

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МР.КІ – 27.00.000 ПЗ

Група КІм-24-2

Дмитраш Василь

2025

Міністерство освіти і науки України

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних систем і мереж

Дмитраш Василь Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 004.9

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розробка апаратно-програмних засобів моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами MQ-135, MQ-7, MQ-4

Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

/ В.А. Дмитраш /

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник – **Бабчук Сергій Миронович, к.т.н., доцент**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

(посада)

(підпис)

(дата)

/ С.І. Мельничук /

(ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ – 2025 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних систем і мереж

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КСМ

(С.І. Мельничук)

« » 2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Дмитрашу Василю Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка апаратно-програмних засобів моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами MQ-135, MQ-7, MQ-4

керівник проекту (роботи) Бабчук С.М., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від «05» 12.2025 року № 755/7

2. Термін подання студентом роботи 10.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Матеріали і результати отримані під час проходження переддипломної практики, методичні вказівки, технічна література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Аналіз предметної області та існуючих засобів виявлення шкідливих речовин в повітрі. 2 Визначення ЛСІМ для системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі. 3. Розробка апаратно-програмних засобів моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами MQ-135, MQ-7, MQ-4

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Мойсеєнко О.В.		

7. Дата видачі завдання 15 вересня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Постановка задачі та збір інформації	16.09.2025-25.09.2025	виконано
2	Аналіз предметної області та існуючих засобів виявлення шкідливих речовин в повітрі	26.09.2025-10.10.2025	виконано
3	Визначення логіко-статистичної інформаційної моделі для системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі	11.10.2025-21.10.2025	виконано
4	Розробка апаратно-програмних засобів моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами MQ-135, MQ-7, MQ-4	22.10.2025-29.11.2025	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2025-10.12.2025	виконано

Студент _____
(підпис)

Дмитраш.В.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бабчук С. М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даний час в зв'язку з постійними атаками на енергетичну сферу України, українці з метою забезпечення належних умов для перебування людей в будинках зимою, обладнують їх генераторами, пічками і іншими нагрівальними приладами. Крім того, в більшості помешкань в Україні є газові прилади для приготування їжі з централізованою подачею газу з газотранспортної системи або від балонів з зрідженим газом. Тому актуальним завданням є контроль витoku природного газу. Найбільш небезпечним продуктом згорання є оксид вуглецю (CO), який також називають чадним газом. Чадний газ не має запаху, смаку та кольору і тому його наявність неможливо встановити без спеціальних пристроїв. Також важливо контролювати в повітрі в приміщеннях наступні шкідливі речовини: вуглекислий газ (CO₂), аміак (NH₃), оксиди азоту (NO та NO₂), дим.

Під час виконання другого розділу було досліджено існуючі логіко-статистичні інформаційні моделі. Встановлено, що для розроблюваної системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі доцільно використати ЛСІМ-1.

Під час виконання магістерської роботи розроблено апаратно-програмні засоби моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами MQ-135, MQ-7, MQ-4, які дозволять виявляти шкідливі речовини в повітрі, що сприятиме підвищенню безпеки користувачів таких систем.

Ключові слова: моніторинг, оповіщення, ЛСІМ-1, природний газ, оксид вуглецю, чадний газ, вуглекислий газ, аміак, оксиди азоту.

ABSTRACT

Currently, due to constant attacks on the energy sector of Ukraine, Ukrainians, in order to ensure proper conditions for people to stay in their homes in the winter, equip them with generators, stoves and other heating devices. In addition, most homes in Ukraine have gas appliances for cooking with a centralized gas supply from the gas transportation system or from liquefied gas cylinders. Therefore, the current task is to control the leakage of natural gas. The most dangerous combustion product is carbon monoxide (CO), which is also called carbon monoxide. Carbon monoxide has no odor, taste and color and therefore its presence cannot be detected without special devices. It is also important to control the following harmful substances in the air in the premises: carbon dioxide (CO₂), ammonia (NH₃), nitrogen oxides (NO and NO₂), smoke.

During the implementation of the second section, existing logical-statistical information models were investigated. It was established that for the developed system of monitoring and notification of the presence of harmful substances in the air, it is advisable to use LSIM-1.

During the master's thesis, hardware and software tools for monitoring and notification of the presence of harmful substances in the air based on LSIM-1 were developed using MQ-135, MQ-7, MQ-4 devices, which will allow detecting harmful substances in the air, which will contribute to increasing the safety of users of such systems.

Keywords: monitoring, notification, LSIM-1, natural gas, carbon monoxide, carbon dioxide, ammonia, nitrogen oxides.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В ПОВІТРІ.....	7
1.1 Аналіз предметної області.....	7
1.2 Аналіз існуючих засобів виявлення шкідливих речовин в повітрі.....	4
2 ВИЗНАЧЕННЯ ЛОГІКО-СТАТИСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ОПОВІЩЕННЯ НАЯВНОСТІ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В ПОВІТРІ.....	233
3 РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ТА ОПОВІЩЕННЯ НАЯВНОСТІ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В ПОВІТРІ НА ОСНОВІ ЛСІМ-1 ЗАСОБАМИ MQ-135, MQ-7, MQ-4.....	28
3.1 Розробка структурної схеми системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі.....	28
3.2 Вибір апаратних засобів для системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі.....	29
3.3 Розробка програмного забезпечення для системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі.....	40
3.4 Створення телеграм-бота.....	53
3.5 Перевірка працездатності розробленої системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4.....	55
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ.....	81

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

AQI – Air Quality Index;

BLE – Bluetooth Low Energy;

BR – Basic Rate;

EDR – Enhanced Data Rate;

I2C – Inter-Integrated Circuit;

I2S – Integrated Inter-IC Sound;

IR – Infrared;

LCD – Liquid Crystal Display;

OLED – Organic Light-Emitting Diode;

PWM – Pulse-Width Modulation;

SDIO – Secure Digital Input/Output;

SPI – Serial Peripheral Interface;

TVOC – Total Volatile Organic Compounds;

UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter;

USB – Universal Serial Bus;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ЛСІМ – логіко-статистична інформаційна модель;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція.

ВСТУП

В даний час в зв'язку з постійними атаками на енергетичну сферу України, українці з метою забезпечення належних умов для перебування людей в будинках зимою, обладнують їх генераторами, пічками і іншими нагрівальними приладами. Крім того, в більшості помешкань в Україні є газові прилади для приготування їжі з централізованою подачею газу з газотранспортної системи або від балонів з зрідженим газом.

Актуальність теми даної роботи. Враховуючи вищевказане, актуальним завданням є контроль витоку природного газу. Найбільш небезпечним продуктом згорання є оксид вуглецю (CO), який також називають чадним газом. Чадний газ не має запаху, смаку та кольору і тому його наявність неможливо встановити без спеціальних пристроїв. Також важливо контролювати в повітрі в приміщеннях наступні шкідливі речовини: вуглекислий газ (CO₂), аміак (NH₃), оксиди азоту (NO та NO₂), дим.

Об'єктом дослідження є зміна концентрації шкідливих речовин в повітрі.

Предметом дослідження є виявлення шкідливих речовин в повітрі.

Метою магістерської роботи є розробка апаратно-програмних засобів моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами MQ-135, MQ-7, MQ-4.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- ~ провести аналіз предметної області та існуючих засобів виявлення шкідливих речовин в повітрі;
- ~ визначити ЛСІМ для системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі;
- ~ розробити структурну схему системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі;
- ~ здійснити вибір апаратних засобів для системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі;

~ розробити програмне забезпечення для системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі.

Методи дослідження. Під час здійснення досліджень існуючих засобів виявлення шкідливих речовин в повітрі було використано метод порівняльного аналізу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці апаратно-програмних засобів моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами MQ-135, MQ-7, MQ-4, що дозволить виявляти та оповіщати про шкідливі речовини в повітрі, що в свою чергу дозволить користувачам системи оперативно приймати рішення щодо дій направлених на недопущення негативного впливу на організм людей шкідливих речовин в повітрі.

Апробація результатів магістерської роботи. Положення магістерської роботи обговорювались на ІХ Міжнародній студентській науковій конференції “Актуальні питання та перспективи проведення наукових досліджень”.

Публікації. Опубліковані тези доповіді в збірнику матеріалів ІХ Міжнародної студентської наукової конференції “Актуальні питання та перспективи проведення наукових досліджень” [2].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В ПОВІТРІ

1.1 Аналіз предметної області

В даний час в зв'язку з постійними атаками на енергетичну сферу України, українці з метою забезпечення належних умов для перебування людей в будинках зимою, обладнують їх генераторами, пічками і іншими нагрівальними приладами. Крім того, в більшості помешкань в Україні є газові прилади для приготування їжі з централізованою подачею газу з газотранспортної системи або від балонів з зрідженим газом. Тому дуже важливе розуміння загроз які супроводжують використання вищевказаного обладнання та забезпечення людей недорогими та безпечними засобами їх контролю [3].

Найбільш небезпечним продуктом згорання є оксид вуглецю (CO), який також називають чадним газом. Чадний газ не має запаху, смаку та кольору і тому його наявність неможливо встановити без спеціальних пристроїв. Також необхідно відмітити, що даний газ негативно впливає на організм людини навіть у невеликих концентраціях і може спричинити смерть людям [3].

Генератори та пічки, що мають тріщини, як правило є основними джерелами чадного газу. Тому необхідно забезпечувати чищення та цілісність пічок, а також належним чином експлуатувати генератори [4].

Під час різкого похолодання багато людей намагається обігріти оселю всіма доступними способами і в тому числі шляхом використання газових плит та духовок. Це дуже небезпечно, адже при тривалому горінні кількість кисню в повітрі в приміщенні постійно зменшується, а при нестачі кисню навіть при експлуатації справних побутових газових плит і духовок буде утворюватися чадний газ, який швидко накопичується в крові та викликає нудоту, головний біль, запаморочення та навіть може призвести до смерті людей [5].

Газові духовки та плити та з поганими пальниками теж є потенційними джерелами утворення чадного газу. Тому не можна користуватися несправними газовими духовками та плитами.

Погана вентиляція та недостатній доступ кисню в приміщення теж може спричинити накопичення чадного газу в таких приміщеннях.

Враховуючи вищевказане необхідно відмітити, що чадний газ утворюється при [3]:

- горінні вуглецевих сполук;
- при використанні несправних побутових газових приладів (зокрема, плит і духовок);
- при неправильній експлуатації побутових газових приладів (використання побутових газових плит та духовок для опалення приміщень, а не для приготування їжі);
- при порушенні правил експлуатації газових приладів (в тому числі не забезпеченні належної вентиляції, що унеможлиблює достатній доступ свіжого повітря в приміщення).

Чадний газ виділяється під час роботи [3]:

- двигунів внутрішнього згорання автомобілів, які розміщені в гаражі який конструктивно є частиною житлової або службової будівлі і через двері якого чадний газ може потрапляти в житлові чи службові приміщення;
- портативних бензинових генераторів;
- газових, дров'яних та вугільних печей;
- вугільних грилів;
- камінів;
- газових обігрівачів;
- газових водонагрівачів.

У кровоносній системі людини чадний газ об'єднується з гемоглобіном (білком, який забезпечує в організмі людини транспортування кисню), що унеможлиблює для крові перенесення і доставку кисню до тканин, а в такому випадку організм людини швидко починає відчувати нестачу кисню [3].

Ступінь отруєння чадним газом та симптоматика залежать від часу та об'єму чадного газу який вдихнула людина. Також суттєве значення має концентрація чадного газу в повітрі. Вдихання людиною протягом тривалого часу навіть невеликих концентрацій чадного газу, може призвести до серйозних наслідків для здоров'я [3].

Необхідно відмітити, що реакція на отруєння чадним газом може відбутися за дуже короткий проміжок часу (буває і за кілька хвилин). Люди, що перебувають у стані алкогольного сп'яніння або які сплять, можуть смертельно отруїтися чадним газом ще до появи симптомів [3].

Оскільки чадний газ неможливо відчутися на запах чи побачити, тому його концентрацію в повітрі можна встановити тільки за допомогою спеціального обладнання [3].

Тільки за грудень 2024 року в Україні було 11 випадків отруєння чадним газом (в тому числі загинули 5 людей) [6,7].

В грудні 2017 року в центрі міста Івано-Франківськ на вулиці Січових Стрільців загинула від удушення чадним газом ціла сім'я із шести чоловік (Оксана і Сергій Гордієнки і їх четверо дітей) [8-12].

Також важливо контролювати в повітрі в приміщеннях наступні шкідливі речовини:

- вуглекислий газ (CO_2);
- аміак (NH_3);
- оксиди азоту (NO та NO_2);
- дим.

Різні дослідження свідчать про те, що підвищення концентрації вуглекислого газу (CO_2) у приміщенні впливає на погіршення працездатності людей [13-14]. Зокрема, під час одного із досліджень двадцять два учасники зазнали впливу CO_2 у концентрації 600, 1000 та 2500 ppm у приміщеннях, які схожі на офіс, у шести групах. Кожна група зазнала цих умов протягом трьох 2,5-годинних сеансів, кожен протягом 1 дня, з рівномірним порядком впливу між групами. При концентрації 600 ppm CO_2 надходив із зовнішнього повітря та

дихання учасників. Вищі концентрації були досягнуті шляхом введення надчистого CO₂. Швидкість вентиляції та температура були постійними. За кожної умови учасники проходили комп'ютерний тест на ефективність прийняття рішень, а також анкети щодо симптомів здоров'я та сприйнятої якості повітря. Учасники та особа, яка проводила тест на прийняття рішень, не мали інформації щодо рівня CO₂. Дані були проаналізовані за допомогою моделей дисперсійного аналізу. За результатами даного експерименту було встановлено, що, відносно 600 ppm, при концентрації 1000 ppm CO₂ спостерігалось помірне та статистично значуще зниження показників у шести з дев'яти шкал ефективності прийняття рішень. При концентрації 2500 ppm спостерігалось значне та статистично значуще зниження показників у семи шкалах ефективності прийняття рішень. Тобто було встановлено прямий негативний вплив CO₂ на працездатність людини [13].

Аміак є безбарвним газом із різким запахом. Навіть у невеликих кількостях аміак сильно подразнює горло, очі та дихальні шляхи. Через те, що аміак легший за повітря, він, як правило, піднімається вгору, проте у закритих і неналежно провітрюваних приміщеннях аміак може розповсюджуватись по всій площі приміщення чи будівлі й становити небезпеку для людей [15]. Шкода заподіяна аміаком залежить від його концентрації у повітрі, шляху потрапляння (контакт з очима чи шкірою, вдихання), тривалості впливу та індивідуальних факторів (здоров'я та вік). Аміак не кумулятивний, але гострий вплив небезпечний [16]. В побуті найпоширенішим джерелом аміаку в повітрі є використання побутових миючих засобів: засоби для миття плит, скла, духовок (з позначкою "з аміаком") в які аміак додають для розчинення жиру [17].

Оксиди азоту (NO_x) є групою газів, до якої входять діоксид азоту (NO₂) та оксид азоту (NO). Найнебезпечнішим є діоксид азоту NO₂. Оксиди азоту (NO_x) утворюються при спалюванні палива за високих температур в котлах, газових плитах, автомобільних двигунах. У приміщенні оксиди азоту (NO_x) погіршують астму, подразнюють дихальні шляхи, підвищують ризик серцевих захворювань і знижують імунітет [18].

Дим і сполуки, які є у ньому, негативно впливають на організм людини, а особливо дим шкідливий для людей похилого віку та дітей, людей з хронічними серцевими захворюваннями та бронхіальною астмою, людей з алергіями. Деякі речовини, які містить дим, можуть накопичуватися в організмі людини та здійснювати на нього негативний вплив. З часом можуть виникати бактеріальні та вірусні захворювання легень. Постійний негативний вплив диму може навіть стати причиною раку легень [19].

Переважає більшість населення України користується побутовим газом (природним газом), який використовується в опалювальних печах та котлах, у газових плитах а також у колонках для нагрівання води [20].

Основну частину природного газу складає метан (CH_4): від 70 до 98%. До складу природного газу можуть входити і більш важкі вуглеводні [21]:

- пропан (C_3H_8);
- етан (C_2H_6);
- пентан (C_5H_{12});
- бутан (C_4H_{10}).

Природний газ також може містити речовини, які не є вуглеводнями [21]:

- сірководень (H_2S);
- водень (H_2);
- азот (N_2);
- вуглекислий газ (CO_2);
- гелій (He) і інші інертні гази.

Природний газ не має запаху і кольору. Для створення умов для виявлення витoku природного газу в нього в малій кількості додають одорант (речовина, що має різкий запах: прілого сіна, гнилої капусти, тухлих яєць). Найчастіше в якості одоранту застосовується етилмеркаптан (16 грам на 1000 куб.м. природного газу) [21].

Необхідно відмітити, що природний газ легший за повітря майже в 2 рази, а тому при витoku він піднімається вгору, а не збирається в низинах. У випадку наявності в повітрі від 4,4% до 17% об'ємних є загроза вибуху [21].

Витік газу надзвичайно небезпечний [20]:

- надихавшись природного газу, людина може отруїтися та навіть померти;
- природний газ може вибухнути від малесенької іскри і це може спричинити руйнування та пожежу.

В зв'язку з вищевказаним газовими приладами необхідно користуватись дуже обережно і завжди виконувати правила безпеки [20].

До витоку природного газу може призвести [20]:

- самовільна газифікація: будинку, садового будинку, квартири;
- користування пошкодженими або несправними газовими приладами;
- несанкціоноване внесення змін в конструкцію газового устаткування та газових приладів;
- самостійний ремонт або перенесення газового обладнання в приміщеннях;
- користування газифікованими опалювальними печами, газовими колонками й іншими газовими приладами коли відсутня тяга в димарі.

Також загроза витоку природного газу є у випадку [20]:

- користування газовими приладами дітьми без нагляду дорослих;
- навантаження на газові труби важких речей чи предметів;
- нанесення ударів (умисних чи з необережності) по газових трубах;
- гасіння вогню закипаючою рідиною: молоко, суп, вода;
- залишення без догляду ввімкненої конфорки і відключення постачання газу (планового, позапланового чи аварійного) і подальшого відновлення його постачання.

Одними з найбільш резонансними випадками витоку газу і його подальшого вибуху були у червні 2020 року та в червні 2023 року (рис.1.1 та рис.1.2) [22].



Рисунок 1.1 - Вибух газу у 10-поверховому будинку 21 червня 2020 року на Позняках в м.Київ



Рисунок 1.2 - Вибух газу та пожежа у 16-поверховому будинку у червні 2023 року в Дніпровському районі міста Києва

21 червня 2020 року, на Позняках в м.Київ стався вибух у 10-поверховому будинку (рис.1.1), який призвів до загибелі п'яти людей та руйнування 16 квартир і пошкодження ще 40 квартир [22,23].

У червні 2023 року в Дніпровському районі міста Києва на 7 або 8 поверсі 16-поверхового житлового будинку відбувся витік газу, який став причиною вибуху та пожежі (рис.1.2), які призвели до загибелі трьох людей та обвалення частини будівлі [22,24].

В зв'язку з вищевказаним контроль та виявлення природного газу в повітрі є дуже важливим і може сприяти запобіганню смертельним трагедіям, шкоді здоров'ю людей та руйнуванню будівель.

1.2 Аналіз існуючих засобів виявлення шкідливих речовин в повітрі

На рисунку 1.3 зображений детектор якості повітря Bosean T-Z01Pro з акумулятором і можливістю зовнішнього живлення [25].



Рисунок 1.3 - Детектор якості повітря Bosean T-Z01Pro

Детектор якості повітря Bosean T-Z01Pro призначений для використання в офісах, квартирах та інших приміщеннях де перебувають люди. Він може зберігати в пам'яті визначені показники якості повітря за останні 8 годин і виводити їх у формі графіка [25].

Bosean T-Z01Pro дозволяє контролювати наявність в повітрі [25]:

- летких органічних сполук (TVOC);
- вуглекислого газу;
- чадного газу;
- формальдегіду;
- найдрібніших крапель рідини і твердих мікрочастинок.

Крім того, Bosean T-Z01Pro вимірює:

- температуру повітря;
- вологість повітря.

Основні особливості Bosean T-Z01Pro [25]:

- за результатами аналізу якості повітря за 5 параметрами здійснюється обчислення та відображення на кольоровій шкалі загального індексу якості повітря AQI;

- звукове сповіщення у випадку перевищення граничної концентрації шкідливих речовин у повітрі.

Основні характеристики детектора якості повітря Bosean T-Z01Pro [25]:

- діапазон вимірювання концентрації найдрібніших крапель рідини і твердих мікрочастинок PM2.5: від 0 до 9993 г/м³;

- діапазон вимірювання концентрації летких органічних сполук: від 0 до 9.999 мг/м³;

- діапазон вимірювання концентрації формальдегіду: від 0 до 1,999 мг/м³;

- відносна вологість при якій датчик належно працює: до 90%;

- температура при якій датчик належно працює: від 0°C до +50°C;

- кольоровий LCD екран 3,2 дюйма з роздільною здатністю 320x240 пікселів;

- живлення: від USB-зарядки (5 вольтів і не менш ніж 1 Ампер) або від вбудованого літієвого акумулятора 1500 mAh;

- USB-інтерфейс: USB Type-C;

- час автономної роботи від вбудованого літієвого акумулятора: до 10 годин.

- мова інтерфейсу та меню: англійська;

- вага: 240 грам;
- вартість: 3600 грн.

На рисунку 1.4 зображений багатофункціональний детектор якості повітря TuYa WiFi, який одночасно вимірює [26]:

- рівень вуглекислого газу CO₂;
- концентрацію твердих часток PM10, PM2.5, PM1.0;
- вміст в повітрі формальдегіду (HCHO);
- вміст в повітрі летких органічних сполук (TVOC);
- вологість повітря;
- температуру повітря.



Рисунок 1.4 - Багатофункціональний детектор якості повітря TuYa WiFi

Основні характеристики багатофункціонального детектора якості повітря TuYa WiFi [26]:

- матеріал: ABS-пластик;
- дисплей: кольоровий LCD-екран;
- діапазон вимірювання вмісту в повітрі PM1.0/PM2.5/PM10: від 0 до 1000 мкг/м³;
- діапазон вимірювання вмісту в повітрі летких органічних сполук (TVOC): від 0 до 9.999 мг/м³;

- діапазон вимірювання вмісту в повітрі вуглекислого газу (CO₂): від 400 ppm до 5000 ppm;
- діапазон вимірювання вмісту в повітрі формальдегідів (HCHO): від 0 до 1.999 мг/м³;
- вимірювання вологості повітря: від 0 до 99%;
- вимірювання температури навколишнього середовища: від 0 до 50 °C;
- батарея: літій-полімерна 350 мАг (в комплекті);
- зарядка: USB Type-C (5 В, 2 А);
- габаритні розміри пристрою: 70 мм × 84 мм × 35 мм;
- вартість: 2499 грн.

Багатофункціональний детектор якості повітря Tuua WiFi можна використовувати в офісах, приватних будинках, теплицях, виробничих цехах, складських приміщеннях та на сільськогосподарських об'єктах. Підтримка WiFi та додаток Tuua дозволяють в режимі реального часу з будь-якої точки світу відстежувати якість повітря в приміщенні де встановлено багатофункціональний детектор якості повітря Tuua WiFi [26].

На рисунку 1.5 зображений сигналізатор витоку метану та пропан-бутану BRJ-502D [27].

Сигналізатор витоку метану та пропан-бутану BRJ-502D призначений для звукового оповіщення користувача про витік побутового газу. Для початку роботи сигналізатор необхідно тільки підключити до електромережі (самостійно нічого налаштувати не потрібно). На цифровому дисплеї сигналізатора відображається поточна концентрація природного газу в повітрі, а у випадку виявлення небезпечної концентрації природного газу у повітрі сигналізатор гучним сигналом 85 Дб попередить користувача про небезпеку [27].



Рисунок 1.5 - Сигналізатор витоку метану та пропан-бутану BRJ-502D

Сигналізатор витоку метану та пропан-бутану BRJ-502D можна використовувати на кухні або в приміщенні з газовим обладнанням (котел або плита). Завод-виробник налаштував сигналізатор витоку метану та пропан-бутану BRJ-502D подавати сигнал тривоги у випадку виявлення концентрації природного газу у повітрі від 0,1% до 0,5%. Максимальна площа приміщення в якому рекомендовано використовувати сигналізатор витоку метану та пропан-бутану BRJ-502D не має перевищувати 30 м². Сигналізатор рекомендується розміщувати на відстані трьох метрів від можливого джерела витоку природного газу. Після підключення сигналізатора до електроживлення йому необхідно близько чотирьох хвилин для самоналаштування.

Основні характеристики сигналізатора витоку метану та пропан-бутану BRJ-502D:

- газ, що виявляється: пропан-бутан, метан;
- максимальна площа приміщення в якому рекомендовано використовувати сигналізатор: до 30 м²;
- концентрація природного газу у повітрі при якій звучить сигнал тривоги: від 0,1% до 0,5%;
- гучність сирени (сигналу тривоги): 85 Дб;
- вологість: до 97%;

- робоча температура: від -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$;
- час самоналаштування сигналізатора: 4 хвилини;
- джерело живлення: 220 В, 60 Гц;
- вага: 100 гр;
- габаритні розміри: 120 мм x 70 мм x 30 мм;
- вартість: 1100 грн.

На рисунку 1.6 зображений датчик чадного газу та датчик диму з сиреною JKD 512COM [28].



Рисунок 1.6 - Датчик чадного газу та датчик диму з сиреною JKD 512COM

Комбінований пристрій в який входять датчик чадного газу та датчик диму з сиреною JKD 512COM призначений для звукового інформування користувача за допомогою сирени, якщо у контрольованому приміщенні виявлено перевищення граничної концентрації чадного газу або виявлено дим в приміщенні [28].

JKD 512COM може автономно працювати від трьох пальчикових батарейок типу AA. Як правило, якісних батарейок вистачає на пів року роботи. JKD 512COM має індикацію розряду батарейок і коли JKD 512COM починає кожні 30 секунд генерувати звуковий сигнал і показувати на своєму дисплеї значок батарейок, - то необхідно замінити батарейки [28].

JKD 512COM не має жодних заводських налаштувань, але на корпусі JKD 512COM є одна єдина кнопка "Test", яка призначена для запуску самотестування

JKD 512COM а також для запуску визначення поточних значень концентрації диму та чадного газу в приміщенні. Для початку роботи JKD 512COM в нього необхідно вставити батарейки та повісити на стелю в приміщенні, де існує можливість утворення пожежі або чадного газу (висота стелі може бути до 12 метрів) [28].

JKD 512COM як датчик чадного газу вмикає звукову сирену, якщо концентрація чадного газу в приміщенні вища 300 ppm. JKD 512COM як пожежний димовий датчик вмикає сирену, якщо концентрація диму в приміщенні вища 0.1% db/m. Крім вищевказаного, користувач може в будь-який момент перевірити поточну концентрацію чадного газу або диму, якщо натисне кнопку “test”.

Основні характеристики датчика чадного газу та датчика диму з сиреною JKD 512COM

- матеріал корпусу: пластик;
- функція запам'ятовування показників вмісту диму або чадного газу в повітрі при виявленні перевищення норми;
- подвійне сповіщення тривоги: світлове миготіння і звукова сигналізація;
- робоча вологість: від 10% до 95%;
- робоча температура: від 0 °C до 50 °C;
- сенсор: електрохімічний датчик монооксиду вуглецю (чадного газу) й інфрачервоний фотоелектричний датчик;
- чутливість датчика диму: від 0.1% db/m до 9.9% db/m;
- діапазон вимірювання вмісту в повітрі чадного газу: від 0 до 999 ppm;
- сповіщення про низький заряд батарей: на дисплеї;
- оповіщення тривоги: на LCD-дисплеї, сиреною та світловим миготінням;
- габаритні розміри: 35 мм (висота) x 104 мм (діаметр).
- живлення (автономне): 3 батарейки типу AA;
- споживаний струм (у разі тривоги): менше 30mA.
- споживаний струм (у режимі очікування): менше 80uA;
- гучність сирени: 80 db;

- площа покриття (контролю) датчиком диму: за висоти стель від 6 до 12 метрів контрольована площа 80 м², а за висоти стель менш 6 метрів контрольована площа становить 60 м²;

- вартість: 1010 грн.

Результати аналізу засобів моніторингу шкідливих речовин в повітрі в наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Характеристики засобів моніторингу шкідливих речовин в повітрі

Характеристика	Bosean T-Z01Pro	Tuya WiFi	BRJ-502D	JKD 512COM
1	2	3	4	5
Вартість, грн	3600	2499	1100	1010
Визначення природного газу в повітрі	-	-	+	-
Визначення чадного газу в повітрі	+	-	-	+
Визначення диму в повітрі	-	-	-	+
Визначення твердих мікрочастинок в повітрі	+	+	-	-
Визначення летких органічних сполук (TVOC) в повітрі	+	+	-	-
Визначення вуглекислого газу (CO ₂) в повітрі	+	+	-	-
Визначення формальдегідів (НСНО) в повітрі	+	+	-	-
Локальна звукова сигналізація у випадку виявлення в повітрі шкідливих речовин	+	+	+	+

Кінець таблиці 1.1

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Локальна світлова сигналізація у випадку виявлення в повітрі шкідливих речовин	+	+	+	+
Віддалене інформування користувача про стан повітря	-	+	-	-
Віддалене сповіщення користувача у момент виявлення в повітрі шкідливих речовин	-	-	-	-

З таблиці 1.1 видно, що:

- жоден з розглянутих засобів моніторингу не здійснює віддалене сповіщення користувача у момент виявлення в повітрі шкідливих або небезпечних речовин;

- жоден з проаналізованих засобів моніторингу не контролює всі розглянуті шкідливі речовини в повітрі;

- щоб контролювати вміст в повітрі природного газу, чадного газу, диму, летких органічних сполук (TVOC), вуглекислого газу (CO₂) необхідно використовувати як мінімум три засоби (TuYa WiFi, BRJ-502D, JKD 512COM) загальною вартістю 4609 грн.

В зв'язку з вищевказаним актуальним завданням є створення апаратно-програмних засобів моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ЛОГІКО-СТАТИСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ОПОВІЩЕННЯ НАЯВНОСТІ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В ПОВІТРІ

Під час моніторингу деяких процесів достатньо забезпечити належний контроль за відхиленням даного процесу від норми.

Під час роботи системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі нормою є стан коли в повітрі не має шкідливих речовин і система контролю працює належним чином. У випадку виявлення що контрольовані показники перевищують норму, це буде ознакою того що в повітрі є шкідливі речовини. У випадку виявлення що контрольовані показники менші норми, то це буде ознакою того що система ймовірно працює некоректно і користувачу необхідно перевірити її працездатність.

Під час виконання моніторингу стану об'єкта можуть бути виявлені відхилення від норми [29-35]:

- за динамікою;
- за спектром;
- за глобальною дисперсією.
- за фазою;
- за амплітудою.

В цілому оцінити стан досліджуваного об'єкта дозволяє глобальна дисперсія, яку обчислюють використовуючи інформаційну частину матриці (так званий нормалізований коефіцієнт взаємкореляції). П'яту логіко-статистичну інформаційну модель (ЛСІМ-5) застосовують для визначення тенденції деградації функції стану об'єкта та для оцінки загального стану об'єкта [29].

На рисунку 2.1 наведено графіки зміни глобальної дисперсії.

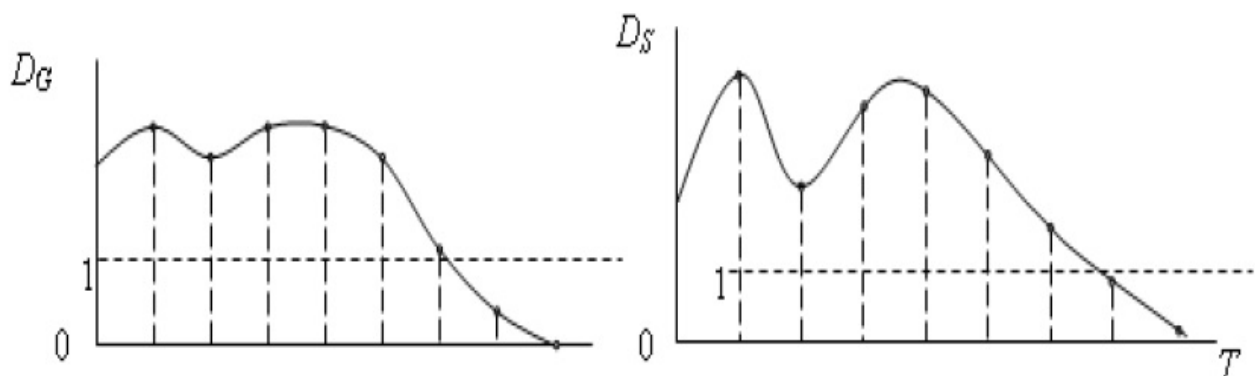


Рисунок 2.1 - Графіки зміни глобальної дисперсії

В більшості випадків, відхилення стану об'єкта від визначеної норми на базі оцінки глобальної дисперсії (ЛСІМ-5) зумовлює необхідність належної оцінки загального стану об'єкта [29].

За допомогою ЛСІМ-4 можна здійснювати моніторинг відхилення стану об'єкта по спектру (рис.2.2):

$$L_4 = \begin{cases} 0, S(w) \in \varepsilon_4 \\ 1, S(w) \ni \varepsilon_4 \end{cases}$$

За допомогою аналізатора спектра користувач може за спектром виявляти зміни станів об'єктів.

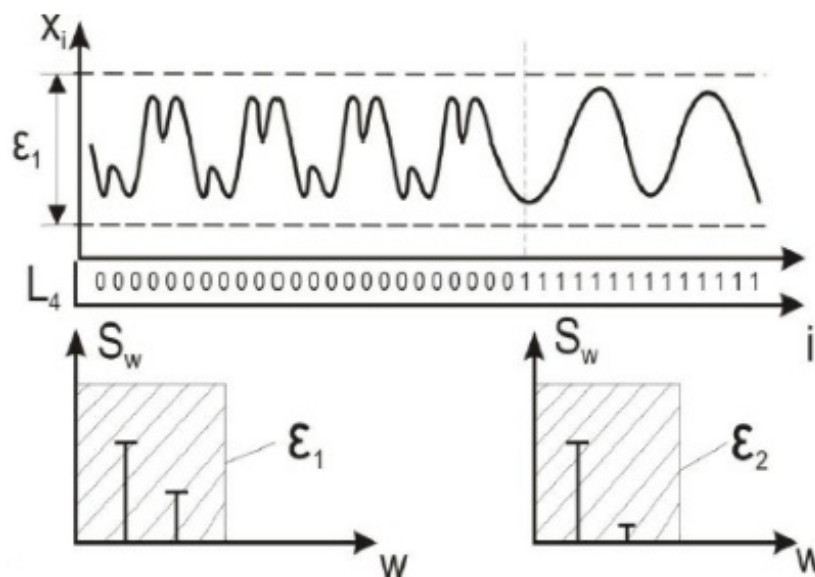


Рисунок 2.2 - ЛСІМ-4

В конкретній ТЧБ між нормованими і центрованими автокореляційними функціями $\rho_{xy}(j)$ і базисною функцією $w \in$ коефіцієнт взаємної кореляції $S(w)$. Як правило, $w = \cos w(j)$ [29].

Перевага ЛСІМ-4 полягає в забезпеченні спектрального моніторингу станів об'єкта [29].

ЛСІМ-3 може виконувати моніторинг відхилення станів об'єкта від норми за фазою (рис.2.3) [29]:

$$L_3 = \begin{cases} 0, \rho_{xy}(0) > \varepsilon_3 \\ 1, \rho_{xy}(0) \leq \varepsilon_3 \end{cases}$$

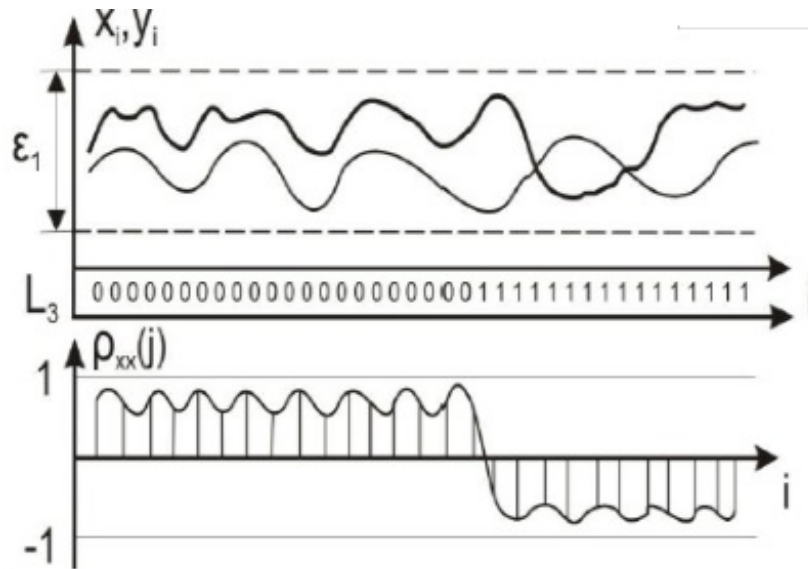


Рисунок 2.3 - ЛСІМ-3

Перевага ЛСІМ-3 полягає в тому, що коли не має змін по амплітуді чи по динаміці можна забезпечити моніторинг відхилення параметра по фазі [29].

Складний алгоритм обчислення є недоліком ЛСІМ-3.

Моніторинг відхилення станів об'єкта по динаміці здійснюють використовуючи ЛСІМ-2 (рис.2.4) [29]:

$$L_2 = \begin{cases} 0, C_{xx}(j) \in \varepsilon_2 \\ 1, C_{xx}(j) \ni \varepsilon_2 \end{cases}$$

Структурну АКФ (встановлюється в ковзному режимі) використовують для визначення зміни динаміки станів об'єкта.

Для нединамічного процесу структурна функція теж не динамічна, а для динамічного процесу структурна функція швидко досягає дисперсії [30].

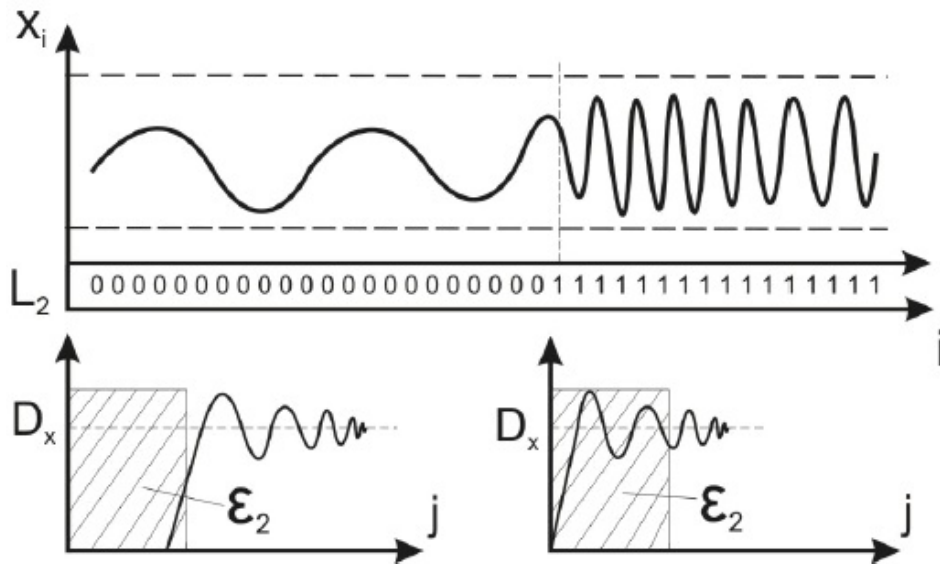


Рисунок 2.4 - ЛСІМ-2

Переваги ЛСІМ-2 [29]:

- зменшення об'єму інформації.
- моніторинг стану об'єкта виконується за динамікою в умовах, коли амплітуди процесу не виходять за межі ϵ_2 ;

Недоліком ЛСІМ-2 є значна складність алгоритму знаходження C_{xx} .

За допомогою ЛСІМ-1 здійснюють моніторинг за відхиленням стану об'єкта від стану вказаного нормою значення якого встановлене за амплітудою (рис.2.5) [30].

Якщо об'єкт моніторингу не в нормі то встановлюється значення “1”, а якщо об'єкт в нормі, то встановлюється значення “0”:

$$L_1 = \begin{cases} 0, x_i \in \epsilon_1 \\ 1, x_i \notin \epsilon_1 \end{cases}, L_1 \in \overline{0,1}.$$

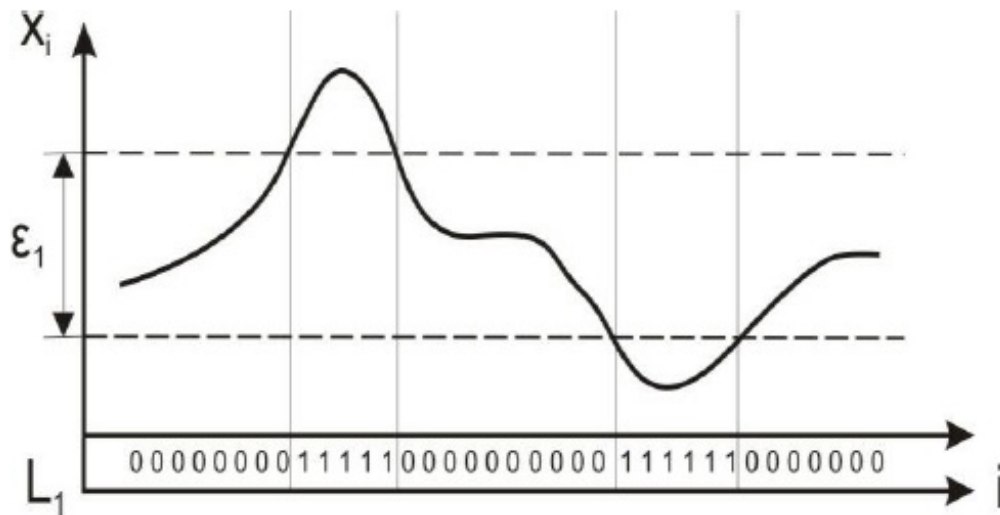


Рисунок 2.5 - ЛСІМ-1

Якщо ЛСІМ-1 видає одиницю, то об'єкт не перебуває в нормі і необхідні термінові дії користувача щодо впливу на стан об'єкта.

Переваги ЛСІМ-1 [29]:

- від 2 до 3 раз зменшуються об'єкти інформації;
- відсутнє старіння інформації;
- великий коефіцієнт стиснення інформації;
- простий алгоритм обчислення.

Проведений аналіз логіко-статистичних інформаційних моделей дає підстави стверджувати, що для розроблюваної системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі необхідно використати ЛСІМ-1. ЛСІМ-1 буде здійснювати контроль за відхиленням показників контрольованих шкідливих речовин в повітрі від норми.

3 РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ТА ОПОВІЩЕННЯ НАЯВНОСТІ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В ПОВІТРІ НА ОСНОВІ ЛСІМ-1 ЗАСОБАМИ MQ-135, MQ-7, MQ-4

3.1 Розробка структурної схеми системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі

Для реалізації системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі було розроблено структурну схему, яка зображена на рисунку 3.1.

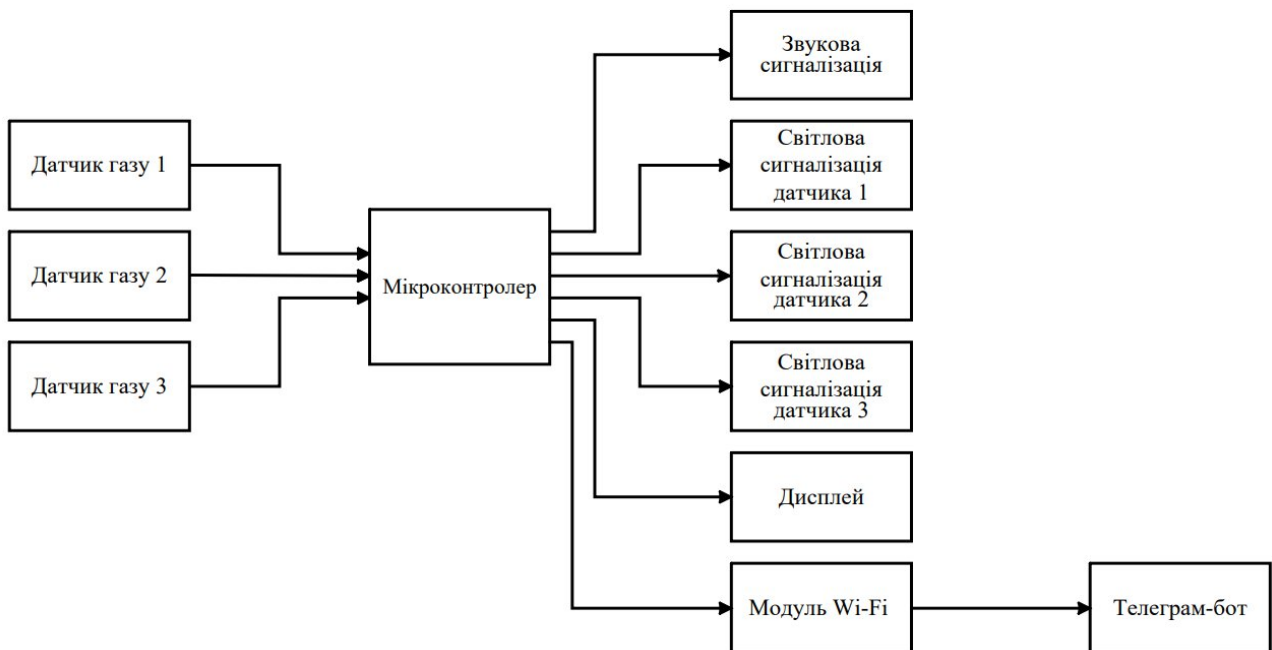


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі

В розроблюваній системі моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі визначати вміст шкідливих речовин в повітрі будуть три різних датчика, які будуть призначені для визначення різних шкідливих речовин в повітрі.

Інформація з трьох різних датчиків газу буде надходити до мікроконтролера. Використовуючи ЛСІМ-1, система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі буде аналізувати інформацію, яка надійшла з трьох різних датчиків газу, і за результатами виконаного аналізу буде відповідна реакція системи:

– якщо система виявляє, що один або два або три показники (з одного або з двох або з трьох датчиків газу) перевищено, то для відповідних показників вмикається світлова сигналізація (червоний світлодіод) і вмикається звукова сигналізація (зумер), формується відповідне повідомлення і через модуль Wi-Fi відправляється в телеграм-бот користувача;

– якщо контрольовані показники знаходяться в межах допустимих діапазонів, то для даних показників вмикаються відповідні зелені світлодіоди, які засвідчують, що даний показник в нормі і жодних повідомлень в телеграм-бот користувача не відправляється, щоб не відволікати користувача без потреби;

– якщо система виявляє, що один або два або три показники (з одного або з двох або з трьох датчиків газу) нижчі за нижню допустиму межу, то для відповідних показників вмикається світлова сигналізація (червоний і зелений світлодіод) і вмикається звукова сигналізація (зумер), формується відповідне повідомлення, що є датчики які можуть працювати некоректно і необхідно терміново перевірити їх працездатність і дане повідомлення через модуль Wi-Fi відправляється в телеграм-бот користувача.

В будь-якому з вищевказаних випадків інформація про поточні значення з трьох датчиків газу буде виводитися на невеликий дисплей.

3.2 Вибір апаратних засобів для системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі

Важливим елементом розроблюваної системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі є платформа з мікроконтролером, який

буде здійснювати обробку даних з трьох датчиків газу. Тому в першу чергу виконуємо її вибір.

Однією з найбільш популярних платформ для подібних проектів є Arduino UNO R3, яка зображена на рисунку 3.2.

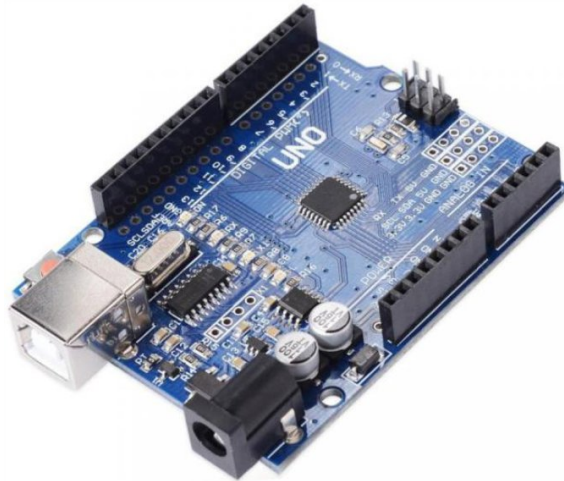


Рисунок 3.2 – Arduino UNO R3

В платформі Arduino UNO R3 як перехідник USB-UART використовується мікросхема CH340, яка відрізняється стабільною роботою, високою швидкістю передавання даних. Також Arduino UNO R3 має додатково контакти SDA і SCL (I2C інтерфейс) [36].

Arduino UNO R3 відноситься до сімейства відкритих платформ Arduino з відкритим програмним забезпеченням і відкритими бібліотеками, які є у вільному доступі, що сприяє створенню різноманітних нових систем і пристроїв. Платформа Arduino UNO R3 популярна серед учнів і студентів, дизайнерів, та інших зацікавлених людей, які хочуть створити та запрограмувати свій пристрій або свою нову систему [36].

Для платформи Arduino UNO R3 створено велику кількість бібліотек та написано багато різних прикладних програм. Практично для всіх існуючих дисплеїв, датчиків і виконавчих механізмів створені відповідні бібліотеки або програми, які роблять можливим їх використання з Arduino UNO R3 [36].

Для програмування Arduino UNO R3 використовується спрощена версія C++ (з великою кількістю бібліотек які призначені для платформи Arduino). Розробку програмного забезпечення можна здійснювати з використанням безкоштовного середовища розробки Arduino IDE, так і за допомогою іншого C/C++ інструментарію. Для програмування Arduino UNO R3 та для передавання даних до комп'ютера необхідний USB-кабель, а для автономної роботи Arduino UNO R3 можна використати блок живлення, акумулятор або батарейки через перехідник на роз'єм 5.5x2.1мм [36].

Основні характеристики Arduino UNO R3 [36]:

- мікроконтролер: ATmega328PB;
- тактова частота: 16 МГц;
- оперативна пам'ять: 2 Кб;
- флеш-пам'ять програм: 32 Кб;
- аналогові входи: 6;
- цифрові входи/виходи: 14 (6 з них ШІМ);
- напруга живлення елементів, які підключаються до платформи: 5 В та 3,3 В;
- робоча напруга контролера:
 - вхід VCC: 5 В;
 - вхід USB: 5 В;
 - вхід Vin: від 7,5 В до 12 В;
- габаритні розміри: 68 мм x 53 мм x 15 мм;
- вартість: 226 грн.

Однією з популярних платформ для різних проектів є ESP32 Devkit V1, яка зображена на рисунку 3.3.

Плата ESP32 Devkit V1 містить мікроконтролер ESP32-WROOM-32 і відноситься до універсальних і потужних плат розробника. Плата ESP32 Devkit V1 обладнана Wi-Fi та Bluetooth, що робить її популярною в проектах в сфері Інтернету речей (розумні будинки та бездротові датчики) [37-39].



Рисунок 3.3 – ESP32 Devkit V1

Основні характеристики ESP32 Devkit V1 [37-39]:

- мікропроцесор: 32-бітовий двоядерний Xtensa LX6 до 240 МГц;
- флеш-пам'ять: 4 МБ;
- SPI flash: за замовчуванням 32 Мбіт;
- Wi-Fi: Wireless 802.11 b/g/n до 150 мбіт/с;
- Bluetooth: 4.2 BR/EDR та BLE;
- живлення: 5 В через роз'єм Type C;
- напруга живлення мікромодуля: від 2,2 В до 3,6 В;
- напруга живлення елементів, які підключаються до платформи: 3,3 В;
- пікова сила струму: 500 мА;
- робоча сила струму: 80 мА;
- інтерфейси: SPI, UART, SDIO, I2S, I2C, PWM, IR, ЦАП, АЦП;
- швидкість послідовного порту: 115200 біт/с;
- антена: вбудована антена на платі з підсилювачем 2 дБ;
- габаритні розміри: 54x28x10 мм;
- вартість: 199 грн.

Також було прийнято рішення проаналізувати платформу Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb, яка зображена на рисунку 3.4 [40-41].



Рисунок 3.4 – Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb

Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb включає в себе функціонал Arduino UNO R3 ATmega 328 і модуль Wi-Fi ESP8266 з пам'яттю 8 Мб. Компоненти платформи можуть працювати кожна окремо або разом. Це популярне рішення для розробки проектів, в яких є потреба одночасно в платформі Arduino UNO і в модулі Wi-Fi. Через USB-порт можна оновлювати прошивку для ATmega328 і для ESP8266. Також з цією метою на платі Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb є USB-UART конвертер CH340G [41].

Основні характеристики Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb [41]:

- мікроконтролер: ATmega328;
- частота процесора: 16 МГц;
- інтерфейси: I2C, SPI, UART, microUSB CH340G USB-UART;
- Wi-Fi: ESP8266 8Mb flash: Wi-Fi 802.11 b/g/n 2.4 GHz;
- цифрові виходи/входи: 14;
- аналогові виходи/входи: 6;
- живлення: роз'єм 2.1 мм та microUSB;
- вхідна напруга: від 6 В до 9 В (DC) або 5 В;
- вихідний струм: 800 мА для 5 В і 3,3 В DC;

– напруга живлення елементів, які підключаються до платформи: 5 В та 3,3 В;

– логічні рівні: 5В;

– габаритні розміри: 69х54 мм;

– вартість: 338 грн.

Результати аналізу платформ, які були досліджені, як потенційно можливі для реалізації системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі, наведені в таблиці 3.1 [36-41].

Таблиця 3.1 – Основні характеристики платформ, які були досліджені, як потенційно можливі для реалізації системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі

Характеристики	Arduino Uno R3	ESP32 Devkit V1	Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb
1	2	3	4
Тактова частота процесора, МГц	16	240	16
Габаритні розміри, мм	68 x 53 x 15	54 x 28 x 10	69 x 54 x 15
Кількість пінів	14 цифрових 6 аналогових	30	14 цифрових 6 аналогових
Живлення	від USB-порта комп'ютера (5 В через роз'єм Type B)	від USB-порта комп'ютера (5 В через роз'єм Type C)	від USB-порта комп'ютера (5 В через роз'єм microUSB)
I2C	+	+	+
SPI	+	+	+
UART	+	+	+
напруга живлення елементів, які підключаються до платформи, В	3,3 та 5	3,3	3,3 та 5
Wi-Fi	-	+	+
Bluetooth	-	+	-
Вартість, грн	226	199	338

З таблиці 3.1 видно, що ESP32 Devkit V1 має значно вищу продуктивність обчислень ніж Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb та Arduino Uno R3. Проте, розроблюваній системі моніторингу та оповіщення наявності

шкідливих речовин в повітрі не потрібно здійснювати значні обчислення. Тому вища продуктивність ESP32 Devkit V1 не має визначального впливу на прийняття рішення щодо вибору платформи.

Проведений попередній аналіз підключень ймовірних елементів створюваної системи до обчислювальної платформи показав, що в майбутньому буде потрібно використати на платформі не більше десяти контактів. Тому наявність 30 контактів в ESP32 Devkit V1 в порівнянні з 20 контактами в Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb (14 цифрових та 6 аналогових) та Arduino Uno R3 (14 цифрових та 6 аналогових) теж не має визначального впливу на прийняття рішення щодо вибору платформи.

В платформі ESP32 Devkit V1 значно менші габаритні розміри (54 x 28 x 10 мм) ніж в Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb (69 x 54 x 15 мм) та Arduino Uno R3 (68 x 53 x 15 мм). Проте, розроблювану систему не планується вбудовувати в щось, а тому не має габаритних обмежень на розмір платформи. Тому габаритні розміри досліджених платформ теж не мають визначального впливу на прийняття рішення щодо вибору платформи.

Живлення і передача даних в усі досліджені платформи здійснюється через USB кабель, який з одного боку під'єднується до USB-порта ноутбука або персонального комп'ютера користувача, а з іншого боку під'єднується до USB-порта відповідної платформи. Відмінними є тільки типи USB-роз'ємів в платформ:

- роз'єм Type B в Arduino Uno R3;
- роз'єм Type C в ESP32 Devkit V1;
- роз'єм microUSB в Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb.

З вищевказаного видно, що живлення і передача даних в досліджених платформ подібні і теж не мають визначального впливу на прийняття рішення щодо вибору платформи.

Оскільки планується, що розроблювана система буде інформувати користувача про небезпеку в телеграм-бот, то необхідно буде забезпечити під'єднання до мережі і найкраще це дозволить здійснити модуль Wi-Fi. В

Arduino Uno R3 не має модуля Wi-Fi, а тому його не доцільно використовувати для створення системи яка має інформувати користувача про небезпеку в телеграм-бот.

Серед досліджених платформ дві мають модуль Wi-Fi: ESP32 Devkit V1 та Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb. На перший погляд привабливою платформою виглядає ESP32 Devkit V1: найпотужніший процесор (тактова частота процесора 240 МГц), найменші габаритні розміри (54 x 28 x 10 мм), найбільша кількість доступних пінів (30), найменша ціна (199 грн). Проте, датчики різних газів, як правило потребують живлення 5 В, а платформа ESP32 Devkit V1 може надати тільки 3,3 В. Звичайно цю проблему можна вирішити, але це ускладнить та зробить дорожчою систему. На відміну від ESP32 Devkit V1 платформа Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb може забезпечити для підключених до неї компонент не тільки напругу живлення 3,3 В, а й напругу живлення 5 В, яка необхідна датчикам газів.

В зв'язку з вищевказаним для розроблюваної системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі обрано платформу Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb, яка може забезпечити напругу живлення 5 В для датчиків газів та яка за допомогою модуля Wi-Fi може забезпечити інформування користувача про небезпеку в телеграм-бот.

В розроблюваній системі моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі важливими компонентами мають бути датчики для визначення шкідливих речовин в повітрі. В зв'язку з вищевказаним було проаналізовано доступні датчики газів [42-54]:

- MQ-2 (дим, легкозаймистий газ);
- MQ-3 (алкоголь: етанол);
- MQ-4 (природний газ: метан, пропан-бутан);
- MQ-5 (зріджений газ, метан, ізобутан і пропан-бутан);
- MQ-6 (зріджений газ, ізобутан, бутан);
- MQ-7 (чадний газ);
- MQ-8 (водень);

- MQ-9 (зріджений нафтовий газ, ізобутан, метан, алкоголь, гідроген, дим і т.д.);
- MQ-131 (озон);
- MQ-135 (аміак, оксиди азоту, пари алкоголю, бензину, диму, вуглекислий газ і т.д);
- MQ-136 (сірководень);
- MQ-137 (аміак);
- MQ-138 (толуол, ацетон, етанол, водень).

В розділі 1 було визначено необхідність контролю в повітрі в приміщенні:

- природного газу;
- чадного газу;
- диму;
- летких органічних сполук;
- вуглекислого газу;
- формальдегідів.

В зв'язку з вищевказаним для розроблюваної системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі було вибрано датчики, які зображені на рисунку 3.5 [44, 47, 51].



Рисунок 3.5 – Модулі датчиків MQ-4, MQ-7, MQ-135

Також для реалізації системи моніторингу шкідливих та небезпечних речовин в повітрі в приміщенні та працездатності системи контролю було вибрано:

- макетну плату на 400 контактів вартістю 77 грн [55];

- три червоних та три зелених світлодіоди 5 мм для світлової сигналізації вартістю 18 грн [56];
- пасивний зумер вартістю 6 грн [57];
- шість резисторів 220 Ом вартістю 10 грн [58];
- з'єднувальні провідники вартістю 42 грн [59];
- батарейка Varta 9 В типу “Крона” вартістю 52 грн [60];
- перехідник для Arduino Uno під батарейку типу “Крона” 9 В вартістю 6 грн [61];
- дисплей OLED 0.96-дюймовий I2C жовто-синій вартістю 149 грн [62].

На рисунку 3.6 зображена принципова електрична схема підключення елементів системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі.

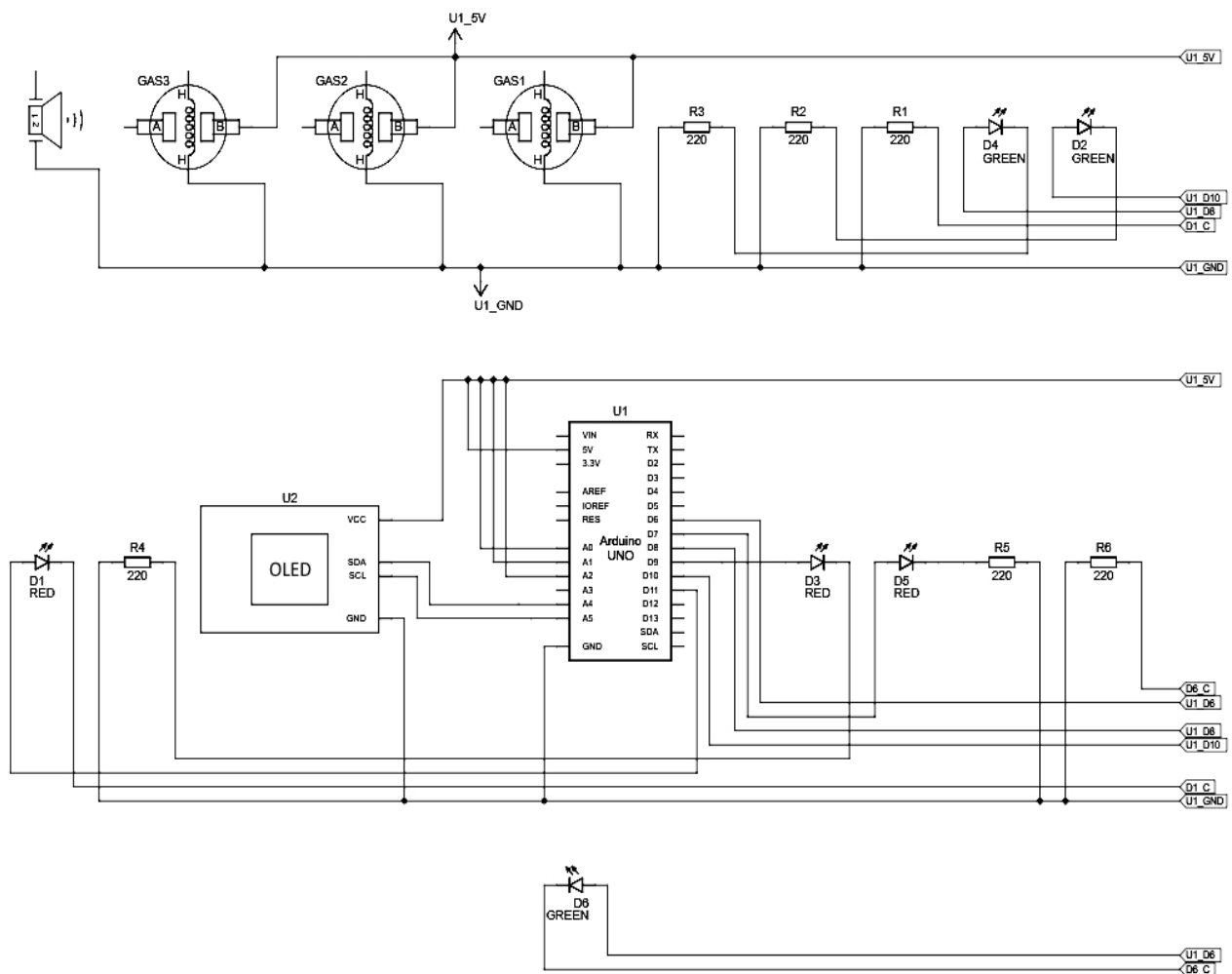


Рисунок 3.6 – Принципова електрична схема підключення елементів системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі

Всі вибрані компоненти для системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі наведені в таблиці 3.2 [36-62].

Таблиця 3.2 – Елементи системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі

Найменування	Кількість	Ціна	Загальна вартість
Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb	1 шт	338 грн	338 грн
Модуль датчика MQ-4	1 шт	68 грн	68 грн
Модуль датчика MQ-7	1 шт	67 грн	67 грн
Модуль датчика MQ-135	1 шт	70 грн	70 грн
Дисплей OLED 0.96- дюймовий і2с жовто- синій	1 шт	149 грн	149 грн
Макетна плата на 400 контактів	1 шт	77 грн	77 грн
Батарейка типу “Крона” 9 В	1 шт	52 грн	52 грн
Перехідник для Arduino Uno під батарейку типу “Крона” 9 В	1 шт	8 грн	8 грн
Світлодіод (червоний)	3 шт	3 грн	9 грн
Світлодіод (зелений)	3 шт	3 грн	9 грн
Пасивний зумер	1 шт	6 грн	6 грн
Резистор 220 Ом	6 шт	10 грн (за 10 шт)	10 грн
З’єднувальні провідники	28 шт	42 грн (за 40 шт)	42 грн
Всього			905 грн

Замість батарейки типу “Крона” 9 В вартістю 52 грн та замість перехідника для Arduino Uno під батарейку типу “Крона” 9 В вартістю 8 грн можна майже за аналогічну вартість купити блок живлення за 62 грн [63], який забезпечить тривале енергоживлення розробленої системи.

З таблиці 3.2 видно, що вартість системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі становить 905 грн, що в 5 разів дешевше засобів (Туа WiFi, BRJ-502D, JKD 512COM загальною вартістю 4609 грн) які можуть контролювати вміст в повітрі природного газу, чадного газу, диму, летких органічних сполук, вуглекислого газу та які буде контролювати розроблена система.

Крім того, розроблена система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі може віддалено інформувати користувача в телеграм-бот про виявлені небезпеки не залежно від того як далеко він перебуває, що не можуть робити існуючі системи BRJ-502D, JKD 512COM, TuYa WiFi (при користуванні цим пристроєм користувач може віддалено дивитися які в даний момент контрольовані показники, але даний пристрій не відправляє віддалено інформацію про загрози, а тільки ініціює локальну світлову та звукову сигналізацію у випадку виникнення небезпеки).

3.3 Розробка програмного забезпечення для системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі

На вибраній платформі Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb реально розміщено:

- Arduino UNO R3 ATmega328P;
- ESP8266 8Mb WiFi.

На платформі Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb є перемикачі за допомогою яких можна обрати режим роботи з даною платформою (рис.3.7)

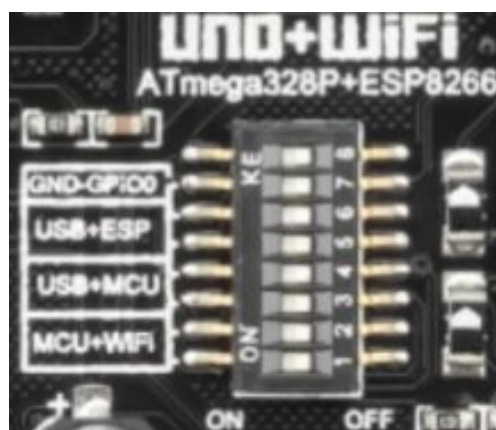


Рисунок 3.7 – Перемикачі для вибору режиму роботи платформи

Режим роботи платформи Arduino UNO R3 ATmega328P WiFi ESP8266 8Mb встановлюється за допомогою перемикачів:

- 1100000 (вмикається обмін даними між ATmega328P та ESP8266);
- 0011000 (вмикається обмін даними між ATmega328P та ПК через USB);
- 0000111 (вмикається обмін даними між ESP8266 та ПК через USB: наприклад в ESP8266 можна завантажити програму);
- 0000110 (вмикається обмін даними між ESP8266 та ПК через USB);
- 0000000 (ATmega328P та ESP8266 працюють незалежно один від одного).

Таким чином для створюваної системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі необхідно створити дві програми:

- для мікроконтролера ATmega328P, який має зчитувати інформацію з датчиків MQ-4, MQ-7, MQ-135, які визначають наявність шкідливих речовин в повітрі, вмикати світлову і звукову сигналізацію у випадку виявлення в повітрі шкідливих речовин, відправляти на OLED-дисплей інформацію про поточні значення вмісту шкідливих в повітрі, які встановлені трьома датчиками MQ-4, MQ-7, MQ-135, а також відправляти відповідну інформацію в ESP8266, про випадки небезпечного рівня шкідливих речовин в повітрі або коли виявлено ознаки того що один або кілька датчиків ймовірно працюють некоректно;
- для ESP8266 необхідно створити програму яка забезпечить інформування користувача в телеграм-бот про виявлені небезпеки (вміст шкідливих речовин в повітрі вище норми) та про ймовірно некоректну роботу датчиків.

Спочатку було прийнято рішення створити програму для мікроконтролера ATmega328P.

В програмі для мікроконтролера ATmega328P в першу чергу виконано підключення бібліотеки для забезпечення роботи через шину I²C:

```
#include <Wire.h>
```

Підключення офіційної бібліотеки від Adafruit Industries, яка забезпечує керування OLED-дисплеями на базі чіпа SSD1306:

```
#include <Adafruit_SSD1306.h>
```

Налаштовано OLED: 128x64 пікселів, I²C адреса 0x3C:

```
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1 // Reset пін не використовується
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);
```

Встановлено мінімальное значення показів датчика яке не досягне в реальній роботі і яке може бути зумовлене виходом з ладу датчика:

```
int MQerror = 20;
```

Для датчика MQ-135 вказано:

– номер піна до якого під'єднується датчик MQ-135:

```
const int MQ135pin = A0;
```

– номер піна до якого під'єднується зелений світлодіод, самостійне вмикання якого (без вмикання червоного світлодіода) інформує що датчик MQ-135 не виявив в повітрі шкідливих речовин:

```
const int MQ135LEDgreen = 6;
```

– номер піна до якого під'єднується червоний світлодіод, самостійне вмикання якого (без вмикання зеленого світлодіода) інформує що датчик MQ-135 виявив в повітрі шкідливі речовини:

```
const int MQ135LEDred = 7;
```

– змінній для зберігання значення з датчика MQ-135 (якість повітря) присвоюється початкове значення 0:

```
int MQ135 = 0;
```

– встановлення значення показів датчика MQ-135 яке може бути ознакою виявлення шкідливих речовин в повітрі:

```
const int MQ135nebezpeka = 400;
```

Подібно до того як вище в програмі було вказано дані щодо підключення датчика MQ-135 та світлодіодів (зеленого і червоного) які стосуються його роботи а також здійснено початкові налаштування змінної для зберігання значення з датчика MQ-135 (якість повітря) та встановлено значення показів датчика MQ-135 яке може бути ознакою виявлення шкідливих речовин в повітрі внесено в програму аналогічні рядки які стосуються датчиків MQ-4 та MQ-7.

Вказано номер піна до якого під'єднується зумер, який відповідатиме за звукову сигналізацію у випадку виявлення системою шкідливих речовин в повітрі:

```
const int buzerpin = 5;
```

На початку програми змінним для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію за результатами роботи датчиків MQ-135, MQ-4, MQ-7 (0 - не потрібно вмикати звукову сигналізацію, 1 - потрібно вмикати звукову сигналізацію: в повітрі виявлено шкідливі речовини) присвоєно початкове значення 0:

```
int buzerMQ135 = 0;
int buzerMQ4 = 0;
int buzerMQ7 = 0;
```

На початку програми змінним для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію про неналежну роботу датчиків MQ-135, MQ-4, MQ-7 (0 - не потрібно вмикати звукову сигналізацію, 1 - потрібно вмикати звукову сигналізацію: датчик ймовірно неналежно працює і потрібно терміново перевірити його працездатність) присвоюється початкове значення 0:

```
int buzerMQ135e = 0;
int buzerMQ4e = 0;
int buzerMQ7e = 0;
```

Ініціалізовано послідовний зв'язок зі швидкістю 115200 бод:

```
Serial.begin(115200);
```

Налаштовано піни для зелених і червоних світлодіодів для датчиків MQ-135, MQ-4, MQ-7 в режим OUTPUT:

```
pinMode(MQ135LEDgreen, OUTPUT);
pinMode(MQ4LEDgreen, OUTPUT);
pinMode(MQ7LEDgreen, OUTPUT);
pinMode(MQ135LEDred, OUTPUT);
pinMode(MQ4LEDred, OUTPUT);
pinMode(MQ7LEDred, OUTPUT);
```

Ініціалізовано шину I²C для OLED-дисплея з адресою 0x3C:

```
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
```

Виконано початкове очищення та налаштування OLED-дисплея:

```

display.clearDisplay();
display.setTextSize(2);           // Розмір тексту (1 – стандартний)
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0, 0);         // Курсор на початок координат
display.println("MQ Sensors:");
display.display();               // Оновлення дисплею
delay(1000);                     // Коротка заставка: "MQ Sensors:"

```

В нескінченному циклі loop() зчитується аналогове значення з датчика якості повітря MQ-135:

```
MQ135 = analogRead(MQ135pin);
```

Аналіз існуючих логіко-статистичних інформаційних моделей в розділі 2 показав, що для розроблюваної системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі доцільно використати ЛСІМ-1 (рис.3.8). За допомогою ЛСІМ-1 можна здійснювати моніторинг чи поточні значення отримані з датчиків MQ-135, MQ-4, MQ-7 знаходяться в межах норми у діапазоні E_1 (рис.3.8). Якщо отримані дані з датчика виходять за межі верхньої межі діапазоні E_1 (рис.3.8), то це може свідчити про те, що в повітрі виявлено небезпечну концентрацію шкідливих речовин. Якщо отримані дані з датчика виходять за межі нижньої межі діапазону E_1 (рис.3.8), то це може свідчити про те, що датчик може працювати некоректно і його працездатність необхідно терміново перевірити.

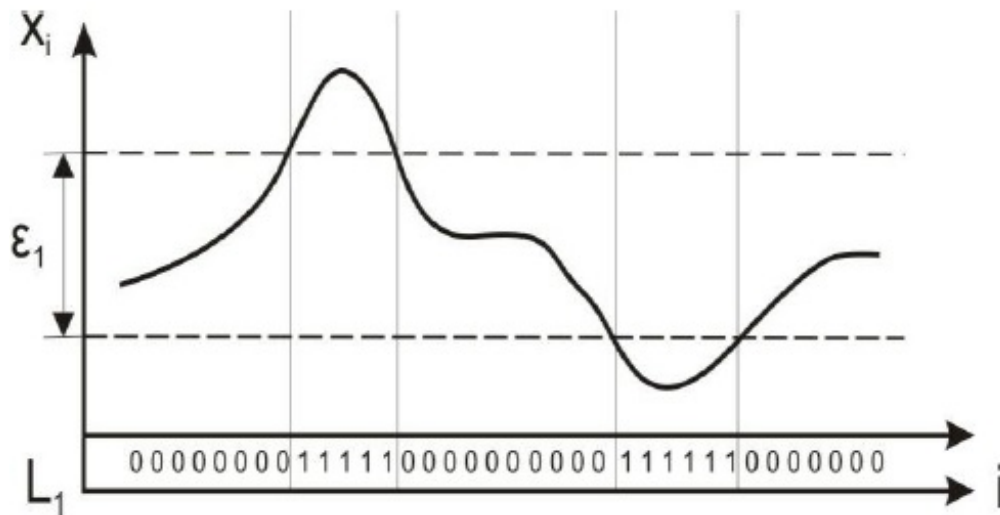


Рисунок 3.8 - ЛСІМ-1

Якщо шкідливих речовин не виявлено в повітрі і датчики працюють належним чином (не має небезпеки для користувача), то об'єкт контролю перебуває в нормі (значення які надходять з датчиків менші рівня небезпечної концентрації в повітрі і вищі встановленого мінімального значення показів датчика яке не досягне в реальній роботі і яке може бути зумовлене виходом датчика з ладу), то встановлюється значення "0" (вмикається зелений світлодіод, який інформує про те що в повітрі не виявлено шкідливих речовин і датчики працюють належним чином), а якщо виявлено що значення хоча б з одного датчика знаходиться за межами діапазону ЛСІМ-1, то встановлюється значення "1" (вмикається зумер та червоний світлодіод):

$$L_1 = \begin{cases} 0, x_i \in \varepsilon_1 \\ 1, x_i \notin \varepsilon_1 \end{cases}, L_1 \in \overline{0,1}$$

Для візуальної ідентифікації коли є перевищення допустимих меж і коли аномально низьке значення з датчиків в останньому випадку крім червоного світлодіода вмикається в цей же час ще й зелений світлодіод.

Вищенаведений вираз реалізовано в програмному забезпеченні для мікроконтролера ATmega328P:

```
if ((MQ135 >= MQerror) && (MQ135 <= MQ135nebezpeka)) { ... }
```

Якщо вищевказана умова виконується, тобто не виявлено ознак небезпеки (в повітрі не виявлено шкідливих речовин і датчики працюють належним чином), тоді:

- вмикається зелений світлодіод, який інформує про те що датчик якості повітря MQ-135 не виявив шкідливих речовин в повітрі:

```
digitalWrite(MQ135LEDgreen, HIGH);
```

- вимкнено червоний світлодіод, який інформує про те що датчик якості повітря MQ-135 виявив шкідливі речовини в повітрі:

```
digitalWrite(MQ135LEDred, LOW);
```

- змінній `buzerMQ135` для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію за результатами роботи датчика MQ-135 присвоюється значення 0, що значить що не потрібно вмикати звукову сигналізацію: в повітрі не виявлено шкідливих речовин, які виявляє датчик MQ-135:

```
buzerMQ135 = 0;
```

Якщо поточне аналогове значення зчитане з датчика якості повітря MQ-135 більше від встановленого максимального значення показів датчика MQ-135 яке може бути ознакою виявлення шкідливих речовин в повітрі то виконується умова:

```
if (MQ135 > MQ135nebezpeka),
```

то вмикається зелений світлодіод який відноситься до датчика MQ-135 і вмикається червоний світлодіод який відноситься до датчика MQ-135, а також змінній buzerMQ135 для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію за результатами роботи датчика MQ-135 присвоюється значення 1 - тобто потрібно вмикати звукову сигналізацію: в повітрі виявлено шкідливі речовини:

```
digitalWrite(MQ135LEDgreen, LOW);
digitalWrite(MQ135LEDred, HIGH);
buzerMQ135 = 1;
```

Підготовка інформації про якість повітря до відправки і її відправка з ATmega328P до ESP8266:

```
char MQ135R[20] = "MQ135 detected: "; // Перша змінна char[]
char MQ135Char[6]; // Друга змінна char[]
dtostrf(MQ135, 4, 0, MQ135Char); // 4 символи загально, 0 після коми
char MQ135result[26]; // Результиуючий буфер
strcpy(MQ135result, MQ135R); // Копіюємо першу змінну char[]
 // в результиуючий буфер
strcat(MQ135result, MQ135Char); // Додаємо другу змінну char[]
 // в результиуючий буфер
Serial.write(MQ135result); // Відправка інформації
```

Якщо поточне аналогове значення зчитане з датчика якості повітря MQ-135 менше від встановленого мінімального значення показів датчика яке не досягне в реальній роботі і яке може бути зумовлене виходом з ладу датчика і виконується умова:

```
if (MQ135 < MQerror),
```

то вмикається зелений світлодіод який відноситься до датчика MQ-135 і вмикається червоний світлодіод який відноситься до датчика MQ-135 а також змінній buzerMQ135e для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію за результатами роботи датчика MQ-135 присвоюється значення 1 - тобто потрібно вмикати звукову сигналізацію: ймовірно датчик працює некоректно і необхідно терміново перевірити його працездатність:

```
digitalWrite(MQ135LEDgreen, HIGH);
digitalWrite(MQ135LEDred, HIGH);
buzerMQ135e = 1;
```

Підготовка інформації про непрацездатність MQ135 до відправки і її відправка:

```
char MQ135Error[20] = "MQ135 Don't work: "; // Перша змінна char[]
char MQ135CharError[6]; // Друга змінна char[]
dtostrf(MQ135, 4, 0, MQ135CharError); // 4 символи загалом, 0 після коми
char MQ135ErrorResult[26]; // Результуючий буфер
strcpy(MQ135ErrorResult, MQ135Error); // Копіюємо першу змінна char[]
// в результуючий буфер
strcat(MQ135ErrorResult, MQ135CharError); // Додаємо другу змінну char[]
// в результуючий буфер
Serial.write(MQ135ErrorResult); // Відправка інформації
```

Подібно до того як вище в програмі було зчитано інформацію з датчика MQ-135 та опрацьовано її з використанням ЛСІМ-1 створено аналогічні модулі в програмі для датчиків MQ-4 та MQ-7.

Інформація про поточні аналогові значення (від 0 до 1023) одержані з датчиків MQ-135, MQ-4 та MQ-7 виводиться на дисплей OLED:

```

// Очищення дисплея:
display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);
// Виведення в три рядки:
display.println("MQ135: " + String(MQ135)); // Перший рядок: MQ-135
display.println("MQ4: " + String(MQ4));      // Другий рядок: MQ-4
display.println("MQ7: " + String(MQ7));      // Третій рядок: MQ-7
// Оновлення дисплея:
display.display();

```

Вмикання звукової сигналізації у випадку виявлення для цього підстав або її вимикання якщо підстави для цього припинилися:

```

if (buzerMQ135 == 1 or buzerMQ4 == 1 or buzerMQ7 == 1
    or buzerMQ135e == 1 or buzerMQ4e == 1 or buzerMQ7e == 1) {
    tone(buzerpin, 10000);
}
else {
    noTone(buzerpin);
}

```

Для ESP8266 створено програму яка забезпечить інформування користувача в телеграм-бот про виявлені небезпеки (високий вміст шкідливих речовин в повітрі) та про ймовірно некоректну роботу датчиків.

Підключено бібліотеку для роботи з WiFi на ESP8266:

```
#include <ESP8266WiFi.h>
```

Підключено бібліотеку для створення захищених з'єднань (HTTPS) через Wi-Fi:

```
#include <WiFiClientSecure.h>
```

Підключення універсальної бібліотеки для Telegram-бота:

```
#include <UniversalTelegramBot.h>
```

Вказуються облікові дані локальної бездротової Wi-Fi мережі, яка під'єднана до мережі Інтернет:

```
const char* ssid = "XXXXXX"; // Ім'я локальної бездротової Wi-Fi мережі,  
// яка під'єднана до мережі Інтернет  
const char* password = "xxxxxx"; // Пароль до локальної бездротової Wi-Fi  
// мережі, яка під'єднана до мережі Інтернет
```

Ініціалізація телеграм-бота потребує Bot Token телеграм-бота від Botfather та ID чату в Telegram, куди бот надсилатиме повідомлення:

```
#define BOTtoken "8888888888:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"  
#define CHAT_ID "1111111111"
```

Сертифікат для безпечного з'єднання з API Telegram для ESP8266:

```
X509List cert(TELEGRAM_CERTIFICATE_ROOT);
```

Створено об'єкт захищеного Wi-Fi-клієнта для HTTPS-з'єднань:

```
WiFiClientSecure client;
```

Ініціалізація Telegram-бота з токеном і захищеним клієнтом:

```
UniversalTelegramBot bot(BOTtoken, client);
```

В блоці `setup()` в першу чергу виконано ініціалізацію послідовного порту зі швидкістю 115200 бод:

```
Serial.begin(115200);
```

Налаштувано отримання часу UTC через NTP-сервер:

```
configTime(0, 0, "pool.ntp.org");
```

Додано root-сертифікат для `api.telegram.org` для ESP8266:

```
client.setTrustAnchors(&cert);
```

Для підключення до Wi-Fi мережі встановлено режим “станція” (підключення до роутера):

```
WiFi.mode(WIFI_STA);
```

Підключення до Wi-Fi з SSID та паролем:

```
WiFi.begin(ssid, password);
```

```
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(1000); // Пауза 1 секунду
  Serial.println("Connecting to WiFi.."); // Виведення повідомлення
} // про процес підключення
```

Надсилання у створений чат в Telegram повідомлення “start” (повідомлення про початок роботи створеної системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі):

```
bot.sendMessage("1111111111", "start", "");
```

В нескінченному циклі loop() в телеграм-бот з ESP8266 відправляється інформація про виявлену небезпеку, яка отримана від Arduino Uno R3:

```
bot.sendMessage("1111111111", Serial.readString(), "");
```

Після під'єднання розробленої системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4 до мережі Інтернет через модуль Wi-Fi ESP8266, користувач зможе отримувати інформацію про виявлені ознаки шкідливих речовин в повітрі та про ймовірну непрацездатність системи контролю в телеграм-бот в будь-якій точці світу, де є доступ до мережі Інтернет.

3.4 Створення телеграм-бота

Для того щоб користувач міг отримувати повідомлення в телеграм-бот створено телеграм-бот через @BotFather.

Відкрито Telegram і знайдено бота @BotFather (офіційний, від Telegram) та надіслано команду /start (рис.3.9).

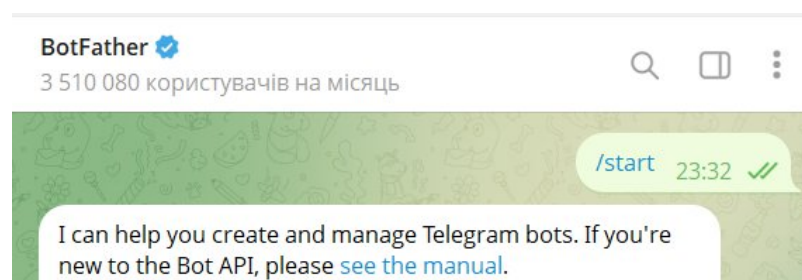


Рисунок 3.9 - Початок роботи з @BotFather

З метою створення нового чат-бота для користувача системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4 в боті @BotFather введено команду /newbot (рис.3.10).

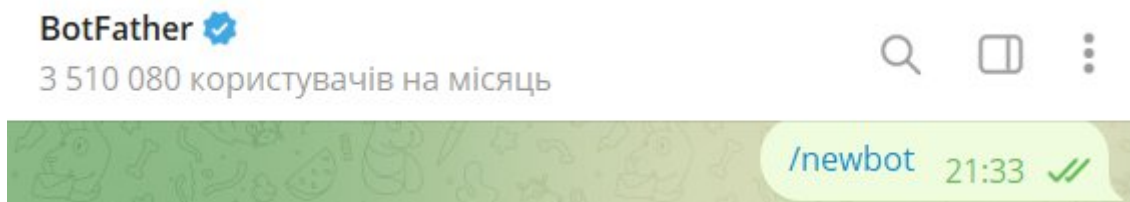


Рисунок 3.10 - Створення нового чат-бота з використанням команди /newbot в @BotFather

Вказано ім'я створюваного бота, яке згідно існуючих правил має обов'язково закінчуватися на "bot". @BotFather видав токен (API-ключ), як зображено на рисунку 3.11.

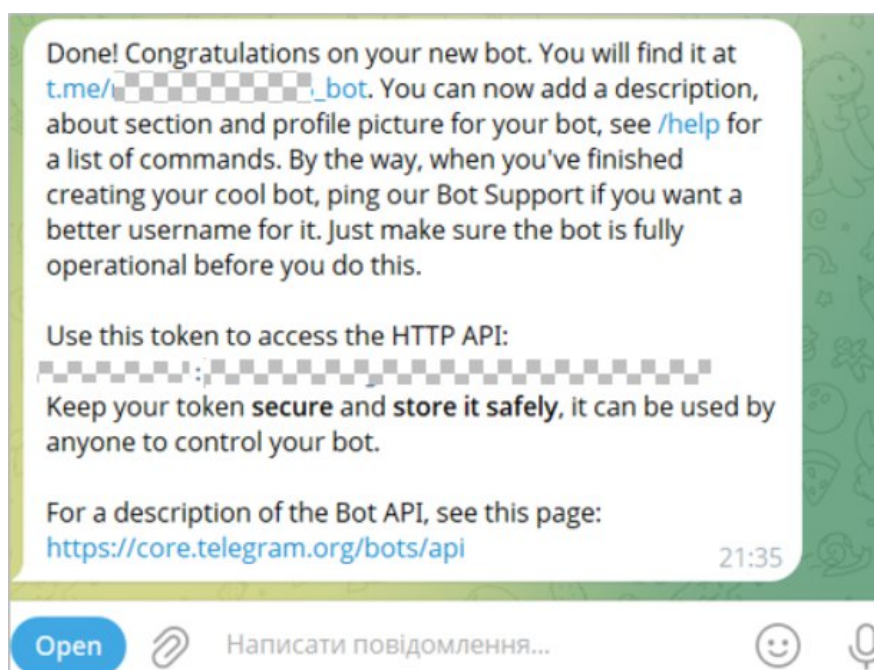


Рисунок 3.11 - Токен (API-ключ), який видав @BotFather

Токен, одержаний від @BotFather, є головним ключем для керування створеним телеграм-ботом: його та ім'я створеного бота імплементовано в програмне забезпечення для ESP8266, яке забезпечує інформування користувача в телеграм-бот про виявлені небезпеки (високий вміст шкідливих речовин в повітрі) та про ймовірно некоректну роботу датчиків.

3.4 Перевірка працездатності розробленої системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4

На рисунку 3.12 зображено розроблену систему моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4.

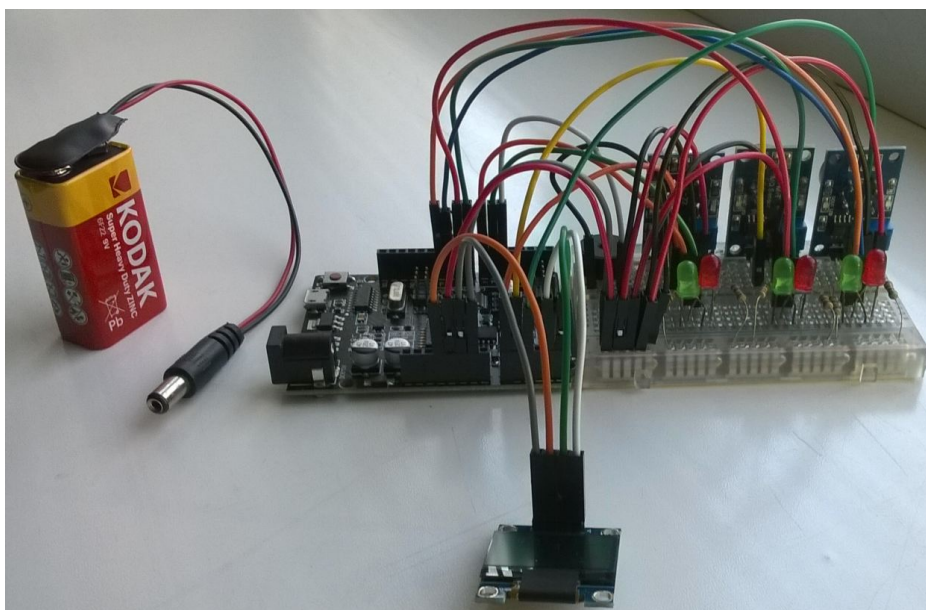


Рисунок 3.12 – Розроблена система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4

Розроблена система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4

може отримувати напругу живлення:

- від батарейки 9 В типу “Крона”;
- від акумулятора;
- від блока живлення на 9 В;
- через USB-кабель від ноутбука або комп’ютера.

На рисунку 3.13 зображено увімкнуту систему моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, яка одержує напругу живлення від батарейки 9 В типу “Крона”, що робить її автономною і зручною у використанні.

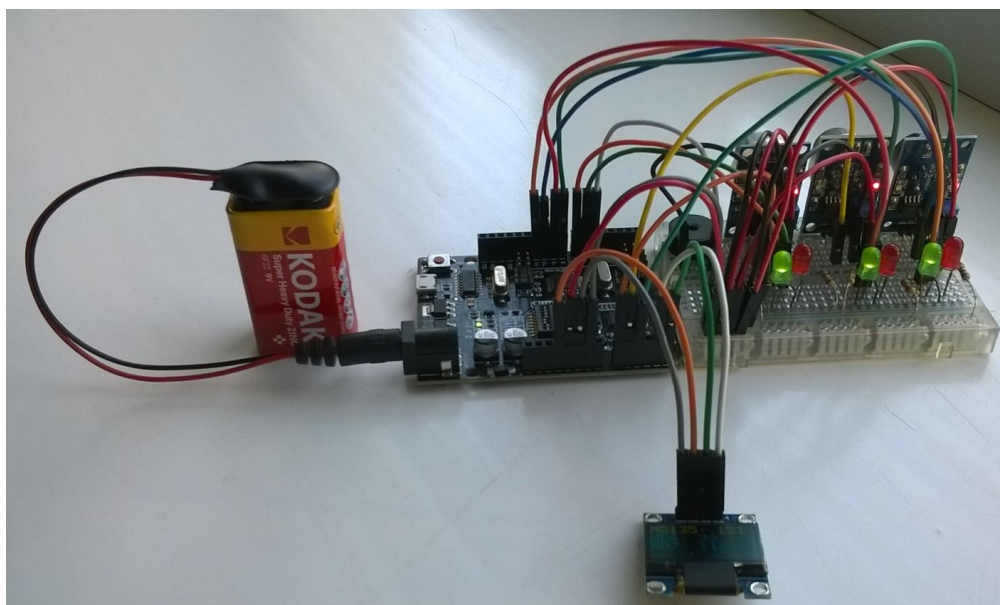


Рисунок 3.13 – Увімкнута система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, яка одержує напругу живлення від батарейки 9 В типу “Крона”

На рисунку 3.14 зображено увімкнуту систему моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, яка одержує напругу живлення через USB-кабель в стані

коли не виявлено ознак шкідливих речовин в повітрі та не виявлено ознак непрацездатності системи контролю:

- увімкнені три зелені світлодіоди;
- зумер вимкнений;
- вимкнені три червоні світлодіоди.

При цьому в телеграм-бот нічого не відправляється щоб не відволікати увагу користувача неінформативними повідомленнями, а привертати його увагу тільки до повідомлень, які можуть містити інформацію про виявлення ознак шкідливих речовин в повітрі та виявлення ознак непрацездатності системи контролю.

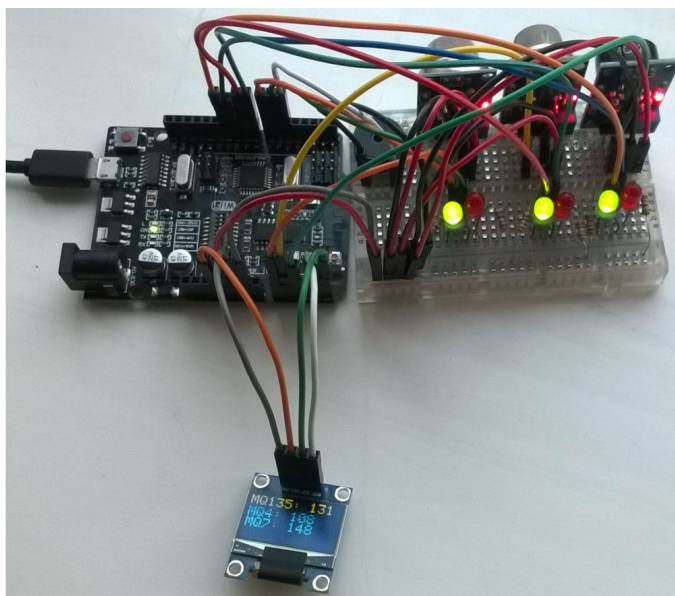


Рисунок 3.14 – Увімкнута система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, яка одержує напругу живлення через USB-кабель

На рисунку 3.15 зображено систему моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в стані коли модуль MQ-135 виявив ознаки шкідливих речовин в повітрі в приміщенні, а модулі MQ-7 та MQ-4 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі в приміщенні:

– увімкнений зумер та лівий червоний світлодіод, вимкнений лівий зелений світлодіод сигналізують, що модуль MQ-135 виявив ознаки шкідливих речовин в повітрі в приміщенні;

– увімкнені середній і правий зелені світлодіоди та вимкнені середній і правий червоні світлодіоди інформують, що модулі MQ-7 та MQ-4 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі а також не має ознак що ці модулі працюють некоректно.

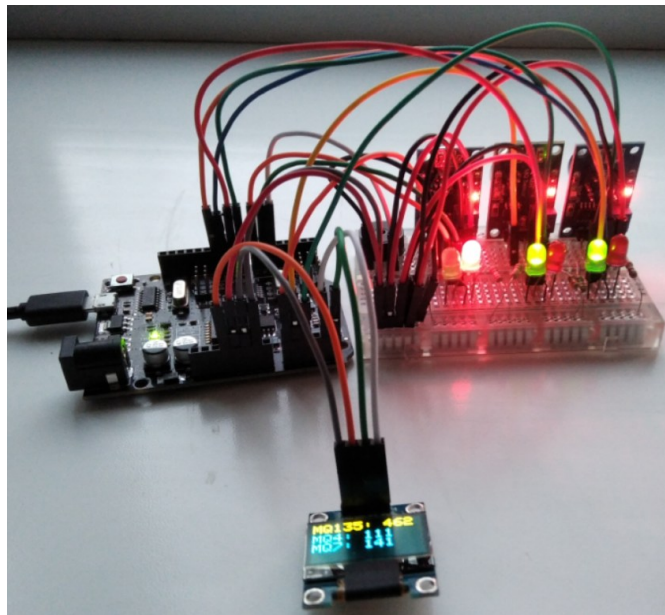


Рисунок 3.15 – Система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в стані коли модуль MQ-135 виявив ознаки шкідливих речовин в повітрі, а модулі MQ-7 та MQ-4 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі

Оскільки модуль MQ-135 виявив ознаки шкідливих речовин в повітрі то відповідна інформація передається з платформи Arduino UNO R3 в ESP8266 а з неї через Wi-Fi підключення до мережі Інтернет відповідна інформація відправляється в телеграм-бот користувача (рис.3.16).

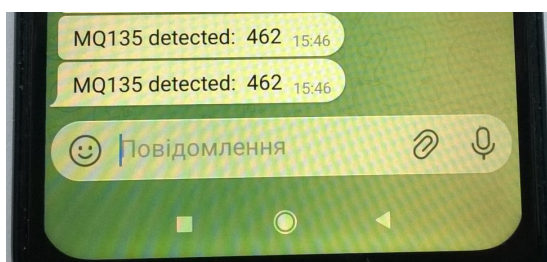


Рисунок 3.16 – Повідомлення користувачу в телеграм-бот на смартфоні про те що модуль MQ-135 виявив ознаки шкідливих речовин в повітрі

На рисунку 3.17 зображено систему моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в стані коли модуль MQ-4 виявив ознаки шкідливого і вибухонебезпечного природного газу в повітрі в приміщенні, а модулі MQ-135 та MQ-7 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі в приміщенні:

– увімкнений зумер та середній червоний світлодіод, вимкнений середній зелений світлодіод сигналізують, що модуль MQ-4 виявив ознаки шкідливого та вибухонебезпечного природного газу в повітрі в приміщенні;

– увімкнені лівий і правий зелені світлодіоди та вимкнені лівий і правий червоні світлодіоди інформують, що модулі MQ-135 та MQ-7 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі а також не має ознак що ці модулі працюють некоректно.

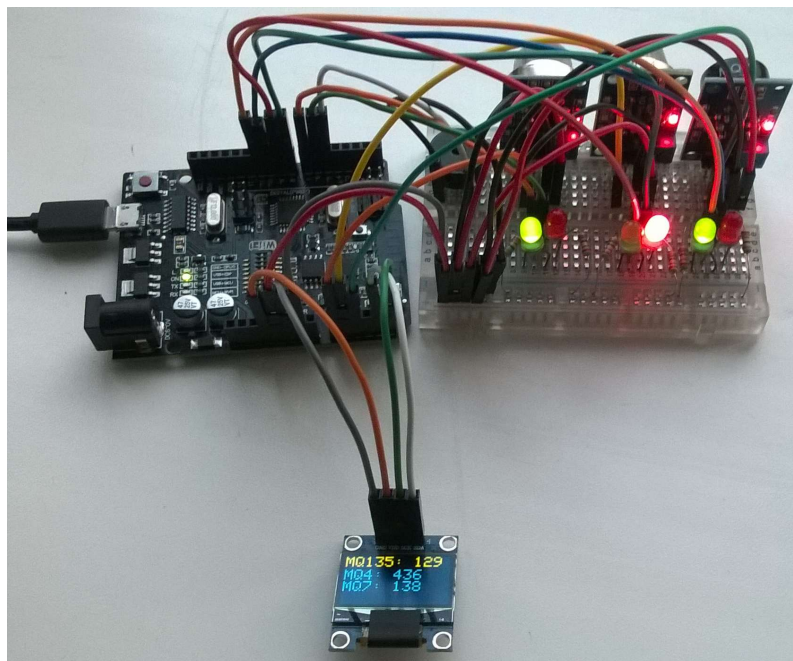


Рисунок 3.17 – Система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в стані коли модуль MQ-4 виявив ознаки шкідливого і вибухонебезпечного природного газу в повітрі, а модулі MQ-135 та MQ-7 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі

Оскільки модуль MQ-4 виявив ознаки шкідливого і вибухонебезпечного природного газу в повітрі в приміщенні, то відповідна інформація передається з платформи Arduino UNO R3 в ESP8266 а з неї через Wi-Fi-підключення до мережі Інтернет відповідна інформація відправляється в телеграм-бот користувача (рис.3.18). З метою лаконічності повідомлення, яке виводиться в телеграм-боті замість довгої назви “природний газ” вказується коротке слово “метан”, як основний компонент природного газу.

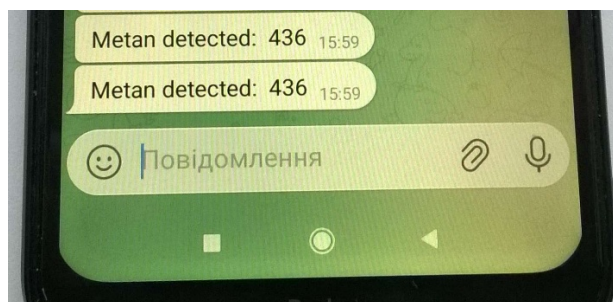


Рисунок 3.18 – Повідомлення користувачу в телеграм-бот на його смартфоні про те що модуль MQ-4 виявив ознаки шкідливого і вибухонебезпечного природного газу в повітрі

На рисунку 3.19 зображено систему моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в стані коли модуль MQ-7 виявив ознаки чадного газу в повітрі в приміщенні, а модулі MQ-135 та MQ-4 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі в приміщенні:

– увімкнений зумер та правий червоний світлодіод, вимкнений правий зелений світлодіод сигналізують, що модуль MQ-7 виявив ознаки чадного газу в повітрі в приміщенні;

– увімкнені лівий і середній зелені світлодіоди та вимкнені лівий і середній червоні світлодіоди інформують, що модулі MQ-135 та MQ-4 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі а також не має ознак що ці модулі працюють некоректно.

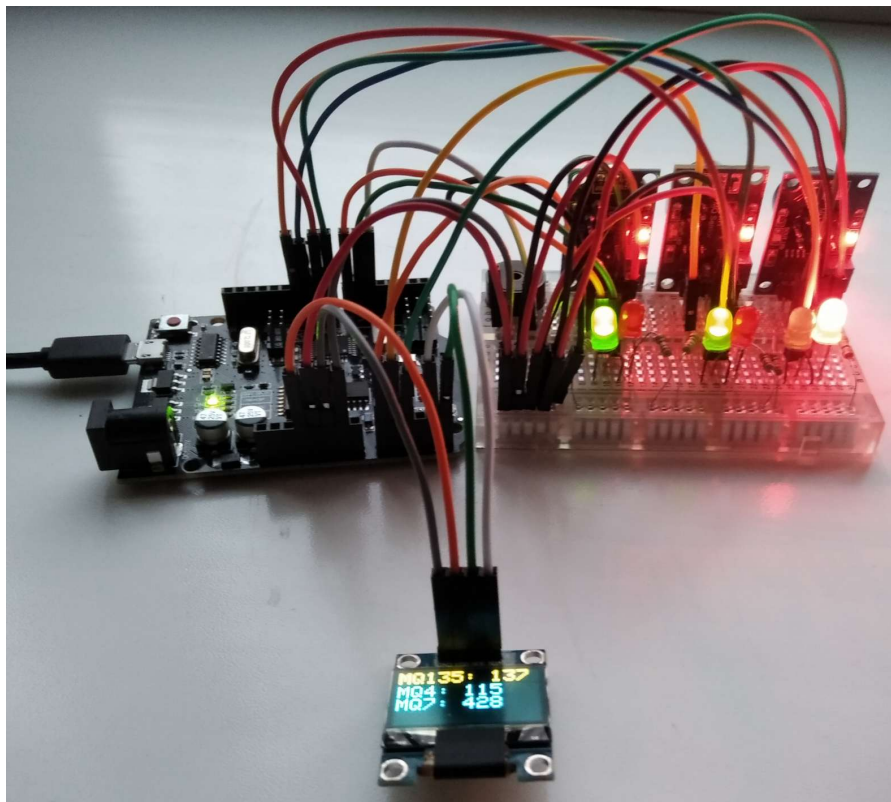


Рисунок 3.19 – Система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в стані коли модуль MQ-7 виявив ознаки чадного газу в повітрі, а модулі MQ-135 та MQ-4 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі

Оскільки модуль MQ-7 виявив ознаки чадного газу в повітрі, то відповідна інформація передається з платформи Arduino UNO R3 в ESP8266 а з неї через Wi-Fi-підключення до мережі Інтернет відповідна інформація відправляється в телеграм-бот користувача (рис.3.20).

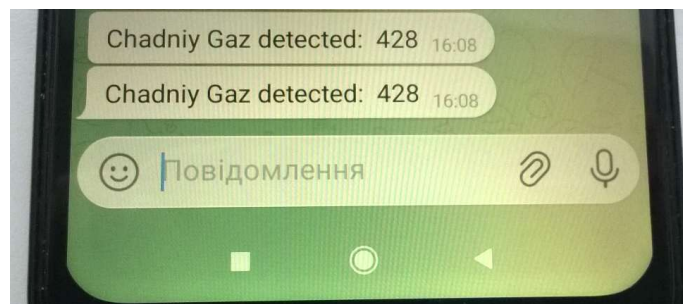


Рисунок 3.20 – Повідомлення користувачу в телеграм-бот на його смартфоні про те що модуль MQ-7 виявив ознаки чадного газу в повітрі

На рисунку 3.21 зображено систему моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в стані коли модулі MQ-135, MQ-4 та MQ-7 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі в приміщенні, але значення показів модуля MQ-135 надто низьке, яке не досягне в реальній роботі і яке може бути зумовлене виходом з ладу модуля MQ-135:

- увімкнений зумер а також увімкнуті ліві червоний та зелений світлодіоди, які сигналізують, що модуль MQ-135 ймовірно працює некоректно і потребує термінової перевірки працездатності;

- увімкнені середній і правий зелені світлодіоди та вимкнені середній і правий червоні світлодіоди інформують, що модулі MQ-4 та MQ-7 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі а також не має ознак що ці модулі працюють некоректно.

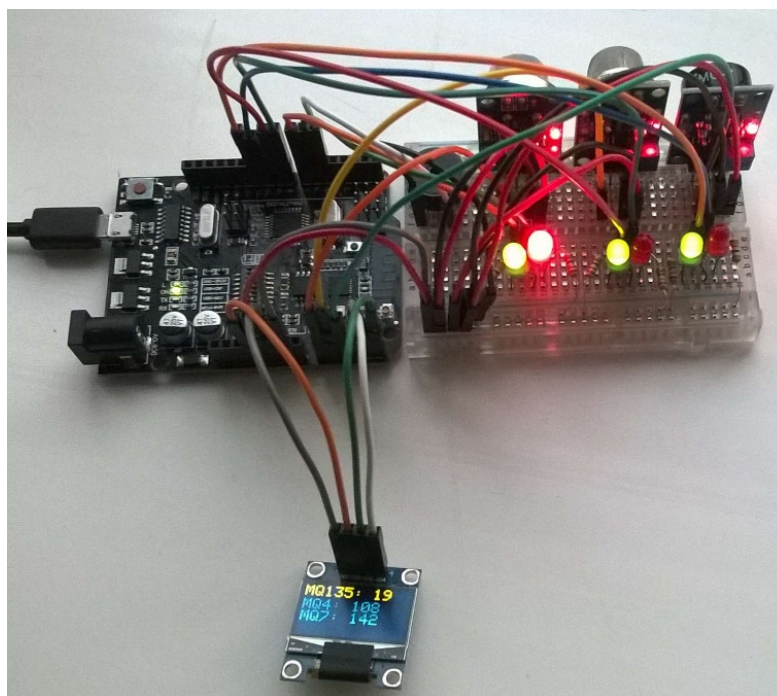


Рисунок 3.21 – Система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в стані коли модулі MQ-135, MQ-4 та MQ-7 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі, але значення показів модуля MQ-135 надто низьке, яке не досягне в реальній роботі і яке може бути зумовлене виходом з ладу модуля MQ-135

Оскільки виявлено що модуль MQ-135 ймовірно працює некоректно і потребує термінової перевірки працездатності, то відповідна інформація передається з платформи Arduino UNO R3 в ESP8266 а з неї через Wi-Fi підключення до мережі Інтернет відповідна інформація відправляється в телеграм-бот користувача (рис.3.22).

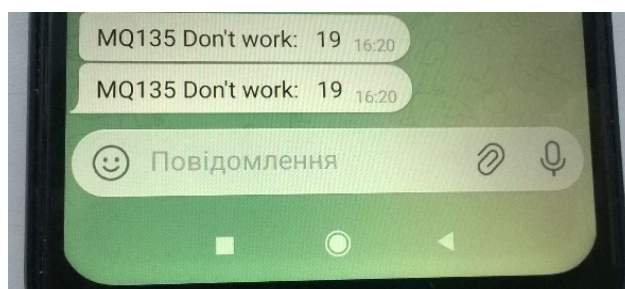


Рисунок 3.22 – Повідомлення користувачу в телеграм-бот на його смартфоні про те що модуль MQ-135 ймовірно працює некоректно і потребує термінової перевірки працездатності

На рисунку 3.23 зображено систему моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в стані коли модулі MQ-135, MQ-4 та MQ-7 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі, але значення показів модуля MQ-4 надто низьке, яке не досягне в реальній роботі і яке може бути зумовлене виходом з ладу модуля MQ-4:

– увімкнений зумер а також увімкнуті середні червоний та зелений світлодіоди, які сигналізують, що модуль MQ-4 ймовірно працює некоректно і потребує термінової перевірки працездатності;

– увімкнені лівий і правий зелені світлодіоди та вимкнені лівий і правий червоні світлодіоди інформують, що модулі MQ-135 та MQ-7 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі а також не має ознак що ці модулі працюють некоректно.

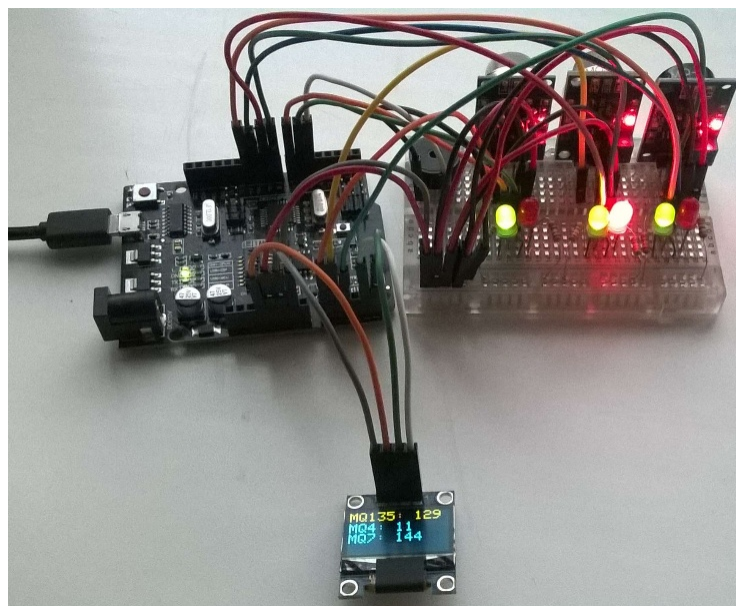


Рисунок 3.23 – Система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в

стані коли модулі MQ-135, MQ-4 та MQ-7 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі, але значення показів модуля MQ-4 надто низьке, яке не досягне в реальній роботі і яке може бути зумовлене виходом з ладу модуля MQ-4

Оскільки виявлено що модуль MQ-4 ймовірно працює некоректно і потребує термінової перевірки працездатності, то відповідна інформація передається з платформи Arduino UNO R3 в ESP8266 а з неї через Wi-Fi-підключення до мережі Інтернет відповідна інформація відправляється в телеграм-бот користувача (рис.3.24).

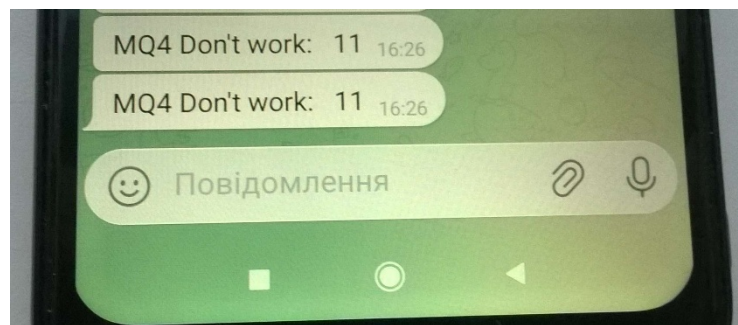


Рисунок 3.24 – Повідомлення користувачу в телеграм-бот на його смартфоні про те що модуль MQ-4 ймовірно працює некоректно і потребує термінової перевірки працездатності

На рисунку 3.25 зображено систему моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в стані коли модулі MQ-135, MQ-4 та MQ-7 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі, але значення показів модуля MQ-7 надто низьке, яке не досягне в реальній роботі і яке може бути зумовлене виходом з ладу модуля MQ-7:

- увімкнений зумер а також увімкнуті праві червоний та зелений світлодіоди, які сигналізують, що модуль MQ-7 ймовірно працює некоректно і потребує термінової перевірки працездатності;

- увімкнені лівий і середній зелені світлодіоди та вимкнені лівий і середній червоні світлодіоди інформують, що модулі MQ-135 та MQ-4 не виявили ознак

шкідливих речовин в повітрі а також не має ознак що ці модулі працюють некоректно.

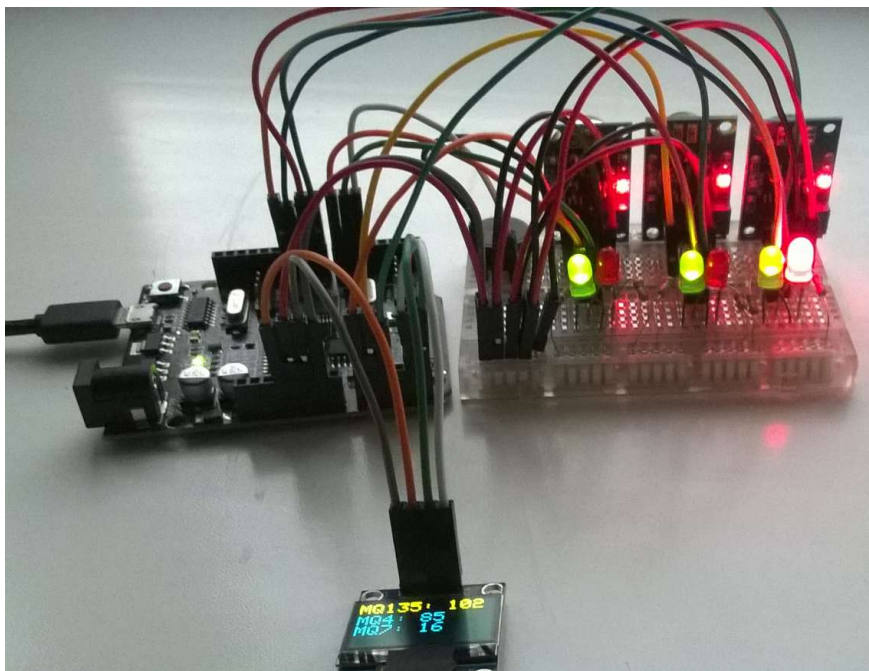


Рисунок 3.25 – Система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, в стані коли модулі MQ-135, MQ-4 та MQ-7 не виявили ознак шкідливих речовин в повітрі, але значення показів модуля MQ-7 надто низьке, яке не досягне в реальній роботі і яке може бути зумовлене виходом з ладу модуля MQ-7

Оскільки виявлено що модуль MQ-7 ймовірно працює некоректно і потребує термінової перевірки працездатності, то відповідна інформація передається з платформи Arduino UNO R3 в ESP8266 а з неї через Wi-Fi підключення до мережі Інтернет відповідна інформація відправляється в телеграм-бот користувача (рис.3.26).

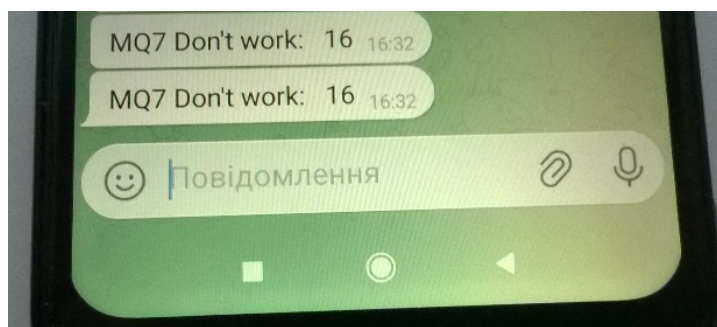


Рисунок 3.26 – Повідомлення користувачу в телеграм-бот на його смартфоні про те що модуль MQ-7 ймовірно працює некоректно і потребує термінової перевірки працездатності

Крім вищевказаних експериментів щодо перевірки працездатності функціоналу розробленої системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, було здійснено експеримент з метою дослідження працездатності датчиків MQ-4 (для виявлення бутану та пропану, які можуть входити в склад природного газу [64-65]) та MQ-135 (для виявлення шкідливих газів в повітрі [66-67]) шляхом випуску газу з газової запальнички, яка зображена на рисунку 3.27.

Як правило, виробники газу для запальничок повідомляють, що він є бутаном високого очищення [68-70]. Проте, в газі для запальничок також є ізобутан (для стабільності горіння) та невелика кількість пропану (5% або менше) для кращого розпилення та запобігання конденсації [71-74].



Рисунок 3.27 – Запальничка з газом

До відкриття клапану в запальничці, яка зображена на рисунку 3.27, на OLED-дисплеї були наступні показники в межах норми та відповідно світилися три зелені світлодіоди (рис.3.28):

- MQ-135: 139;
- MQ-4: 141;
- MQ-7: 170.

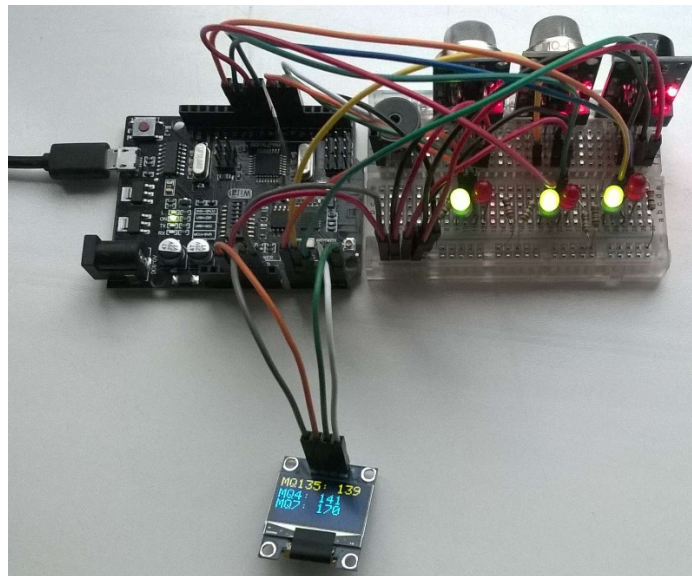


Рисунок 3.28 – Система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, коли всі показники в нормі

Під час роботи системи в момент який відображений на рисунку 3.28 в телеграм-бот користувача, як і очікувалося, не надходило жодного повідомлення адже система не виявила жодних шкідливих речовин в повітрі і не має потреби відволікати увагу користувача неважливими повідомленнями.

Після вищевказаного запальничку зображену на рисунку 3.27 було піднесено до датчиків розробленої системи та відкрито клапан для випуску газу (не здійснюючі дії для його запалення) і через дуже короткий проміжок часу увімкнувся зумер звукової сигналізації а також вимкнулись два зелених світлодіоди (лівий і середній) і увімкнулись два червоних світлодіоди (лівий і середній), які відображають стан виявлення шкідливих газів в повітрі (рис.3.29).

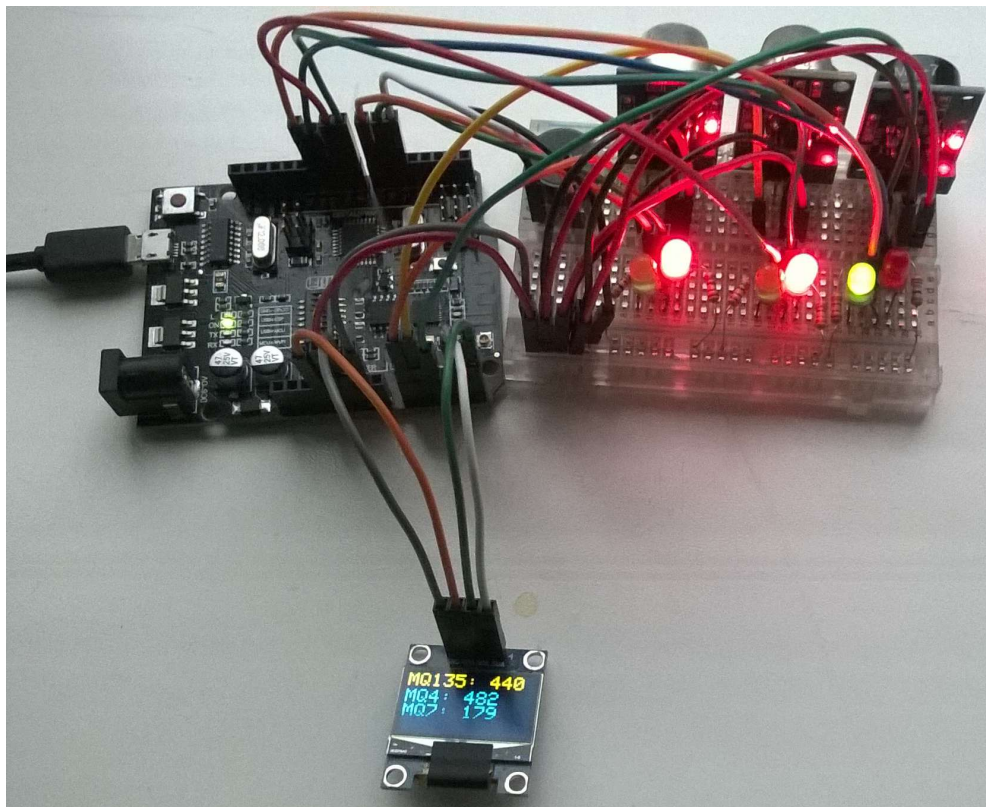


Рисунок 3.29 – Система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4, коли відкритий клапан в газовій запальничці і з неї виходить газ в повітря біля датчиків

З рисунку 3.29 видно:

– на OLED-дисплеї вказано що показник з модуля MQ-135 становить 440, (а у відповідності до рисунку 3.28 до пуску газу з запальнички був 139), що вище допустимої норми 400, і тому як очікувалося вимкнувся лівий зелений світлодіод (який інформує що модуль MQ-135 не виявив шкідливих газів в повітрі) і увімкнувся лівий червоний світлодіод, який інформує що модуль MQ-135 виявив перевищення шкідливого газу в повітрі;

– на OLED-дисплеї вказано що показник з модуля MQ-4 становить 482, (а у відповідності до рисунку 3.28 до пуску газу з запальнички був 141), що вище допустимої норми 400, і тому як очікувалося вимкнувся середній зелений світлодіод (який інформує що модуль MQ-4 не виявив шкідливих газів в повітрі)

і увімкнувся середній червоний світлодіод, який інформує що модуль MQ-4 виявив перевищення шкідливого та небезпечного газу в повітрі.

Оскільки модулі MQ-135 та MQ-4 виявили ознаки шкідливих та небезпечних газів в повітрі в приміщенні, то відповідна інформація передається з платформи Arduino UNO R3 в ESP8266 а з неї через Wi-Fi-підключення до мережі Інтернет відповідна інформація відправляється в телеграм-бот користувача (рис.3.30).

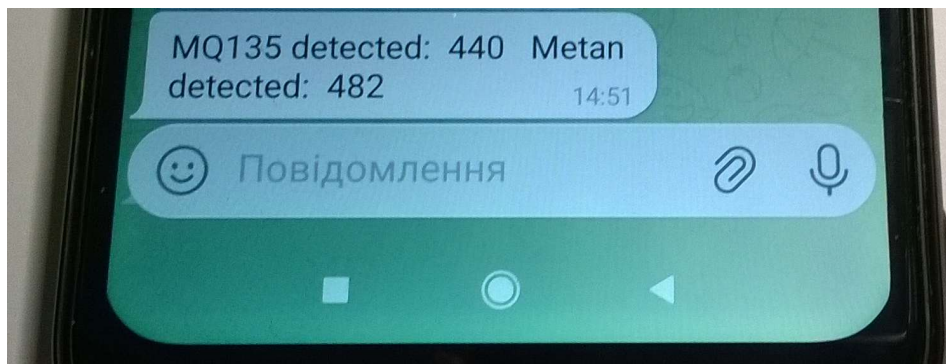


Рисунок 3.30 – Повідомлення користувачу в телеграм-бот на смартфоні про те що модулі MQ-135 та MQ-4 виявили ознаки шкідливих речовин в повітрі (під словом “Metan” розуміється всі або кілька або будь-який один шкідливий і вибухонебезпечний компонент природного газу: метан, бутан, пропан ...)

Вищенаведений експеримент засвідчив, працездатність датчиків MQ-4 (для виявлення бутану та пропану, які можуть входити в склад природного газу) та MQ-135 (для виявлення шкідливих газів в повітрі) та правильність встановлення в розробленому програмному забезпеченні значення 400 (взятого з джерел інформації) показів датчиків MQ-135 та MQ-4 яке може бути ознакою виявлення шкідливих речовин в повітрі.

Враховуючи вищевказане, можна зробити висновок, що розроблена система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4 працює належним чином.

Отже, в даному розділі було створено структурну схему системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі, здійснено

вибір апаратних засобів для неї, розроблено принципову електричну схему підключення елементів системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі, написано необхідне програмне забезпечення для розробленої системи.

Вартість системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі становить 905 грн, що в 5 разів дешевше засобів (TuYa WiFi, BRJ-502D, JKD 512COM загальною вартістю 4609 грн) які можуть контролювати вміст в повітрі природного газу, чадного газу, диму, летких органічних сполук, вуглекислого газу та які буде контролювати розроблена система. Крім того, розроблена система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі може віддалено інформувати користувача в телеграм-бот про виявлені небезпеки не залежно від того як далеко він перебуває, що не можуть робити існуючі системи BRJ-502D, JKD 512COM, TuYa WiFi.

Перевірка працездатності розробленої системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1, показала, що вона працює належним чином.

ВИСНОВКИ

В першому розділі було проведено аналіз предметної області та існуючих аналогів.

В даний час в зв'язку з постійними атаками на енергетичну сферу України, українці з метою забезпечення належних умов для перебування людей в будинках зимою, обладнують їх генераторами, пічками і іншими нагрівальними приладами. Крім того, в більшості помешкань в Україні є газові прилади для приготування їжі з централізованою подачею газу з газотранспортної системи або від балонів з зрідженим газом. Тому актуальним завданням є контроль

витоку природного газу. Найбільш небезпечним продуктом згорання є оксид вуглецю (CO), який також називають чадним газом. Чадний газ не має запаху, смаку та кольору і тому його наявність неможливо встановити без спеціальних пристроїв. Також важливо контролювати в повітрі в приміщеннях наступні шкідливі речовини: вуглекислий газ (CO₂), аміак (NH₃), оксиди азоту (NO та NO₂), дим.

Проведений аналіз існуючих засобів моніторингу шкідливих речовин в повітрі показав, що:

- жоден з розглянутих засобів моніторингу не здійснює віддалене сповіщення користувача у момент виявлення в повітрі шкідливих речовин;
- жоден з розглянутих засобів моніторингу не контролює всі вищевказані шкідливі речовини в повітрі;
- щоб контролювати вміст в повітрі природного газу, чадного газу, диму, летких органічних сполук (TVOC), вуглекислого газу (CO₂) необхідно використовувати як мінімум три засоби (TuYa WiFi, BRJ-502D, JKD 512COM) загальною вартістю 4609 грн.

Під час роботи над другим розділом було проаналізовано існуючі логіко-статистичні інформаційні моделі. Встановлено, що для розроблюваної системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі доцільно використати ЛСІМ-1.

Під час роботи над третім розділом було розроблено структурну схему системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4. Також під час роботи над третім розділом було вибрано апаратне забезпечення яке необхідне системі моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі.

Вартість розробленої системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4 становить 905 грн, що в 5 разів дешевше засобів (TuYa WiFi, BRJ-502D, JKD 512COM загальною вартістю 4609 грн) які можуть контролювати вміст в повітрі природного газу, чадного газу, диму, летких органічних сполук,

вуглекислого газу та які буде контролювати розроблена система. Крім того, розроблена система моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі може віддалено інформувати користувача в телеграм-бот про виявлені небезпеки не залежно від того як далеко він перебуває, що не можуть робити існуючі системи BRJ-502D, JKD 512COM, TuYa WiFi.

Розроблено програмне забезпечення для системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4.

Проведена перевірка працездатності розробленої системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4 показала, що вона працює належним чином.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мельничук С.І. Магістерська робота: методичні вказівки до змісту та оформлення для студентів спеціальності 123 - Комп'ютерна інженерія. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ. – 2024. 28 с.
2. Дмитраш В.А., Бабчук І.С. Моніторинг шкідливих та небезпечних речовин в повітрі в приміщенні на основі ЛСІМ-1. Матеріали ІХ Міжнародної студентської наукової конференції “Актуальні питання та перспективи проведення наукових досліджень”. Рівне. – 28 листопада 2025. – С. 591-593.

3. У чому небезпека чадного газу та як уберегтися від отруєння. URL: <https://moz.gov.ua/uk/u-chomu-nebezpeka-chadnogo-gazu-ta-jak-uberegtisja-vid-otruennja> (дата звернення: 15.11.2025)
4. Невидимий ворог – чадний газ. URL: <https://www.unicef.org/ukraine/fumes> (дата звернення: 15.11.2025)
5. Використовувати газові плити чи духовки для опалення – небезпечно! URL: <https://ukrainska-gromada.gov.ua/community/vykorystovuvaty-gazovi-plyty-chy-duhovky-dlya-opalennya-nebezpechno.html> (дата звернення: 15.11.2025)
6. ДСНС: у грудні зафіксовано 11 отруєнь чадним газом, п'ять осіб загинули. URL: <https://unn.ua/news/dsns-u-hrudni-zafiksovano-11-otruien-chadnym-hazom-piat-osib-zahynuly> (дата звернення: 15.11.2025)
7. 11 випадків отруєнь чадним газом з грудня: нагадуємо, як не допустити отруєння та як допомогти постраждалим. URL: <https://moz.gov.ua/uk/11-vipadkiv-otruyen-chadnim-gazom-z-grudnya-nagaduyemo-yak-ne-dopustiti-otruyennya-ta-yak-dopomogti-postrazhdalim> (дата звернення: 15.11.2025)
8. Жахлива втрата. В Івано-Франківську загинула відома цілителька, її чоловік і четверо дітей. URL: <https://vikna.if.ua/news/79751/view> (дата звернення: 15.11.2025)
9. Загибель родини в Івано-Франківську. Від чадного газу померла відома поетеса та цілителька. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/zagibel-rodini-v-ivano-frankivsku-vid-chadnogo-gazu-pomerla-vidoma-poetesa-ta-cilitelka-1076775.html> (дата звернення: 15.11.2025)
10. Від чадного газу у Франківську загинула сім'я відомої поетеси і цілительки. URL: https://espreso.tv/news/2018/01/01/vid_chadnogo_gazu_u_frankivsku_zagynula_simya_vidomoyi_poetesy_i_cilytelky (дата звернення: 15.11.2025)
11. В Івано-Франківську чадним газом задихнулася сім'я з шести осіб. URL: https://lb.ua/society/2017/12/31/386270_ivanofrankovske_ugarnim_gazom.html (дата звернення: 15.11.2025)

12. В Івано-Франківську четверо дітей разом з мамою і татом вчаділи у квартирі. URL: https://zaxid.net/v_ivano_frankivsku_simya_z_chotirma_malolitnimi_ditmi_vc_hadila_u_kvartiri_n1445569 (дата звернення: 15.11.2025)
13. Satish U., Mendell M., Shekhar K., Hotchi T., Sullivan D., Streufert S., Fisk W. Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. URL: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1104789> (дата звернення: 15.11.2025)
14. Allen J., MacNaughton P., Satish U., Santanam S., Vallarino J., Spengler J. Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments. URL: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1510037> (дата звернення: 15.11.2025)
15. Що потрібно знати про аміак і як себе захистити. URL: <https://phc.org.ua/news/scho-potribno-znati-pro-amiak-i-yak-sebe-zakhistiti> (дата звернення: 15.11.2025)
16. Отруєння аміаком та гідроксидом амонію. URL: <https://compendium.com.ua/uk/handbooks-uk/nozologia-dovidnyk/otruyennya-amiakom-ta-gidroksidom-amoniyu/> (дата звернення: 15.11.2025)
17. Аміак: застосування, властивості і безпека використання. URL: <https://violapharm.com/nashatyrnyj-spyrt-zastosuvannya-vlastyvosti-i-bezpeka-vykorystannya/> (дата звернення: 15.11.2025)
18. Оксиди азоту. URL: https://cleanair.org.ua/pollutant/oxides-of-nitrogen_ua/ (дата звернення: 15.11.2025)
19. Як дим впливає на здоров'я людини: пояснює головна санітарна лікарка Кіровоградщини. URL: <https://suspilne.media/kropyvnytskiy/834821-ak-dim-vplivae-na-zdorova-ludini-poasnue-golovna-sanitarna-likarka-kirovogradsini/> (дата звернення: 15.11.2025)

20. Пам'ятка населенню: що робити у випадку витoku газу. URL: <https://rdam-p.gov.ua/aktualno/pamyatka-naselennju-scho-robiti-u-vipadku-vitoku-gazu/> (дата звернення: 15.11.2025)
21. Природний газ, склад та властивості. URL: <https://n-e-c.com.ua/uk/node/182> (дата звернення: 15.11.2025)
22. Вибухи побутового газу в житлових будинках: найрезонансніші випадки в Україні. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2023/06/22/infografika/suspilstvo/vybuchy-robutovooho-hazu-zhytlovyx-budynках-najrezonansnishi-vypadky-ukrayini> (дата звернення: 15.11.2025)
23. На Позняках у Києві стався вибух у багатоповерхівці, є загиблі. URL: https://lb.ua/society/2020/06/21/460299_poznyakah_kieve_proizoshel_vzriv.html (дата звернення: 15.11.2025)
24. У столичній 16-поверхівці стався вибух через витік газу: 2 загиблих, 5 постраждалих. URL: <https://novynarnia.com/2023/06/22/u-stolychnij-16-poverhivczi-stavsya-vybuch-cherez-vytik-gazu-2-zagyblyh-5-postrazhdalyh/> (дата звернення: 15.11.2025)
25. Детектор якості повітря Bosean T-Z01Pro 5 параметрів, датчик CO₂, аналізатор t/rh, tvoc, hcho, pm2.5. URL: <https://prom.ua/ua/p2588862957-detektor-kachestva-vozduha.html> (дата звернення: 15.11.2025)
26. Багатофункціональний детектор якості повітря Tuuya WiFi 8 в 1 монітор CO₂, HCHO, TVOC, PM1.0, PM2.5, PM10 з вимірюванням температури. URL: <https://prom.ua/ua/p2784570672-mnogofunktsionalnyj-detektor-kachestva.html> (дата звернення: 15.11.2025)
27. Сигналізатор газу побутовий - датчик витoku газу метану, пропан - бутану Gas alarm. URL: <https://prom.ua/ua/p2300898542-signalizator-gaza-bytovoj.html> (дата звернення: 15.11.2025)
28. Датчик чадного газу + датчик диму з сиреною 2в1 JKD 512COM. URL: <https://prom.ua/ua/p1747619421-datchik-ugarnogo-gaza.html> (дата звернення: 15.11.2025)

29. Опорний конспект лекцій з дисципліни “Теорія автоматичного управління” (Частина 1) / Укл.: Николайчук Я.М., Возна Н.Я.– Тернопіль: Гал-друк, 2016. – 71 с.
30. Николайчук Я.М., Сегін А.І. Моделі джерел інформації та методи їх представлення. Методи та прилади контролю якості, №2. Ст.80-84
31. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації: монографія / Я.М. Николайчук. – Тернопіль: ТНЕУ, Економічна думка, 2008. – 396 с.
32. Ширмовська Н.Г., Николайчук Я.М., Ширмовський Г.Я., Левицька Г.І., Левицький А.Ю. Моделювання об’єкта управління на основі квазістаціонарних логіко-статистичних та кластерних інформаційних моделей в передаварійних та аварійних ситуаціях. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2012. № 1(42).
33. Ширмовська Н.Г., Левицька Г.І., Гучій М.І. Діагностування станів квазістаціонарних об’єктів засобами логіко-статистичного опрацювання. Вісник Хмельницького національного університету. №2 ‘2013. С. 231-238.
34. Пітух І.Р. Теорія та принципи діалогового моніторингу просторово розподілених об’єктів. Науковий вісник НЛТУ України, 2021, т. 31, № 1. С.110-116.
35. Пітух І. Р. Перспективи вдосконалення алгоритмів обчислення та процесів побудови інформаційних логіко-статистичних моделей у базисі Хаара-Крестенсона. Науковий вісник НЛТУ України, 2019, т. 29, № 5. С.151-155.
36. Arduino UNO R3 (CH340). URL: <https://arduino.ua/prod8110-arduino-uno-r3-ch340> (дата звернення: 15.11.2025)
37. Модуль ESP32 WiFi Bluetooth WROOM-32 CH340 TYPE-C DEVKIT. URL: <https://prom.ua/ua/p2745906427-modul-esp32-wifi.html> (дата звернення: 15.11.2025)
38. Модуль розробника ESP32 WROOM-32. URL: <https://rozetka.com.ua/ua/449685362/p449685362/> (дата звернення: 15.11.2025)

39. Модуль розробника ESP32 WROOM-32. URL: <https://rozetka.com.ua/ua/449685362/p449685362/> (дата звернення: 15.11.2025)
40. Плата розробника Arduino UNO WiFi R3 ATmega328P. URL: <https://beegreen.com.ua/plata-rozrobnika-arduino-uno-wifi-r3-atmega328p-15384> (дата звернення: 15.11.2025)
41. Плата розробки UNO WIFI ESP8266 8Mb. URL: <https://uamper.com/Arduino-Iduino/%D0%9F%D0%B0%D0%B0%D1%82%D0%B0-%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8-UNO-WIFI-ESP8266-8%D0%9Cb> (дата звернення: 15.11.2025)
42. Модуль датчика диму MQ-2. URL: <https://arduino.ua/prod298-modyl-datchika-dima-mq-2> (дата звернення: 15.11.2025)
43. Модуль датчика алкоголю MQ-3. URL: <https://arduino.ua/prod1240-modyl-datchika-alkogolya-mq-3> (дата звернення: 15.11.2025)
44. Модуль датчика газу MQ-4. URL: <https://arduino.ua/prod1245-modyl-datchika-gaza-mq-4> (дата звернення: 15.11.2025)
45. Модуль датчика газу MQ-5. URL: <https://arduino.ua/prod1239-datchik-gaza-mq-5> (дата звернення: 15.11.2025)
46. Модуль датчика газу MQ-6. URL: <https://arduino.ua/prod1388-modyl-datchika-gaza-mq-6> (дата звернення: 15.11.2025)
47. Модуль датчика газу MQ-7. URL: <https://arduino.ua/prod1389-modyl-datchika-gaza-mq-7> (дата звернення: 15.11.2025)
48. Модуль датчика газу MQ-8. URL: <https://arduino.ua/prod1387-modyl-datchik-vodoroda-mq-8> (дата звернення: 15.11.2025)
49. Модуль датчика газу MQ-9. URL: <https://arduino.ua/prod1238-modyl-datchika-gaza-mq-9> (дата звернення: 15.11.2025)

50. Модуль датчика озону MQ-131. URL: <https://arduino.ua/prod2801-modyl-datchika-ozona-mq131> (дата звернення: 15.11.2025)
51. Модуль датчика якості повітря MQ-135. URL: <https://arduino.ua/prod1201-modyl-datchika-kachestva-vozdyha-mq135> (дата звернення: 15.11.2025)
52. Датчик MQ136. URL: <https://imrad.com.ua/ua/mq136-4> (дата звернення: 15.11.2025)
53. Датчик MQ137. URL: <https://imrad.com.ua/ua/mq137-9> (дата звернення: 15.11.2025)
54. Датчик MQ138. URL: <https://imrad.com.ua/ua/mq138-0> (дата звернення: 15.11.2025)
55. Макетна плата на 400 контактів Arduino. URL: <https://beegreen.com.ua/bespaechnoe-maketnaya-plata-400-kontaktiv-arduino-11096> (дата звернення: 15.11.2025)
56. Світлодіод F5-5мм кольоровий 3.3V. URL: <https://myproject.com.ua/svitlodiod-f5-5mm-kolorovyj-3.3v.html> (дата звернення: 15.11.2025)
57. Пасивний зумер 12085 16 Ом АС / 2 кГц 3V 5V 9V. URL: <https://beegreen.com.ua/pasivnij-zumer-12085-16-om-ac-2-kgc-3v-5v-9v-10046> (дата звернення: 15.11.2025)
58. Резистор 0.25W 220R 220Om 220ом 0.25Вт 10шт. URL: <https://beegreen.com.ua/rezistor-0-25w-220r-220om-220om-0-25vt-14496> (дата звернення: 15.11.2025)
59. З'єднувальні кабелі джампери Dupont тато-тато 15см Arduino. URL: <https://beegreen.com.ua/zednuvaln%D1%96-kabel%D1%96-dzhamperi-dupont-tato-tato-15sm-arduino-16877> (дата звернення: 15.11.2025)
60. Батарейка Varta 9V Крона 6F22 Carbon-Zinc. URL: https://www.mobilife.com.ua/product/prod99225-Batareyka_Varta_9V_Krona_6F22_Carbon-Zinc_Superlife_plenka_02022101301.html (дата звернення: 15.11.2025)

61. Перехідник для Ардуіно під батарейку "Крона" 9V. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=95&product_id=178 (дата звернення: 15.11.2025)
62. Дисплей OLED 0.96-дюймовий I2C жовто-синій. URL: <https://beegreen.com.ua/displej-oled-0-96-dyujmovij-i2c-zhovto-sinij-odnokristalniy-17239> (дата звернення: 15.11.2025)
63. Блок живлення 9 В 1 А для Arduino Uno, Mega 2560. URL: <https://arduinokit.com.ua/p1245202484-blok-pitaniya-dlya.html> (дата звернення: 15.11.2025)
64. Датчик газу MQ-4 для Arduino. URL: <https://arduinokit.com.ua/ua/p2271846098-datchik-gaza-dlya.html> (дата звернення: 15.11.2025)
65. MQ-4 датчик газу метан, пропан, бутан. URL: <https://autohome.org.ua/market/sensors/mq4-methane-gas-sensor-detail> (дата звернення: 15.11.2025)
66. Сенсор MQ135 датчик витоку газу. URL: <https://prom.ua/ua/p1639073892-sensor-mq135-datchik.html> (дата звернення: 15.11.2025)
67. Датчик газу MQ-135 модуль. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/datchik-gaza-mq-135-modul> (дата звернення: 15.11.2025)
68. Газ для заправки запальничок жовтий 90ml (Польща). URL: <https://www.skladoptom.com.ua/gaz-dlya-zapravki-zapalnichok-zhovtij-90ml-polsha> (дата звернення: 15.11.2025)
69. Газ Newport 250 мл. URL: <https://fortunacigars.com.ua/gaz-nu-port-250-ml/> (дата звернення: 15.11.2025)
70. Газ для заправки запальничок високого очищення ZHS 250 мл. URL: <https://sunopt.ua/haz-dlia-zapravky-zapalnychok-vysokoho-ochyshchennia-rasta-250-ml/> (дата звернення: 15.11.2025)
71. Neela V., Solms N. Addition of malodorants to lighter gas – The phase equilibrium properties of mixtures of lighter gas and selected substances. URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263876214004134>

(дата звернення: 15.11.2025)

72. Safety data sheet: Flammable Liquefied Gas Mixture: Isobutane / N-Butane / Propane. URL: <https://www.airgas.com/msds/002369.pdf> (дата звернення: 15.11.2025)
73. Butane lighter: safety data sheet. URL: <https://hollowick.com/wp-content/uploads/2021/06/SDS-Hollowick-Butane-Lighters.pdf> (дата звернення: 15.11.2025)
74. Safety data sheet: butane. URL: <https://images.thdstatic.com/catalog/pdfImages/75/756be17e-620d-4166-ba9d-a001008a8969.pdf> (дата звернення: 15.11.2025)

Додатки

Додаток А

Лістинг програми для мікроконтролера ATmega328P розробленої системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4

```
#include <Wire.h>                // Підключення бібліотеки для забезпечення
                                // роботи через шину I2C

#include <Adafruit_SSD1306.h>    // Драйвер SSD1306

// Налаштування OLED: 128x64 пікселів, I2C адреса 0x3C

#define SCREEN_WIDTH 128

#define SCREEN_HEIGHT 64

#define OLED_RESET -1          // Reset пін не використовується

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);

int MQerror = 20; // Встановлення мінімального значення показів датчика яке
                 // не досягне в реальній роботі і яке може бути зумовлене
                 // виходом з ладу датчика

// MQ135

// Номер піна до якого під'єднується датчик MQ-135:

const int MQ135pin = A0;

// Номер піна до якого під'єднується зелений світлодіод, самостійне вмикання
// якого (без вмикання червоного світлодіода) інформує що датчик MQ-135
// не виявив в повітрі шкідливих речовин:
```

```
const int MQ135LEDgreen = 6;

// Номер піна до якого під'єднується червоний світлодіод, самостійне вмикання
// якого (без вмикання зеленого світлодіода) інформує що датчик MQ-135
// виявив в повітрі шкідливі речовини:

const int MQ135LEDred = 7;

// Змінній для зберігання значення з датчика MQ-135 (якість повітря)
присвоюється початкове значення 0:

int MQ135 = 0;

// Встановлення максимального значення показів датчика MQ-135 яке може
бути ознакою виявлення шкідливих речовин в повітрі:

const int MQ135nebezpeka = 400;

// MQ4

// Номер піна до якого під'єднується датчик MQ-4:

const int MQ4pin = A1;

// Номер піна до якого під'єднується зелений світлодіод, самостійне вмикання
// якого (без вмикання червоного світлодіода) інформує що датчик MQ-4
// не виявив в повітрі вибухонебезпечного природного газу:

const int MQ4LEDgreen = 8;

// Номер піна до якого під'єднується червоний світлодіод, самостійне вмикання
// якого (без вмикання зеленого світлодіода) інформує що датчик MQ-4
// виявив в повітрі вибухонебезпечний природний газ:

const int MQ4LEDred = 9;
```

```
// Змінній для зберігання значення з датчика MQ-4 (виявлення в повітрі
// вибухонебезпечного природного газу: метану, бутану, пропану ...)
// присвоюється початкове значення 0:
int MQ4 = 0;

// Встановлення максимального значення показів датчика MQ-4 яке може бути
ознакою виявлення в повітрі вибухонебезпечного природного газу:
const int MQ4nebezpeka = 400;

// MQ7

// Номер піна до якого під'єднується датчик MQ-7:
const int MQ7pin = A2;

// Номер піна до якого під'єднується зелений світлодіод, самостійне вмикання
// якого (без вмикання червоного світлодіода) інформує що датчик MQ-7
// не виявив в повітрі чадного газу:
const int MQ7LEDgreen = 10;

// Номер піна до якого під'єднується червоний світлодіод, самостійне вмикання
// якого (без вмикання зеленого світлодіода) інформує що датчик MQ-7 виявив
// в повітрі чадний газ:
const int MQ7LEDred = 11;

// Змінній для зберігання значення з датчика MQ-7 (виявлення в повітрі чадного
газу) присвоюється початкове значення 0:
int MQ7 = 0;
```

```
// Встановлення максимального значення показів датчика MQ-7 яке може бути
// ознакою виявлення в повітрі чадного газу:
const int MQ7nebezpeka = 400;

// Номер піна до якого під'єднується зумер, який відповідатиме за звукову
// сигналізацію у випадку виявлення системою шкідливих або небезпечних
// речовин в повітрі:
const int buzerpin = 5;

// Змінній для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію
// за результатами роботи датчика MQ-135 (0 - не потрібно вмикати звукову
// сигналізацію, 1 - потрібно вмикати звукову сигналізацію: в повітрі виявлено
// шкідливі речовини) присвоюється початкове значення 0:
int buzerMQ135 = 0;

// Змінній для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію
// за результатами роботи датчика MQ-4 (0 - не потрібно вмикати звукову
// сигналізацію, 1 - потрібно вмикати звукову сигналізацію: в повітрі виявлено
// природний газ) присвоюється початкове значення 0:
int buzerMQ4 = 0;

// Змінній для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію
// за результатами роботи датчика MQ-7 (0 - не потрібно вмикати звукову
// сигналізацію, 1 - потрібно вмикати звукову сигналізацію: в повітрі виявлено
// чадний газ) присвоюється початкове значення 0:
int buzerMQ7 = 0;
```

```
// Змінній для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію  
// про неналежну роботу датчика MQ-135 (0 - не потрібно вмикати звукову  
// сигналізацію, 1 - потрібно вмикати звукову сигналізацію: датчик ймовірно  
// неналежно працює і потрібно терміново перевірити його працездатність)  
// присвоюється початкове значення 0:
```

```
int buzerMQ135e = 0;
```

```
// Змінній для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію  
// про неналежну роботу датчика MQ-4 (0 - не потрібно вмикати звукову  
// сигналізацію, 1 - потрібно вмикати звукову сигналізацію: датчик ймовірно  
// неналежно працює і потрібно терміново перевірити його працездатність)  
// присвоюється початкове значення 0:
```

```
int buzerMQ4e = 0;
```

```
// Змінній для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію  
// про неналежну роботу датчика MQ-7 (0 - не потрібно вмикати звукову  
// сигналізацію, 1 - потрібно вмикати звукову сигналізацію: датчик ймовірно  
// неналежно працює і потрібно терміново перевірити його працездатність)  
// присвоюється початкове значення 0:
```

```
int buzerMQ7e = 0;
```

```
void setup() {
```

```
    // Ініціалізація послідовного зв'язку зі швидкістю 115200 бод:
```

```
    Serial.begin(115200);
```

```
// Налаштування піна для зеленого світлодіода для датчика MQ-135

// в режим OUTPUT:

pinMode(MQ135LEDgreen, OUTPUT);

// Налаштування піна для зеленого світлодіода для датчика MQ-4

// в режим OUTPUT:

pinMode(MQ4LEDgreen, OUTPUT);

// Налаштування піна для зеленого світлодіода для датчика MQ-7

// в режим OUTPUT:

pinMode(MQ7LEDgreen, OUTPUT);

// Налаштування піна для червоного світлодіода для датчика MQ-135

// в режим OUTPUT:

pinMode(MQ135LEDred, OUTPUT);

// Налаштування піна для червоного світлодіода для датчика MQ-4

// в режим OUTPUT:

pinMode(MQ4LEDred, OUTPUT);

// Налаштування піна для червоного світлодіода для датчика MQ-7

// в режим OUTPUT

pinMode(MQ7LEDred, OUTPUT);

// Ініціалізація I2C OLED з адресою 0x3C:

display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);

// Початкове очищення дисплея:

display.clearDisplay();
```

```

display.setTextSize(2); // Розмір тексту (1 – стандартний)
display.setTextColor(SSD1306_WHITE); // Колір (білий)
display.setCursor(0, 0); // Початок координат
display.println("MQ Sensors:");
display.display(); // Оновити дисплей
delay(1000); // Коротка заставка
}

void loop() {
// Зчитування аналогового значення з датчика якості повітря MQ-135:
MQ135 = analogRead(MQ135pin);
// З використанням ЛСІМ-1 здійснюється перевірка чи не має в повітрі
// шкідливих речовин які може виявляти датчик MQ-135:
if ((MQ135 >= MQerror ) && (MQ135 <= MQ135nebezpeka)) {
//не має в повітрі шкідливих речовин які виявляє датчик якості повітря MQ-135:
// Вмикається зелений світлодіод, який інформує про те що датчик якості
// повітря MQ-135 не виявив шкідливих речовин в повітрі:
digitalWrite(MQ135LEDgreen, HIGH);
// Вимкнено червоний світлодіод, який інформує про те що датчик якості
// повітря MQ-135 виявив шкідливі речовини в повітрі:
digitalWrite(MQ135LEDred, LOW);
}
}

```

```
// Змінній buzerMQ135 для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову
// сигналізацію за результатами роботи датчика MQ-135
// присвоюється значення 0 - тобто не потрібно вмикати звукову
// сигналізацію: в повітрі не виявлено шкідливих речовин,
// які виявляє датчик MQ-135:
buzerMQ135 = 0;
}
else {
    // Перевіряємо чи поточне аналогове значення зчитане з датчика якості
    // повітря MQ-135 більше від встановленого максимального значення показів
    // датчика MQ-135 яке може бути ознакою виявлення шкідливих речовин
    // в повітрі:
    if (MQ135 > MQ135nebezpeka) {
        // Якщо поточне аналогове значення зчитане з датчика якості повітря MQ-135
        // більше від встановленого максимального значення показів датчика MQ-135
        // (MQ135nebezpeka) яке може бути ознакою виявлення шкідливих речовин в
        // повітрі то вмикається зелений світлодіод який відноситься до датчика
        // MQ-135 і вмикається червоний світлодіод який відноситься до датчика
        // MQ-135 а також змінній buzerMQ135 для зберігання значення чи потрібно
        // вмикати звукову сигналізацію за результатами роботи датчика MQ-135
        // присвоюється значення 1 - тобто потрібно вмикати звукову сигналізацію:
        // в повітрі виявлено шкідливі речовини:
```

```

digitalWrite(MQ135LEDgreen, LOW);

digitalWrite(MQ135LEDred, HIGH);

buzzerMQ135 = 1;

// Підготовка інформації про якість повітря до відправки

char MQ135R[20] = "MQ135 detected: "; // Перша змінна char[]

char MQ135Char[6]; // Друга змінна char[]

dtostrf(MQ135, 4, 0, MQ135Char); // 4 символи загальною, 0 після коми

char MQ135result[26]; // Результиуючий буфер

strcpy(MQ135result, MQ135R); // Копіюємо першу змінну char[]

// в результиуючий буфер

strcat(MQ135result, MQ135Char); // Додаємо другу змінну char[]

// в результиуючий буфер

Serial.write(MQ135result); // відправка інформації з результиуючого

// буфера через послідовний канал

}

if (MQ135 < MQerror) {

// Якщо поточне аналогове значення зчитане з датчика якості повітря MQ-135

// менше від встановленого мінімального значення показів датчика яке

// не досягне в реальній роботі і яке може бути зумовлене виходом з ладу

// датчика то вмикається зелений світлодіод який відноситься до датчика

// MQ-135 і вмикається червоний світлодіод який відноситься до датчика

// MQ-135 а також змінній buzerMQ135e для зберігання значення чи потрібно

```

```

// вмикати звукову сигналізацію за результатами роботи датчика MQ-135

// присвоюється значення 1 - тобто потрібно вмикати звукову сигналізацію:

// ймовірно датчик працює некоректно і необхідно терміново перевірити його

// працездатність:

digitalWrite(MQ135LEDgreen, HIGH);

digitalWrite(MQ135LEDred, HIGH);

buzzerMQ135e = 1;

// Підготовка інформації про непрацездатність MQ135 до відправки

char MQ135Error[20] = "MQ135 Don't work: "; // Перша змінна char[]

char MQ135CharError[6]; // Друга змінна char[]

dtostrf(MQ135, 4, 0, MQ135CharError); // 4 символи загальною, 0 після коми

char MQ135ErrorResult[26]; // Результуючий буфер

strcpy(MQ135ErrorResult, MQ135Error); // Копіюємо першу змінну char[]

// в результуючий буфер

strcat(MQ135ErrorResult, MQ135CharError); // Додаємо другу змінну char[]

// в результуючий буфер

Serial.write(MQ135ErrorResult); // відправка інформації з результуючого

// буфера через послідовний канал

}

}

// Зчитування аналогового значення з датчика виявлення в повітрі

// вибухонебезпечного природного газу MQ-4:

```

```

MQ4 = analogRead(MQ4pin);

// З використанням ЛСІМ-1 здійснюється перевірка чи не має в повітрі
// вибухонебезпечного природного газу який може виявляти датчик MQ-4:
if ((MQ4 >= MQerror ) && (MQ4 <= MQ4nebezpeka)) {

    // Датчик MQ-4 не виявив в повітрі вибухонебезпечного природного газу:
    // Вмикається зелений світлодіод, який інформує про те що датчик MQ-4
    // не виявив в повітрі вибухонебезпечного природного газу:
    digitalWrite(MQ4LEDgreen, HIGH);

    // Вимкнено червоний світлодіод, який інформує про те що датчик MQ-4
    // виявив в повітрі вибухонебезпечний природний газ:
    digitalWrite(MQ4LEDred, LOW);

    // Змінній buzerMQ4 для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову
    // сигналізацію за результатами роботи датчика MQ-4
    // присвоюється значення 0 - тобто не потрібно вмикати звукову
    // сигналізацію: в повітрі не виявлено вибухонебезпечного природного газу:
    buzerMQ4 = 0;
}

// Перевіряємо чи поточне аналогове значення зчитане з датчика виявлення в
// повітрі вибухонебезпечного природного газу MQ-4
// більше від встановленого максимального значення показів датчика MQ-4
// яке може бути ознакою виявлення в повітрі вибухонебезпечного природного
// газу:

```

```

else {

if (MQ4 > MQ4nebezpeka) {

    // Якщо поточне аналогове значення зчитане з датчика виявлення в повітрі
    // вибухонебезпечного природного газу MQ-4 більше від встановленого
    // максимального значення показів датчика MQ-4 (MQ4nebezpeka) яке може
    // бути ознакою виявлення в повітрі вибухонебезпечного природного газу
    // то вмикається зелений світлодіод який відноситься до датчика MQ-4 і
    // вмикається червоний світлодіод який відноситься до датчика MQ-4
    // а також змінній buzerMQ4 для зберігання значення чи потрібно вмикати
    // звукову сигналізацію за результатами роботи датчика MQ-4
    // присвоюється значення 1 - тобто потрібно вмикати звукову сигналізацію: в
    // повітрі виявлено вибухонебезпечний природний газ:

digitalWrite(MQ4LEDgreen, LOW);

digitalWrite(MQ4LEDred, HIGH);

buzerMQ4 = 1;

// Підготовка інформації про виявлення вибухонебезпечного природного газу:

char metan[20] = " Metan detected: "; // Перша змінна char[]

char MQ4Char[6]; // Друга змінна char[]

dtostrf(MQ4, 4, 0, MQ4Char); // 4 символи загалом, 0 після коми

char METANresult[26]; // Результируючий буфер

strcpy(METANresult, metan); // Копіюємо першу змінна char[]

// в результируючий буфер

```

```
strcat(METANresult, MQ4Char);      // Додаємо другу змінну char[]
                                     // в результуючий буфер

Serial.write(METANresult);          // відправка інформації з результуючого
                                     // буфера через послідовний канал
}

if (MQ4 < MQerror) {
    // Якщо поточне аналогове значення зчитане з датчика виявлення
    // вибухонебезпечного природного газу в повітрі MQ-4 менше від
    // встановленого мінімального значення показів датчика яке не досягне в
    // реальній роботі і яке може бути зумовлене виходом з ладу датчика
    // то вмикається зелений світлодіод який відноситься до датчика MQ-4 і
    // вмикається червоний світлодіод який відноситься до датчика MQ-4
    // а також змінній buzerMQ4 для зберігання значення чи потрібно вмикати
    // звукову сигналізацію за результатами роботи датчика MQ-4 присвоюється
    // значення 1 - тобто потрібно вмикати звукову сигналізацію: ймовірно
    // датчик працює некоректно і необхідно терміново перевірити його
    // працездатність:
    digitalWrite(MQ4LEDgreen, HIGH);
    digitalWrite(MQ4LEDred, HIGH);
    buzerMQ4e = 1;
```

```

// Підготовка інформації про непрацездатність MQ4 до відправки

char MetanError[20] = " MQ4 Don't work: "; // Перша змінна char[]

char MQ4CharError[6]; // Друга змінна char[]

dtostrf(MQ4, 4, 0, MQ4CharError); // 4 символи загально, 0 після коми

char MetanErrorResult[26]; // Результуючий буфер

strcpy(MetanErrorResult, MetanError); // Копіюємо першу змінна char[]

// в результуючий буфер

strcat(MetanErrorResult, MQ4CharError); // Додаємо другу змінну char[]

// в результуючий буфер

Serial.write(MetanErrorResult); // Відправка інформації з результуючого

// буфера через послідовний канал

}

}

// Зчитування аналогового значення з датчика виявлення чадного газу

// в повітрі MQ-7:

MQ7 = analogRead(MQ7pin);

// З використанням ЛСІМ-1 здійснюється перевірка чи не має в повітрі чадного

// газу який може виявляти датчик MQ-7:

if ((MQ7 >= MQerror ) && (MQ7 <= MQ7nebezpeka)) {

// Датчик MQ-7 не виявив в повітрі чадного газу

// Вмикається зелений світлодіод, який інформує про те що датчик MQ-7

// не виявив в повітрі чадного газу:

```

```

digitalWrite(MQ7LEDgreen, HIGH);

// Вимкнено червоний світлодіод, який інформує про те що датчик MQ-7

// виявив в повітрі чадний газ:

digitalWrite(MQ7LEDred, LOW);

// Змінній buzerMQ7 для зберігання значення чи потрібно вмикати звукову

// сигналізацію за результатами роботи датчика MQ-7 присвоюється

// значення 0 - тобто не потрібно вмикати звукову сигналізацію: в повітрі

// не виявлено чадного газу:

buzerMQ7 = 0;

}

else {

// Перевіряємо чи поточне аналогове значення зчитане з датчика виявлення

// чадного газу в повітрі MQ-7 більше від встановленого максимального

// значення показів датчика MQ-7 яке може бути ознакою виявлення чадного

// газу в повітрі:

if (MQ7 > MQ7nebezpeka) {

// Якщо поточне аналогове значення зчитане з датчика виявлення чадного

// газу в повітрі MQ-7 більше від встановленого максимального значення

// показів датчика MQ-7 (MQ7nebezpeka) яке може бути ознакою виявлення

// в повітрі чадного газу то вмикається зелений світлодіод який відноситься

// до датчика MQ-7 і вмикається червоний світлодіод який відноситься до

// датчика MQ-7 а також змінній buzerMQ7 для зберігання значення чи

```

```

// потрібно вмикати звукову сигналізацію за результатами роботи датчика

// MQ-7 присвоюється значення 1 - тобто потрібно вмикати звукову

// сигналізацію: в повітрі виявлено чадний газ:

digitalWrite(MQ7LEDgreen, LOW);

digitalWrite(MQ7LEDred, HIGH);

buzzerMQ7 = 1;

// Підготовка інформації про виявлення чадного газу до відправки:

char CHADNIYGAZ[25] = " Chadniy Gaz detected: "; // Перша змінна char[]

char MQ7Char[6]; // Друга змінна char[]

dtostrf(MQ7, 4, 0, MQ7Char); // 4 символи загалом, 0 після коми

char CHADNIYGAZresult[31]; // Результуючий буфер

strcpy(CHADNIYGAZresult, CHADNIYGAZ); // Копіюємо першу змінну

// char[] в результуючий буфер

strcat(CHADNIYGAZresult, MQ7Char); // Додаємо другу змінну char[]

// в результуючий буфер

Serial.write(CHADNIYGAZresult); // відправка інформації з результуючого

// буфера через послідовний канал

}

if (MQ7 < MQerror) {

// Якщо поточне аналогове значення зчитане з датчика виявлення чадного

// газу в повітрі MQ-7 менше від встановленого мінімального значення

// показів датчика яке не досягне в реальній роботі і яке може бути

```

```

// зумовлене виходом з ладу датчика то вмикається зелений світлодіод який
// відноситься до датчика MQ-7 і вмикається червоний світлодіод який
// відноситься до датчика MQ-7 а також змінній buzerMQ7 для зберігання
// значення чи потрібно вмикати звукову сигналізацію за результатами
// роботи датчика MQ-7 присвоюється значення 1 - тобто потрібно вмикати
// звукову сигналізацію: ймовірно датчик працює некоректно і необхідно
// терміново перевірити його працездатність:
digitalWrite(MQ7LEDgreen, HIGH);
digitalWrite(MQ7LEDred, HIGH);
buzerMQ7e = 1;
// Підготовка інформації про непрацездатність датчика MQ7 до відправки:
char ChadniyGazError[20] = " MQ7 Don't work: "; // Перша змінна char[]
char MQ7CharError[6]; // Друга змінна char[]
dtostrf(MQ7, 4, 0, MQ7CharError); // 4 символи загалом, 0 після коми
char ChadniyGazErrorResult[26]; // Результуючий буфер
strcpy(ChadniyGazErrorResult, ChadniyGazError); // Копіюємо першу змінну
// char[] в результуючий буфер
strcat(ChadniyGazErrorResult, MQ7CharError); // Додаємо другу змінну char[]
// в результуючий буфер
Serial.write(ChadniyGazErrorResult); // відправка інформації з результуючого
// буфера через послідовний канал
}

```

```
}  
  
// Очищення дисплея:  
  
display.clearDisplay();  
  
display.setCursor(0, 0);  
  
// Виведення в три рядки:  
  
display.println("MQ135: " + String(MQ135)); // Перший рядок: MQ135  
  
display.println("MQ4: " + String(MQ4));      // Другий рядок: MQ4  
  
display.println("MQ7: " + String(MQ7));      // Третій рядок: MQ7  
  
// Оновлення дисплея:  
  
display.display();  
  
// Вмикання звукової сигналізації у випадку виявлення для цього підстав або її  
  
// вимикання якщо підстави для цього припинилися:  
  
if (buzerMQ135 == 1 or buzerMQ4 == 1 or buzerMQ7 == 1 or buzerMQ135e == 1  
or buzerMQ4e == 1 or buzerMQ7e == 1) {  
  
    tone(buzerpin,10000);  
  
}  
  
else {  
  
    noTone(buzerpin);  
  
}  
  
delay(15000);          // Пауза 15 секунд  
  
Serial.println("");  
  
}
```

Додаток Б

Лістинг програми для ESP8266 розробленої системи моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами модулів MQ-135, MQ-7, MQ-4

```
// Підключення бібліотеки для роботи з Wi-Fi на ESP8266:

#include <ESP8266WiFi.h>

// Підключення бібліотеки для створення захищених з'єднань (HTTPS)

// через Wi-Fi:

#include <WiFiClientSecure.h>

// Підключення універсальної бібліотеки для Telegram-бота:

#include <UniversalTelegramBot.h>

// Облікові дані локальної бездротової Wi-Fi мережі,

// яка під'єднана до мережі Інтернет:

// Ім'я локальної бездротової Wi-Fi мережі, яка під'єднана до мережі Інтернет:

const char* ssid = "XXXXXX";

// Пароль до локальної бездротової Wi-Fi мережі,

// яка під'єднана до мережі Інтернет:

const char* password = "xxxxx";

// Ініціалізація телеграм-бота потребує Bot Token телеграм-бота від Botfather

// та ID чату в Telegram, куди бот надсилатиме повідомлення:

#define BOTtoken "8888888888:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX "

```

```

#define CHAT_ID "1111111111"

// Сертифікат для безпечного з'єднання з API Telegram для ESP8266:
X509List cert(TELEGRAM_CERTIFICATE_ROOT);

// Об'єкт захищеного WiFi-клієнта для HTTPS-з'єднань:
WiFiClientSecure client;

// Ініціалізація Telegram-бота з токеном і захищеним клієнтом:
UniversalTelegramBot bot(BOTtoken, client);

void setup() {

// Ініціалізація послідовного порту зі швидкістю 115200 бод:
Serial.begin(115200);

// Налаштування отримання часу UTC через NTP-сервер:
configTime(0, 0, "pool.ntp.org");

// Додавання root-сертифіката для api.telegram.org для ESP8266:
client.setTrustAnchors(&cert);

// Підключення до Wi-Fi мережі:

// Встановлення режиму "станція" (підключення до роутера):
WiFi.mode(WIFI_STA);

// Початок підключення до Wi-Fi з SSID та паролем:
WiFi.begin(ssid, password);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {

    delay(1000);                // Пауза 1 секунду

    Serial.println("Connecting to WiFi.."); // Виведення повідомлення

```

```
                                // про процес підключення

    }

    // Надсилання повідомлення "start" у вказаний чат в Telegram:

    bot.sendMessage("1111111111", "start", "");

    }

    void loop() {

        // В телеграм-бот з ESP8266 відправляється інформація про виявлену

        // небезпеку, яка отримана від Arduino Uno R3:

        bot.sendMessage("1111111111", Serial.readString(), "");

        delay(5000);

    }
```

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема магістерської роботи: Розробка апаратно-програмних засобів моніторингу та оповіщення наявності шкідливих речовин в повітрі на основі ЛСІМ-1 засобами MQ-135, MQ-7, MQ-4

Обсяг пояснювальної записки 80 аркушів.

3 таблиці;

41 рисунок;

2 додатки.

Дата завершення роботи 10.12.2025

Підпис студента-дипломника _____ / В.А. Дмитраш/