторингу стану мікроклімату. Моніторинг стану мікроклімату проводиться безперервно. Дані про кліматичні характеристики навколишнього середовища передаються на мобільний телефон, де проводиться отримання виведень щодо стану мікроклімату. Було проведено тестування розробленого макету в різних умовах мікроклімату та прийнято висновок про його працездатність та відповідність наведеним вимогам.

Результати дисертації опубліковані в матеріалах XVII Міжнародної науково-технічної конференції «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи»: «Вимірювальна система рівня комфортності мікроклімату», 1 с. та в журналі «Техніка і технології АПК» №5 2018р: «Автономна система вимірювання кліматичних параметрів», 7 с.

КЛІМАТИЧНІ ПАРАМЕТРИ: ТЕМПЕРАТУРА, ВОЛОГІСТЬ, КОНЦЕНТРАЦІЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ, МОНІТОРИНГ КОМФОРТНОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.

SUMMARY

Master's thesis: 119 p., 35 pic., 48 tables, 3 annexes, 41 sources.

The aim of the work is the development of a microclimate condition monitoring system that is capable of measuring air temperature, relative humidity of air and concentration of carbon dioxide in the air.

The relevance of this work lies in the issue of monitoring the microclimate and its importance for the normal life of a person. Adverse microclimate conditions lead to deterioration of well-being, fatigue and can even lead to more serious diseases. The development of a microclimate monitoring system will allow users to be informed about the comfort level of the microclimate.

The object of the study is the process of measuring climatic characteristics of an environment with the help of mobile measurement devices.

The subject of the study is the methods for determining the level of comfortness of the climate environment using mobile measurement devices.

Methods of research are methods for estimating uncertainty of measurement, methods of the theory of fuzzy logic.

The following requirements for the monitoring system of the microclimate were put forward: autonomy from the power grid, transmission of measurement data using wireless technology, generalization of the results of measurement of environmental microclimate parameters and provision of a conclusion on the state of a microclimate.

In the process of working on the master's dissertation, similar solutions that are available on the market were considered. After analyzing analogues, it was decided to develop a system for monitoring the state of a microclimate. The paper considers ways of generalizing the data on the state of a microclimate and provides a process for obtaining a conclusion using the concepts of fuzzy logic.

A fuzzy logic system was developed to provide a generalization of the results of the measurement and to provide an opinion on the state of the microclimate of an environment. The system accepts as the input data the measured air temperature, relative air humidity and carbon dioxide concentration in the air. The output parameter of the system is the conclusion regarding the state of comfort of the environment.

During work, the model of the monitoring system of a microclimate was developed. The monitoring of a microclimate is carried out continuously. Data on climatic characteristics of the environment are transmitted to the mobile phone, which receives extracts about the state of the microclimate. Testing of the developed model in different conditions of the microclimate was conducted and the conclusion about its efficiency and compliance with the given requirements was accepted.

The results of the dissertation are published in the materials of the XVII International Scientific and Technical Conference "INSTRUMENT ENGINEERING: state and prospects": "Measuring system of the level of comfort of the microclimate", 1 p. and in the journal "Technology and Technique of Agrarian & Industrial Complex" № 5 2018: "The autonomous system for measuring climatic parameters", 7 p.

CLIMATE PARAMETERS: TEMPERATURE, HUMIDITY, CARBON DIOXIDE CONCENTRATION, MONITORING OF COMFORTNESS OF THE ENVIRONMENT.

**ЗМІСТ**

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.................................................................................5

ВСТУП..................................................................................................................................6

1 ОГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ.................................................................................9

* 1. Анемометр - термогігрометр ТКА-ПКМ(60)...........................................................9
  2. Стаціонарна система моніторингу температури повітря, відносної вологості повітря та концентрації вуглекислого газу в повітрі..................................................11
  3. Бездротова система моніторингу мікроклімату на основі термогігрометру ІВТМ-7 М 43...................................................................................................................13
  4. Логер рівня вуглекислого газу, відносної вологості та температури повітря Walcom HT-2000............................................................................................................15
  5. Портативний прилад для вимірювання відносної вологості повітря, температури повітря, точки роси та рівня вуглекислого газу Omniport 30...............17
  6. Порівняння аналогічних рішень.............................................................................18
  7. Висновок до розділу................................................................................................20

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ...........................................................................22

2.1 Опис структурної схеми..........................................................................................22

2.2 Вибір елементної бази.............................................................................................23

2.2.1 Датчик температури та відносної вологості повітря.....................................23

2.2.2 Датчик концентрації вуглекислого газу в повітрі MQ-135............................24

2.2.3 Мікроконтролерна плата Arduino UNO R3....................................................25

2.2.4 Bluetooth-модуль HC-05……………………………………………………...25

2.2.5 Акумулятор та сонячна панель........................................................................26

2.2.6 Модуль заряду Li-ion акумуляторів на основі TP4056……………………..27

2.2.7 Підвищувальний перетворювач DC-DC.........................................................28

2.3 Висновок до розділу.................................................................................................28

3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ..................................................................30

3.1 Опис функціональної схеми....................................................................................30

3.2 Алгоритм роботи аналогової частини системи.....................................................32

3.3 Алгоритм роботи програмної частини системи.....................................................34

3.4 Висновок до розділу.................................................................................................36

4 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ........................................................37

4.1 Методика оцінювання похибок та невизначеності вимірювання........................37

4.1.1 Складові невизначеності, що відповідають вимірювальній системі............37

4.1.1.1 Види складових невизначеності...............................................................37

4.1.1.2 Оцінювання невизначеності використовуючи значення МДП..............37

4.1.1.3 Роздільна здатність вимірювальної системи...........................................38

4.1.1.4 Оцінювання повторюваності, зміщення та лінійності з використанням стандартних зразків або зразків порівняння........................................................39

4.1.1.5 Експериментальний метод (використовуючи регресійний аналіз).......40

4.1.2 Додаткові складові невизначеності, що відповідають стандартному зразку процесу вимірювань..................................................................................................41

4.1.2.1 Загальні положення....................................................................................41

4.1.2.2 Визначення складових невизначеності на основі експерименту

(тип А).....................................................................................................................41

4.1.2.3 Визначення складових невизначеності, що не включені в експеримент (тип В).....................................................................................................................42

4.1.2.4 Роздільна здатність....................................................................................44

4.1.3 Оцінювання сумарної невизначеності.............................................................44

4.1.3.1 Загальні положення....................................................................................44

4.1.3.2 Оцінювання розширеної невизначеності.................................................46

4.2 Оцінювання похибок та невизначеності вимірювань...........................................46

4.2.1 Оцінювання похибки вимірювання температури повітря.............................46

4.2.2 Оцінювання похибки вимірювання відносної вологості повітря..................48

4.2.3 Оцінювання похибки вимірювання концентрації вуглекислого газу..........51

4.3 Висновок до розділу.................................................................................................52

5 ПОБУДОВА СИСТЕМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ.............................................................53

5.1 Виділення функцій приналежності.........................................................................53

5.2 Побудова функцій приналежності з врахуванням похибок..................................57

5.3 Виділення правил роботи системи нечіткої логіки..............................................................................................................................61

5.4 Тестування роботи системи нечіткої логіки..........................................................65

5.5 Висновок до розділу.................................................................................................66

6 ПОБУДОВА МАКЕТУ...................................................................................................69

6.1 Опис побудови макету.............................................................................................69

6.2 Програмне забезпечення системи...........................................................................70

6.2.1 Програмне забезпечення мікроконтролеру....................................................70

6.2.2 Програмне забезпечення мобільного телефону..............................................71

6.3 Тестування роботи макету.......................................................................................81

6.4 Висновок до розділу.................................................................................................84

7 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ................................................................................86

7.1 Опис ідеї проекту.....................................................................................................86

7.2 Технологічний аудит ідеї проекту..........................................................................92

7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту....................................92

7.4 Розроблення ринкової стратегії проекту................................................................96

7.5 Розроблення маркетингової програми стартап­проекту......................................99

7.6 Висновок до розділу...............................................................................................102

ВИСНОВКИ.....................................................................................................................103

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ........................................................................105

ДОДАТОК А Лістинг програмного забезпечення мікроконтролера..........................109

ДОДАТОК Б Лістинг програмного забезпечення мобільного телефону....................111

ДОДАТОК В Лістинг файлу, що описує систему нечіткої логіки..............................116

**ВСТУП**

В даний час багато галузей промисловості та наукових досліджень потребують моніторингу таких факторів як температура, відносна вологість повітря, та рівень вуглекислого газу в повітрі. Від цих параметрів залежить працездатність людини та її самопочуття. Надмірний рівень вуглекислого газу в повітрі може стати причиною головних болей, запаморочень, сонливості і т.д.[1] 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.[2] Також на людину негатовно впливає надмірна температура, або навпаки понижена.[3] Зазначені характеристики повітря пронормовані в державних санітарних та державних будівельних нормах, однак їх моніторинг не завжди є можливим.[4]

Для вирішення проблеми моніторингу кліматичних параметрів було вирішено розробити систему моніторингу, що виконує вимірювання мікрокліматичних параметрів, таких як температура повітря, відносна вологість повітря та рівень вуглекислого газу в повітрі. Окрім моніторингу, система повинна давати висновок, щодо загального рівня комфорту мікроклімату виробничого приміщення. Під комфортними умовами мікроклімату слід розуміти нормальні умови мікроклімату, що пронормовані у відповідних державних нормативних документах.[4]

Система моніторингу потребує джерела живлення, яке не завжди може бути наявним в польових умовах. До того ж, більшість таких систем під’єднуються за допомогою дротів, що не завжди є зручним для тих вимірювань, які потрібно проводити на відстані або у разі неможливості підключення до мережі живлення. Для вирішення цієї проблеми слід забезпечити систему моніторингу кліматичних параметрів автономністю від мережі живлення. Одним з варіантів забезпечення автономності системи є використання в якості елементу живлення акумулятора. Однак, такий варіант не зовсім задовільняє вимогу автономності. Тому для забезпечення повної незалежності від мережі живлення, слід в якості елементу для заряду акумулятора використовувати відновлювані джерела енергії.[5]

Для відображення даних моніторингу можна використовувати графічний рідкокристалічний дисплей. Однак, такий підхід потребує наявності оператора поблизу системи моніторингу для зчитування даних про моніторинг. Кращим підходом буде надати системі можливість передачі даних про моніторинг на відстань, що надасть змогу оператору працювати з системою у віддаленому режимі. Для передачі даних на відстань можна використати наступні технології: інфрачервоне випромінювання, бездротові персональні мережі (наприклад, Bluetooth), бездротові локальні мережі (наприклад, Wi-Fi), бездротові глобальні мережі (наприклад, LTE, GPRS, EDGE).[6]

Для прийому та опрацювання даних моніторингу можна використовувати персональний комп’ютер, планшет, мобільний телефон чи інший спеціалізований пристрій. Отже, слід розробити протокол передачі даних моніторингу та розробити рекомендації по опрацюванню цих даних. Це дозволить використовувати в якості клієнта системи моніторингу кліматичних параметрів будь-який з вищенаведених пристроїв. Основною умовою роботи клієнта є забезпечення підтримки протоколу передачі даних та обробки даних моніторингу згідно з рекомендаціями.

Розробена система моніторингу кліматичних параметрів повинна мати широку область застосування. Основним місцем використання даної системи є виробничі приміщення, де система використовуватиметься для контролю відповідності мікроклімату санітарним нормам. Також система повинна бути придатною для використання при проведенні польових вимірювань.

Ще однією можливою областю застосування є житлові приміщення та навчальні заклади, зокрема дитячі садки. Як відомо, надмірна концентрація вуглекислого газу негативно впливає на розумову активністю, спричиняє втомлюваність та сонливість. У той же час підвищена, або навпаки, понижена вологість повітря можуть призвести до захворювань, таких як распіраторні інфекції, астма, риніт і т.д.[7]

Також існує можливість використання системи моніторингу мікрокліматичних параметрів в салоні автомобіля. Адже, як було зазначено вище, неоптимальні умови мікроклімату можуть призводити до втрати концентрації, сонливості та втомлюваності. Це може бути критичним для водія, так як втрата концентрації за кермом може стати причиною небезпечних ситуацій на дорозі. Наслідком цього може бути загроза життю та здоров’я водія, пасажирів, пішоходів та інших учасників дорожнього руху. Моніторинг стану мікроклімату в салоні автомобіля є особливо важливим для водіїв, що перебувають за кермом довгий час, наприклад, для далекобійників, водіїв громадського транспорту, тощо.[8] Саме тому моніторинг кліматичних парметрів є важливим для нормальної життєдіяльності людини.

Отже, на основі вищезазначеного можна виділити основне завдання даної магістерської дисертації, а саме створення автономної системи для моніторингу кліматичних параметрів таких як температура повітря, відносна вологість повітря, рівень вуглекислого газу в повітрі. Автономність повинна забезпечуватись використанням акумулятору в якості джерела живлення та використанням відновлюваних джерел енергії для живлення акумулятору. Система повинна мати можливість передачі даних за допомогою бездротових технологій. Також система повинна робити висновок щодо відповідності мікрокліматичних параметрів санітарним нормам або іншим нормам, в залежності від вимог користувача. Окрім цього, слід розробити систему яка буде легкою в користування та не потребуватиме спеціально навченого оператору для роботи з системою. До того ж, слід забезпечити низьку вартість системи, адже незважаючи на автономність, у випадку неперервного моніторингу, такі системи повинні бути встановлені у кожному виробничому приміщенні, що потребує моніторингу мікрокліматичних параметрів.

**ВИСНОВКИ**

В ході даної магістерської дисертації було проведено роботу над створенням системи моніторингу стану мікроклімату, яка здатна проводити вимірювання температури повітря, відносної вологості повітря та концентрації вуглекислого газу в повітрі. Система повинна надавати висновок щодо рівня комфортності мікроклімату. Було наведено вимоги, яким повинна задовільняти розроблена система.

Було розглянуто аналогічні рішення, що наявні на ринку. Провівши аналіз, було прийнято рішення про те, що розглянуті аналоги задовільняють вимоги, поставлені до системи, не в повній мірі. На підставі цього було прийнято рішення про розробку системи моніторингу повітря.

Для побудови системи було розроблено структурну схему приладу, виділено структурні блоки за допомогою яких система зможе задовільняти поставлені до неї вимоги. Також було обрано елементну базу на основі якої буде побудовано макет системи моніторингу стану мікроклімату.

Підґрунтям до побудови системи стала розроблена функціональна схема, яка детально показує взає’мозвязки між окремими компонентами системи. Для демонстрації принципу роботи апаратної та програмної частин системи було розроблено та описано відповідні алгоритми.

Метрологічне забезпечення системи базується на стандарті ISO 22514-7:2012[29]. В дисертації навдено процесс оцінювання похибок вимірювання температури повітря, відносної вологості повітря та концентрації вуглекислого газу в повітрі. Також було оцінено стандартну та розширену невизначеність вимірювання параметрів мікроклімату. Отримані невизначеності було використано при побудові системи нечіткої логіки.

Для забезпечення системи здатністю узагальнювати результати вимірювання та надавати висновок щодо стану мікроклімату, було розроблену систему нечіткої логіки. Вхідними величинами цієї системи є значення виміряних температури повітря, відносної вологості повітря та концентрації вуглекислого газу в повітрі. Вихідним значенням є висновок щодо комфортності мікроклімату. Було обрано стратегію для побудови правил нечіткої логіки, а саме вибір правил, базуючись на значеннях оператору OWA. Тестування системи нечіткої логіки підтвердило її точність та здатність надавати правильний висновок щодо стану мікроклімату.

Готовим продуктом можна вважати макет системи моніторингу стану мікроклімату. Макет розроблено на основі елементної бази, яка була наведена в магістерській дисертації. При побудові макету було використано структурну та функціональну схему системи моніторингу. Робота макету забезпечується розробленим програмним забезпеченням, а саме програмним забезпеченням аналогової частини та програмним забезпеченням мобільного телефону. Програмне забезпечення базується на наведених в дисертації відповідних алгоритмах.

Тестування готового макету показало його працездатність. Макет забезпечує достатню точність, необхідну для правильного визначення стану мікроклімату навколишнього середовища. Тестування макету проводились в закритому приміщенні та на відкритому повітрі. В обох випадках макет показав очікувані результати.

Розроблений макет відповідає всім наведеним вимогам. Автономність від мережі живлення забезпечується наявністю акумулятору та сонячної панелі, що дозволяє використовувати систему моніторингу навіть в польових умовах. Бездротова передача даних про вимірювання здійснюється завдяки технології Bluetooth. Доступність системи зумовлена використанням недорогих, легкозамінних елементів. А апарат нечіткої логіки, який було розроблено в ході роботи над магістерською дисертацією дозволяє системі надавати висновок щодо стану мікроклімату в режимі реального часу.

Фінальним етапом магістерської дисертації стала розробка стартап-проекту. Під час роботи над стартап-проектом було оцінено можливі ризики та фактори що впливають на систему під час її виходу на ринок. Було проаналізовано конкурентів та обрано необхідні стратегії щодо отримання прибутку в умовах конкуренції. Також було визначено групи потенційних клієнтів та проаналізовано їх поведінку.

В ході роботи над дисертацією було виконано всі поставлені завдання. Результатом виконання даної роботи є макет системи моніторингу стану мікроклімату.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Rice. S. A. Human health risk assessment of co2: survivors of acute high-level exposure and populations sensitive to prolonged low-level exposure // Third annual conference on carbon sequestration. 2004.
2. Luther, Mark & Horan, Peter & Atkinson, S.E.. (2014). Examining CO2 levels in school classrooms. Indoor Air 2014 - 13th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. 704-711.
3. Schneider, Alexandra, and Susanne Breitner. “Temperature Effects on Health - Current Findings and Future Implications.” EBioMedicine 6 (2016): 29–30. PMC. Web. 15 May 2018.
4. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99. – [Чинний від 01.12.1999]. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2006 (Державні санітарні норми).
5. Матвійчук Л. Ю. Економічна доцільність використання альтернативних джерел енергії. / Л. Ю. Матвійчук, Б. П. Герасимчук. – Луцьк : Луцький національний технічний університет, 2013.
6. Gast, Matthew, Wireless Networks : The Definitive Guide, 2nd edition, O’Reilly Media, Inc., 2005.
7. Arundel, A. V., Sterling, E. M., Biggin, J. H., & Sterling, T. D. (1986). Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. Environmental Health Perspectives, 65, 351–361.
8. Grundstein, Andrew & Duzinski, Sarah & Null, Jan. (2015). Impact of dangerous microclimate conditions within an enclosed vehicle on pediatric thermoregulation. Theoretical and Applied Climatology. 10.1007.
9. Анемометр + Термогигрометр "ТКА-ПКМ"(60) с поверкой [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tkaspb.ru/main/index.php?productID=47> (дата звернення 29.03.2018).
10. Стационарная система мониторинга температуры, влажности и концентрации углекислого газа [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eksis.ru/catalog/sistemy-monitoringa-mikroclimata/product1309.php> (дата звернення 06.04.2018).
11. Беспроводная система мониторинга микроклимата на основе термогигрометра ИВТМ-7 М 4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eksis.ru/catalog/sistemy-monitoringa-mikroclimata/product1307.php> (дата звернення 06.04.2018).
12. Логер CO2, влажности и температуры Walcom HT-2000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://mysku.ru/blog/china-stores/40286.html (дата звернення 11.04.2018).
13. Omniport 30. Multifunctional handheld meter [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epluse.com/en/products/co2-measurement/handheld-meters-for-co2-measurement/omniport-30/> (дата звернення 25.03.2018).
14. Badamasi, Y.A., The working principle of an Arduino, in Electronics, Computer and Computation (ICECCO), 2014 11th International Conference on , vol., no., pp.1-4, Sept. 29 2014-Oct. 1 2014.
15. Cotta, A., Wireless communication using HC-05 bluetooth module interfaced with Arduino // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR) Volume 5, Issue 4, April 2016.
16. Bogdan, M. (2016). How to Use the DHT22 Sensor for Measuring Temperature and Humidity with the Arduino Board, ACTA Universitatis Cibiniensis, 68(1), 22-25.
17. Ashish M.H., Rini T.H., Air Quality Monitoring: The Use of Arduino and Android // Journal of Modern Science and Technology vol. 4. No. 1. September 2016 Issue. Pp. 86 – 96 .
18. Gironi D., Cheap CO2 meter using the MQ135 sensor with AVR Atmega [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://davidegironi.blogspot.com/2014/01/cheap-co2-meter-using-mq135-sensor-with.html> (дата звернення 04.03.2018).
19. Green MA, Silicon Solar Cells, Advanced Principles and Practice. University of New South Wales Sydney, N.S.W. 2052, 1995, ISBN 0-7334-0994-6.
20. DHT22 temperature-humidity sensor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.adafruit.com/product/385> (дата звернення 16.04.2018).
21. MQ-135 Gas Sensor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.waveshare.com/mq-135-gas-sensor.html> (дата звернення 21.04.2018).
22. Аrduino uno rev3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> (дата звернення 24.04.2018).
23. HC-05 Bluetooth Module. User’s Manual V1.0 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.772-148.1> (дата звернення 12.04.2018).
24. Samsung ICR18650-26F Cell Specifications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://secondlifestorage.com/t-Samsung-ICR18650-26F-Cell-Specifications> (дата звернення 15.04.2018).
25. TP4056 1A Standalone Linear Li-lon Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056> (дата звернення 22.02.2018).
26. Arduino library for DHT11DHT22, etc Temp & Humidity Sensors [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library> (дата звернення 25.02.2018).
27. Arduino library for the MQ135 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/GeorgK/MQ135> (дата звернення 29.04.2018).
28. Lou Burnard, The Evolution of the Text Encoding Initiative: From Research Project to Research Infrastructure, Journal of the Text Encoding Initiative, Issue 5 | June 2013.
29. International Organization for Standardization. (2012). Statistical methods in process management -- Capability and performance P. 7: Capability of measurement processes (ISO Standard No. 22514-7). Retrieved from <https://www.iso.org/standard/54077.html>
30. Myatt, Theodore A. “A Study of Indoor Carbon Dioxide Levels and Sick Leave among Office Workers.” // Environmental Health v.1, 2002.
31. S. Sakunthala, R. Kiranmayi and P. N. Mandadi, "A review on artificial intelligence techniques in electrical drives: Neural networks, fuzzy logic, and genetic algorithm," 2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon), Bengaluru, India, 2017, pp. 11-16.
32. 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.
33. F. Franceschini, M. Galetto, M. Varetto. Ordered samples control charts for ordinal variables // Quality and reliability engineering international. 2005:21; 177-195.
34. Н. Яремчук, Р. Семенюк. Опрацювання вербальних даних за побудови контрольних карт // Метрологія та прилади, №5, 2017, 58-61.
35. Fuzzy Logic Toolbox [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html> (дата звернення 25.02.2018).
36. Arduino Library for the HC-05 bluetooth transceiver – Режим доступу: <https://github.com/jdunmire/HC05> (дата звернення 04.02.2018).
37. Processing for Android – Режим доступу: <http://android.processing.org/> (дата звернення 11.02.2018).
38. Ke:tai Library – Режим доступу: <http://ketai.org/> (дата звернення 12.02.2018).
39. Cingolani, P., & Alcalá-Fdez, J. (2013). jFuzzyLogic: a Java Library to Design Fuzzy Logic Controllers According to the Standard for Fuzzy Control Programming. Int. J. Comput. Intell. Syst., 6, 61-75.
40. P. Cingolani and J. Alcalá-Fdez, "jFuzzyLogic: a robust and flexible Fuzzy-Logic inference system language implementation," 2012 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Brisbane, QLD, 2012, pp. 1-8.
41. International Electrotechnical Commission technical committee industrial process measurement and control. IEC 61131 – Programmable Controllers - Part 7: Fuzzy control programming. IEC, 2000.