

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені
ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра інформаційно-вимірювальної техніки

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 519.766

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

В.С.Єременко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 20 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 152. Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(код і назва спеціальності)

на тему: Система вимірювання рівня комфортності мікроклімату в робочих приміщеннях

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ВВ-81мп
(шифр групи)

Моголівець Юлія Ігорівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник проф., к.т.н. Яремчук Н.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант Стартуп-проект доц., д.е.н. Бояринова К.О.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент проф., д.т.н. Шевченко К.Л.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент (підпис)

Київ – 2019 року

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 90 с., 9 рис., 33 табл., 3 додатки, 17 джерел.

Мета роботи – розробка системи для визначення рівня комфортності мікроклімату в робочих приміщеннях, яка здатна вимірювати температуру повітря, відносну вологість повітря, швидкість руху повітря та концентрацію вуглекислого газу в повітрі.

Актуальність даної роботи полягає в тому, що мікроклімат у виробничих приміщеннях суттєво впливає на стан працівників та їх нормальну життєдіяльність і працездатність. Несприятливі умови мікроклімату можуть призводити до погіршення самопочуття, втомлюваності, а також можуть стати причиною інших серйозних захворювань. Розробка даної системи дає можливість отримувати висновок про рівень комфортності мікроклімату в приміщенні, що дозволить інформувати працівників про стан мікроклімату.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання показників комфортності мікроклімату та оцінювання загального рівня комфортності.

Предметом дослідження є методи визначення ступеня комфортності клімату в робочих приміщеннях.

Методи дослідження – методи оцінювання невизначеності вимірювання, теорія побудови лінгвістичних шкал, методи теорії нечітких виведень.

До системи вимірювання рівня комфортності мікроклімату робочих приміщеннях висунуто такі вимоги: чотири канали вимірювання; вимірювані величини для визначення рівня комфортності – температура, вологість, швидкість руху повітря, рівень вуглекислого газу; вибір границь на основі санітарних норм робочих приміщень: період року, категорія робіт, постійні і непостійні робочі місця; лінгвістичні рівні інтегрального показника комфортності – комфортний, субкомфортний, дискомфортний; узагальнення результатів вимірювання параметрів мікроклімату в приміщенні та надання висновку щодо стану мікроклімату.

Дана робота проводилась в рамках НДР «Теоретичні засади застосування м'яких вимірювань в ієрархічних системах» U12345 67 від 19.06.2018, що виконується на кафедрі інформаційно-вимірювальної техніки.

Під час роботи над магістерською дисертацією було розроблено алгоритм підсистеми нечіткої логіки для надання висновку про стан мікроклімату в робочому приміщенні. В якості вхідних даних підсистема приймає значення вимірної температури повітря, відносної вологості повітря, швидкості руху повітря та концентрації вуглекислого газу в повітрі. Вихідним параметром системи є висновок щодо стану комфортності робочого приміщення.

Результати дисертації опубліковані в матеріалах V Міжнародної науково-практичної конференції «Обчислювальний інтелект»: «Способи отримання результату вимірювання параметрів мікроклімату промислових приміщень за шкалою з нечіткою лінгвістичною змінною», 257 – 258 с. та в матеріалах XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування»: «Способи врахування невизначеності вимірювання при застосування шкали з нечіткою лінгвістичною змінною», 454 – 456 с.

РІВЕНЬ КОМФОРТНОСТІ, ТЕМПЕРАТУРА, ВОЛОГІСТЬ, ШВИДКІСТЬ РУХУ ПОВІТРЯ, КОНЦЕНТРАЦІЯ, НЕЧІТКА ЛІНГВІСТИЧНА ЗМІННА.

ABSTRACT

Master's Thesis: 90 pages, 9 fig., 33 tables, 3 applications, 17 sources.

The purpose of the work is to develop a system for determining the comfort level of the microclimate in the workplace, which is capable of measuring the air temperature, relative humidity, air velocity and concentration of carbon dioxide in the air.

The relevance of this work is that the microclimate in the production facilities significantly affects the condition of workers and their normal life and performance. Adverse microclimate conditions can lead to a deterioration of well-being, fatigue, and can also cause other serious diseases. The development of this system makes it possible to obtain a conclusion about the comfort level of the microclimate indoors, which will allow informing employees about the state of the microclimate.

The object of the study is the process of measuring the microclimate comfort indices and assessing the overall comfort level.

The subject of the study is methods of determining the degree of comfort in the workplace.

Research methods are methods of estimation of uncertainty of measurement, theory of construction of linguistic scales, methods of fuzzy inference theory.

The following requirements have been made to the system of measuring the level of comfort of the microclimate of the working premises: four measuring channels; measured values for determining comfort level - temperature, humidity, air velocity, carbon dioxide level; choice of boundaries on the basis of sanitary norms of work premises: period of the year, category of work, permanent and non-permanent jobs linguistic levels of the integral index of comfort - comfortable, subcomfort, uncomfortable; generalization of results of measurement of parameters of a microclimate indoors and giving a conclusion on a condition of a microclimate.

This work was carried out within the framework of R&D "Theoretical principles of the application of soft measurements in hierarchical systems" U12345 67 of 19.06.2018, which is performed at the Department of Information and Measurement Engineering.

While working on a master's thesis, an algorithm of the fuzzy logic subsystem was developed to provide a conclusion on the state of the microclimate in the workplace. As

input, the subsystem assumes the values of the measured air temperature, relative humidity, air velocity, and carbon dioxide concentration in the air. The initial parameter of the system is the conclusion about the comfort of the workplace.

The results of the dissertation are published in the materials of the 5th International scientific-practical conference "Computational intelligence": "Methods of obtaining the result of measuring the parameters of the microclimate of industrial premises on a scale with fuzzy linguistic variable", 257 - 258 p. and in the materials of the XII All-Ukrainian Scientific-Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists "A Look at the Future of Instrumentation": "Methods of taking into account measurement uncertainty when using a scale with fuzzy linguistic variable", 454 - 456 p.

COMFORT LEVEL, TEMPERATURE, MOISTURE, AIR MOTION SPEED, CONCENTRATION, FUZZY LINGUISTIC VARIABLE.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	9
Вступ.....	10
Розділ 1. Структурна схема системи. Аналіз складових похибки.....	16
1.1. Структурна схема системи.....	16
1.2. Аналіз складових похибки.....	21
Висновок до Розділу 1.....	27
Розділ 2. Шкали класифікації окремих показників комфортності.....	28
Висновки до Розділу 2.....	34
Розділ 3. Вибір алгоритму роботи нечіткого класифікатора.....	35
Висновок до Розділу 3.....	39
Розділ 4. Способи визначення загального рівня комфортності.....	40
4.1. Алгоритм отримання результату по кожній змінній.....	42
4.2. Алгоритм отримання загального висновку про стан робочого приміщення.....	43
Висновок до Розділу 4.....	45
Розділ 5. Розробка стартап-проекту.....	46
5.1 Опис ідеї проекту.....	46
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	48
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	50
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	60
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	65
Висновок до Розділу 5.....	70
Висновки.....	72
Список використаних джерел.....	74
Додаток А Публікації.....	76
Додаток Б Норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення.....	84
Додаток В Технічні характеристики елементної бази системи.....	85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БП – База правил

БЗ – База знань

ЛЗ – Лінгвістична змінна

НК – Нечіткий класифікатор

ПК – Персональний комп'ютер

ВСТУП

Магістерська робота присвячена розробці питань системи вимірювання рівня комфортності мікроклімату в робочих приміщеннях. Система повинна бути інтелектуальною і давати загальний висновок щодо комфортності клімату в приміщенні в залежності від вимог користувача.

Суттєвий вплив на стан організму працівника та його працездатність чинить мікроклімат у виробничих приміщеннях, під яким розуміють умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури поверхонь, що оточують людину, інтенсивності теплового опромінення та рівнем шкідливих речовин у повітрі [1].

Нормування параметрів мікроклімату полягає у встановленні їх оптимальних або допустимих величин стосовно конкретних виробничих умов. Воно проводиться з урахуванням таких характеристик: ступеня важкості виконуваної роботи; пори року; кількості надлишкового тепла, що надходить у робочу зону від устаткування (ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень).

Оптимальні умови мікроклімату – таке сполучення параметрів метеорологічних умов на робочому місці, що при тривалому й систематичному впливі на людину забезпечує збереження нормального функціонування організму без перенапруження роботи механізму терморегуляції працюючого.

Допустимі мікрокліматичні умови – сполучення параметрів мікроклімату, що при тривалому й систематичному впливі на людину може викликати минаючі чи такі, що швидко нормалізуються, зміни функціонального і теплового стану організму. При цьому не відбувається порушення здоров'я працюючого, однак можливе додаткове короточасне напруження в роботі механізму терморегуляції.

Пора року в охороні праці умовно розділяється на холодний і теплий періоди. Вони розмежовуються середньодобовою температурою $t_{с.д.} = 10^{\circ}\text{C}$.

За ступенем важкості фізичні роботи поділяють на три категорії:

- Категорія I. Легкі фізичні роботи;

- Категорія II. Фізичні роботи середньої важкості;
- Категорія III. Важкі фізичні роботи[2].

I категорія – легка, роботи, що виконуються сидячи (I а), стоячи, або пов'язані із ходьбою, але не потребують систематичного напруження або піднімання та перенесення вантажів (I б); енерговитрати за таких робіт відповідно складають 105...140 Дж/с (I а) та 138...174 Дж/с (I б). Це роботи користувачів комп'ютерів, основні процеси точного приладобудування.

II категорія – роботи середньої важкості, що виконуються сидячи, стоячи, або пов'язані із ходьбою, але не потребують перенесення вантажів (II а) та роботи, пов'язані із ходьбою і перенесенням вантажів вагою до 10 кг (II б); енерговитрати відповідно складають 175...232 Дж/с (II а) та 232...290 Дж/с (II б). Це роботи у механоскладальних, механічних цехах.

III категорія – важкі роботи, пов'язані з перенесенням вантажів, вагою понад 10 кг і систематичним напруженням; енерговитрати – більше 290 Дж/с. Це роботи у ковальських цехах з ручною ковкою, немеханізовані роботи у ливарних цехах тощо. Оптимальні умови мікроклімату, як правило, досягаються за умов використання промислових кондиціонерів. Оптимальні параметри мікроклімату повинні підтримуватись в приміщеннях, пов'язаних з виконанням нервово-емоційних робіт, що потребують підвищеної уваги (диспетчерські, приміщення, де працюють із комп'ютерами, кабінети діагностики, пульти управління технологічними процесами, хімічні лабораторії, бухгалтерії, конструкторські бюро і т.д.).

Для таких робіт оптимальна температура повітря – $+22 - +24^{\circ}\text{C}$; його відносна вологість – 40 – 60%; швидкість руху – не більше 0,1 м/сек [3].

У виробничих приміщеннях створюються робочі місця для працюючих.

Робоче місце – це місце постійного або тимчасового перебування працюючого в процесі трудової діяльності. Навколо робочих місць існує робоча зона.

Робоча зона – це визначений простір, в якому розташовано робочі місця постійного або непостійного (тимчасового) перебування працівників. Простір робочої зони обмежується висотою до 2м над рівнем підлоги чи площадки, де розміщене робоче місце [4].

На підприємствах на самопочуття, стан здоров'я людини впливає мікроклімат виробничих приміщень, який визначається дією на організм людини температури, вологості, рухомості повітря і теплового випромінювання. Виробничий мікроклімат, як правило, відрізняється значною мінливістю, нерівномірністю по горизонталі та вертикалі, різноманітністю сполучень температури, вологості, рухомості повітря, інтенсивності випромінювання залежно від особливостей технології виробництва, кліматичних особливостей місцевості, конструкцій споруд, організації повітрообміну із зовнішнім середовищем. Результати досліджень свідчать про те, що у виробничих умовах усі метеорологічні фактори впливають на людину одночасно. Тому важливо виявити їх сумарний вплив на працівника. Згідно з результатами досліджень людина є працездатною і нормально себе почуває, якщо температура навколишнього повітря не виходить за межі 18—20°C, відносна вологість — 40—60 %, швидкість руху повітря — 0,1—0,2 м/с [5].

Для створення нормальних умов виробничої діяльності необхідно забезпечити не лише комфортні метеорологічні умови, а й необхідну чистоту повітря. Внаслідок виробничої діяльності у повітряне середовище приміщень можуть надходити різноманітні шкідливі речовини, що використовуються в технологічних процесах. Шкідлива речовина - це речовина, що контактуючи з організмом людини, може спричинювати захворювання чи відхилення у стані здоров'я як під час впливу речовини, так і в подальший період життя теперішнього і наступних поколінь.

Шкідливі речовини можуть потрапити в організм людини через органи дихання, органи травлення, а також шкіру та слизові оболонки. Через дихальні шляхи проникають пари, газо - та пилоподібні речовини, а через шкіру - переважно рідини. Через шлунково-кишкові шляхи потрапляють речовини під час ковтання або при внесенні їх у рот забрудненими руками.

Найчастіше промислові шкідливі речовини потрапляють в організм людини через дихальні шляхи. Завдяки величезній всмоктувальній поверхні легень утворюються сприятливі умови для надходження шкідливих речовин у кров, яка розносить їх по всьому організму. Слід зазначити, що ураження шкіри (порізи, рани) прискорюють проникнення шкідливих речовин в організм людини.

Шкідливі речовини, що потрапили тим чи іншим шляхом у організм, можуть зумовлювати отруєння (гострі чи хронічні). Ступінь отруєння залежить від токсичності речовин, їх кількості, часу дії, шляху, яким вони потрапили в організм, метеорологічних умов, індивідуальних особливостей організму та ін[6].

Для того щоб визначити, чи відповідає повітряне середовище даного приміщення встановленим нормам, необхідно кількісно оцінити кожний з його параметрів.

Одним із варіантів рішення є автономна мультисенсорна система, що працює від генератора сонячного термоелектричного збирання енергії, що використовується для вимірювання екологічних даних, необхідних для розробки точних комплексних програм боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур. Виміряні дані зберігаються у флеш-пам'яті SD-карти та можуть бути легко проаналізовані на ПК. Система вимірює температуру, вологість повітря та сонячне освітлення. [7]

Сучасний рівень розвитку технологій та техніки дозволяє створювати автоматичні системи контролю мікроклімату приміщень. Широкого вжитку здобули системи типу «розумний дім». Подібні системи повністю регулюють більшість процесів у будівлях, де вони встановлені. Користувач «розумного дому» має змогу дистанційно отримувати інформацію та керувати роботою пристроїв опалення, кондиціонування, водопостачання та електронікою в своєму домі. Зв'язок з людиною відбувається за рахунок використання мережі Інтернет або каналів мобільного зв'язку.

Основним недоліком «розумного дому» є його висока вартість, що в основному перевищує 5000 доларів США. Через це все частіше з'являються системи спеціалізованого контролю процесів у приміщенні. Легкість встановлення та простота є ще однією вагомою перевагою спеціалізованих систем перед «розумним домом» [8].

За теперішнього часу існує цілий ряд вимірювальних каналів параметрів мікроклімату, що включаються до складу системи типу «розумний дім», які дозволяють регулювати і підтримувати заданими ті чи інші значення параметрів. Але залишається ще невирішеною задача визначення ступеня відповідності певних

параметрів мікроклімату значенням, наведеним в санітарних нормах на житлові та промислові приміщення і класифікації приміщень за рівнем відповідності [9].

Для вирішення цієї проблеми було прийнято рішення розробити систему моніторингу, яка вимірює такі параметри як температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, рівень вуглекислого газу та аміаку. Дана система повинна видавати висновок про рівень комфортності мікроклімату в приміщенні.

До складу системи входять вимірювальні канали параметрів мікроклімату (температури, вологості, швидкості руху повітря, рівня вуглекислого газу та аміаку), блок відтворення шкали класифікації з нечіткою лінгвістичною змінною (ЛЗ), нечіткий класифікатор(НК), що визначає ступінь відповідності кожного з параметрів окремим термам шкали і система правил, що дозволяє об'єднати класифіковані дані для отримання інтегральної характеристики відповідності приміщення за окремими параметрами [10]. Сигнали з вимірювальних каналів потрапляють на комутатор, яким керує мікроконтроллер з вбудованим АЦП. Вони по черзі перетворюються в АЦП та через USB-порт передаються на ПК, в якому відбувається порівняння вимірних даних з базами знань. Після обробки, отримуємо результат про комфортність умов мікроклімату в приміщенні.

Запропонована система має широку сферу застосування. Її можна використовувати на виробництвах для моніторингу кліматичних параметрів, які зазначені у відповідних нормативних документах.

Однією з можливих сфер застосування є житлові приміщення та навчальні заклади. Загальновідомо, що надмірна концентрація вуглекислого газу негативно впливає на розумову активність, спричиняє втомлюваність та сонливість. Водночас, підвищена або навпаки, понижена вологість повітря, може призвести до захворювань, таких як респіраторні інфекції, астма і т.д.

Важливим завданням при створенні системи є знаходження інтегрального показника мікроклімату – рівня комфортності, що визначається за градаціями лінгвістичної змінної: субкомфорт, комфорт, дискомфорт.

Отже, на основі сукупності вищезазначеного можна виділити основне завдання даної магістерської дисертації – створення системи моніторингу

кліматичних параметрів таких як температура повітря, відносна вологість повітря, рівень вуглекислого газу та аміаку в повітрі. Система має робити висновок щодо відповідності мікрокліматичних параметрів санітарним нормам. Окрім цього, необхідно забезпечити легкість в користуванні та низьку вартість системи.

РОЗДІЛ 1

СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ, АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ ПОХИБКИ

1.1. Структурна схема системи

Для створення нормальних метеорологічних умов робочого середовища необхідно застосовувати системи контролю мікроклімату в приміщенні. Система, представлена в магістерській дисертації, відповідає таким технічним характеристикам:

- Кількість каналів – 4;
- Вимірювані величини для визначення рівня комфортності – температура, вологість, швидкість руху повітря, рівень вуглекислого газу;
- Вибір границь виконується на основі санітарних норм робочих приміщень: період року, категорія робіт, постійні і непостійні робочі місця.
- Лінгвістичні рівні інтегрального показника комфортності – комфортний, субкомфортний, дискомфортний.

Робочі умови експлуатації системи наведені в Таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Робочі умови експлуатації

Впливаюча величина	Номінальні значення
Температура зовнішнього повітря, °C	0...40
Відносна вологість повітря, %	35...75
Атмосферний тиск, kPa	84...106

Передача даних на ПК здійснюється за допомогою USB-порту.

Структурна схема системи вимірювання рівня комфортності мікроклімату в робочих приміщеннях наведена на Рис.1.1.

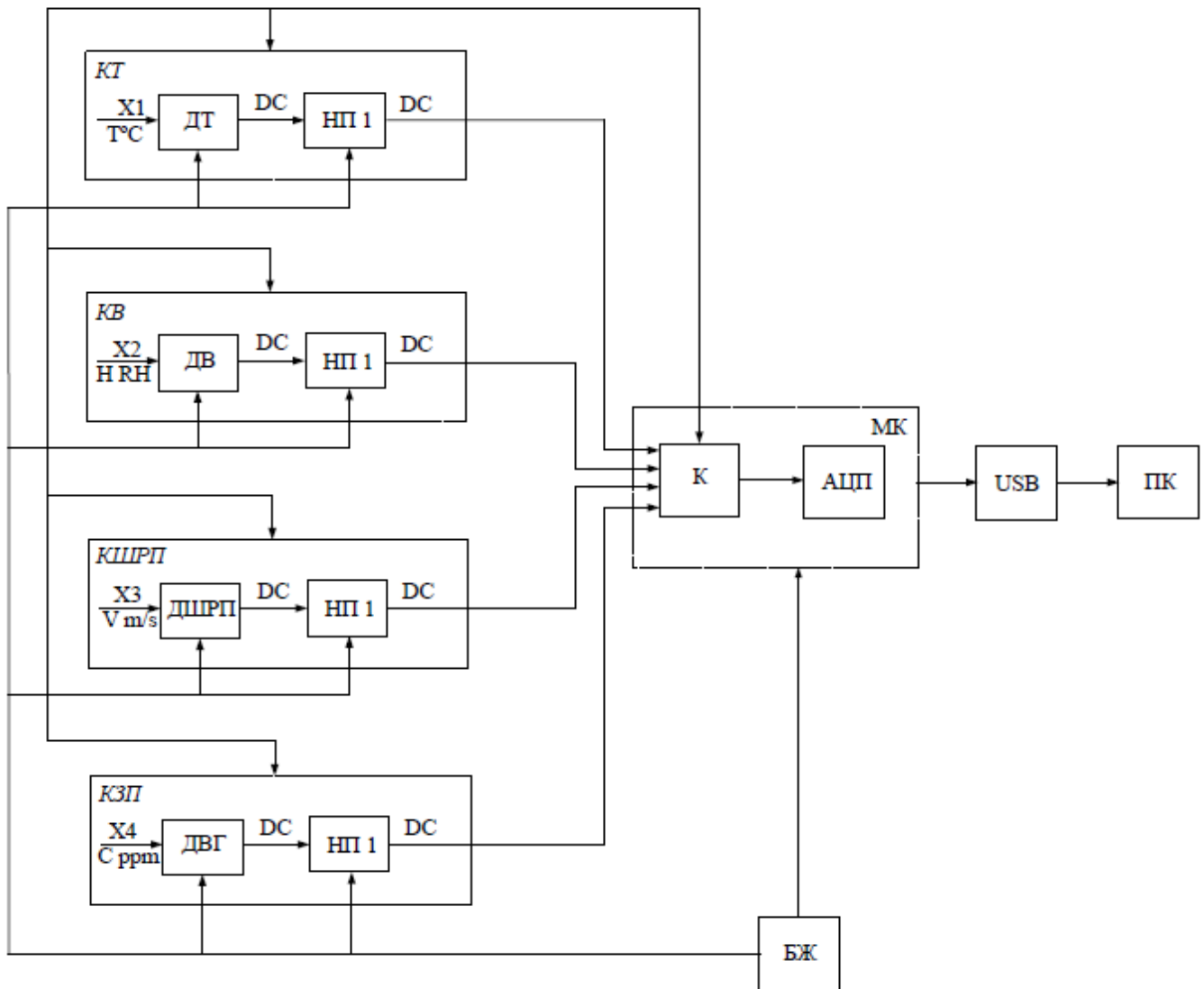


Рис.1.1 Структурна схема системи

На схемі позначено :

- КТ – Канал температури;
- ДТ – Датчик температури повітря;
- НП – Нормуючий пристрій;
- KB – Канал вологості;
- ДВ – Датчик вологості повітря;
- КШРП – Канал швидкості руху повітря;
- ДШРП – Датчик швидкості руху повітря;
- КЗП – Канал забрудненості повітря;
- ДВГ – Датчик вуглекислого газу;
- К – Комутатор;

- АЦП – Аналогово-цифровий пристрій;
- МК- Мікроконтроллер;
- ПК – Персональний комп'ютер;
- БЖ – Блок живлення;
- DC – Постійний струм.

Канал температури складається з датчика температури TMP36 фірми Analog Devices та нормуючого пристрою, представленого у вигляді дільника 4214BP Texas Instruments. Технічні характеристики датчика температури наведено в Таблиці 1.2, нормуючого пристрою в Таблиці 1.3.

Таблиця 1.2

Технічні характеристики датчика температури TMP 36

Діапазон вимірювань температури	-40°C...+125°C
Похибка вимірювання в діапазоні	±2°C
Тип виходу	Аналоговий
Напруга на аналоговому виході	640 mV
Робоча напруга живлення	+2,7 V...+5,5 V
Робоча температура	-40°C...+150°C

Таблиця 1.3

Технічні характеристики нормуючого пристрою 4214BP

Похибка	±0,5%
Тип виходу	Аналоговий
Робоча напруга живлення	±8,5 VDC...±12 V DC
Робоча температура	-55°C...+125°C

Канал вологості повітря складається з датчика вологості H1H-4000-003 продукції Honeywell та нормуючого пристрою, представленого у вигляді дільника типу

4214BP від Texas Instruments. Технічні характеристики датчика вологості наведено в Таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Технічні характеристики датчика вологості НІН-4000-003

Діапазон вимірювань вологості	0RH...100RH
Похибка вимірювання в діапазоні	$\pm 3,5\text{RH}$
Тип виходу	Аналоговий
Напруга на аналоговому виході	3,198 V
Робоча напруга живлення	+4 VDC
Робоча температура	-40°C...+85°C

де RH – одиниці вологості.

Канал швидкості руху повітря складається з датчика швидкості руху повітря FS7002-B Shenzhen Weik Technology та нормуючого пристрою, представленого у вигляді дільника 4214BP Texas Instruments. Технічні характеристики датчика швидкості руху повітря наведено в Таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Технічні характеристики датчика швидкості руху повітря

Діапазон вимірювань швидкості руху повітря	$0\frac{m}{s}...5\frac{m}{s}$
Відносна похибка в діапазоні	$\pm 3\text{FS}$
Тип виходу	Аналоговий
Напруга на аналоговому виході	3V
Робоча напруга живлення	5 \pm 5VDC
Робоча температура	-10°C...+70°C

Канал забрудненості повітря складається з датчика вуглекислого газу MH-Z19 компанії Zhengzhou Winsen Electronics Technology CO., LTD та нормуючого пристрою представленого у вигляді дільника 4214BP Texas Instruments. Технічні характеристики датчика вуглекислого газу наведено в Таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Технічні характеристики датчика вуглекислого газу MH-Z19

Діапазон вимірювань вуглекислого газу	0...5000 ppm
Точність вимірювання в діапазоні	$\pm 50 \text{ ppm} + 5\% \text{ reading value}$
Тип виходу	Аналоговий
Напруга на аналоговому виході	3,3 V
Робоча напруга живлення	3,6...5,5 VDC
Робоча температура	0°C...+50°C

Аналогові сигнали з цих каналів потрапляють на комутатор, яким керує мікроконтролер ATmega 8 з вбудованим АЦП. Технічні характеристики ATmega 8 наведено в Таблиці 1.7

Таблиця 1.7

Технічні характеристики мікроконтролера ATmega 8

Архітектура	RISC
Тактова частота	16MHz
Розрядність АЦП	10bit
Напруга на виході АЦП	3V
Робоча напруга живлення	+2,7V...+5,5V
Робоча температура	-40°C...+85°C

Робота починається з увімкнення системи. Система працює циклічно до моменту вимкнення живлення. В циклі система виконує вимірювання таких показників мікроклімату приміщення як температура повітря, вологість повітря, швидкість руху повітря, рівень вуглекислого газу. Кожен з параметрів представлено у вигляді вимірювального каналу. Канал має свій код, який по черзі передається на АЦП через комутатор. Результати вимірювання передаються через USB-порт на ПК, на якому користувач вводить період року та категорію робіт. За цими даними в БЗ знаходяться шкали температури, вологості, швидкості руху повітря та концентрації вуглекислого газу. По коду результату вимірювання викликається відповідна шкала. Результат вимірювання накладається на шкалу та за максимумом перерізу результату вимірювання з шкалою отримуємо результат про рівень комфортності кліматичних умов у приміщенні (дискомфорт, субкомфорт, комфорт).

1.2. Аналіз складових похибки

Проаналізуємо похибки кожного вимірювального каналу системи.

До складу каналу температури входять:

- датчик температури ($\Delta_t = \pm 2^\circ\text{C}$);
- нормуючий пристрій;
- АЦП ($\Delta_{\text{АЦП}} = \pm 3\text{LSB}$).

Запишемо рівняння каналу вимірювання температури (1.1 – 1.2):

$$N_{t^\circ} = K_D \cdot K_{\text{НП}} \cdot K_K \cdot K_{\text{АЦП}} \cdot T^\circ; \quad (1.1)$$

$$N'_t = \left[(T^\circ + \Delta_t) \cdot K_D \cdot K_{\text{НП}} \cdot (1 + \delta) + \Delta_{\text{НП}} \right] \cdot K_{\text{АЦП}} + \Delta_{\text{АЦП}}; \quad (1.2)$$

Знайдемо коефіцієнти перетворення датчика температури (K_D), нормуючого пристрою ($K_{\text{НП}}$) та АЦП ($K_{\text{АЦП}}$) (1.3 – 1.5):

$$K_D = \frac{V_{\text{out}}}{T_H} = \frac{1200\text{mV}}{40^\circ\text{C}} = 30 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}; \quad (1.3)$$

$$K_{\text{НП}} = \frac{V_{\text{АЦП}}}{V_{\text{out}}} = \frac{5\text{V}}{3\text{V}} = 1,67; \quad (1.4)$$

$$K_{\text{АЦП}} = \frac{2^{10}}{V_{\text{out}}} = \frac{1024}{5V} = 205 \frac{1}{V}. \quad (1.5)$$

Для подальших розрахунків необхідно розрахувати похибку нормуючого пристрою. Проаналізувавши його технічну документацію, знаходимо складові, які впливають на загальну похибку НП:

- відносна похибка коефіцієнта підсилення: $\delta_{\text{КП}} = 0,05\%$;
- відносна похибка через нестабільність джерела живлення: $\delta_{\text{ДЖ}} = 0,05\%$;
- дрейф нуля: $0,1 \frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}} \cdot 40^{\circ}\text{C} = 4\text{mV}$.

Так, як рівень сигналу $3V$, то зведена похибка дорівнює (1.6):

$$\gamma = \frac{4 \cdot 10^{-3} V}{3V} \cdot 100\% = 0,13\% . \quad (1.6)$$

Отже, похибка нормуючого пристрою в кінці діапазону (1.7):

$$\delta = \gamma + \delta_{\text{ДЖ}} = 0,13\% + 0,05\% = 0,18\% . \quad (1.7)$$

Загальна похибка вимірювання каналу температури (1.8):

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{КТ}} &= N'_t - N_t = \Delta_t + \delta \cdot T + \frac{\Delta_{\text{НП}}}{K_{\text{Д}} \cdot K_{\text{НП}}} + \frac{\Delta_{\text{АЦП}}}{K_{\text{sf}}} = \Delta_{\Sigma} + \delta \cdot T = \\ &= \pm 2^{\circ}\text{C} + 0,05\% \cdot T + \frac{4\text{mV}}{30 \frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}} \cdot 1,67} + \frac{\pm 3}{30 \frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}} \cdot 1,67 \cdot 205 \frac{1}{V}} = \pm 2^{\circ}\text{C} + 0,05\% \cdot T + 0,08^{\circ}\text{C} + 0,29^{\circ}\text{C} = \\ &= \pm 2,4^{\circ}\text{C} + 0,05\% \cdot T \end{aligned} \quad (1.8)$$

Так, як мультиплікативна складова похибки в кінці діапазону займає третю значущу цифру, то нею можна знехтувати і загальне значення абсолютної похибки вимірювання температури для крайніх значень термів множини дорівнює $\pm 2,4^{\circ}\text{C}$.

До складу каналу вологості входять:

- датчик вологості ($\Delta_{\text{Н}} = \pm 3,5\text{RH}$) ;
- нормуючий пристрій;

- АЦП ($\Delta_{\text{АЦП}} = \pm 3\text{LSB}$).

Запишемо рівняння каналу вимірювання вологості (1.9 – 1.10):

$$N_H = K_D \cdot K_{\text{НП}} \cdot K_K \cdot K_{\text{АЦП}} \cdot H; \quad (1.9)$$

$$N'_H = \left[(H + \Delta_H) \cdot K_D \cdot K_{\text{НП}} \cdot (1 + \delta) + \Delta_{\text{НП}} \right] \cdot K_{\text{АЦП}} + \Delta_{\text{АЦП}}. \quad (1.10)$$

Знайдемо коефіцієнти перетворення датчика вологості (K_D), нормуючого пристрою ($K_{\text{НП}}$) та АЦП ($K_{\text{АЦП}}$) (1.11 – 1.13):

$$K_D = \frac{V_{\text{out}}}{H_H} = \frac{3,198\text{V}}{75\text{RH}} = 0,043 \frac{\text{V}}{\text{RH}}; \quad (1.11)$$

$$K_{\text{НП}} = \frac{V_{\text{АЦП}}}{V_{\text{out}}} = \frac{5\text{V}}{3\text{V}} = 1,67; \quad (1.12)$$

$$K_{\text{АЦП}} = \frac{2^{10}}{V_{\text{out}}} = \frac{1024}{5\text{V}} = 205 \frac{1}{\text{V}}. \quad (1.13)$$

Для подальших розрахунків необхідно розрахувати похибку нормуючого пристрою. Проаналізувавши його технічну документацію, знаходимо складові, які впливають на загальну похибку НП:

- відносна похибка коефіцієнта підсилення: $\delta_{\text{КП}} = 0,05\%$;
- відносна похибка через нестабільність джерела живлення: $\delta_{\text{ДЖ}} = 0,05\%$;
- дрейф нуля: $0,1 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}} \cdot 40^\circ\text{C} = 4\text{mV}$.

Так, як рівень сигналу 3V, то зведена похибка дорівнює (1.14):

$$\gamma = \frac{4 \cdot 10^{-3}\text{V}}{3\text{V}} \cdot 100\% = 0,13\%. \quad (1.14)$$

Отже, похибка нормуючого пристрою в кінці діапазону (1.15):

$$\Delta = \gamma \cdot H_H = 0,13 \cdot 10^{-2} \cdot 75\text{RH} = 0,098\text{RH}. \quad (1.15)$$

Загальна похибка вимірювання каналу вологості (1.16):

$$\Delta_{KB} = N'_H - N_H = \Delta_H + \delta \cdot H + \frac{\Delta_{HП}}{K_D \cdot K_{HП}} + \frac{\Delta_{АЦП}}{K_{sf}} = \Delta_{\Sigma} + \delta \cdot H = \pm 3,5 RH + 0,05 \% \cdot H +$$

$$+ \frac{4mV}{0,043 \frac{V}{RH} \cdot 1,67} + \frac{\pm 3}{0,043 \frac{V}{RH} \cdot 1,67 \cdot 205 \frac{1}{V}} = \pm 3,5 RH + 0,05 \% \cdot H + 0,056 RH + 0,2 RH =$$

$$= \pm 3,8 RH + 0,05 \% \cdot H \quad (1.16)$$

Так, як мультиплікативна складова похибки в кінці діапазону займає третю значущу цифру, то нею можна знехтувати і загальне значення абсолютної похибки вимірювання вологості для крайніх значень термів множини дорівнює $\pm 3,8 RH$.

До складу каналу швидкості руху повітря входять:

- датчик швидкості руху повітря ($\Delta_V = \pm 0,15 \frac{m}{s}$);
- нормуючий пристрій;
- АЦП ($\Delta_{АЦП} = \pm 3LSB$).

Запишемо рівняння каналу вимірювання швидкості руху повітря (1.17 – 1.18):

$$N_V = K_D \cdot K_{HП} \cdot K_K \cdot K_{АЦП} \cdot V; \quad (1.17)$$

$$N'_V = \left[(V + \Delta_V) \cdot K_D \cdot K_{HП} \cdot (1 + \delta) + \Delta_{HП} \right] \cdot K_{АЦП} + \Delta_{АЦП}; \quad (1.18)$$

Знайдемо коефіцієнти перетворення датчика швидкості руху повітря (K_D), нормуючого пристрою ($K_{HП}$) та АЦП ($K_{АЦП}$) (1.19 – 1.21):

$$K_D = \frac{V_{out}}{V_H} = \frac{3V}{5 \frac{m}{s}} = 0,6 \frac{V \cdot s}{m}; \quad (1.19)$$

$$K_{HП} = \frac{V_{АЦП}}{V_{out}} = \frac{5V}{3V} = 1,67; \quad (1.20)$$

$$K_{АЦП} = \frac{2^{10}}{V_{out}} = \frac{1024}{5V} = 206 \frac{1}{V};$$

(1.21)

Для подальших розрахунків необхідно розрахувати похибку нормуючого пристрою. Проаналізувавши його технічну документацію, знаходимо складові, які впливають на загальну похибку НП:

- відносна похибка коефіцієнта підсилення: $\delta_{\text{КП}} = 0,05\%$;
- відносна похибка через нестабільність джерела живлення: $\delta_{\text{ДЖ}} = 0,05\%$;
- дрейф нуля: $0,1 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}} \cdot 40^\circ\text{C} = 4\text{mV}$.

Так, як рівень сигналу 3V , то зведена похибка дорівнює (1.22):

$$\gamma = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{V}}{3\text{V}} \cdot 100\% = 0,13\% . \quad (1.22)$$

Отже, похибка нормуючого пристрою в кінці діапазону (1.23):

$$\Delta = \gamma \cdot V_{\text{H}} = 0,13 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,0065 \frac{\text{m}}{\text{s}} . \quad (1.23)$$

Загальна похибка вимірювання каналу швидкості руху повітря (1.24):

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{КШ}} = N'_{\text{V}} - N_{\text{V}} = \Delta_{\text{V}} + \delta \cdot V + \frac{\Delta_{\text{НП}}}{K_{\text{Д}} \cdot K_{\text{НП}}} + \frac{\Delta_{\text{АЦП}}}{K_{\text{sf}}} = \Delta_{\Sigma} + \delta \cdot V = \pm 0,15 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,05\% \cdot V + \\ + \frac{4\text{mV}}{0,6 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}} \cdot 1,67} + \frac{\pm 3}{0,6 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}} \cdot 1,67 \cdot 205 \frac{1}{\text{V}}} = \pm 0,15 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,05\% \cdot V + 0,004 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,015 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \\ = \pm 0,17 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,05\% \cdot V \end{aligned} \quad (1.24)$$

Так, як мультиплікативна складова похибки в кінці діапазону займає третю значущу цифру, то нею можна знехтувати і загальне значення абсолютної похибки вимірювання швидкості руху повітря для крайніх значень термів множини дорівнює $\pm 0,17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

До складу каналу концентрації вуглекислого газу входять:

- датчик концентрації CO_2 ($\Delta_{\text{C}} = \pm 50\text{ppm} + 5\%\text{C}$) ;
- нормуючий пристрій;
- АЦП ($\Delta_{\text{АЦП}} = \pm 3\text{LSB}$) .

Запишемо рівняння каналу вимірювання концентрації вуглекислого газу (1.25 – 1.26):

$$N_C = K_D \cdot K_{HP} \cdot K_K \cdot K_{AЦП} \cdot C; \quad (1.25)$$

$$N'_C = \left[(C + \Delta_V) \cdot K_D \cdot K_{HP} \cdot (1 + \delta) + \Delta_{HP} \right] \cdot K_{AЦП} + \Delta_{AЦП}; \quad (1.26)$$

Знайдемо коефіцієнти перетворення датчика концентрації вуглекислого газу (K_D), нормуючого пристрою (K_{HP}) та АЦП ($K_{AЦП}$) (1.27 – 1.29):

$$K_D = \frac{V_{out}}{C_H} = \frac{3,3V}{5000ppm} = 0,66 \cdot 10^{-3} \frac{V}{ppm}; \quad (1.27)$$

$$K_{HP} = \frac{V_{AЦП}}{V_{out}} = \frac{5V}{3V} = 1,67; \quad (1.28)$$

$$K_{AЦП} = \frac{2^{10}}{V_{out}} = \frac{1024}{5V} = 205 \frac{1}{V}; \quad (1.29)$$

Для подальших розрахунків необхідно розрахувати похибку нормуючого пристрою. Проаналізувавши його технічну документацію, знаходимо складові, які впливають на загальну похибку НП:

- відносна похибка коефіцієнта підсилення: $\delta_{КП} = 0,05\%$;
- відносна похибка через нестабільність джерела живлення: $\delta_{ДЖ} = 0,05\%$;
- дрейф нуля: $0,1 \frac{mV}{^{\circ}C} \cdot 40^{\circ}C = 4mV$.

Так, як рівень сигналу $3V$, то зведена похибка дорівнює (1.30):

$$\gamma = \frac{4 \cdot 10^{-3} V}{3V} \cdot 100\% = 0,13\%. \quad (1.30)$$

Отже, похибка нормуючого пристрою в кінці діапазону (1.31):

$$\Delta = \gamma \cdot C_H = 0,13 \cdot 10^{-2} \cdot 5000ppm = 6,5ppm. \quad (1.31)$$

Загальна похибка вимірювання каналу концентрації вуглекислого газу (1.31):

$$\begin{aligned} \Delta_{KC} = N'_C - N_C = \Delta_C + \delta \cdot C + \frac{\Delta_{НП}}{K_D \cdot K_{НП}} + \frac{\Delta_{АЦП}}{K_{sf}} = \Delta_{\Sigma} + \delta \cdot C = \pm 50 \text{ ppm} + 5,05 \% \cdot C + \\ + \frac{4mV}{0,66 \cdot 10^{-3} \frac{V}{\text{ppm}} \cdot 1,67} + \frac{\pm 3}{0,66 \cdot 10^{-3} \frac{V}{\text{ppm}} \cdot 1,67 \cdot 205 \frac{1}{V}} = \pm 50 \text{ ppm} + 5,05 \% \cdot C + 3,6 \text{ ppm} + 13 \text{ ppm} = \\ = \pm 66,6 \text{ ppm} + 5,05 \cdot C \end{aligned} \quad (1.31)$$

Тобто, загальне рівняння похибки каналу вимірювання концентрації вуглекислого газу має вигляд (1.32):

$$\Delta_{KC} = \pm (66,6 + 0,0505 \cdot C) \text{ ppm}, \quad (1.32)$$

де C – поточне значення вимірювання швидкості руху повітря.

Розрахуємо значення похибки для нормативних границь концентрації вуглекислого газу:

- нижня нормальна (400ppm) (1.33):

$$\Delta_{KC}|_{400\text{ppm}} = \pm (66,6 + 0,0505 \cdot 400) \text{ ppm} = \pm 86,8 \text{ ppm}; \quad (1.33)$$

Висновок до РОЗДІЛУ 1: Проаналізувавши існуючі технічні рішення було розроблено структурну схему системи вимірювання рівня комфортності в робочих приміщеннях та проведено аналіз похибок каналів вимірювання.

РОЗДІЛ 2

ШКАЛИ КЛАСИФІКАЦІЇ ОКРЕМИХ ПОКАЗНИКІВ КОМФОРТНОСТІ

Для побудови одновимірних шкал класифікації температури, відносної вологості, швидкості руху повітря та концентрації вуглекислого газу не завжди підходять впорядковані лінгвістичні шкали (наприклад: «низька», «середня», «висока») тому, що найбільш сприятливим умовам відповідають найчастіше середні значення параметрів[10]. Параметри мікроклімату являють собою лінгвістичні змінні, які прийматимуть участь у прийнятті рішення про комфортність у приміщенні. Кожну змінну розділено на кількість лінгвістичних термів, у відповідності до нормованих значень санітарних норм. Тому, невпорядкованими терм-множинами лінгвістичних змінних обрано: ДК «дискомфорт», СК «субкомфорт», К «комфорт». Так як результати вимірювання параметрів супроводжуються невизначеністю вимірювання, це може бути причиною розсіювання класифікованих даних.

В санітарних нормах на промислові та житлові приміщення наведені чіткі границі температур, що відповідають наведеній вище терм-множині лінгвістичної змінної[11]. Для побудови шкал класифікації використовуємо трапецієподібні та трикутні функції приналежності. Виділяють прямі і непрямі методи побудови функцій приналежності.

Прямі методи використовують для властивостей і ознак, які можуть бути виміряні, наприклад, температура, час, тиск та ін. Для цього не потрібно досить точного завдання всіх значень функції приналежності, достатньо зафіксувати лише вид функції та характерні значення. Непрямі методи використовуються коли в предметній області, яка підлягає аналізу, відсутні властивості об'єкта, що можна виміряти.

Для прикладу обираємо норми для холодного періоду року, категорії робіт «середньої важкості II б». Умови мікроклімату для даного типу приміщення наведено в Таблиці 2.1 та Таблиці 2.2.

Таблиця 2.1

Оптимальні норми на постійних і непостійних робочих місцях для холодного періоду року, категорія робіт «середньої важкості II б»

Температура повітря, °C	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с, не більше	Вуглекислий газ, ppm
17 – 19	60 – 40	0,2	400

Таблиця 2.2

Допустимі норми на робочих місцях для холодного періоду року, категорія робіт «середньої важкості II б»

Температура повітря, °C		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с, не більше	Вуглекислий газ, ppm
На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних і непостійних робочих місцях		
15 – 21	13 – 23	75	0,4	>400

Якщо враховувати похибку вимірювання кожного з параметрів і скористатись для цього трапецієподібними і трикутними функціями приналежності, то шкали класифікації для даного типу приміщення набувають вигляду Рис.2.1, Рис.2.2, Рис.2.3, Рис.2.4.

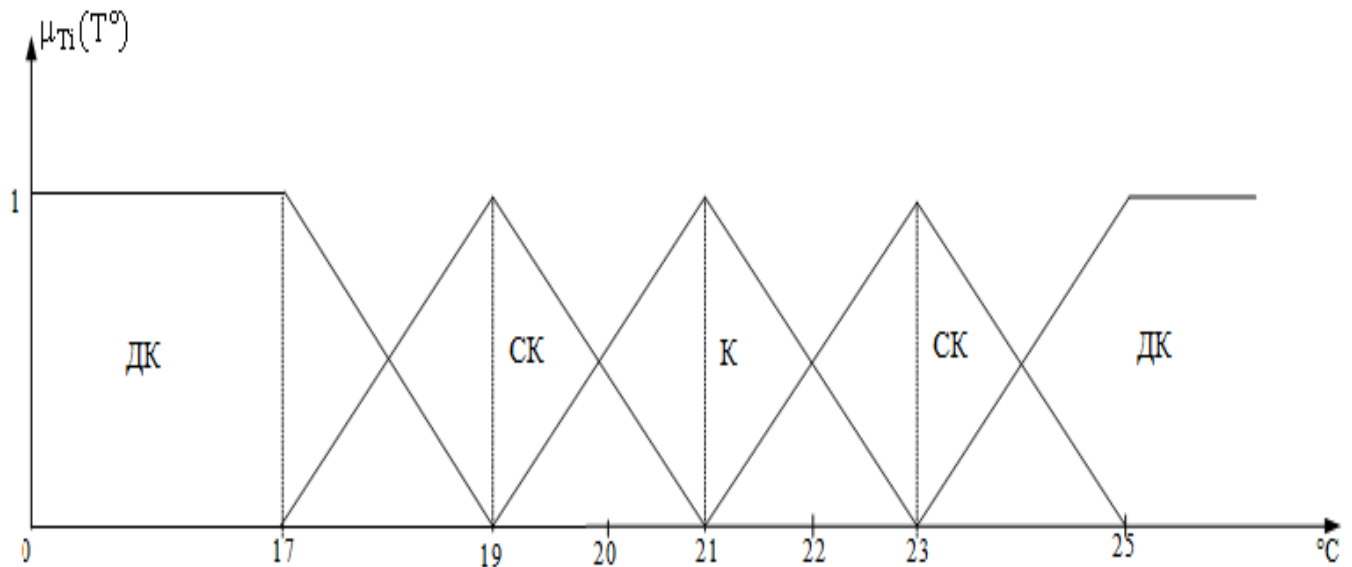


Рис.2.1 Шкала класифікації температури

Запишемо формули функцій приналежності для термів шкали класифікації температури: ДК знизу (2.1), СК знизу(2.2), К(2.3), СК зверху(2.4), ДК зверху(2.5):

$$\text{ДК} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 0^{\circ}\text{C} \leq x \leq 17^{\circ}\text{C}; \\ \frac{19^{\circ}\text{C} - x}{19^{\circ}\text{C} - 17^{\circ}\text{C}}, & \text{якщо } 17^{\circ}\text{C} \leq x \leq 19^{\circ}\text{C}; \\ 0, & \text{якщо } 19^{\circ}\text{C} < x. \end{cases} \quad (2.1)$$

$$\text{СК} = \begin{cases} \frac{x - 17^{\circ}\text{C}}{19^{\circ}\text{C} - 17^{\circ}\text{C}}, & \text{якщо } 17^{\circ}\text{C} \leq x \leq 19^{\circ}\text{C}; \\ \frac{21^{\circ}\text{C} - x}{21^{\circ}\text{C} - 19^{\circ}\text{C}}, & \text{якщо } 19^{\circ}\text{C} \leq x \leq 21^{\circ}\text{C}; \end{cases} \quad (2.2)$$

$$\text{К} = \begin{cases} \frac{x - 19^{\circ}\text{C}}{21^{\circ}\text{C} - 19^{\circ}\text{C}}, & \text{якщо } 19^{\circ}\text{C} \leq x \leq 21^{\circ}\text{C}; \\ \frac{23^{\circ}\text{C} - x}{23^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}}, & \text{якщо } 21^{\circ}\text{C} \leq x \leq 23^{\circ}\text{C}; \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\text{СК} = \begin{cases} \frac{x - 21^{\circ}\text{C}}{23^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}}, & \text{якщо } 21^{\circ}\text{C} \leq x \leq 23^{\circ}\text{C}; \\ \frac{25,4^{\circ}\text{C} - x}{25,4^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}}, & \text{якщо } 23^{\circ}\text{C} \leq x \leq 25,4^{\circ}\text{C}; \end{cases} \quad (2.4)$$

$$ДК = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0^{\circ}\text{C} \leq x \leq 23^{\circ}\text{C}; \\ \frac{x - 23^{\circ}\text{C}}{25,4^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}}, & \text{якщо } 23^{\circ}\text{C} \leq x \leq 25,4^{\circ}\text{C}; \\ 1, & \text{якщо } 25,4^{\circ}\text{C} < x. \end{cases} \quad (2.5)$$

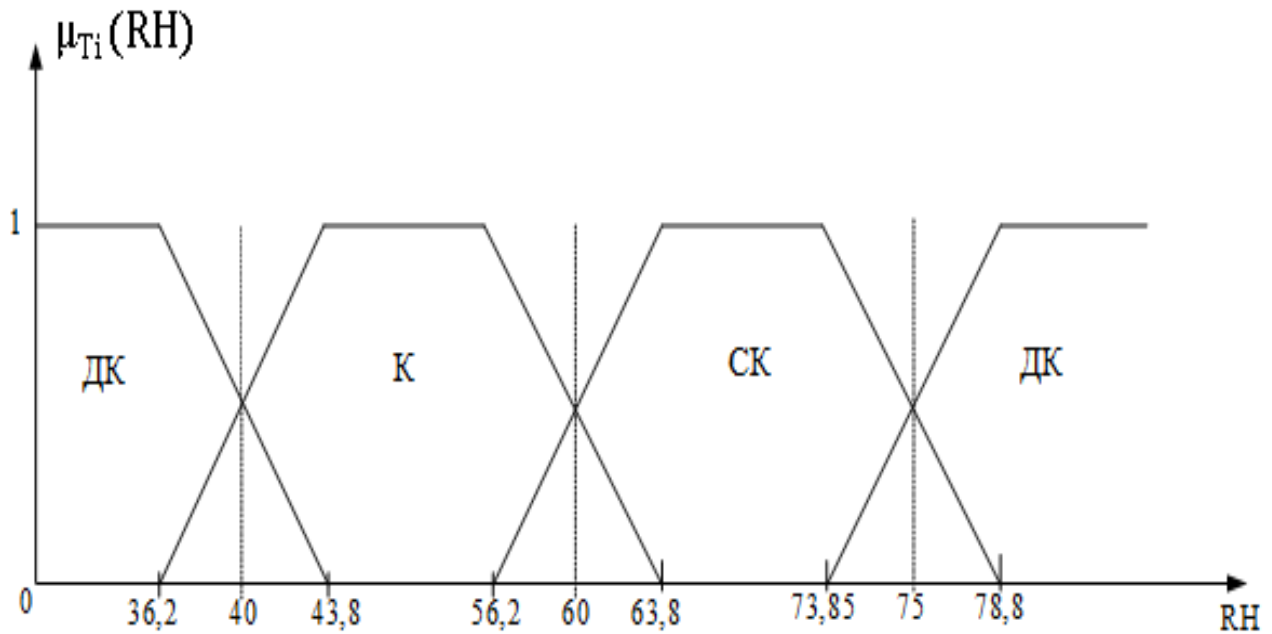


Рис.2.2 Шкала класифікації вологості

Запишемо формули функцій приналежності для термів вологості: ДК знизу (2.6), К (2.7), СК (2.8), ДК зверху(2.9):

$$ДК = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 0\%RH \leq x \leq 36,2\%RH; \\ \frac{43,8\%RH - x}{43,8\%RH - 36,2\%RH}, & \text{якщо } 36,2\%RH \leq x \leq 43,8\%RH; \\ 0, & \text{якщо } 43,8\%RH < x. \end{cases} \quad (2.6)$$

$$К = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0\%RH \leq x \leq 36,2\%RH; \\ \frac{x - 36,2\%RH}{43,8\%RH - 36,2\%RH}, & \text{якщо } 36,2\%RH \leq x \leq 43,8\%RH; \\ 1, & \text{якщо } 42,8\%RH < x < 56,2\%RH; \\ \frac{63,8\%RH - x}{63,8\%RH - 56,2\%RH}, & \text{якщо } 56,2\%RH \leq x \leq 63,8\%RH; \\ 0, & \text{якщо } 63,8\%RH < x; \end{cases} \quad (2.7)$$

$$CK = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0\%RH \leq x \leq 56,2\%RH; \\ \frac{x - 56,2\%RH}{63,8\%RH - 56,2\%RH}, & \text{якщо } 56,2\%RH \leq x \leq 63,8\%RH; \\ 1, & \text{якщо } 63,8\%RH < x < 73,85\%RH; \\ \frac{78,8\%RH - x}{78,8\%RH - 73,85\%RH}, & \text{якщо } 73,85\%RH \leq x \leq 78,8\%RH; \\ 0, & \text{якщо } 78,8\%RH < x. \end{cases} \quad (2.8)$$

$$DK = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0\%RH \leq x \leq 73,85\%RH; \\ \frac{x - 73,85\%RH}{78,8\%RH - 73,85\%RH}, & \text{якщо } 73,85\%RH \leq x \leq 78,8\%RH; \\ 1, & \text{якщо } 78,8\%RH < x; \end{cases} \quad (2.9)$$

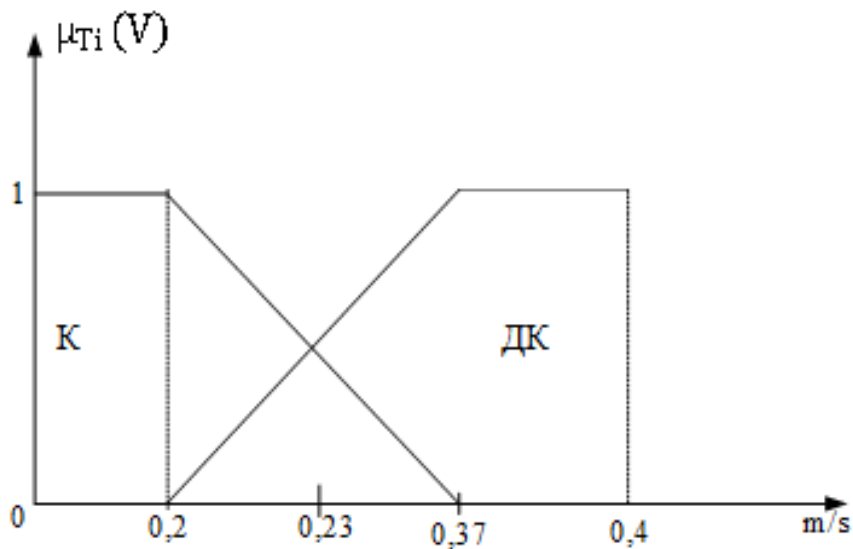


Рис.2.3 Шкала класифікації швидкості руху повітря

Запишемо формули функцій приналежності для термів вологості: K(2.10), DK(2.11):

$$K = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 0 \frac{m}{s} \leq x \leq 0,2 \frac{m}{s}; \\ \frac{0,37 \frac{m}{s} - x}{0,37 \frac{m}{s} - 0,2 \frac{m}{s}}, & \text{якщо } 0,2 \frac{m}{s} \leq x \leq 0,37 \frac{m}{s}; \\ 0, & \text{якщо } 0,37 \frac{m}{s} < x. \end{cases} \quad (2.10)$$

$$ДК = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0 \frac{m}{s} \leq x \leq 0,23 \frac{m}{s}; \\ \frac{x - 0,23 \frac{m}{s}}{0,27 \frac{m}{s} - 0,23 \frac{m}{s}}, & \text{якщо } 0,23 \frac{m}{s} \leq x \leq 0,37 \frac{m}{s}; \\ 1, & \text{якщо } 0,37 \frac{m}{s} < x; \end{cases} \quad (2.11)$$

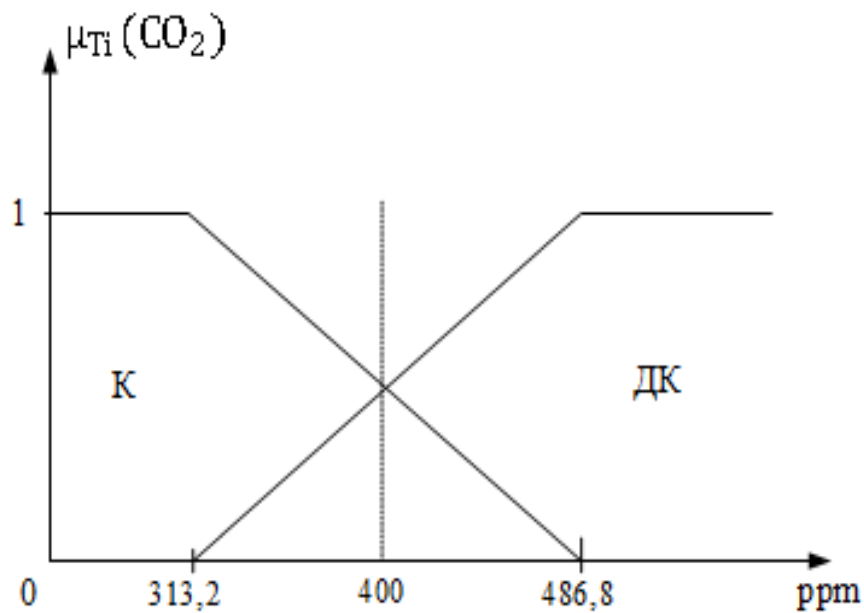


Рис.2.3 Шкала класифікації концентрації вуглекислого газу

Запишемо формули функцій приналежності для термів: К (2.12), ДК(2.13):

$$K = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 0 \text{ ppm} \leq x \leq 313,2 \text{ ppm}; \\ \frac{486,8 \text{ ppm} - x}{486,8 \text{ ppm} - 313,2 \text{ ppm}}, & \text{якщо } 313,2 \text{ ppm} \leq x \leq 486,8 \text{ ppm}; \\ 0, & \text{якщо } 486,8 \text{ ppm} < x. \end{cases} \quad (2.12)$$

$$ДК = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0 \text{ ppm} \leq x \leq 313,2 \text{ ppm}; \\ \frac{x - 313,2 \text{ ppm}}{486,8 \text{ ppm} - 313,2 \text{ ppm}}, & \text{якщо } 313,2 \text{ ppm} \leq x \leq 486,8 \text{ ppm}; \\ 1, & \text{якщо } 486,8 \text{ ppm} < x; \end{cases} \quad (2.13)$$

Висновок до РОЗДІЛУ 2: На основі похибок каналів температури, вологості, швидкості руху повітря, концентрації вуглекислого газу побудовано шкали і функції приналежності та обрано терм-множини лінгвістичних змінних: ДК «дискомфорт», СК «субкомфорт», К «комфорт».

РОЗДІЛ 3

ВИБІР АЛГОРИТМУ РОБОТИ НЕЧІТКОГО КЛАСИФІКАТОРА

Для того, щоб визначити чи відповідає дане приміщення санітарним нормам, необхідно оцінити кожен з параметрів мікроклімату.

Параметри мікроклімату нормуються в залежності від: періоду року; категорії робіт; технологічного процесу.

Виміри показників мікроклімату повинні проводитись на початку, в середині і в кінці холодного і теплого періодів року, не менше трьох разів за робочу зміну. При коливаннях показників мікроклімату, пов'язаних з технологічними процесами та іншими причинами, виміри необхідно проводити також при найменших і найбільших значеннях термічних навантажень на працюючих, що мають місце протягом робочої зміни.

Вимірювання параметрів мікроклімату проводяться на робочих місцях і в робочій зоні на початку, в середині та в кінці робочої зміни. При коливаннях мікрокліматичних умов, пов'язаних з технологічним процесом та іншими причинами, вимірювання проводяться з урахуванням найбільших і найменших величин термічних навантажень протягом робочої зміни[3].

Вимірювання здійснюються не менше 2-х разів на рік (теплий та холодний періоди року) у порядку поточного санітарного нагляду, а також при прийманні до експлуатації нового технологічного устаткування, внесенні технічних змін в конструкцію діючого устаткування, організації нових робочих місць тощо.

При проведенні вимірювання в холодний період року температура зовнішнього повітря не повинна бути вищою за середню розрахункову температуру, в теплий період - не нижчою за середню розрахункову температуру, що приймається для опалення та кондиціонування за оптимальними та допустимими параметрами.

Вимірювання параметрів мікроклімату на робочих місцях проводяться на висоті 0,5 - 1,0 м від підлоги - при роботі сидячи, 1,5 м від підлоги - при роботі стоячи.

У приміщеннях з більшою щільністю робочих місць при відсутності джерел локального тепловиділення, охолодження та вологовиділення вимірювання

проводяться в зонах, рівномірно розподілених по всьому приміщенні. При цьому в приміщеннях, які мають площу до 100 м², повинно бути не менше 4-х зон, що оцінюються, а площею до 400 м² - не менше 8-ми. У приміщеннях з площею понад 400 м² - кількість визначається відстанню між ними, яка не повинна перевищувати 10 м [12].

Так, як лінгвістична змінна це набір (β , T, X, G, M), де

β – терм-множина, яка являє собою найменування станів лінгвістичної змінної (базова терм-множина);

T – {T₁...T_n};

X – область визначення β ;

G – синтаксична процедура, яка дозволяє оперувати елементами терм-множини T, зокрема генерувати нові терми;

M – семантична процедура, яка дозволяє перетворити кожен стан лінгвістичної змінної в нечітку змінну, тобто сформувати відповідну нечітку множину.

В цьому випадку лінгвістична шкала генерується з використанням декількох функцій приналежності терм-множин (рис. 3.1). Результатом вимірювання є та терм-множина, до якої відносять певну сукупність даних, отриманих при вимірюванні. Вибір результуючої терм-множини здійснюється за максимумом перерізу функцій приналежності терм-множини шкали і функції приналежності сукупності результатів вимірювання, тобто з допомогою композиції (3.1):

$$T_i \rightarrow \bigvee_x \{ \mu_{T_i}(x) \wedge \mu_{A'}(x) \text{ для } \forall i=0, n \}, \quad (3.1)$$

де n – кількість терм-множин. Але бувають ситуації, коли функція приналежності результатів вимірювання потрапляє на стик двох терм-множин, в результаті чого мають місце два однакових максимуми (Рис.3.1 а). Тоді остаточний висновок роблять по центру тяжіння перетину (але для цього сусідні терм-множини повинні мати різну крутизну).

На Рис.3.1 представлено ряд функцій приналежності терм-множин $\mu_{T_1}, \mu_{T_2}, \mu_{T_3} \dots$. Функція приналежності даних вимірювання представлена в вигляді $\mu_{A'}$.

При використанні композиції отримуємо [13] (3.2):

$$\begin{aligned} \bigvee_x (\mu_{T_1} \wedge \mu_{T_{A'}}) &= a_1; \\ \bigvee_x (\mu_{T_2} \wedge \mu_{T_{A'}}) &= a_2. \end{aligned} \quad (3.2)$$

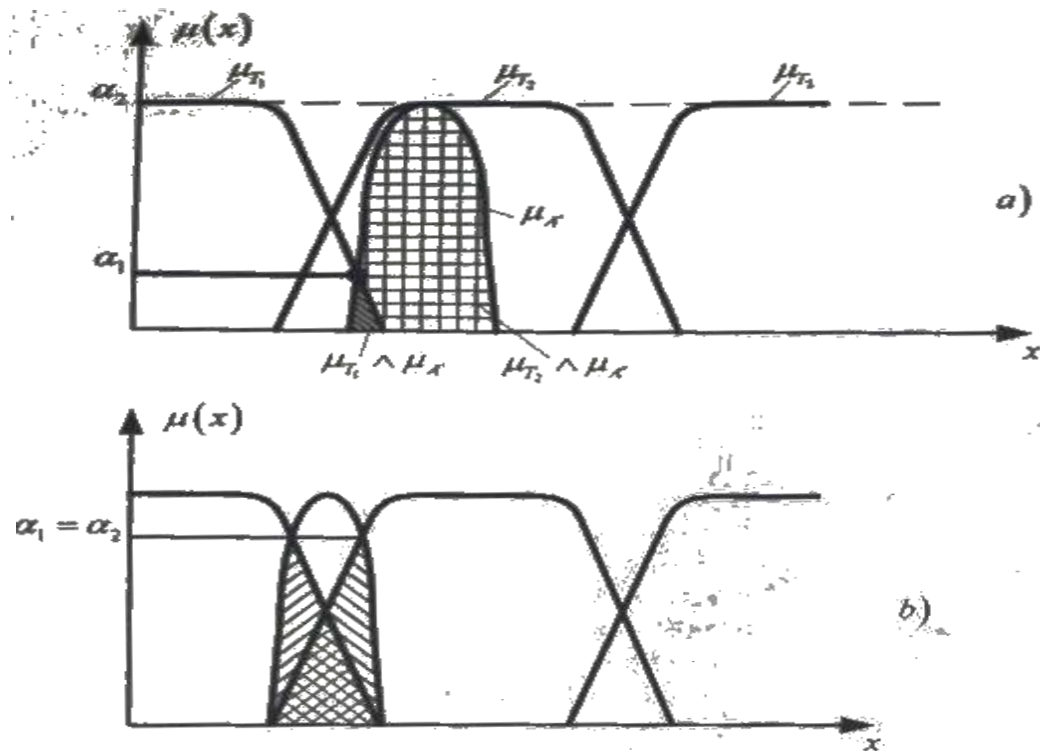


Рис. 3.1 Ілюстрація прийняття рішення при нечіткій лінгвістичній змінній

Наведемо приклад для визначення відповідності температури. Припустимо, що під час проведення вимірювань було отримано вибірку з 10 значень температури (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Виміряні значення температури

№ вимірювання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Результат вимірювання, °C	18	18	18,5	18,5	18	18,5	18,5	19	19	19

За Таблицею 3.1 визначаємо кількість повторів однакових значень температури: 18°C повторюється три рази, 18,5°C повторюється чотири рази, 19°C повторюється три рази.

Використовуючи шкалу класифікації температури (Рис.2.1), накладаємо на неї виміряні значення (Рис.3.2).

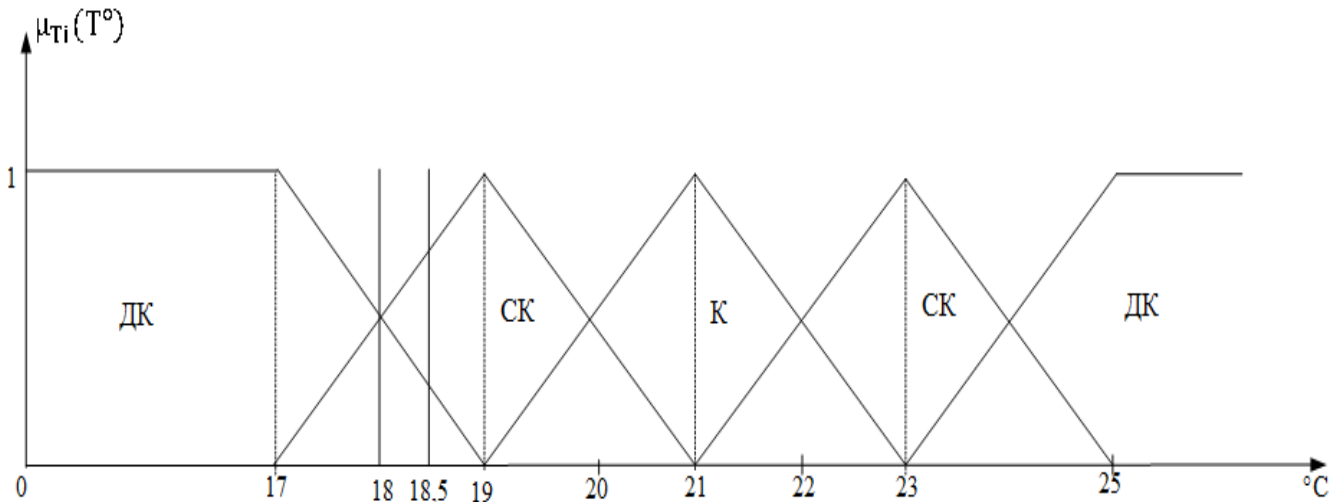


Рисунок 3.2 Виміряні значення на шкалі класифікації температури

За формулами 2.1 та 2.2 знаходимо ймовірність приналежності виміряних значень до терм-множин:

$$18^{\circ}\text{C}: T_1|0,5; T_2|0,5;$$

$$18,5^{\circ}\text{C}: T_1|0,25; T_2|0,75;$$

$$19^{\circ}\text{C}: T_2|1.$$

Отримані ймовірності множимо на кількість повторів виміряних значень та ділимо на загальну кількість вимірювань:

$$18^{\circ}\text{C}: T_1|0,5; T_2|0,5; \times 3 : 10$$

$$18,5^{\circ}\text{C}: T_1|0,25; T_2|0,75; \times 4 : 10$$

$$19^{\circ}\text{C}: T_2|1. \times 3 : 10$$

Отримуємо:

$$18^{\circ}\text{C}: T_1|_{0,15}; T_2|_{0,15};$$

$$18,5^{\circ}\text{C}: T_1|_{0,1}; T_2|_{0,3};$$

$$19^{\circ}\text{C}: T_2|_{0,3}.$$

Знаходимо суму ймовірностей кожного з термів:

$$T_1|_{0,25}; T_2|_{0,75}.$$

Проаналізувавши вищенаведену інформацію бачимо, що отриманий результат відповідає середньому значенню виміряної температури ($18,5^{\circ}\text{C}$), тому необхідно проводити багаторазові вимірювання всіх параметрів мікроклімату і при подальшій обробці будемо вводити їх середні значення.

Висновок до РОЗДІЛУ 3: Для оцінки відповідності приміщення санітарним нормам було приведено приклад, проаналізувавши який було прийнято рішення про проведення багаторазових вимірювань всіх параметрів мікроклімату та використання їх середніх значень для подальшої обробки.

РОЗДІЛ 4

СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО РІВНЯ КОМФОРТНОСТІ

Багато властивостей, які характеризують якість, оцінюють з використанням лінгвістичних (вербальних шкал). Градації цих шкал являють собою такі терміни, як «поганий», «середній», «хороший» і тд, які можуть бути упорядковані у відповідності з специфічними значеннями характеристик якості. Упорядковані лінгвістичні шкали відрізняються від числових, оскільки не встановлюється концепція відстані між градаціями шкали. Така концепція може бути введена штучно з допомогою арифметизації вербальної шкали чи перетворенням вербальної шкали в числову. Отримані вербально-числові або гібридні шкали широко використовуються на практиці. Однак деякі спеціалісти, які використовують вербальні шкали, стверджують, що немає відповідних критеріїв для вибору виду цього числового перетворення. Тому, актуальною задачею вважають розвиток способів обробки вербальних даних без використання перетворення в числову шкалу [14].

Механізм висновку включає послідовність циклів, кожен з яких може містити дві фази: аналіз та виконання [15].

Механізм висновку виконує обробку бази знань (БЗ), яка включає: базу факторів (БФ), яка містить достовірні факти і факти, які необхідно встановити; базу правил (БП), яка складається з процедурних знань [13].

В фазі аналізу механізм висновку визначає в поточній БП правила, які можна роз'єднати на частини, виходячи із поточної БФ, в фазі виконання механізм роз'єднує правила, знайдені в фазі аналізу [13].

Алгоритм функціонування системи вимірювання рівня комфортності мікроклімату в робочих приміщеннях представлено на Рис.4.1.

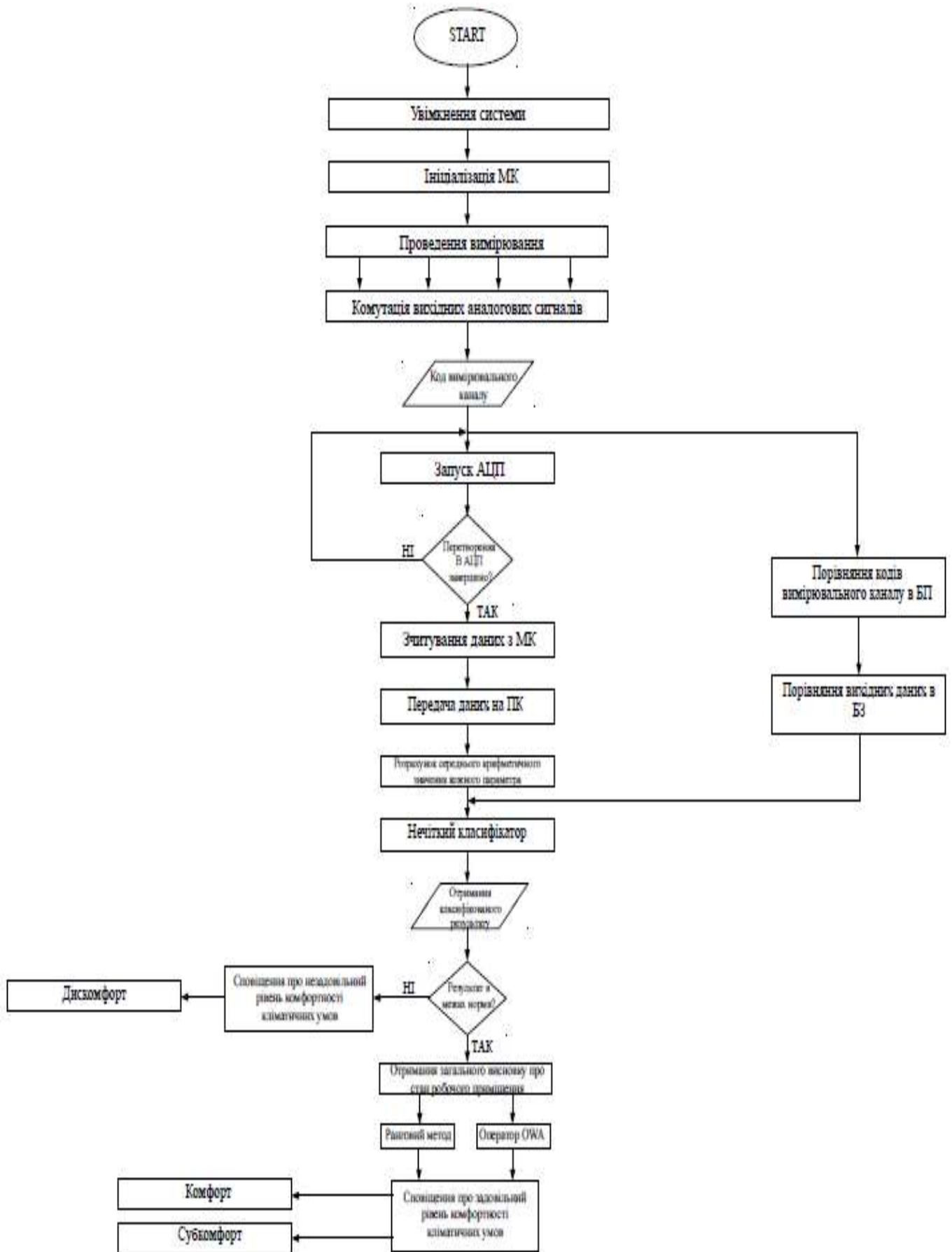


Рис.4.1 Алгоритм функціонування системи

Для отримання висновку щодо рівня комфортності мікроклімату в робочому приміщенні необхідні наступні етапи: алгоритм отримання результату по кожній змінній та алгоритм отримання загального висновку про стан робочого приміщення.

В теорії нечітких висновків ці два етапи об'єднуються для отримання остаточного висновку на множині логічних тверджень. Але для цього необхідно виконати вимоги уніфікації. В роботі [16] вказано, що для того, щоб застосовувати правила типу «Modus Ponens», система виводу повинна вміти визначити коли два вирази є еквівалентними або рівносильними. А для цього необхідна уніфікація та перенесення відношення порядку від змінних до термів, які їх відображають. Так, як шкали температури та вологості є неупорядкованими при відображенні їх нечіткої змінної «Комфорт», то нечіткий висновок зупиняється на стадії визначення активізованої функції приналежності з визначенням результату в вигляді терма «К», «С», «Д».

4.1. Алгоритм отримання результату по кожній змінній

Висновок про стан об'єкта по кожній змінній відповідає висновку Modus Ponens(4.1):

Факт	A^*	
Імплікація	Якщо $x=A$, то $y=B$	(4.1)
Висновок	$y=B^*$	

Схема алгоритму представлена на Рис.4.2.

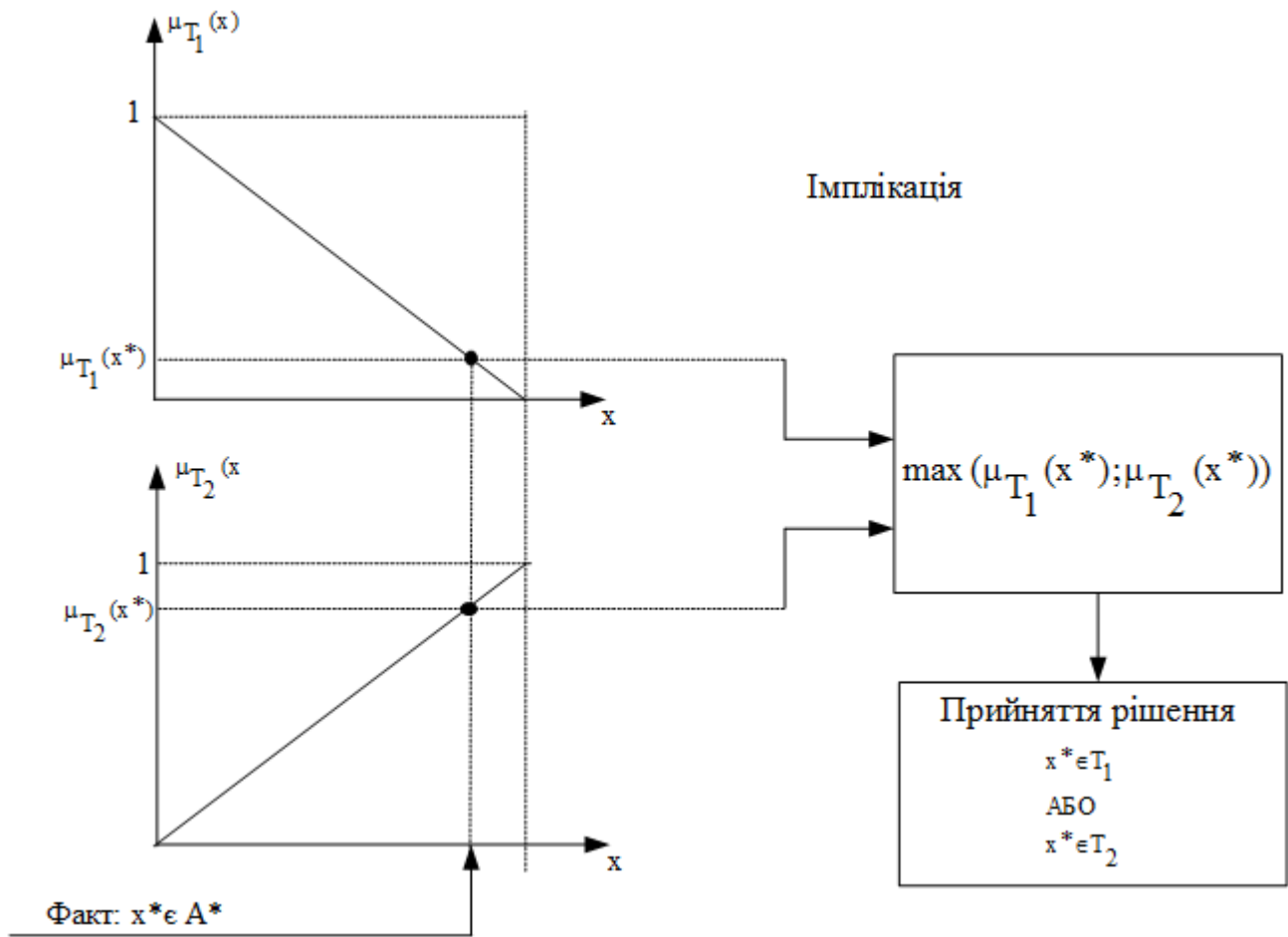


Рис.4.2 Алгоритм отримання результату по кожній змінній

4.2. Алгоритм отримання загального висновку про стан робочого приміщення

Для даного алгоритму використовуємо ранговий метод та емулятор середньої середньозваженої величини OWA.

При використанні рангового методу необхідно присвоїти ваговий коефіцієнт кожній терм-множині лінгвістичної змінної. Таким чином отримуємо: Д – 0, С – 1, К – 2.

Знаходимо середнє арифметичне рангів (4.2 – 4.7):

$$KKKK : CP = \frac{\sum P_i}{4} = 2 \rightarrow K; \quad (4.2)$$

$$KKKC : CP = \frac{7}{4} = 1,75; \quad (4.3)$$

$$KKCC : CP = \frac{6}{4} = 1,5 \rightarrow C; \quad (4.4)$$

$$\text{ККС Д: } CP = \frac{5}{4} = 1,25; \quad (4.5)$$

$$\text{КСС Д: } CP = \frac{4}{4} = 1; \quad (4.6)$$

$$\text{КСДС: } CP = \frac{3}{4} = 0,75. \quad (4.7)$$

Розглянемо емулятор середньої середньозваженої величини OWA [17] вигляду (4.8):

$$OWA = \max_{K=1}^n [\min(Q(k), q_K)], \quad (4.8)$$

де OWA – ordered weighted average;

$Q(k)$ – вагова функція оператора OWA, $Q(k) = S(f_k)$;

f_k – номер градації шкали;

$S(f_k)$ – найменування градації шкали, яка відповідає номеру f_k ;

$$f_k = E \left\{ 1 + \left[k \cdot \frac{t-1}{n} \right] \right\} \quad (4.9)$$

q_K – вербальна вибірка, ранжована за спаданням якості;

k – номер результату спостереження в ранжованій вибірці;

n – кількість спостережень у вибірці.

Використовуючи формулу (4.9) знаходимо найменування градацій шкал:

1 – Д; 2 – С; 3 – К.

$$K=1 \quad S_1 \quad \text{або} \quad S_2$$

$$K=2 \quad S_2$$

$$K=3 \quad S_2 \quad \text{або} \quad S_3$$

$$K=4 \quad S_3$$

Так, як кожен із параметрів мікроклімату можна розглядати як повноцінний, можемо зробити висновок про те, що важливим є не порядок параметрів, а їхні

значення. Тому, вибірки параметрів можна розглядати як набір величин, які ранжуються за вербальними характеристиками (Таблиця 4.1).

Таблиця 4.1

Класифікація рівнів комфортності

Класифікація рівнів комфортності за ранговим методом	Класифікація рівнів комфортності за оператором OWA	Загальний висновок
КККК (2)	К	Комфорт
КККС (1,75)	К або С	Майже комфорт
ККСС (1,5)	С	Субкомфорт
ККСД (1,25)	С	Майже субкомфорт
КССД (1)	С	Близько до дискомфорту
КСДД (0,75)	С або Д	Майже дискомфорт

Висновок до РОЗДІЛУ 4: Для отримання загального висновку щодо рівня комфортності мікроклімату в робочому приміщенні можна використовувати два методи: метод приписних рангів та використання емулятора середнього арифметичного вербальних характеристик вибірок OWA. На основі цих методів було розроблено класифікацію рівнів комфортності та проаналізовано, що система приймає рішення «Комфорт» в разі, якщо три чи більше параметрів відповідають оптимальним умовам. Якщо хоча б два параметри відповідають допустимим умовам, то приймається рішення «Субкомфорт». Але, якщо буде присутній хоча б один параметр який не відповідає ні оптимальним, ні допустимим умовам, то приймається висновок «Дискомфорт».

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах способи визначення загального рівня комфортності в робочих приміщеннях було виявлено, що використання системи на основі нечіткої логіки, дає змогу проводити інспекцію приміщень та робити висновок щодо відповідності параметрів мікроклімату державним санітарним нормам. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту даної системи як товару.

Ідея проекту полягає у розробці системи, яка вимірює такі параметри як температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, рівень вуглекислого газу. Дана система видає висновок про рівень комфортності мікроклімату в приміщенні, що уточнено наведено в Таблиці 5.1.

У Таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1

Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення системи для вимірювання параметрів мікроклімату та визначення рівня комфортності в приміщенні	Інспекція робочих приміщень	Перевірка відповідності параметрів мікроклімату державним санітарним нормам
	Домашня метеостанція	Контроль стану повітря, захист від впливу шкідливих факторів

Отже, пропонується новий спосіб, який розроблений на основі нечіткої логіки, для визначення ступеня відповідності певних параметрів мікроклімату значенням,

наведеним в санітарних нормах на робочі приміщення. Це дозволяє знаходити інтегральний показник мікроклімату – рівень комфортності, що визначається за градаціями: субкомфорт, комфорт, дискомфорт, та організує необхідний контроль стану приміщення, необхідний для нормальної працездатності людей.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (Таблиця 5.2).

Таблиця 5.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	Конкурент 1 RST	Конкурент 2 AcuRite			
1.	Витрата електроенер- гії при використан- ні	Низька	Низька	Низька	-	+	-

Продовження табл.5.2

2.	Багатофункціональність	Багатофункціональний, зручний та зрозумілий	Багато функцій, але складний	Має багато функцій, але складний	-	-	+
3.	Мобільність	Компактний	Достатньо компактний	Великі розміри	-	+	-
4.	Зручний інтерфейс	Зручний	Складний	Складний	-	-	+
5.	Точність	Висока точний	Висока точність	Середня точність	-	+	-
6.	Торгова марка	Немає	Є	Є	+	-	-

Висновок: Оцінка характеристик та ідей товару робить даний продукт конкурентоспроможним. Розробка даного продукту обумовлена потребою в ньому, оскільки за деякими техніко-економічними характеристиками він є аналогічним, або ж і кращим за них. Необхідність особливих навичок чи додаткового навчання для роботи з даним продуктом не потребується, бо продукт має просту конструкцію.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в Таблиці 5.3.

Розробка структурної схеми буде виконана в середовищі Libre Office 5.0, згідно з вимогами ГОСТ 2.702-75 Правила виконання електричних схем у відповідності з технічними характеристиками усіх складових системи.

Побудова шкали класифікації окремих показників комфортності буде проведено з використанням прямий метод нечіткого моделювання побудови функцій приналежності.

Для визначення загального рівня комфортності буде використано ранговий метод оцінки параметрів.

Таблиця 5.3

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність техно логій
1.	Розробка структурної схеми	Використання ПК та необхідних програм для розробки, технічні характеристики усіх складових системи (датчики, мікроконтролер)	Наявна технологія	Доступна
2.	Побудова шкали класифікації окремих показників комфортності	Методи нечіткого моделювання	Розроблена технологія	Доступна

Продовження табл.5.3

3.	Спосіб визначення загального рівня комфортності	Способи об'єднання вербальних характеристик даних	Наявна технологія	Доступна
----	---	---	----------------------	----------

Згідно з даною інформацією можемо стверджувати, що технологічна реалізація для здійснення ідеї проекту доступна. Вона можлива, тому що всі технології наявні на ринку. Проаналізувавши усі доступні варіанти способів для визначення загального рівня комфортності в приміщенні можна зробити висновок що для реалізації проекту безперечно найбільше підходить система прийняття рішень з нечіткою логікою.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (Таблиця 5.4).

На ринку представлено два основних конкуренти. Це продукти фірми RST та AcuRite. Отже, їх було обрано як головних гравців. Проаналізувавши ціни потенційних клієнтів визначаємо загальний обсяг продаж в межах 100 000 грн. Динаміка ринку зростає, оскільки дана продукція використовується в приміщеннях де працюють люди, а здоров'я людей – це запорука продуктивної роботи як колективу, так і компанії в цілому. Єдине, що необхідно врахувати, це відповідність вимірних значень показників мікроклімату нормам, наведеним в ГОСТах.

Таблиця 5.4

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги до ГОСТів
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	75%

Проаналізувавши Таблицю 5.4 робимо висновок, що даний стартап-проект є рентабельним та зможе швидко окупиться. Тому, система вимірювання рівня комфортності мікроклімату в робочих приміщеннях є доволі привабливою для інвестицій.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (Таблиця 5.5).

Таблиця 5.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Правильні значення вимірних величин, виконання декількох функцій та простота у використанні	Промислові підприємства, заводи, бізнес-центри	Фінансові можливості.	Висока якість, точність вимірних значень; багатофункціональність; оптимальне співвідношення ціни та якості
		Інспекційні установи		

Проаналізувавши потреби споживачів можемо зробити висновок, що даний стартап-проект їх задовольняє. Основними споживачами є промислові підприємства, заводи, бізнес-центри та інспекційні установи, адже для цієї групи споживачів дана система допоможе здійснювати контроль параметрів мікроклімату у приміщеннях, оскільки це запорука здоров'я та нормальної працездатності людей.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають. Аналіз факторів дає змогу побачити можливості і загрози. Методика визначення ринкових можливостей і загроз дозволяє оцінити вплив зовнішніх чинників. При застосуванні даної технології існують певні загрози (Таблиця 5.6).

Таблиця 5.6

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Висока конкуренція	Зменшення продажу	Збільшення рекламних акцій
2.	Криза	Зменшення продажу	Зменшення ціни на товар
3.	Новоутворені фірми	Збільшення конкурентоспроможних методів для визначення рівня комфортності в приміщенні	Вдосконалення методу
4.	Нові технології	Застарілість товару	Модернізація методу, впровадження нових технологій
5.	Фактор попиту	Важко визначити точні темпи зростання ринку	Зменшення кількості продукції, низька собівартість може зробити можливі збитки незначними

Аналіз даних факторів показує, що найбільшу загрозу завдають поява нових фірм та технологій. Вони призводять до створення нових методів для визначення рівня комфортності в приміщенні. Це у свою чергу призводить до можливих змін у розробленому способі та до запровадження нових технологій.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (Таблиця 5.7).

Таблиця 5.7

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Високий попит на продукт	Збільшення виробництва товару та товарообігу	Збільшення одиниць товару, модифікація товару
2.	Впровадження нових технологій	Покращення основних параметрів продукту	Підвищення попиту та ціни
3.	Потреба в доступній методиці	Актуальна розробка з низькою собівартістю	Залучення іноземних інвестицій
4..	Фактор збуту	Можливість впровадження програми через національну закупівлю	Сертифікація товару відповідно до міжнародних стандартів, збільшення попиту для національних тендерів
5.	Зростання рівня доходів населення	Збільшення кількості продажів, підвищення ціни	Збільшення одиниць товару, підвищення ціни

Можемо зробити висновок, що найбільший вплив мають фактори впровадження нових технологій та збуту. Це призводить до покращення основних параметрів продукту та збільшення попиту для майбутніх пристроїв.

Далі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (Таблиця 5.8).

Таблиця 5.8

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Окремі покупці і продавці не можуть впливати на ціну.	Діяльності підприємства зосереджена на якість товару.
2. Національна конкуренція	Між компаніями всередині країни.	Зміна об'ємів виробництва, співпраця з метрологічними службами для забезпечення високої точності товару
3. Внутрішньогалузева конкуренція	Конкурентна боротьба між підприємствами в межах однієї галузі.	Формування ринкової вартості товару.
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між товарами одного виду	Унікальність кожного об'єкту; створення модифікацій з розширеним функціоналом
5. Нецінова конкуренція	Вдосконалення якості продукції та умов її продажу.	Зміни у виробництві; додаткові витрати, підвищення рівня довіри клієнтів.

Продовження табл. 5.8

6. Марочна конкуренція	Конкурентні компанії пропонують подібний продукт.	Зниження цін на товар; концентрація діяльності на якісну зміну продукту. Створення власної торгової марки
------------------------	---	---

Проаналізувавши особливості конкурентних середовищ можна зробити висновок, що напрямок, який запропонований для реалізації методу демонструє високу конкурентоспроможність.

Найбільш небезпечними конкурентними середовищами є товарно-видова та нецінова конкуренція. Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.9

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	RST, AcuRite	Високий бар'єр входження в ринок	Невелика собівартість	Невелика собівартість	Є фактори загроз з боку замінників
Висновки:	Інтенсивне	Є можливості входу в ринок, є потенційні конкуренти.	Збільшення співвідношення ціни та якості	Збільшення співвідношення ціни та якості	Присутнє

За аналізом Таблиці 5.9 можна зробити висновок, що в запропонованому проекті є всі можливості потрапити на ринок, враховуючи простоту конструкції та відмінність від існуючих аналогів.

На основі аналізу конкуренції, проведеного (Таблиця 5.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (Таблиця 5.2), вимог споживачів до товару (Таблиця 5.5) та факторів маркетингового середовища (Таблиці 5.6-5.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за Таблицею 5.10

Таблиця 5.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Точність	Достовірність результатів підтверджується математичними розрахунками
2	Швидка передача даних	Дає можливість миттєвого отримання параметрів для оцінки кліматичних умов
3	Зручний інтерфейс	Забезпечує споживачу просте використання
4	Мобільність	Може використовуватись як на заводах, побутових приміщеннях, так і в персональних цілях
5	Багатофункціональність	Проводить одночасне вимірювання 4 параметрів кліматичних умов та видає висновок щодо рівня комфортності мікроклімату в приміщенні

Проаналізувавши фактори конкурентоспроможності робимо висновок, що запропонований метод має велику кількість суттєвих факторів, які мають

безпосередній вплив на можливість конкурування даної системи та дають змогу розглядати його для залучення коштів у проект.

Таблиця 5.11

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Системи вимірювання рівня комфортності мікроклімату в робочих приміщеннях» (Comfort Climatic Condition)

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ССС						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Точність	18					+		
2	Швидка передача даних	17							+
3	Зручний інтерфейс	18					+		
4	Мобільність	17						+	
5.	Багатофункціональність	19					+		

З Таблиць 5.10 та 5.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нової системи відтворення зразкових сигналів. Основною перевагою та головним досягненням є багатофункціональність, точність та зручний інтерфейс.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (Таблиця 5.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (Таблиця 5.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів –

фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 5.12

SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>Багатофункціональність</p> <p>Точність</p> <p>Зручний інтерфейс</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Швидка передача даних</p> <p>Початкове впровадження у застарілі системи</p>
<p>Можливості:</p> <p>збільшення виробництва товару та товарообігу;</p> <p>покращення основних параметрів продукту;</p> <p>актуальна розробка з низькою собівартістю;</p> <p>можливість впровадження програми через національну закупівлю;</p> <p>збільшення кількості продажів, підвищення ціни;</p> <p>залучення іноземних інвестицій;</p> <p>патентування нових ідей, методів.</p>	<p>Загрози:</p> <p>зменшення продажу;</p> <p>збільшення конкурентоспроможних методів для визначення рівня комфортності в приміщенні;</p> <p>застарілість товару;</p> <p>фактор попиту;</p> <p>наявність іноземних та поява внутрішньодержавних конкурентів</p>

З Таблиці 5.12 робимо висновок, що сильні сторони продукту – багатофункціональність системи, точність та зручний інтерфейс, в той час як слабкі – швидка передача даних, початкове впровадження у застарілі системи, відомі міжнародні марки, якими користуються для рішення даної проблеми.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний

оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. Таблиця 5.9, аналіз потенційних конкурентів). Альтернативи ринкового впровадження основі SWOT-аналізу наведені в Таблиці 5.13.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 5.13

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	2місяць
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Низька	9 місяців
3	Стратегія виходу з ринку	Висока	3 місяці

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.14

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислові підприємства	Готові	Зростає	Наявні	Можливість входу на 75 %
2	Заводи	Готові	Зростає	Наявні	Можливість входу на 75 %
3	Бізнес-центри	Частично готові(50%)	Середній попит	Наявні	Можливість входу на 50 %
<p>Які цільові групи обрано:</p> <p>Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із промисловими підприємствами та заводами.</p>					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів обираємо цільову групу приватні підприємства та заводи. Отже, компанія зосереджується на двох сегментах – вона обирає стратегію диференційованого маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.15

Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Диференційований маркетинг	Багатофункціональність, мобільність, зручний інтерфейс	Стратегія спеціалізації

Альтернативною стратегією була обрана нейтралізація ринкових загроз сильними сторонами стартапу тому, що вона є найшвидшою у виконанні. В якості стратегії охоплення ринку обрано стратегію диференційований маркетинг – компанія працює із кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Базовою стратегією обрано стратегію спеціалізації. Основна її мета полягає в задоволенні потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (Таблиця 5.16).

Таблиця 5.16

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і як?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Частково	Буде шукати нових, а також забирати існуючих у конкурентів	Буде, з удосконаленням. Використання однакового матеріалу для побудови та принцип роботи	Стратегія заняття конкурентної ніші

В якості конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші, оскільки головною особливістю є малий розмір ринкового сегменту.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 5.17

Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (при ключових)
1	Багатофункціональність	На основі специфічних, відчутних характеристик	Проводить одночасне вимірювання чотирьох параметрів кліматичних умов та видає висновок щодо рівня комфортності мікроклімату в приміщенні	Більше можливостей для заощадження часу!
2	Точність	Позиціонування за однією ознакою	Достовірність результатів підтверджується математичними розрахунками, точність до 2%, завдяки зміні датчиків елементної бази системи	Точність вимірювання – для кращого майбутнього!

Продовження табл. 5.17

3	Зручний інтерфейс	Позиціонування за однією ознакою	Забезпечує споживачу просте використання, не потребує додаткового навчання для користування	Просте використання- прагнє до досконалості.
---	-------------------	----------------------------------	---	--

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У Таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами(існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Виконання декількох функцій	Багатофункціональність	Проводить одночасне вимірювання чотирьох параметрів кліматичних умов та видає висновок щодо рівня комфортності мікроклімату в приміщенні

Продовження табл.5.18

2	Правильні значення вимірюваних величин	Точність	Достовірність результатів підтверджується математичними розрахунками; точність до 2%, завдяки зміні датчиків елементної бази системи
3	Простота у використанні	Зручний інтерфейс	Забезпечує споживачу просте використання, не потребує додаткового навчання для користування

Ключові переваги концепції потенційного товару мають три основних вимоги. Ефективність відтворення досягається за рахунок використання системи прийняття рішень з нечіткою логікою.

Таблиця 5.19

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Споживач отримує готовий продукт. Його можна експлуатувати без подальшої обробки		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Точність	Нм	Тх
	2. Швидка передача даних	Нм	Тх
	3. Зручний інтерфейс	Нм	Тх
	4. Мобільність	М	Тх
	5. Багатофункціональність	Нм	Тл
	6. Якість	М	Тх
Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо			

Продовження табл.5.19

	Пакування: пластикова коробка з приладом, USB-кабель та інструкція
	Марка: CCC(Comfort Climatic Conditions)
III. Товар із підкріпленням	До продажу: гарантійний термін 2 роки; можливість оформлення відповідно до бажань замовника;
	Після продажу: знижка на наступні придбання 5 % ; при підписанні договору повне обслуговування та оновлення приладу
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Потенційний товар буде захищено від копіювання за рахунок патентування технології виробництва	

Маємо систему, основним завданням якої є вимірювання параметрів мікроклімату приміщення та видача загального рівня комфортності в даному приміщенні. Система багатофункціональна, швидкодіюча, компактна, зрозуміла для користувача, якісна та дешевша в порівнянні з аналогами. До продажу: гарантійний термін 2 роки та можливість оформлення відповідно до бажань замовника. Після продажу: знижка на наступні придбання 5 % і при підписанні договору повне обслуговування та оновлення приладу.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (Таблиця 5.20).

Таблиця 5.20

Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	10000	15000	від 100 000₴ до «необмежений»(різні підприємства, заводи тощо)	1500-20000 (оскільки надається більш якісні показники характеристик приладу)

Встановлюємо верхню та нижню межі ціни на товар 1500 та 20000 грн , так можуть надаватись додаткові послуги при впровадженні системи. Встановлювати ціну нижче 1500 грн є досить не вигідним рішенням.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (Таблиця 5.21):

Таблиця 5.21

Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Обережність до альтернативних технологій	1.Встановлення контакту; 2.Інформування; 3.Транспортування;	Канали першого і другого рівня: 1.Ми(виробники приладу);	1.Знижки; 2.Реклама; 3.Договір на дострокове користування

Продовження табл.5.21

		4.Продаж окремих частин; 5.Надання додаткових послуг (якщо був підписаний договір)	2.Розповсюджувач нашої продукції	нашими технологіями
--	--	---	----------------------------------	---------------------

У процесі вирішення питання про канал збуту було обрано вид збуту з першого і другого рівня, що включає в себе як посилкову торгівлю, так і оптові й роздрібні продажі товару. Основні функції, які мають виконуватися це встановлення контакту, інформування, транспортування, продаж окремих частин, надання додаткових послуг.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (Таблиця 5.22).

Таблиця 5.22

Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Орієнтація на впровадження системи	1.Електронна пошта;	Багатофункціональність;	Інформування споживача;	Контент-маркетинг; Публікації

Продовження табл.5.22

1	всіх доступних галузей	2.Публікації (інженерні інтернет- публікації); 3.Зустрічі	Точність; Зручний інтерфейс	Розвиток попиту; Пошук партнерів.	
---	------------------------------	--	-----------------------------------	--	--

Основним завданням рекламної компанії є донесення інформації до споживачів щодо існування даної системи, її ефективність та інші позитивні властивості.

Результатом пункту 5 є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

Висновки до РОЗДІЛУ 5: Провівши аналіз стартап проект можна зробити висновок, що є висока потреба в розробці даного продукту. Такий моніторинг параметрів мікроклімату необхідний, адже сучасна людина проводить більшу частину свого часу в закритих приміщеннях. А мікроклімат цих приміщень впливає на наше здоров'я і самопочуття. Характеристики більшості його техніко-економічних показників є рівними з аналогічними системами, а деякі з них навіть краще. Вартість даної системи є значно нижчою за аналогічні системи. На відміну від аналогів, дана система має простий та зрозумілий інтерфейс, компактні розміри, високу точність та володіє спеціальною функцією видачі загального рівня комфортності, яка відсутня в аналогічних системах. Проект має високу рентабельність – 75%. Продукт має багато можливостей, таких як покращення основних параметрів продукту, можливість впровадження програми через національну закупівлю, патентування нових ідей, методів збільшення кількості продажів, підвищення ціни, залучення іноземних інвестицій

В якості альтернативної стратегії було обрано нейтралізацію ринкових загроз сильними сторонами стартапу оскільки вона є найшвидшою у виконанні. Для

стратегії охоплення ринку обрано диференційований маркетинг – компанія працює із кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Базовою стратегією обрано стратегію спеціалізації. Основна її мета полягає в задоволенні потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти. В якості конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші.

Узагальнюючи можна сказати, що система вимірювання рівня комфортності мікроклімату в робочих приміщеннях є рентабельною та вигідною для інвестицій.

ВИСНОВКИ

При виконанні даної магістерської дисертації розроблено систему вимірювання рівня комфортності мікроклімату в робочих приміщеннях, яка проводить вимірювання таких показників: температура повітря, вологість повітря, швидкість руху повітря та концентрація вуглекислого газу в повітрі. Система робить висновок щодо рівня комфортності мікроклімату в приміщенні. В дисертації наведено вимоги, яким повинна відповідати розроблена система.

Було розроблено структурну схему для побудови даної системи і виділено структурні блоки, які допоможуть задовольнити поставлені до неї вимоги. Також обрано елементну базу на основі якої можна буде побудувати систему.

В дисертації наведено аналіз складових похибок кожного вимірювального каналу системи. Враховуючи похибки вимірювальних каналів було побудовано шкали і функції приналежності та обрано терм-множини лінгвістичних змінних: ДК «дискомфорт», СК «субкомфорт», К «комфорт».

Також, наведено приклад для визначення алгоритму роботи нечіткого класифікатора, проаналізувавши який було прийнято рішення про проведення багаторазових вимірювань всіх параметрів мікроклімату та використання їх середніх значень для подальшої обробки.

Для визначення загального рівня комфорту та отримання висновку щодо стану мікроклімату в приміщенні, було розроблено алгоритм підсистеми нечіткої логіки. Вхідними величинами є значення виміряних температури повітря, відносної вологості повітря, швидкості руху повітря та концентрації вуглекислого газу в повітрі. Вихідним значенням є висновок щодо комфортності мікроклімату в приміщенні. Для отримання висновку було розглянуто два методи: ранговий метод та використання емулятора середнього арифметичного вербальних вибірок – оператор OWA. На аналізі цих методів отримано класифікацію рівнів комфортності мікроклімату в приміщенні.

Завершальним етапом магістерської дисертації є розробка стартап-проекту. Під час роботи над стартап-проектом проведено оцінку можливих ризиків та факторів,

які зможуть впливати на систему під час її виходу на ринок. Було проведено аналіз конкурентів та обрано необхідні стратегії, які допоможуть отримати прибуток в умовах конкуренції. Також було проаналізовано групи потенційних клієнтів та їх поведінку.

В ході роботи над дисертацією було виконано всі поставлені завдання. Результати дисертації опубліковані в матеріалах V Міжнародної науково-практичної конференції «Обчислювальний інтелект»: «Способи отримання результату вимірювання параметрів мікроклімату промислових приміщень за шкалою з нечіткою лінгвістичною змінною», 257 – 258 с. та в матеріалах XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування»: «Способи врахування невизначеності вимірювання при застосування шкали з нечіткою лінгвістичною змінною», 454 – 456 с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основи охорони праці – Жидецький В.Ц. – 2.2.1. Вплив параметрів мікроклімату на організм людини [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://westudents.com.ua/glavy/3437-221-vpliv-parametriv-mkroklimatu-na-organizm-lyudini.html>.
2. Нормування та контроль параметрів мікроклімату [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sci.house/trudovoe-pravo-ukrainyi-scibook/normuvannya-kontrol-parametriv.html>.
3. Нормування параметрів мікроклімату [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/580.html>.
4. Робоча зона та повітря і мікроклімат робочої зони [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://studopedia.su/18_153859_robocha-zona-ta-povitrya-i-mikroklimat-robochoi-zoni.html.
5. Робоча зона та повітря робочої зони. Мікроклімат робочої зони. Нормування та контроль параметрів мікроклімату [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/6273693/page:2/>.
6. Забруднення повітря виробничих приміщень [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studopedia.org/7-156695.html>.
7. Pedro Carvalhaes Dias, Flávio José Oliveira Moraes, Maria Bernadete de Moraes França, Elnatan Chagas Ferreira, Andreu Cabot, José A. Siqueira Dias. Autonomous Multisensor System Powered by a Solar Thermoelectric Energy Harvester With Ultralow-Power Management Circuit// IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. v.64, №11, 2015, 2918 – 2925.
8. М.М. Ткач, В.М. Назаренко, В.Й. Лобов, М.О. Котляр « СИСТЕМА КОНТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТУ В ПРИМІЩЕННІ НА БАЗІ КОНТРОЛЕРУ SIEMENS TC65T» // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2010. - № 17. - С. 130-138.
9. Моголівець Ю.І., Яремчук Н.А. «СПОСОБИ ОТРИМАННЯ РЕЗУЛЬТАТУ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРОМИСЛОВИХ

ПРИМІЩЕНЬ ЗА ШКАЛОЮ З НЕЧІТКОЮ ЛІНГВІСТИЧНОЮ ЗМІННОЮ» //Міжнародний науковий симпозіум «Інтелектуальні рішення». Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): праці між нар. наук.-практ. Конф. – 2019. – с.257-258.

10. Пегат А. «Нечёткое моделирование и управление» / пер. с англ.– М.:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009-789с.

11. Державні будівельні норми України. «Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – [Набрання чинності від 01.01.2014]. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 140с.

12. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99

13. Яремчук Н.А. Інтелектуальні засоби вимірювальної техніки: Навчальний посібник: Том 1. Методологія інтелектуальних засобів вимірювальної техніки/Н.А.Яремчук.-К:Корнійчук, 2017.-208с.

14. Franceschini F., Galetto M., Vazetto M. Ordered Samples Control Charts for Ordinal Variables//Quality Engineering. V.16, № 4, 2004, 515-524.

15. Змитрович А.І. Інтелектуальні інформаційні системи/ А.І.Змитрович.-Мн.: Тетра Системс, 1997.-348 с.

16. Люгер Дж.Ф. Штучний інтелект: стратегії і методи рішення складних проблем, 4-е видання, Пер. з англ. – М.: Видавничий дім «Вільямс», -864с.

17. Yager R.R., Filev D.R. Essentials of Fuzzy Modeling and Control.-New York, USA: I.Wiley, 1994.