

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

Радіотехнічний факультет  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Г. М. С. А. Костюк  
(ініціали) (ініціали, прізвище)

« 01 » 06 2019 р.

Дипломний проект  
на здобуття ступеня бакалавра

За напрямом підготовки 6.050902 Радіoeлектронні апарати  
(код та назва спеціальності)

на тему: аналізатор забруднення повітря

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи РК-51  
(шифр групи)

Бугайчук Марас Ігоревич  
(прізвище, ім'я, по батькові)

[Підпис]  
(підпис)

Керівник Попци Володимир Іл'як  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

[Підпис]  
(підпис)

Консультант з охорони праці доцент, к.т.н., Каштанов С.Ф.  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

[Підпис]  
(підпис)

Рецензент к.т.н. Міддубний Володимир Олексійович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

[Підпис]  
(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент [Підпис]  
(підпис)

Київ – 20 19 року

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) радіотехнічний  
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

За напрямом підготовки 6.050902 Радіоелектронні апарати  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С.А. Нелін  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«16» травня 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проект (роботу) студенту

Бугайчук Марес Ігоревич  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналізатор забруднення повітря

керівник проекту (роботи) Пансій Володимир Ілліч  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «17» травня 2019 р. № \_\_\_\_\_

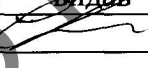
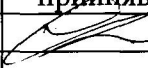
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 11.06.2019

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання кафедри  
Характеристика аналогів. Системна аналітика

4. Зміст (дипломної роботи) розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Аналіз аналізів аналізів, вибір схеми ел. привода, вибір датчиків, датчиків для матеріалів розрахунку, що під'єднуються, проектування, організації заходів з безпеки та охорони праці

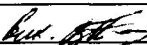
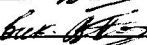
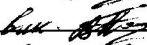
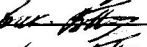
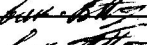
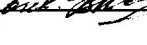
5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, плакатів тощо) Всіма структурними складовими кресленнями аналізу привода, кресленнями корпусу, специфікації

6. Консультанти розділів проекту (роботи)\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
З охорони праці	к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.		

7. Дата видачі завдання 16 травня 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз ТЗ	01.04.2019	вик. 
2.	Огляд існуючих рішень	12.04.2019	вик. 
3.	Об'єктування, вибір схеми.	22.04.2019	вик. 
4.	Вибір датчиків в комплект. та мат.	07.05.2019	вик. 
5.	Розрахунок, що під'єднується	23.05.2019	вик. 
6.	Проектування конструкції	03.06.2019	вик. 

Студент

  
(підпис)

Бугайчук Т.І  
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

В.Г. Понечі  
(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

## АНОТАЦІЯ

У пояснювальній записці до дипломного проекту було описано та розглянуто аналоги аналізаторів повітря, види датчиків якості повітря та їх ефективність, схематичні рішення популярних аналогів, також чому саме обрали Arduino Uno, для даного дипломного проекту та проаналізували технічне завдання диплому.

Так, на основі проведеного аналізу даних аналогів та схематичних рішень, у заданій дипломній роботі спроектовано і розроблено наступний пристрій, що має назву «Аналізатор забруднення повітря», побудовано загальну електричну схему приладу, датчиків та схему приєднання LCD – дисплею до Arduino UNO. Внесли розрахунки за допомогою яких працювали датчики і також, внесли розрахунок у програмну складову. Спрограмовано датчики температури і вологості для коректної роботи та LCD – дисплею плати – розширювача для різних операцій, наприклад, таких як виводу розрахунків чи зміна кольору на екрані.

Цей прилад повинен проводити детектування таких забруднюючих речовин атмосфери, як: озон, тверді частинки в повітрі, оксид вуглецю та азоту.

«Аналізатор забруднення повітря», також має такі датчики, що можуть вимірювати температуру і вологості повітря.

Даний прилад, можна порекомендувати будь – якій людині, у якої є сумніви та ваги у чистоті навколишнього середовища, що оточує її.

Пояснювальна записка має обсяг у 90 сторінок, без урахування додатків.

## ANNOTATION

In the explanatory note to the diploma project, analogues of air analyzers, types of air quality sensors and their efficiency, schematic solutions of popular analogues, and also why they chose Arduino Uno, for this diploma project and analyzed the technical task of the diploma were described and considered.

Thus, based on the analysis of data of analogues and schematic solutions, the following device named "Air pollution analyzer" was designed and developed in the given dissertation, the general electric circuit diagram of the device, sensors and the scheme of joining the LCD display to the Arduino UNO were constructed. The calculations by means of which the sensors worked and also made the calculation into the software component. The temperature and humidity sensors for correct operation and the LCD display of the motherboard are expanded for various operations, for example, such as calculation output or color changes on the screen.

This device should detect such pollutants of the atmosphere as: ozone, particulate matter in the air, carbon monoxide and nitrogen.

The "Air Pollution Analyzer" also has such sensors that can measure the temperature and humidity of the air.

This appliance can be recommended to any person who has doubts and weight in the purity of the surrounding environment.

The explanatory note has a volume of 90 pages, without the application.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до дипломного проекту**

на тему: Аналізатор забруднення повітря

Бугайчук Т.І. РК-51, 2019

Київ 2019

## Зміст

Вступ .....	4
1 Огляд аналогів .....	4
1.1 Загальні відомості про аналізатори .....	4
1.2 Види датчиків якості повітря і їх ефективність .....	5
1.3 Огляд та аналіз аналогів на ринку .....	5
1.4 Схемотехнічні рішення аналогів.....	4
1.5 Аналіз технічного завдання .....	14
2 Arduino uno r3: схема, опис, аргументація вибору .....	32
2.1 Принципова схема та опис елементів плати Arduino Uno R3 .....	34
2.2 Розташування виводів плати мікроконтролера на базі ATMEGA328.34	
2.3 Опис пристрою Arduino UNO.....	34
2.4 Обґрунтування вибору Arduino UNO .....	44
3 Технічний розділ .....	44
3.1 Матеріали, що застосовувались у проектуванні .....	34
3.2 Датчик твердих частинок .....	44
3.3 Схема газового датчика.....	44
3.4 Датчики озону і NO2.....	44
3.5 Датчик температури і вологості .....	44
3.6 Вибір вентилятору та джерела живлення .....	44
3.7 Опис 16 x 2 LCD плати - розширювача.....	51
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність приладу.....	50
4.1 Розрахунки для визначення концентрації твердих частинок .....	50
4.2 Розрахунки для оцінки концентрації газу .....	51
4.3 Розрахунки датчиків MQ2 і MQ9 .....	51
4.4 Розрахунок теплового індексу .....	55
4.5 Розрахунки пристрою на вібростійкість.....	56
4.6 Розрахунки, які застосовувались в коді програми.....	50
5 Програмування приладу .....	50

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1 Підключення до бібліотеки LiquidCrystal .....	51
5.2 Текстове введення у «Серіал монітор» .....	52
5.3 Програмування кнопок дисплею .....	53
5.4 Проста зміна кольору.....	54
5.5 Основні моменти програмування датчика вологості та повітря.....	57
6 Конструкція приладу	
6.1 Короткий опис приладу .....	58
6.2 Схема підключення роз'єднаної роботи Arduino і LCD - дисплею..	61
6.3 Макет корпусу .....	64
7 Охорона праці	
7.1 Визначення основних потенційно шкідливих і небезпечних виробничих чинників.....	65
7.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.....	68
7.2.1 Біологічна дія небезпечних та шкідливих факторів.....	71
7.2.2 Електробезпека.....	77
7.2.3 Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання .....	77
7.2.4 Виробничий шум 77	
7.2.5 Визначення концентрації аерозолі свинцю при проведенні технологічного процесу пайки .....	77
7.2.6 Оцінка впливу інфрачервоного випромінювання при проведенні технологічного процесу пайки.....	81
7.2.7 Параметри мікроклімату робочої зони .....	81
7.3 Освітленість робочого місця.....	83
7.4 Пожежна безпека та профілактика.....	85
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	85
ДОДАТКИ.....	87

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Додаток А Технічне завдання.....	88
Додаток Б Комплект КД.....	88
Додаток В Лістинг програмування датчику температури та вологості DHT11 та розрахунок теплового індексу.....	90
Додаток Г Програмування Приладу.....	97

Бугайчук Т.І. РК-51, 2019

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Викид отруйних речовин особливо сильний в великих містах і центрах промисловості. Людина в середньому за добу вдихає до 20 тисяч літрів повітря. Однак разом з необхідним організму чистим киснем ми проносимо через легені отруйні пари, частинки кіптяви і попелу. Вони осідають в наших легенях, отруюючи людину.

Якість повітря у виробничих, офісних, житлових приміщеннях, у громадських місцях та місцях великого скупчення людей повинна відповідати законодавчо встановленим санітарно-гігієнічним нормам. Контроль рівня вуглекислого газу, наявності в повітрі токсичних чи вибухонебезпечних речовин є не просто необхідністю, а запорукою збереження здоров'я та навіть і життя людей.

На сьогоднішній день для контролю якості повітря в кожному закладі та будинку мають стояти відповідні прилади, які могли б за допомогою спеціальних сигналів і пристроїв попереджувати людей в домашніх умовах та блокувати роботу деяких приладів в промислових умовах в разі відповідної небезпеки.

Метою розробки є створення дешевого і надійного пристрою для аналізу забруднень побутових і промислових приміщень.

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				5
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 1 ОГЛЯД АНАЛОГІВ

У розділі «огляд аналогів», розглядаються аналізатори повітря, види датчиків якості повітря і їх ефективність. Також проведений аналіз подібних пристроїв на ринку. Продемонстровано схемотехнічні рішення аналогів та проаналізовано технічне завдання.

### 1.1 Загальні відомості про аналізатори

Аналізатор якості (забруднення) повітря [1] — незамінний прилад для визначення в навколишньому просторі певних (шкідливих і не дуже) речовин. Прилади визначають кількість «маркерного» елемента у складі повітря, і сигналізують про перевищення заданої норми.

Основні «вектори» — озон, вуглекислий і чадний газ, а також жива органіка (бактерії і пил). В функціонал включаються показники вологості та температури. Деякі прилади можуть змінювати чутливість у широких межах, а також вловлювати найменші частинки пилу з вмістом менше 1%.

Датчики якості повітря скорочують витрати на енергоспоживання вентиляції, опалення, охолоджувальних систем тощо. Завдяки цим приладам не потрібно тримати постійно включеними вентилятори, фільтри яких засмічуються і призводять до більшого споживання електроенергії, щогодини збільшуючи рахунки до оплати. З цими пристроями циркуляція повітря включаються в окремих приміщеннях будівлі в момент необхідності.

Також датчик якості повітря — засіб безпеки, що дозволяє вловити перевищення в атмосфері певних отруйних речовин і вжити відповідних заходів. Особливо важливе це на підприємствах, де активно використовуються хімікати — харчова промисловість, поліграфічні цехи, автомастерні та інші. Нарешті, датчики можна використовувати в якості джерела сигналу для протипожежної системи.

Датчик якості повітря, як пристрій, може мати опцію автоматичного регулювання показників. Ці спеціальні пристрої підключаються до системи

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

управління вентиляцією і без участі людини за заданими алгоритмами підлаштовують роботу вузлів і окремих приладів так, щоб підтримувати оптимальний склад повітря. Це дозволяє скоротити витрати на персонал, а також скорочує помилки оператора.

Принцип роботи більшості датчиків якості повітря заснований на двох методах взаємодії з оточенням:

- інфрачервоні датчики якості складу повітря — мають невелику дальність дії, а відповідно й високу похибку і «крок» визначення;
- чутливі вставки спрацьовують незалежно від віку механіки, точно, безвідмовно, але всього один раз, тому використовуються переважно в протипожежних системах.

Сполучені з датчиками вологості і температури повітря, інфрачервоні датчики стають повноцінними установками для клімат - контролю. З цієї причини аналізатор якості повітря [1] незамінний в офісах, торгових залах, інших приміщеннях, а зручний і красивий дизайн дозволяє використовувати пристрій і в будинках.

Передові моделі забезпечуються доступом в інтернет і інтегруються в бази даних підприємства. Це дозволяє в автоматичному режимі реєструвати показання і формувати автоматичні звіти. Таким чином, можна не тільки домогтися необхідної якості повітря без зусиль — автоматика відкриває ряд додаткових опцій:

- формування динамічних звітів показань змісту шкідливих газів;
- автономна реєстрація гранично допустимих концентрацій шкідливих газів та пилу у складі повітря;
- комплексний аналіз даних, зведення та ефективне вирішення завдань мікроклімату.

## 1.2 Види датчиків якості повітря і їх ефективність

Використовуючи датчик контролю якості повітря [2] можна швидко і легко визначити навіть найнезначніші відхилення в змісті шкідливих речовин

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в повітрі. Необхідно лише правильно підібрати відповідне обладнання. Розділяють кілька типів датчиків такого призначення:

- датчики диму сигарет.

Такий датчик якості повітря [2] використати можна для магазину, готелю, офісу і будь - якого іншого приміщення. Система швидко спрацює, якщо норма сигаретного диму буде перевищена.

- датчики вимірювання чадного газу, вуглекислого газу, вологості і температури (можна використовувати практично на будь - яких об'єктах);
- окремо варто виділити датчик якості повітря [2] в приміщенні для готелів.

Використання таких датчиків дозволить оперативно отримувати інформацію про зміни вмісту шкідливих речовин в повітрі.

- датчики прихованого типу;
- датчики стану повітря для офісних приміщень.

Завдяки великому вибору продукції можна підібрати датчик для будь - яких цілей. Необхідно враховувати ряд факторів, а саме тип приміщення, і які зміни повинен вловлювати датчик.

Сучасні датчики якості повітря працюють в повністю автоматичному режимі, оперативно проводять заміри і порівнюють їх з еталонними показниками, мають аналоговий або цифровий вихід. При найменших змінах стану повітря датчик сигналізує про це.

### 1.3 Огляд та аналіз аналогів на ринку

В даному розділі будуть розглянуті популярні моделі аналізаторів повітря, та їх характеристики.

Аналізатор повітря в приміщенні — WiFi елемент розумного будинку «Broadlink A1 e -Air», який зображено на рис. 1.1 [3].

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 — Аналізатор повітря в приміщенні — «Broadlink A1 e - Air» [3]

Ця сигналізація має такі характеристики:

- аналізатор шкідливих речовин в повітрі [1], датчик температури, вологості, освітлення та рівня шуму;
- безпроводне з'єднання з роутером;
- температура експлуатування : — 20...+60°C.

І це лише мала частина функцій, що встановленні в даній системі. Проаналізуємо характеристики даного приладу. Даний прилад — це набір датчиків в одному корпусі, що дозволяють в реальному часі проводити контроль температури, вологості, рівня освітленості, рівня шуму, летких органічних сполук, формальдегідів у приміщенні.

Broadlink A1 e - Air [3] або працює автономно, через WiFi мережу — тобто передає інформацію про параметри в приміщенні на смартфон, або працює разом з керівним пристроєм (контролером Broadlink RM Home / Pro), який виходячи з одержуваних параметрів — дає команди для техніки, наприклад включає кондиціонер або систему опалення.

Аналогічно можна задати умови і завдання для датчика гучності звуку, датчика освітленості, датчика вологості і т. д.

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На зворотному боці датчика знаходяться 3 роз'єми, верхній — роз'єм живлення, два нижніх це роз'єми для підключення до Broadlink A1 e - Air [3] інших додаткових датчиків (з іншим функціоналом).

Даний тип аналізатора має великий попит на ринку продаж і ціна на нього середня, і становить близько 1650 грн. у цінах 2018 р.

Повсякденний аналізатор забрудненості повітря, дозиметр, алкотестер «Страж» AQM - 22, який зображено на рисунку 1.2 [4].



Рисунок 1.2 — Побутовий аналізатор забрудненості повітря «Страж» AQM - 22 [4]

Цей пристрій має наступні характеристики, як:

- діапазон вимірювань : від нуля до ста відносних од.;
- діапазон вимірювань потужності експозиційної дози : від нуля до дев'яност дев'яносто дев'яти мкР/год ;
- високий (у середньому) термін служби — вісім років.

**Проаналізуємо характеристики даного приладу.** Аналіз забрудненості повітря виконується наступною дією: сигнал датчика має оброблятися вмонтованим мікроконтролером та видає дані на екран дисплею у виді суцільного показника забруднення повітря, які виражені у відносних од. з діапазоном зміни від нуля до ста од. Показання пристрою, при цьому в сто

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

од. дорівнюють ідеально чистому з точки зору пристрою повітря. Покази нижче 50 од. можуть вказують на можливі завищення у повітрі ГДК для однієї чи кількох шкідливих домішок. Після чого, зразу включається сигналізація першого рівня (безпаузовий звуковий сигнал). Включення другого рівня сигналізації (безпаузовий звуковий сигнал) відбувається при пониженні показань пристрою до рівня п'ятнадцять од. й нижче, де він має вказувати на небезпеку отруїтися токсичними речовинами, які перебувають у оточуючому нас повітрі. При наявності великої кількості зручностей і переваг, цей модуль як і попередній варіант, має не дуже велику собівартість, і становить 3500 грн на початок 2019 року.

Тепер, щодо недоліків цих приладів.

**Недоліки Broadlink A1 e —Air [3].** З основних недоліків Broadlink A1 e - Air можна вважати не дуже якісну збірку виробника (можливий немаленький відсоток браку). Не досить чіткий переклад настанови щодо експлуатування на англійську мову, не кажучи вже про відсутність перекладу на українську.

Також існують різні версії аналізаторів — звідси й різна робота алгоритму.

І самим головним мінусом можна вважати відмову сигналізації, як реакцію на подію.

**Недоліки «Страж» AQM - 22 [4].** Із недоліків «Страж» AQM - 22, можна виявити не досить якісну прошивку, невеликий діапазон у якому проходять моніторинг якості повітря, значна похибка кварцового хронографа, близько 9 с/добу і всього близько 4 років служби.

#### 1.4 Схемотехнічні рішення аналогів

В даному розділі описано схеми аналогів аналізаторів повітря.

Схема Broadlink A1 e —Air наведена на Рис. 1.3 [5]:

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



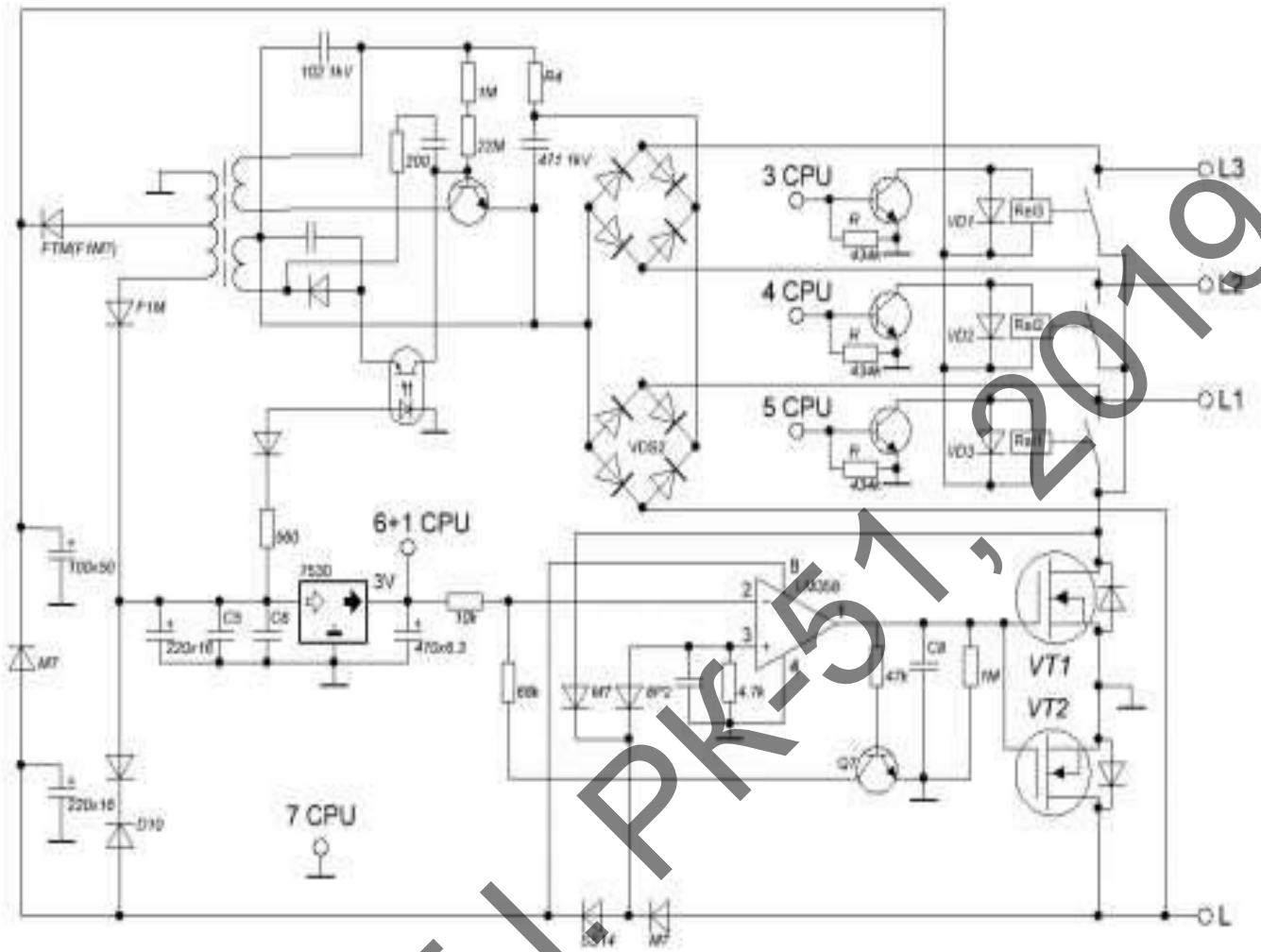


Рисунок 1.3 — Схема Broadlink A1 e - Air [5]

Схема «Страж» AQM - 22 наведена на Рис. 1.4 [6]:

Бугайчук				РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
Попсуй					12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

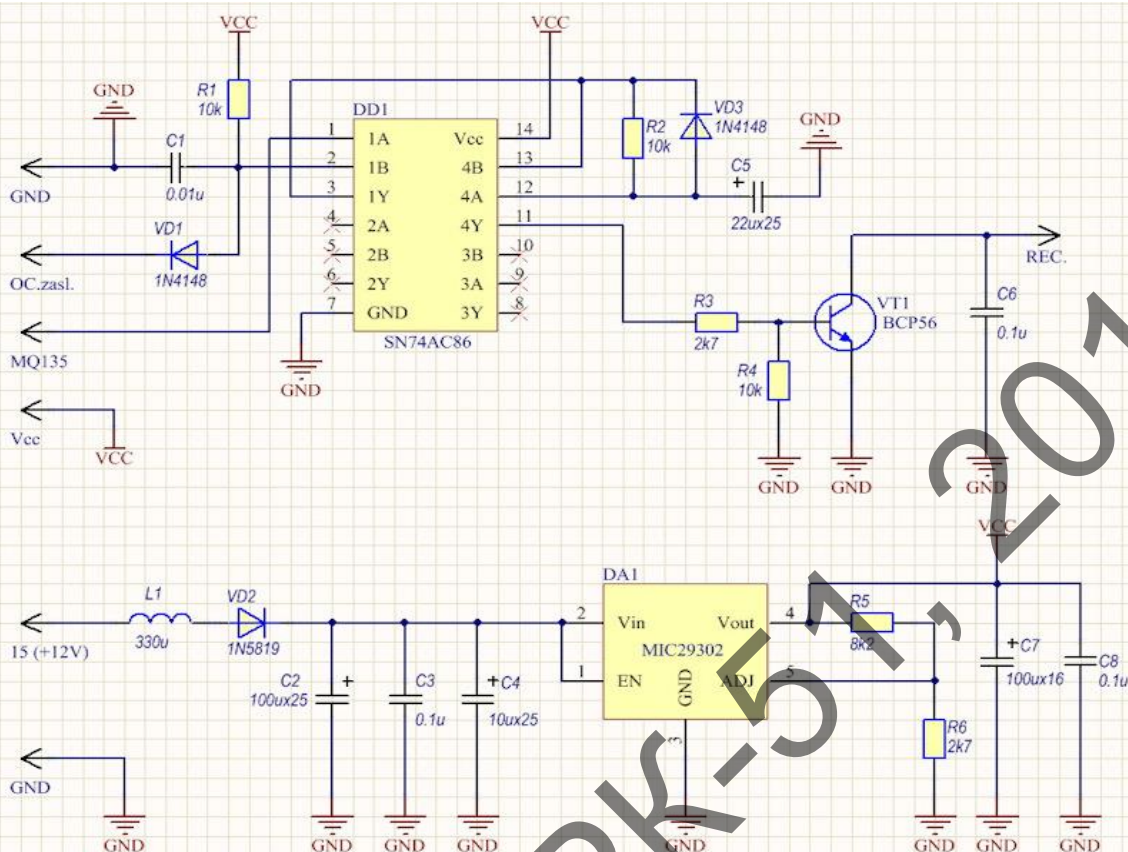


Рисунок 1.4 — Схема «Страж» AQM - 22 [6]

Схема «Страж» AQM - 22 реалізована на мікросхемах низького рівня інтеграції і має обмежений функціонал, не дозволяє приєднувати інші датчики та програмно керувати їх роботою. Для такої простої схеми ціна завелика.

Дані схематичні рішення дозволять зрозуміти принцип роботи та побудову приладів.

Виходячи з переваг і недоліків наведених аналізаторів, за основу розробки приладу обираємо схему реалізовану на процесорі Arduino. Це дозволить збільшити кількість датчиків, поліпшити якість обробки сигналів і надасть можливість передавати інформацію по каналам Wi - Fi та Bluetooth.

### 1.5 Аналіз технічного завдання

У дипломному проекті розробляється аналізатор забруднення повітря. Даний прилад повинен знімати інформацію з датчиків фіксувати її і обробляти за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення з

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

візуалізацією основних характеристик забруднення повітря. Пристрій призначений для використання у приміщеннях у якості приладу для моніторингу.

Згідно з технічним завданням кліматичне виконання УХЛ 4,2 за ГОСТ 15150-69[7]. Це передбачає наступні вимоги:

- робоча температура в межах від +10°C до +35°C;
- гранична температура в межах від +1°C до +40°C;
- середнє значення відносної вологості повітря — 60% при температурі +20°C;
- граничне значення відносної вологості повітря — 80% при температурі +25°C;
- робоче значення атмосферного тиску — 104 кПа;
- мінімально допустиме значення атмосферного тиску — 84 кПа.

Умови транспортування згідно ГОСТ 23216-78[8] — дуже легкі (ДЛ). Перевезення без перевантажень автомобільним транспортом — транспортними засобами з пневматичним демпфуванням по дорогам з асфальтним та бетонним покриттям ( дороги першої категорії згідно з будівельними нормами та правилами затвердженими Укравтодором) на відстані до 1000 км.

За ГОСТ 30773-2001[9] утилізацією приладу займається сторона виробника. При утилізації всі частини приладу розділяються на ті, що йдуть в подальшу переробку та ті, що повністю ліквідуються.

Захист від механічних впливів Р6 згідно ГОСТ 16019-2001[10]. Це передбачає вимоги зазначені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Характеристики та значення механічних та кліматичних чинників:

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Чинник	Характеристика чинника	Значення чинника
Синусоїдальна вібрація	Діапазон частот, Гц	10-70
	Амплітуда прискорення, м/с <sup>2</sup> (g)	19,6 (2)
	Тривалість впливу, хв	90
Знижена температура	Робоча, °С	+5
	Гранична, °С	-40
Підвищена температура	Робоча, °С	+40
	Гранична, °С	+55
Знижений атмосферний тиск	Тиск, кПа	55

За показниками надійності пристрій повинен мати гарантійний термін не менше трьох років та середній час напрацювання на відому повинен складати не менше 20000 годин. Ремонт та технічне обслуговування здійснюється у спеціальних сервісних центрах.

Оскільки згідно з технічним завданням передача інформації повинна передаватися по бездротовому каналу корпус повинен бути виготовлений з радіопрозорого матеріалу. Також для забезпечення можливості технічного обслуговування пристрою корпус доцільно зробити розбірним.

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ARDUINO UNO R3: СХЕМА, ОПИС, АРГУМЕНТАЦІЯ ВИБОРУ

Цей розділ дає інформацію про принципову схему [11], та опис елементів плати Arduino Uno R3 [12], рисунок розташування виводів плати мікроконтролера на базі ATMEGA328 [13]. Наведені спрощений опис роботи Arduino UNO [14] та аргументація вибору.

### 2.1 Принципова схема та опис елементів плати Arduino Uno R3

Принципова схема AUR3 наведена на Рис. 2.1 [11]:

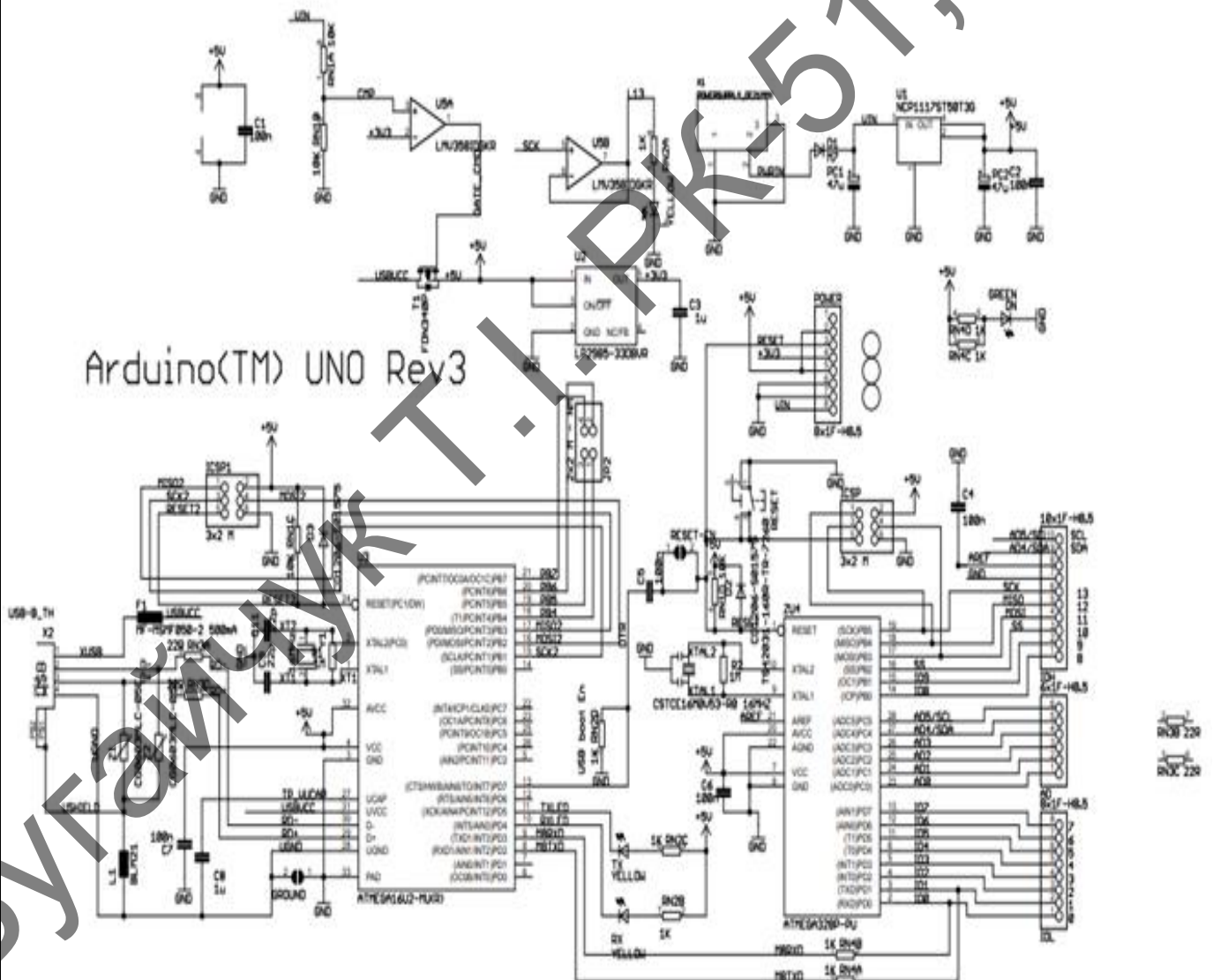


Рисунок 2.1 — AUR3 Схема [11]

Опис елементів плати AUR3 [12]:

		Бугайчук			Арк.
		Попсуй			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	16



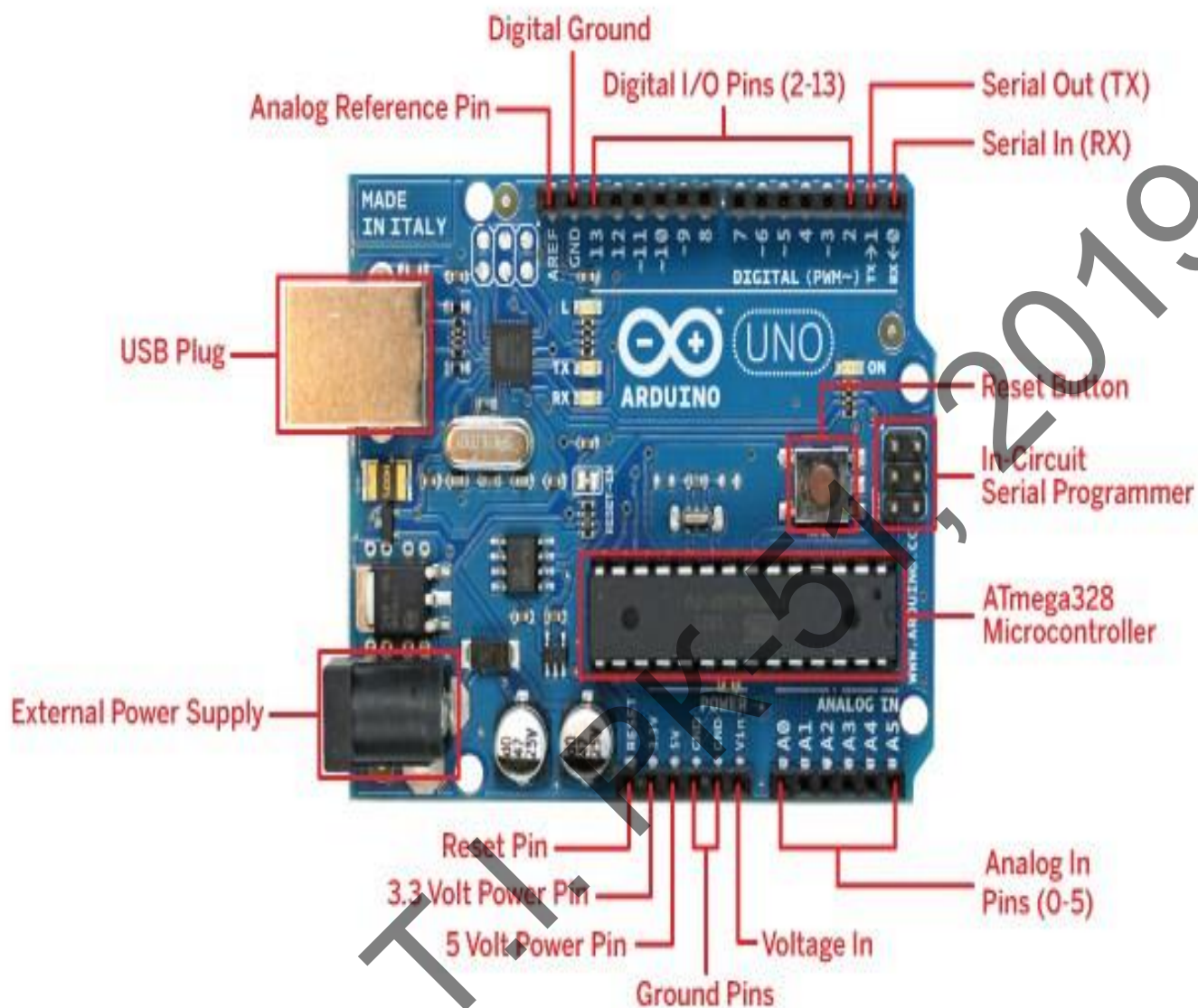


Рисунок 2.2 — Структура плати AUR3 [12]

## 2.2 Розташування виводів плати мікроконтролера на базі ATMEGA328

Розташування виводів плати мікроконтролера на базі ATMEGA328 зображена на рисунку 2.3 [13] нижче:

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

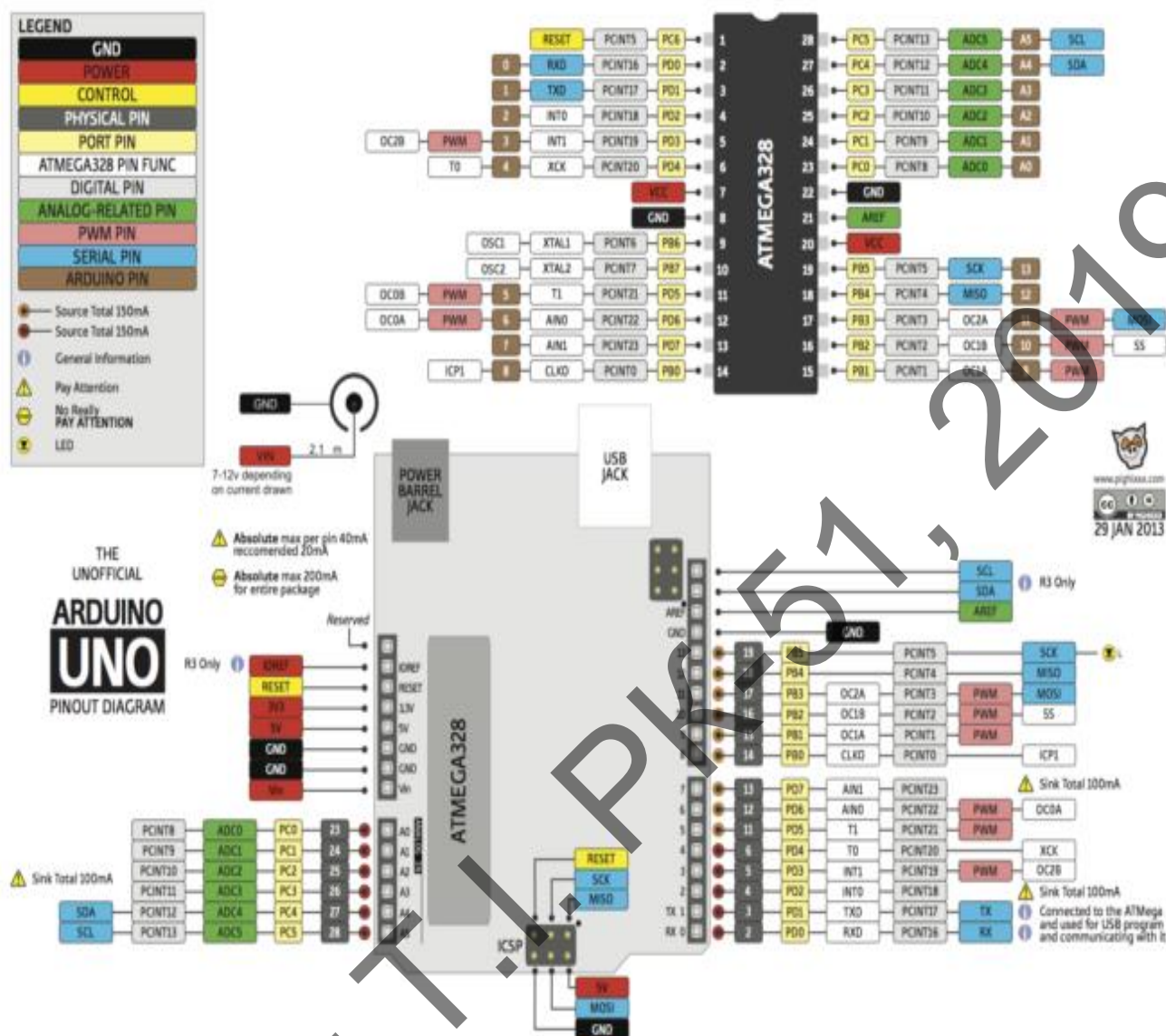


Рисунок 2.3 — Розташування виводів плати мікроконтролера [13]

### 2.3 Описання пристрою Arduino UNO

AUR3 [14] — пристрій, що базується на мікроконтролері ATmega328 . В комплект увіходить усе потрібне задля ліпшої праці з мікроконтролером: чотирнадцять цифрових виходів і входів (тільки шість з чотирнадцяти виходів можливі для застосування як ШІМ - виходи), аналогових входів також шість. Також мається присутність кварцового резонатора потужністю шістнадцять мегагерц, роз'єми USB та живлення і клавіша скидування. Щоб почати роботу на приладі, треба тільки дати живлення з AC / DC — адаптеру чи батарейки. Також, можна підключати AUR3 до ПК USB - кабелем.

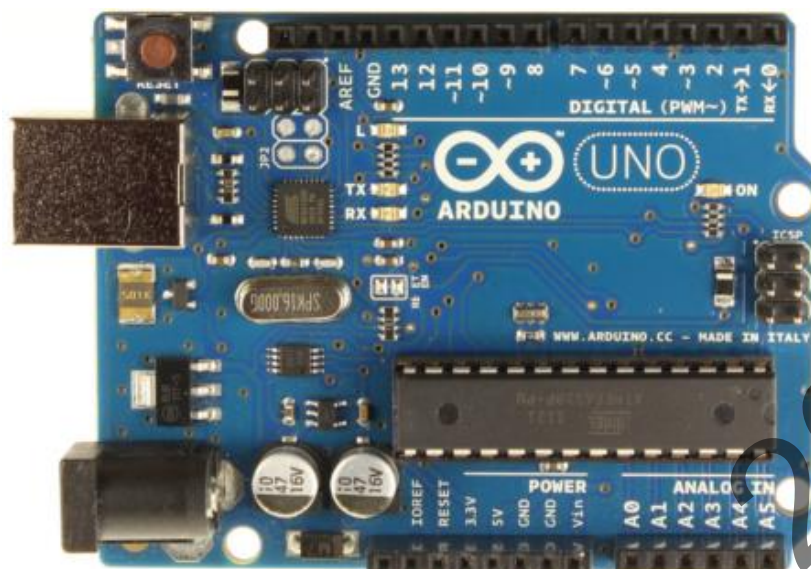


Рисунок 2.4 — Загальний вид AUR3 [14]

### Характеристики:

- Мікроконтролер: ATmega328;
- робоча напруга: п'ять вольт;
- рекомендована напруга живлення: сім - дванадцять вольт;
- гранична напруга живлення: шість - двадцять вольт;
- цифрові входи / виходи: чотирнадцять (застосовуватися як ШІМ - виходи тільки шість);
- аналогові входи: шість;
- максимальний струм для одного виводу: сорок міліампер;
- максимальний вихідний струм виведення 3,3V: п'ятдесят міліампер;
- flash - пам'ять: тридцять два кілобайти (ATmega328), де пів кілобайта використовуються завантажником;
- SRAM: два кілобайти (ATmega328);
- EEPROM: один кілобайт (ATmega328);
- тактова частота: шістнадцять мегагерц.

**Виходи й входи.** Застосовуючи функції pinMode, digitalWrite та digitalRead, де усі чотирнадцять цифрових виводів можуть працювати як вихід чи вхід. На виходах напруга становить тільки п'ять вольт.

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Найбільший струм входу або виходу дорівнює сорок міліампер. Але ще, окремі виводи Ардуіно можуть виконувати екстра функції:

- послідовний інтерфейс: виводи 0 (RXo) і 1 (TX). Функціонують задля того, щоб отримати (RX) та передати (TX) відомості через послідовний інтерфейс. Виводи приєднані з виводами мікросхеми ATmega8U2, що здійснює функцію перетворювача USB - UARTy;
- зовнішні переривання: третій і другий виводи. Слугують джерелами переривань, які утворюються при фронті, спаді чи за низького рівню сигналу на даних виводах. Щоб отримати додаткову інформацію потрібно розглянути функцію attachInterrupt;
- ШІМ: виводи третій, п'ятий, шостий, дев'ятий, десятий та одинадцятий. При допомозі функції analogWrite, виводяться восьми бітові аналогові дані у виді ШІМ - сигналу;
- інтерфейс SPI: десятий (SS), одинадцятий (MOSI), дванадцятий (MISO), тринадцятий (SCK) виводи. При застосуванні бібліотеки SPI ці виводи здійснюють (при бажанні) зв'язок через інтерфейс SPI;
- світлодіод: тринадцятий. Вмонтований світлодіод, який приєднаний до тринадцятого виводу. Коли відбувається відправка значення (HIGH), включається світлодіод. Вимкнення відбуваються за сигналом (LOW) ;

AUR3 [14] має шість аналогових входів (A0 - A5), які можуть представити аналогову напругу в вигляді десяти бітного числа. По замовчанню, вимір напруги виконується у діапазоні від нуля до п'яти вольт. Але верхнє значення діапазону можливо змінювати, застосовуючи вивід AREF та функцію analogReference. Також, певні аналогові входи оснащені додатковими функціями:

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- TWI: вивід A4 чи SDA та вивід A5 чи SCL. Якщо застосовується бібліотека Wire, то ці виводи здійснюють зв'язок через інтерфейс TWI.

За винятком перелічених у платі є ще декілька виводів:

- AREF. Опорна напруга під аналогові входи.
- Reset. Утворює низький рівень на даному виводі, що приводить мікроконтролер до перезавантаження. Найчастіше такий вивід слугує для функціонування клавіші скидання для плат - розширень.

## 2.4 Обґрунтування вибору Arduino UNO

Дана AUR3 плата [14] була використана, у зв'язку з наступними перевагами над іншими аналогами:

- невеликі розміри плати;
- гнучкість програмування;
- швидкість опитування;
- достатня кількість різних датчиків і модулів розширення;
- дешевизна плати.

У порівнянні з попередніми платами Arduino, AUR3 [14] (як перетворювач інтерфейсу USB - UART) користується мікроконтролером ATmega16U2 (а минулі використовували ATmega8U2, аж до версії R2) замість мікросхеми FTDI.

AUR3 [14] — відмінний варіант плати для створення несильно складних проектів і розумних пристроїв. Чотирнадцять цифрових і шість аналогових контактів дозволяють підключати різноманітні датчики, світлодіоди, двигуни та інші зовнішні пристрої.

У даному дипломному проекті використовується AUR3 [14], до якого приєднується LCD дисплей 16 x 2 з платою - розширювачем (LCDS) , датчики аналізу повітря, газові датчики і датчик температури та вологості.

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей комплект дозволяє виконати вимоги ТЗ. Переваги AUR3, порівняно з минулою версією плати, перераховані нижче:

- удосконалена стійкість ланцюга скидання;
- Більш швидкий та функціональний ATmega16U2 прийшов на зміну мікроконтролеру ATmega8U2;
- Uno — еталонна модель платформи Арудіно і є останньою в серії USB - плат.

USB - роз'єм дає змогу підключитися до ПК для пере прошивання скетчу без додаткових зовнішніх пристроїв. Вбудований стабілізатор дозволяє застосовувати різні елементи живлення с широким діапазоном напруги, з 6 — 7 до 12 — 14 В. У AUR3 [14] досить зручно реалізована робота з популярними протоколами: UART, SPI, I2C.

Бугайчук Т.І. РК-51, 2019

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

У даному розділі, розглядається вибір матеріалів, які використовувались у розробці приладу, вибір різноманітних датчиків [2], таких як датчики твердих частинок, озону і NO<sub>2</sub> та датчиків температури і вологості. Також вибір джерела живлення, вентилятору і LCDS.

#### 3.1 Матеріали, що застосовувались у проектуванні

Унікальна особливість платформи Arduino Uno полягає в тому, що дозволяє використовувати комплект різноманітних пристроїв (датчиків, індикаторів, плат розширення, силових керуючих пристроїв та ін.) для реалізації широкого спектру технічних задач. Проектування функційно завершеного приладу зводиться до вибору потрібних комплектуючих і їх приєднання за допомогою уніфікованих з'єднувачів та плат розширення, інколи ще потрібна макетна плата. Практично завжди відсутня потреба розробки друкованої плати. При нагальній потребі створення автономного приладу достатньо спроектувати лише корпус і виготовити його на 3D - принтері.

Для реалізації вимог ТЗ обираємо наступні комплектуючі.

##### Управління та живлення:

- мікроконтролер Arduino Uno R3 (AUR3) [14];
- джерело живлення напругою 5В Dazzle dsa-0151f-05 (DZL);
- Marlin 16 X 2 LCD Keypad Shield for Arduino плата - розширювач (LCDS).

##### Датчики:

- датчик твердих частинок Shinyei PPD42NS(SPPD42NS);
- газовий датчик MiCS-2714 (MCS7) (NO<sub>2</sub>);
- газовий датчик MiCS-2614 (MCS6) (Озон);
- Газовий датчик MQ-2;

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Газовий датчик MQ-9;
- датчик температури і вологості DHT11.

### Додаткові матеріали для збірки приладу:

- макетна плата;
- 5В вентилятор;
- 10 - 15 провідників діаметром 0,5 мм і довжиною до 100 мм.

### 3.2 Датчик твердих частинок

Уся інформація та аналіз зворотного декодування датчика sppd42ns вказана у навчальному матеріалі [15].

Для зібрання даних про концентрації твердих частинок у повітрі використовемо два пилових датчика Sppd42ns [15].

Електрична схема Sppd42ns, зображена на рис.3.1 [15]:

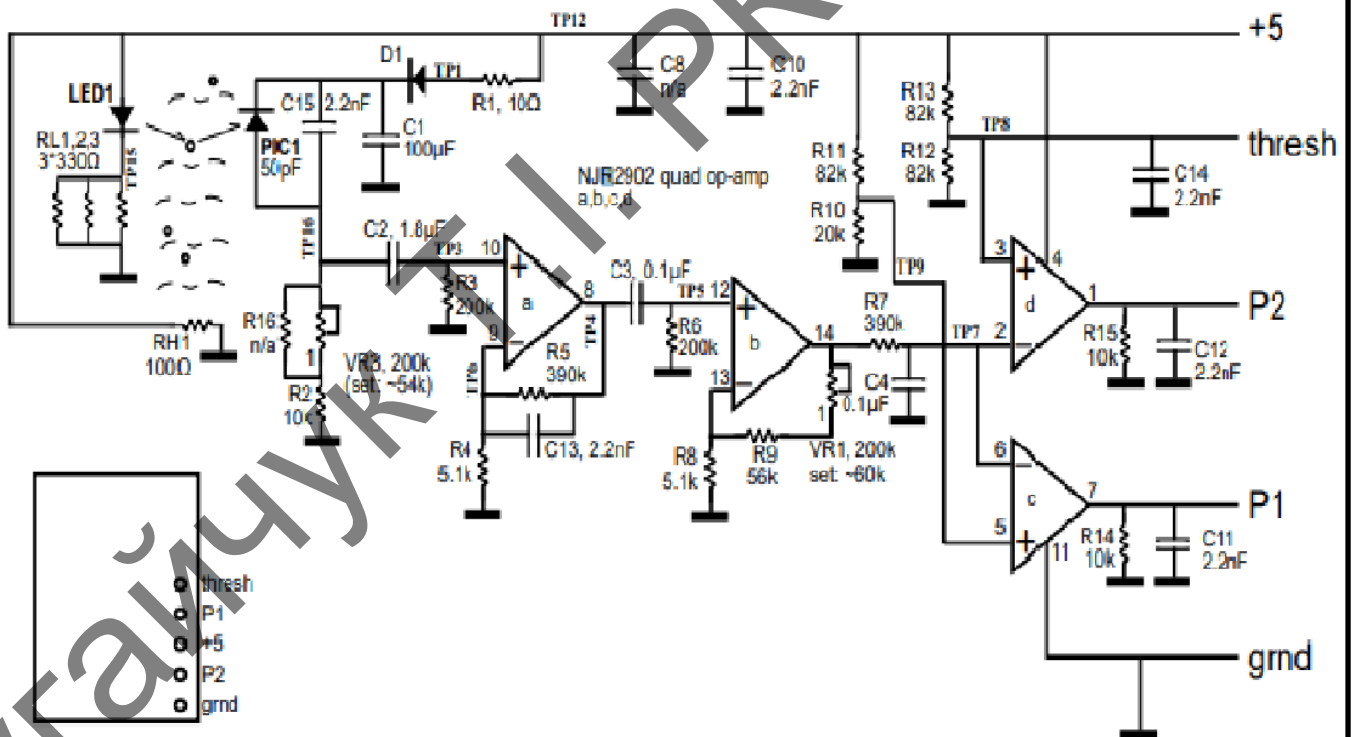


Рисунок 3.1 — Електрична схема датчику твердих частинок

Sppd42ns[15]

Кожен з двох датчиків Sppd42ns [15] має 2 сигнальних виходи: один для мільких і дрібних твердих часток (лівий жовтий провід на рисунку 3.2 нижче)

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та інший для великих твердих часток. Виходи під'єднані до цифрових входів Arduino [14]. Під порти датчика потребується +5В напруга живлення і земля.



Рисунок 3.2 — Датчик твердих частинок Sprd42ns

Обидва датчики використовують інфрачервоні світлодіоди й фотодіоди для вимірювання концентрації розсіяних у повітрі твердих часток. Внутрішня схема перетворює вихідний сигнал фотодіода в сигнали цифрового характеру. Сигнал на виході датчика, зазвичай є + 5В, а коли датчик виявляє частинки, амплітуда сигналу зменшується. Відсоток часу, протягом якого на виході фотодіода є низький рівень напруги пропорційний концентрації твердих частинок у повітрі.

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3 Схема газового датчика

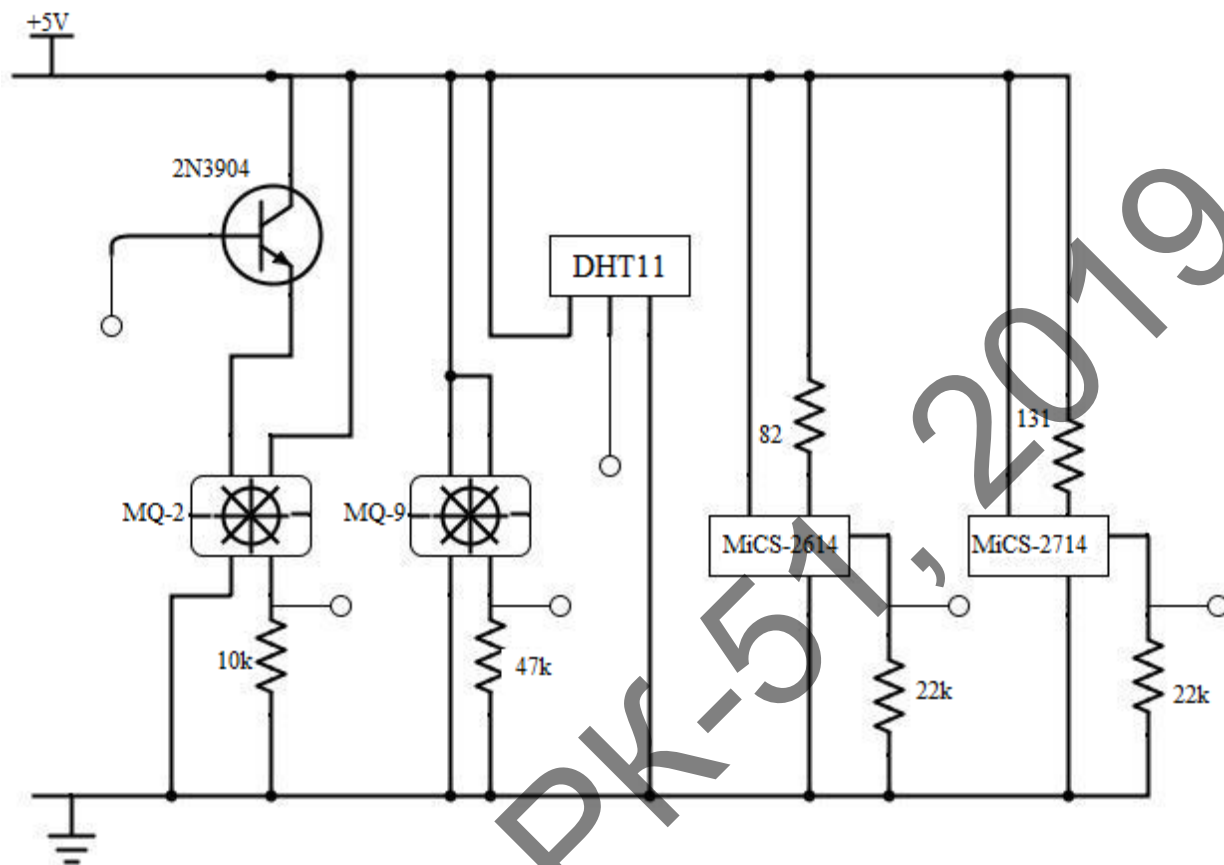


Рисунок 3.3 — Схема газового датчика

На рисунку 3.3 продемонстрована електрична схема друкованої плати газових датчиків MCS7 і MCS6, MQ2, MQ9 та датчика температури й вологості DHT11. Детальна інформація про кожен компонент і його встановлення описана нижче.

### 3.4 Датчики озону і NO<sub>2</sub>

У даному проекті використовуємо датчики з поверхневим монтажем MCS7 і MCS6, які можуть детектувати наявність в повітрі як озону так і двоокису азоту.

Обидва датчика мають внутрішній резистор у своєму сенсорному елементі. На схемі (рис. 3.4) вимірювальний резистор знаходиться між (G) і (K) виводами. Опір резистора знаходиться в межах 10-20 kΩ.

		Бугайчук		
		Попсуй		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PK51.407769.001 ПЗ

Арк.

26

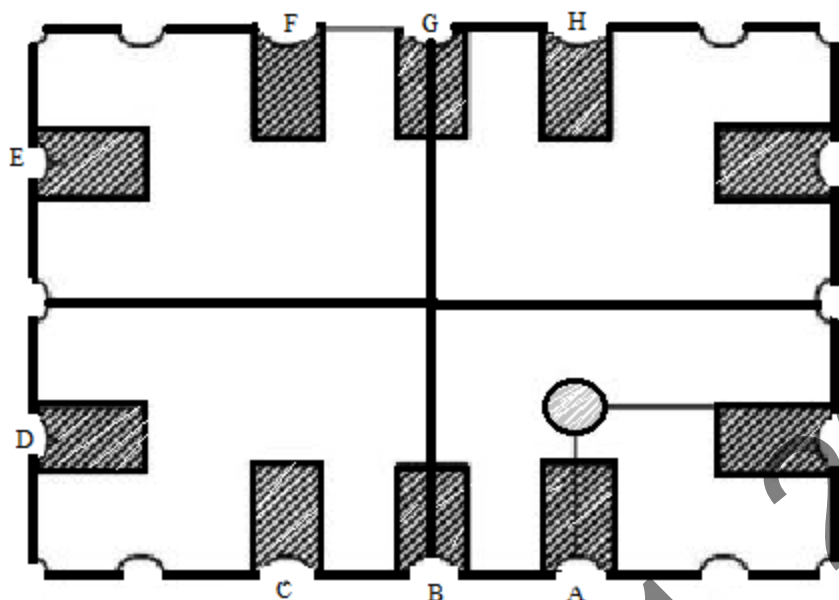


Рисунок 3.4 — Топологія датчиків озону та NO<sub>2</sub>

Два датчика забезпечені нагрівальним елементом між (А) і (Н) виводами. Цей нагрівальний елемент підтримує потрібну температуру для сенсорного елемента. Опір нагрівального елемента дорівнює 50-60Ω.

Обидва датчика встановлено поверхнево на друкованій платі.

Резистори номіналом 82Ω і 131Ω встановлено послідовно з нагрівальними елементами датчиків MCS6 і MCS67. Це обмежує необхідний рівень потужності. Використано резистор номіналом 131Ω (нестандартного значення).

Вимірювальні резистори в обох датчиках включені послідовно з резисторами 22кΩ з метою створення подільника напруги.

### 3.5 Датчик температури і вологості

Датчик DHT11 необхідний у аналізаторі повітря, оскільки контроль вологості і температури має важливу функцію для визначення концентрації газів. Висока температура і вологість дуже сильно впливають на чіткість вимірювань. І тому важливо контролювати зазначені параметри. За допомогою одного датчика одночасно контролюється як температура так і вологість.

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



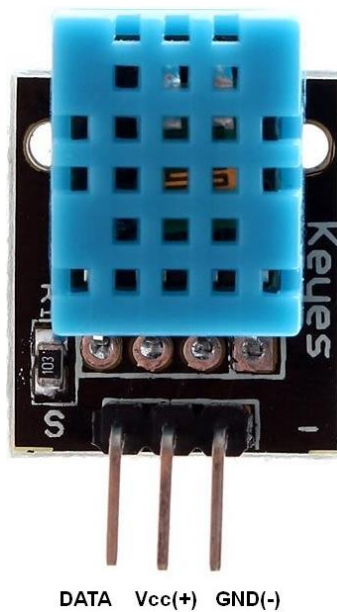


Рисунок 3.5 — Датчик температури і вологості DHT11

Згідно рисунку 3.5, середній вивід датчика приєднується до живлення, лівий вивід — це сигнальний вихід, правий підключається до землі. Вихідний сигнал від DHT11 надходить на цифровий порт AUR3. У програмуванні DHT11 передбачається, що температурний сигнал надходить на цифровий порт 2. Якщо потрібно, то його можна змінити на інший цифровий порт; потрібно тільки внести в код програми відповідні корекції в залежності від обраного порту.

### 3.6 Вибір вентилятору та джерела живлення

Зі схеми зрозуміло, що необхідна тільки одна вхідна напруга величиною 5В, тому для даного проекту обраємо звичайний мережевий адаптер, що має назву Dazzle (DZL)[16].

Окрім того, потрібен корпусний вентилятор, який не дасть сильно перегріватись пристрою. Використовуємо типовий 5В вентилятор необхідного розміру — 40 x 40мм.

### 3.7 Опис 16x2 LCD плати - розширювача

Відносно нова плата — Marlin, що суттєво розширює функціонал, та дозволяє легко використовувати LCDS 16 x 2. Даний LCDS є дисплеєм, який відображає основні розрахунки і заміри забрудненості повітря на екрані. Як

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

недолік, LCD - дисплеї вимагають численних цифрових контактів, шість для керування LCD - дисплеєм, і ще три для керування підсвічуванням RGB. Це половина контактів, доступних на класичному Arduino, що можна побачити на схемі (рисунок 3.6)[17]:

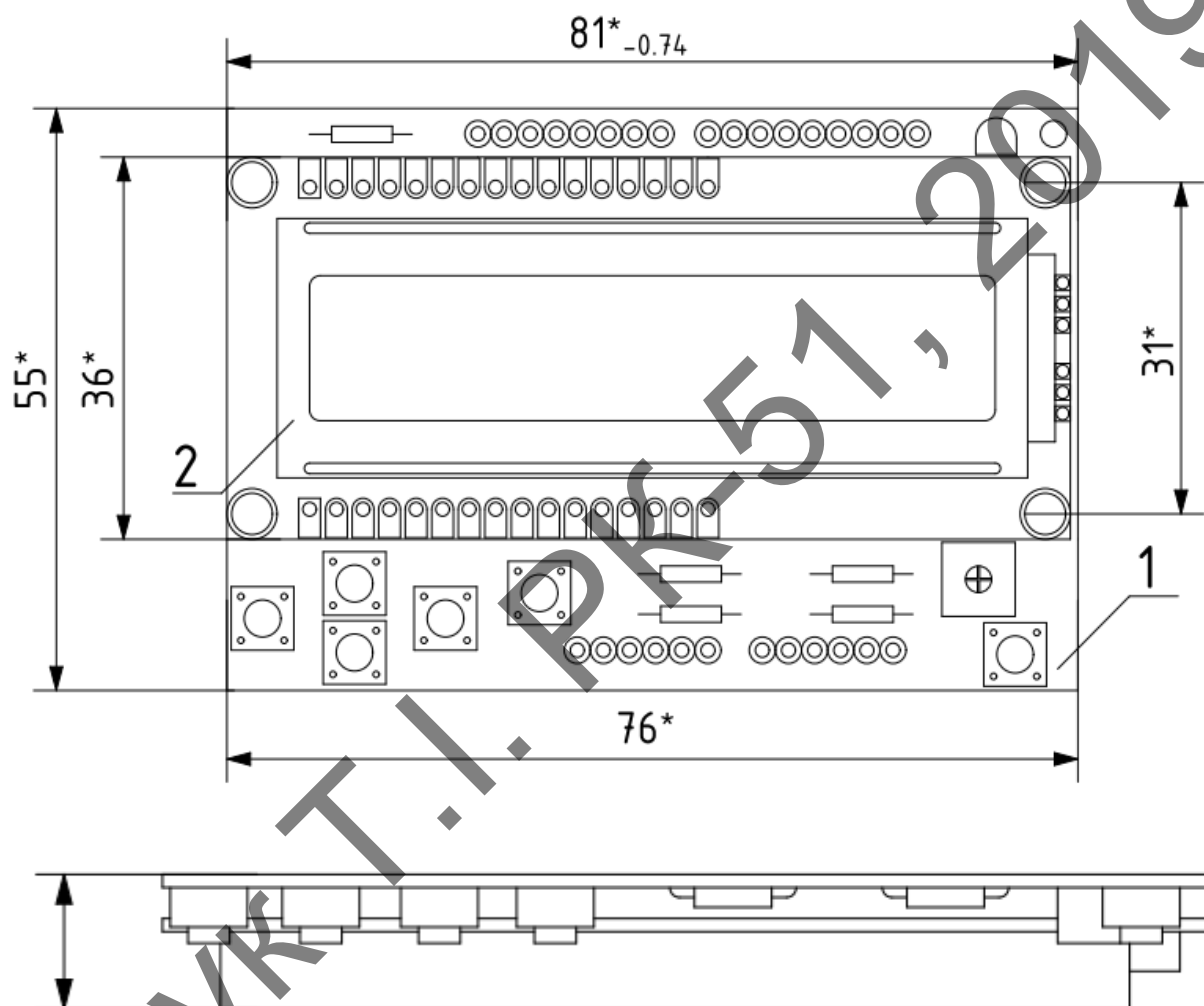


Рисунок 3.6 — Плата LCDS

Схема резисторів та кнопок плати [17]:

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

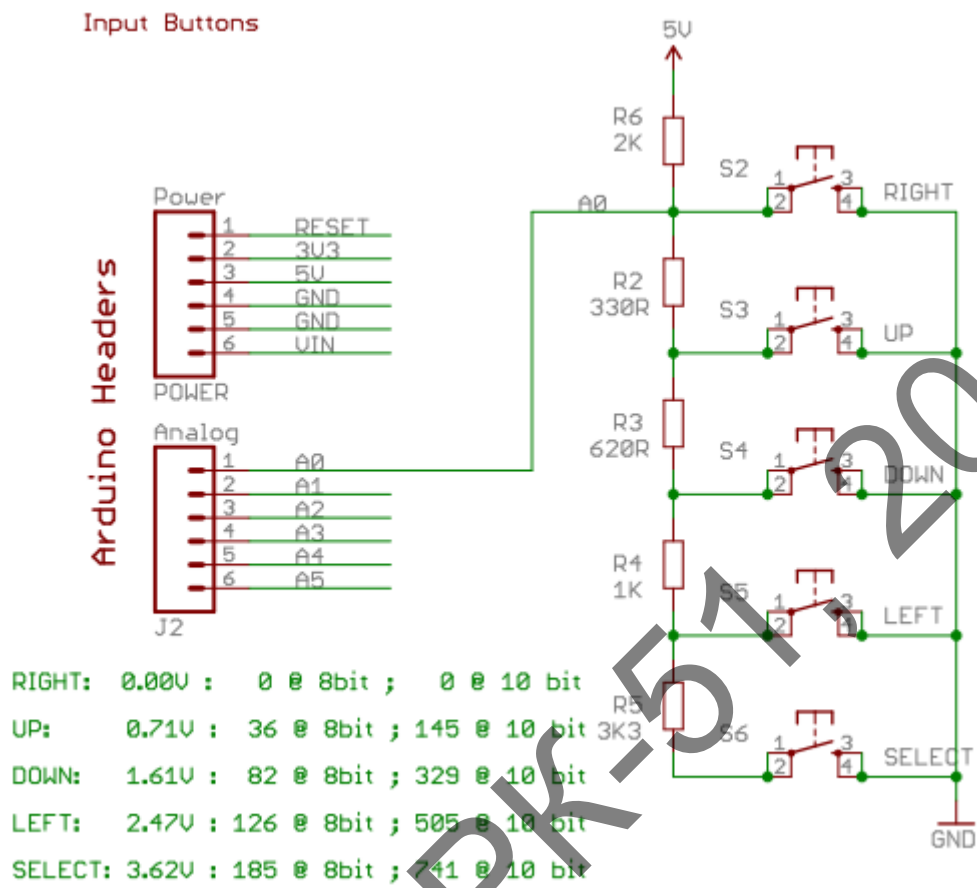


Рисунок 3.7 — Схема резисторів та кнопок плати

Плата - розширювач Marlin 16 X 2 LCD Keypad Shield for Arduino ідеально підходить для створення окремого проекту з власним інтерфейсом користувача, чому й була обрана для даного дипломного проекту. Чотири кнопки управління плюс кнопка вибору дозволяють здійснювати базове керування без необхідності підключення до ПК.

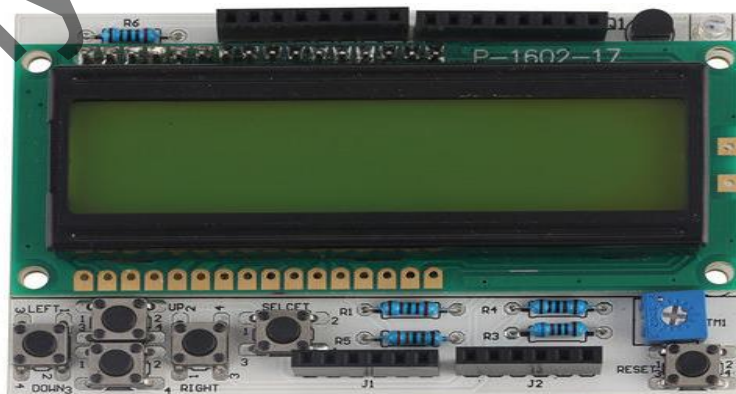


Рисунок 3.8 — Плата - розширювач Marlin 16 X 2 LCD Keypad Shield for Arduino

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Плата призначена для "класичних" Ардуїнів, таких як Uno, DuemilanoVe, Diecimilla і т.д. Вона використовує контакти I<sup>2</sup>C на Analog 4 і Analog 5.

Кнопки забезпечують переміщення: "вліво", "вправо", "вгору", "вниз" і "вибір" при використанні лише одного аналогового входу. Це залишає інші аналогові входи вільними для використання.

Бугайчук Т.І. РК-51, 2019

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИЛАДУ

В розділі наведені розрахунки концентрації газу, датчика MQ, концентрації твердих частинок, надійності, вібростійкості приладу тощо.

### 4.1 Розрахунки для визначення концентрації твердих частинок

Для того, щоб аналізатор повітря [1] добре функціонував та моніторив і аналізував повітря, необхідно розробити алгоритм його роботи. Нижче наведені основні формули, графіки та розрахунки для створення такого алгоритму.

У даному дипломному проєкті, для визначення концентрації твердих частинок, використовувались розрахунки з [18], де для пилового датчика Sppd42ns були визначені співвідношення вхідних сигналів і рівнів концентрації, проведених УЗОНС (Управлінням з охорони навколишнього середовища). Розрахунок концентрації твердих частинок проведений за допомогою графіків і формули: Застосовано графіки для виконання апроксимації концентрації твердих часток  $PM\ 2.5$  у мікрограмах  $m^3$  таким чином:

$$2.5 = 5 + 5 * T,$$

де  $T$  — проміжок часу коли на виході фотодіода присутній низький рівень напруги;

$PM\ 2.5$  — концентрації твердих часток у мікрограмах/ $m^3$ .

### 4.2 Розрахунки для оцінки концентрації газу

Для оцінки концентрації газу [19] від газових датчиків моделі MCS, було використано графіки і таблиці з datasheet ( $NO_2$  і  $O_3$ ) для визначення залежності концентрації газу від опору.

Типова реакція датчика на  $NO_2$  у повітрі представлена на рисунку 4.1. Опір датчика RS поступово нормалізується до опору під повітрям ( $R_0$ ).

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

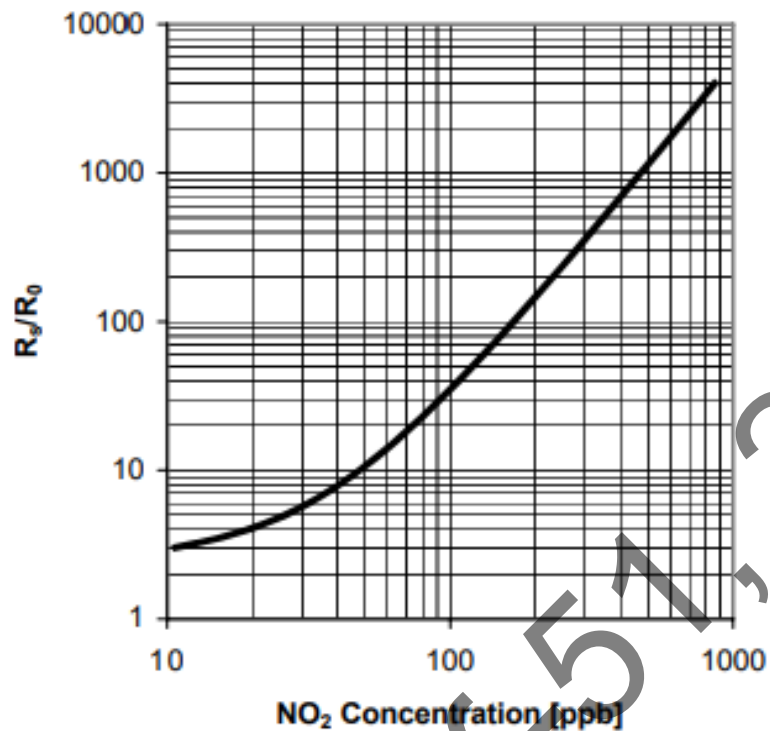


Рисунок 4.1 —  $R_9 / R_0$  як функція концентрації  $\text{NO}_2$  при 40% вологості і  $25^\circ \text{C}$ .

#### 4.3 Розрахунки датчиків MQ2 і MQ9

Для датчиків MQ2, MQ9 використано графіки з datasheet датчиків для якісної оцінки даних. Коли значення опору падає нижче половини опору у чистому повітрі, то є ймовірність, що датчик виявляє цільові гази. Коли опір зменшується в 10 разів, то рівні досліджуваного газу знаходяться в межах 1000 проміле, тобто близько до потрібної безпечної межі.

Точність показань датчиків MQ2 і MQ9 залежить від вологості повітря і від його температури (рисунок 4.2). Розрахункові показники призначені для вологості в 65% і температури в  $20^\circ \text{C}$ , а при вологості вище 95% інформація з датчика не достовірна.

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

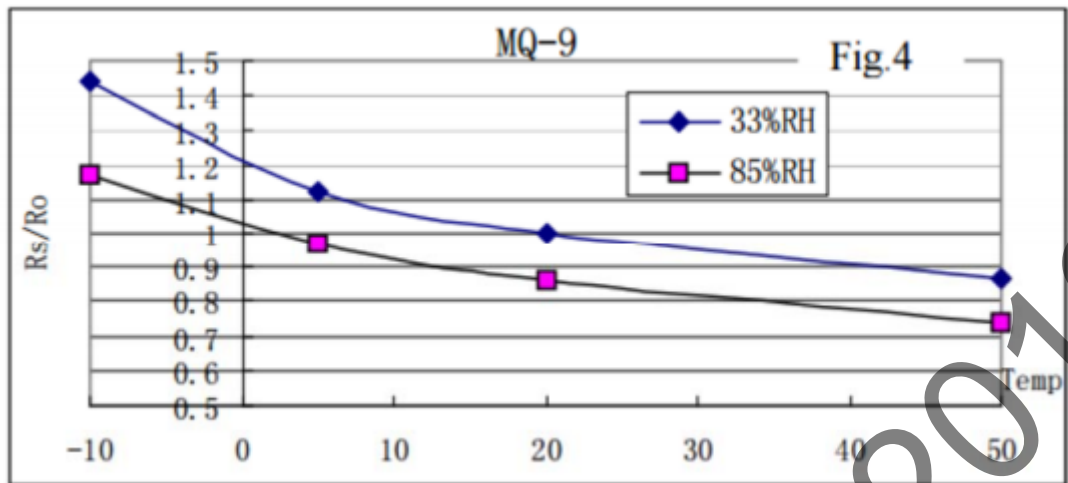


Рисунок 4.2 — Залежність точності показань датчика від вологості і температури

У datasheet до датчика MQ - 9 описана залежність значень опору чутливого шару до змісту оксиду в повітрі. Як видно з рисунку 4.3 ця залежність є логарифмічною. Також видно, що крім чадного газу датчик здатний вловлювати й інші гази.

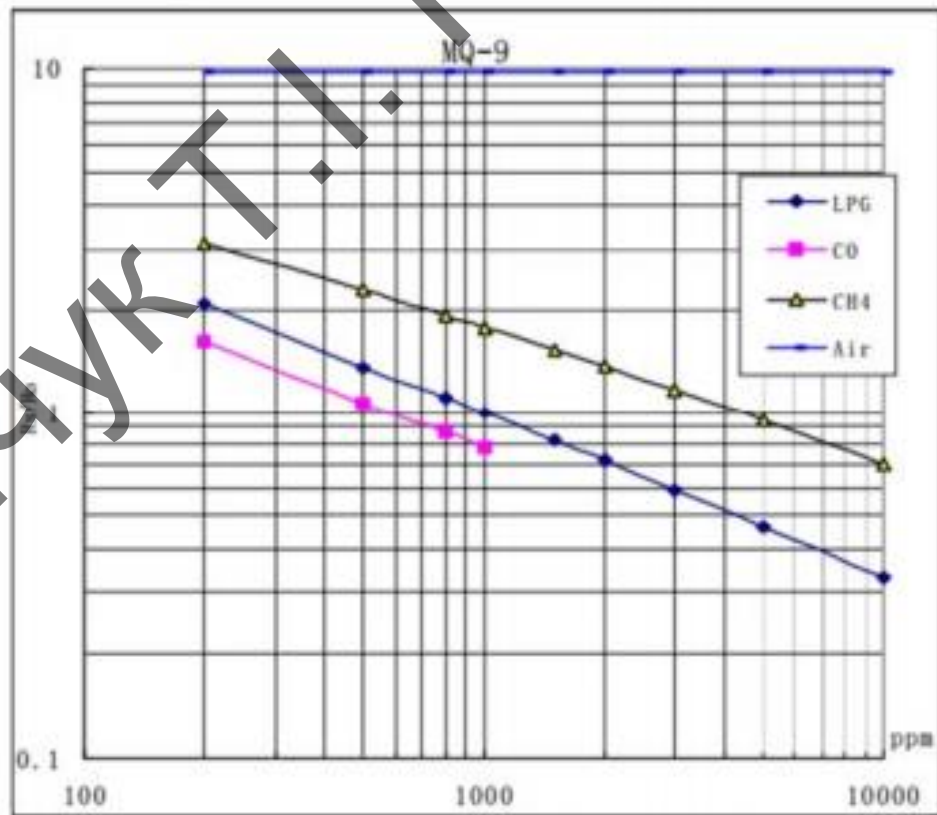


Рисунок 4.3 — Графік залежності опору датчика MQ - 9 від концентрації досліджуваних газів

		Бугайчук		
		Попсуй		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PK51.407769.001 ПЗ

Арк.

34

#### 4.4 Розрахунок теплового індексу

Розрахунок теплового індексу [20] є уточненням результату, отриманого методом багаторазового регресійного аналізу, проведеного Лансом П. Ротфусом з Всесвітньої служби погоди 1990 року. Рівняння регресії Ротфуса є:

$$HI = -42,379 + 2,04901523T + 10,14333127(RH) - 0,22475541T(RH) - 0,00683783T^2 - 0,05481717(RH^2) + 0,00122874T^2(RH) + 0,00085282T(RH^2) - 0,00000199T^2(RH^2)$$

де  $T$  — температура повітря в градусах Фаренгейта і  $RH$  — відносна вологість повітря у відсотках.

Якщо  $RH$  менше 13% і температура повітря лежить в діапазоні між 80 і 112 градусами Фаренгейта, з теплового індексу віднімається таке значення:

$$ADJUSTMENT = [(13 - (RH))/4] \sqrt{[17 - |(T - 95)|]/17}$$

Якщо  $RH$  більше 85% і температура повітря лежить в діапазоні між 80 і 87 градусами Фаренгейта, до теплового індексу додається таке значення:

$$ADJUSTMENT = [((RH) - 85)/10][(87 - T) / 5]$$

Якщо отриманий індекс менше 80 градусів Фаренгейта, його треба відкинути і використовувати більш просту формулу:

$$HI = 0,5T + 61 + [(T - 68)1,2] + 0,094(RH),$$

де  $HI$  — heat index.

На практиці, зазвичай обчислюють  $HI$  (heat index) по останній формулі, усереднюють отриманий результат з температурою повітря. Якщо середнє значення більше вісімдесяти, то використовуються повні формули.

Формули не можна застосовувати для екстремальних температур і вологості. Інтервал температур від 20 до 50 градусів по Цельсію.

#### 4.5 Розрахунки пристрою на вібростійкість

Під впливом вібрацій аналізатор забрудненості повітря схильний до втомного руйнування, особливо при виникненні механічного резонансу.

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Втомні відмови проявляються у вигляді обривів провідників, руйнуванні паяних з'єднань, порушення контактів в роз'ємах, мілких та не дуже тріщинах корпусу тощо. Прилад повинен мати значну втомну довговічність при впливі вібрацій, для цього необхідно, щоб мінімальна частота власних коливань пристрою задовольняла умові:

$$S_{min} \geq \sqrt[3]{\gamma S_0} g j_{max} / 0.03b,$$

де  $j_{max}$  — вібраційні перевантаження в одиницях  $g$ ;

$b$  — розмір короткої сторони корпусу в мм;

$\gamma S_0$  — безрозмірна стала, числове значення якої залежить від значення частоти власних коливань і впливаючих прискорень.

Для умов  $j_{max} = 25$ .

$$120 * 120 * 1.5 \text{ мм}^3.$$

$$b = 120 \text{ мм}.$$

Частоту власних коливань можна розрахувати за формулою:

$$s_0 = K_m * K' * B * h * 10^{-4} / a^2$$

де  $h$  — товщина стінки корпусу (см),  $h = 1$ ;

$a$  — довжина пластини,  $a = 15$  см;

$B$  — частотна стала, залежить від способу закріплення корпусу,  $B = 130$ ;

$K_m$  — коефіцієнт, що враховує пружність і щільність матеріалу корпусу для матеріалу, що використовувався  $K_m = 1$ ;

$K'$  — коефіцієнт, що враховує масу елементів розміщених в корпусі  $K' = 300$ .

Підставивши в формулу числові значення, отримаємо:

$$s_0 = 300 * 1 * 130 * 1 * 10^{-4} / 15^2 = 1733333, (3) \text{ Гц}.$$

Для обчисленого значення  $S_0$ , величина постійної  $\gamma = 1000$ , тоді за формулою :

$$S_{min} \geq \sqrt[3]{(1 * 9.8 * \frac{m}{c^2} * 25 / 0.03 * 120)^2} = 1275 \text{ Гц}.$$

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Видно, що умова втомної довговічності виконується  $S_0 > S_{min}$ .

#### 4.6 Розрахунки, які застосовувались в коді програми

Один з розрахунків, що застосувався програмі — проводився за формулою розрахунку теплового індексу:

```
//boolean isFahrenheit(це фарангейт): True == Фарангейт; False == Цельсій
float DHT::computeHeatIndex(float temperature, float percentHumidity,
bool isFahrenheit) {
// Використовуючи рівняння Ротфуса і Стедмана
// http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtml
float hi;

if (!isFahrenheit)
temperature = convertCtoF(temperature);

hi = 0.5 * (temperature + 61.0 + ((temperature - 68.0) * 1.2) + (percentHumidity * 0.094));

if (hi > 79) {
hi = -42.379 +
2.04901523 * temperature +
10.14333127 * percentHumidity +
-0.22475541 * temperature*percentHumidity +
-0.00683783 * pow(temperature, 2) +
-0.05481717 * pow(percentHumidity, 2) +
0.00122874 * pow(temperature, 2) * percentHumidity +
0.00085282 * temperature*pow(percentHumidity, 2) +
-0.00000199 * pow(temperature, 2) * pow(percentHumidity, 2);

if((percentHumidity < 13) && (temperature >= 80.0) && (temperature <= 112.0))
hi -= ((13.0 - percentHumidity) * 0.25) * sqrt((17.0 - abs(temperature - 95.0)) * 0.05882);

else if((percentHumidity > 85.0) && (temperature >= 80.0) && (temperature <= 87.0))
hi += ((percentHumidity - 85.0) * 0.1) * ((87.0 - temperature) * 0.2);
}

return isFahrenheit ? hi : convertFtoC(hi);
}
```

Рисунок 4.6 — Програмний код для обчислення розрахунку теплового індексу.

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 ПРОГРАМУВАННЯ ПРИЛАДУ

У данному розділі описано, як програмувати LCDS у даному проєкті: зміна кольору, використання символів тощо, програмний код для виміру температури і вологості.

### 5.1 Підключення до бібліотеки LiquidCrystal

Для того, щоб користуватись LCDS, потрібно його запрограмувати. Для цього скористаємось бібліотекою LiquidCrystal.

За допомогою цієї бібліотеки є можливість керування рідкокристалічними LCDS, побудованими на базі популярного чіпсета Hitachi HD44780. У бібліотеці реалізована як чотирьох, так і восьми - бітні режими роботи, тобто є така можливість використання чотирьох або вісьми лінійних даних, спільно з керуючими лініями RS, Enable і RW.

За допомогою даної бібліотеки, створюємо змінну типу LiquidCrystal. В Arduino IDE вибираємо меню Sketch, далі Import Library, потім обираємо потрібну нам LiquidCrystal.

Спочатку потрібно зробити наступне — це виставити рядок ініціалізації контактів відповідно до нашого дисплею, за допомогою константи:

```
const int rs = 8, a0 = 13, en = 9, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7;  
LiquidCrystal lcd(rs, a0, en, d4, d5, d6, d7,);
```

Після чого створюємо програму для виводу такого повідомлення: «air pollution analyzer is ready to use»:

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

// Підключаємо стандартну бібліотеку LiquidCrystal
#include <LiquidCrystal.h>
// ініціалізувавши об'єкт - екран, передаємо використані
// під підключення контакти на Ардуіно в такій послідовності:
// RS, A0, E, D4, D5, D6, D7
LiquidCrystal lcd(8, 13, 9, 4, 5, 6, 7);

void setup() {
  // встановлюємо розмір (кількість стовпців і рядків) екрану
  lcd.begin(16, 2);
  // друкуємо перший рядок
  lcd.print("air pollution analyzer is ready to use");
  // встановлюємо у стовпчик нульовий cursor, рядок 1.
  // але це другий рядок, тому що нумерація починається з нуля
  lcd.setCursor(0, 1);
  // друкуємо другий рядок
  lcd.print("Analyze done");
}

void loop()
{
}

```

Рис. 5.1 програма для виводу такого повідомлення: «air pollution analyzer is ready to use»:

## 5.2 Текстова введення у «Серіал монітор»

Вводимо текст у «Серіал монітор», щоб включити екран та вивести символи на дисплей:

```

#include <LiquidCrystal.h>

const int rs = 8, a0 = 13, rs = 9, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7;
LiquidCrystal lcd(rs, a0, en, d4, d5, d6, d7,);
void setup () {
  lcd.begin (16, 2);
  Serial.begin (9600);
}

void loop() {
  if (Serial.available()) {
    delay(100);
    // очищаємо екран
    lcd.clear();
    // зчитуємо усі символи
    while (Serial.available() > 0) {
      // виводимо символи на екран
      lcd.write(Serial.read());
    }
  }
}

```

Рисунок 5.2 — Текст у «Серіал монітор»

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

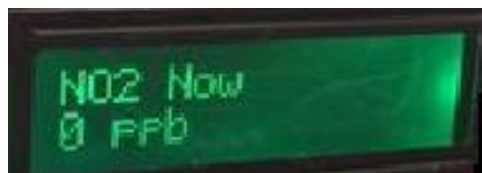


Рисунок 5.3 — Текст на дисплеї

### 5.3 Програмування кнопок дисплею

Один з найважливіших моментів програмування дисплею — це програмування його кнопок. Одна, з додаткових частин плати являється чотирьох позиційна клавіатура з додатковою клавішею вибору. Це дозволило створити власний інтерфейс керування під аналізатор повітря. Було використано минулу бібліотеку(пункти 5.1, 5.2 на початку програми), щоб програмувати сам дисплей та нову LCDKeypad.h для програмування кнопок дисплею:

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

include <LiquidCrystal.h>
include <LCDKeypad.h>
LiquidCrystal lcd(8, 13, 9, 4, 5, 6, 7); char msgs[5][16] = {"Right Key OK ",

"Up Key OK   ",
"Down Key OK ",
"Left Key OK  ",
"Select Key OK" };
int adc_key_val[5] = {50, 200, 400, 600, 800 }; int NUM_KEYS = 5; int adc_key_in; int key=-1; int oldkey=-1;

void setup() {

  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("   Air pollution ");
  lcd.print("   device!");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("   Air");
  lcd.print("   is OK");
  delay(1000);

  lcd.setCursor(0,0);
  for (char k=0;k<26;k++)
  {
    lcd.scrollDisplayLeft();
    delay(400);
  }
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("ADC key testing");
} void loop() {

  adc_key_in = analogRead(0); // зчитує значення з датчика
  key = get_key(adc_key_in); // перетворює в натискання клавіш
  if (key != oldkey) // якщо виявлено натискання клавіші
  {
    delay(50); // очікування часу відліку
    adc_key_in = analogRead(0); // зчитує значення з датчика
    key = get_key(adc_key_in); // перетворює в натискання клавіш
    if (key != oldkey)
    {
      lcd.setCursor(0, 1);
      oldkey = key;
      if (key >=0)
      {
        lcd.print(msgs[key]);
      }
    }
  }
  delay(100);
} // Перетворює значення ADC на key число int get_key(беззнаковий int input) {
  int k;
  for (k = 0; k < NUM_KEYS; k++)
  {
    if (input < adc_key_val[k])
    {
      return k;
    }
  }
  if (k >= NUM_KEYS)k = -1; // не натиснута дійсна клавіша
  return k;
}

```

Рисунок 5.4 — Програмування кнопок дисплею

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5.4 Проста зміна кольору

Для зміни кольору, використовуємо функцію кольору та надаємо список із трьох кольорів: червоного, зеленого, синього кольорів, тобто [R, G, B], що знаходяться в діапазоні від 0 до 100. Наприклад, щоб встановити червоний колір потрібно написати наступний код, зображений на рисунках 5.5 і 5.6:

```
1 | lcd.color = [100, 0, 0]
```

Рисунок 5.5 — Встановлюємо червоний колір



Рисунок 5.6 — Колір змінився на червоний у дисплеї

Більш детально програмування наведено в Додатку В

## 5.5 Основні моменти програмування датчика вологості та повітря

Зчитування температури повітря датчиком, де S — це Scale, true == Фарангейт, false == Celsius:.

Більш детальна інформація наведена в Додатку В

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 КОНСТРУКЦІЯ ПРИЛАДУ

Цей розділ демонструє кінцевий продукт: макет готового корпусу, його креслення, схему підключення LCDS до Ардуіно при роз'єднаній роботі, приклад роботи датчика та прилад.

### 6.1 Короткий опис приладу

Аналізатор забруднення повітря, застосовується, як досить бюджетне рішення для користувачів, що хочуть жити в чистому навколишньому середовищі та контролювати якість повітря. Аналізатор забруднення повітря, може виявити такі забруднюючі речовини атмосфери, як озон, тверді частки у повітрі, оксид вуглецю, і оксид азоту. Але прилад має незначний мінус, тому що він не може виявити наявність у повітрі діоксиду сірки, що також добре забруднює атмосферу. Але більше того, цей аналізатор має у собі детектор побутового газу, що дозволяє попередити людей - користувачів про витік газу чи при присутності горючих газів. Ще пристрій має датчик температури і вологості DHT11 (які були запрограмовані для більш коректної роботи у пункті 5.6).

Наведена методика калібрування згідно технічної специфікації датчиків для того, щоб попередньо оцінити якість функціонування і працездатності приладу. Оскільки датчики, що використовуються не є супер дорогими і їх параметри значно коливаються від одного до іншого, то їх калібрувати необхідно при вже відомій концентрації шкідливих і отруйних газів.

При середній добовій нормі дрібнодисперсних частинок PM 2.5 – 25 мкг / м<sup>3</sup> [21], датчик приладу Sppd42ns, що зображено на LCDS (рисунок 6.1), показує у приміщенні всього 8 мкг / м<sup>3</sup>. Це хороший результат. Як приклад, на Рис. 6.1 наведений добовий аналіз повітря.

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





Рисунок 6.1 — Добовий аналіз повітря PM 2.5

## 6.2 Схема підключення роз'єднаної роботи Arduino і LCD — дисплею

Для того, щоб відключити плату - розширювач від AUR3 [14] і встановити її в корпус, як у даному випадку, то потрібно зробити наступні дії: з'єднуємо 5V контакт з 5V, робимо спільне заземлення на GND, а потім підключаємо SCL помічений контакт (верхній зліва) до контакту тактової частоти I<sup>2</sup>C і SDA для даних I<sup>2</sup>C. Дані чотири дроти, які потрібні для контролювання платою - розширювачем, зображено нижче на рисунку 6.2:

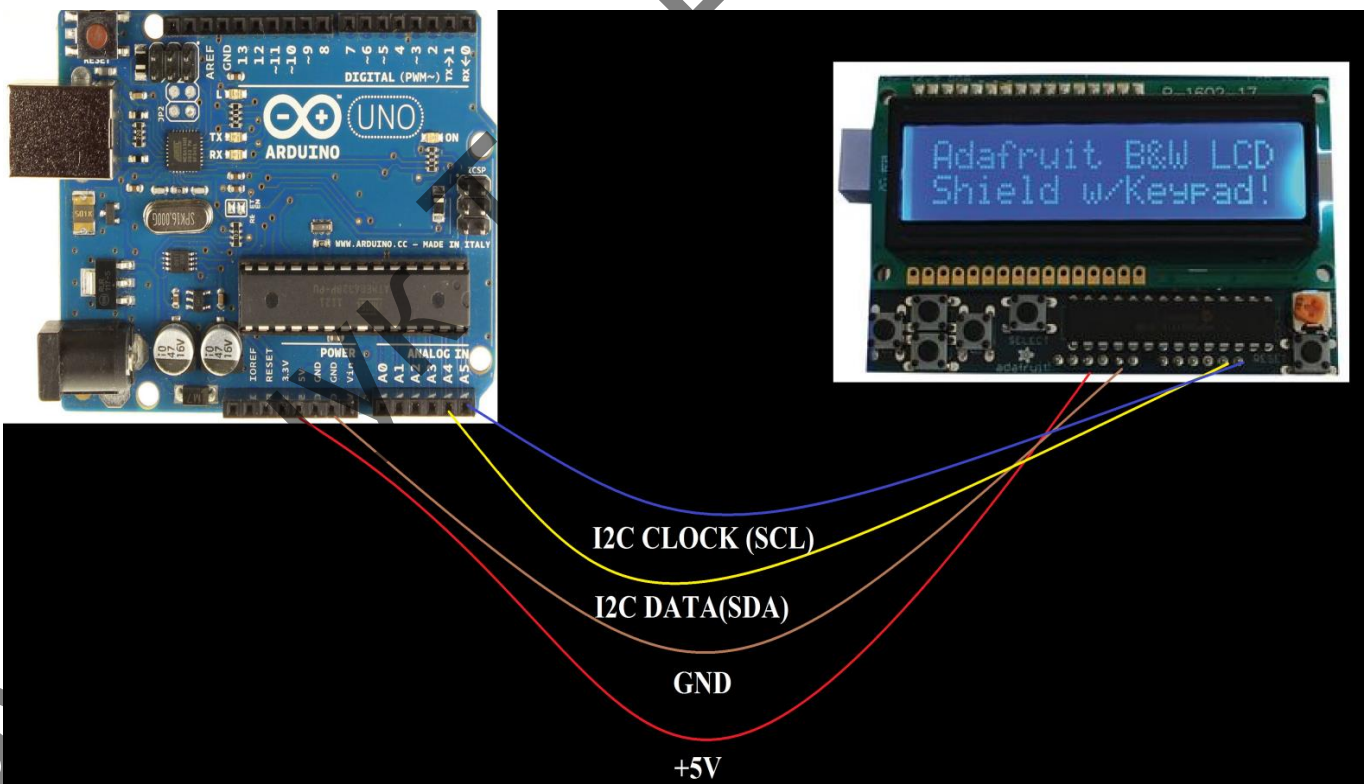


Рисунок 6.2 — Схема підключення дротів Arduino до LCDS

Також, на AUR3, SCL підключений до Analog 5, а SDA підключений до Analog 4.

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 6.3 Макет корпусу

Даний корпус був спроектований за допомогою 3д моделі макету, що зображений на рисунках нижче:

Бугайчук Т.І. РК-51, 2019

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

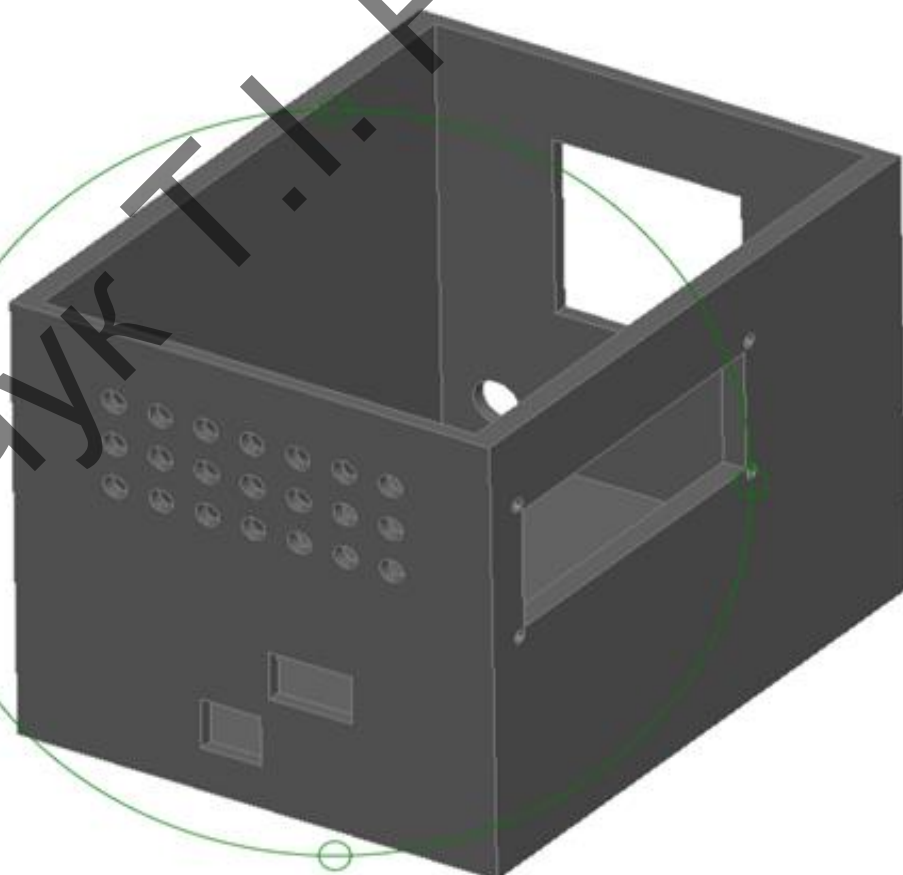
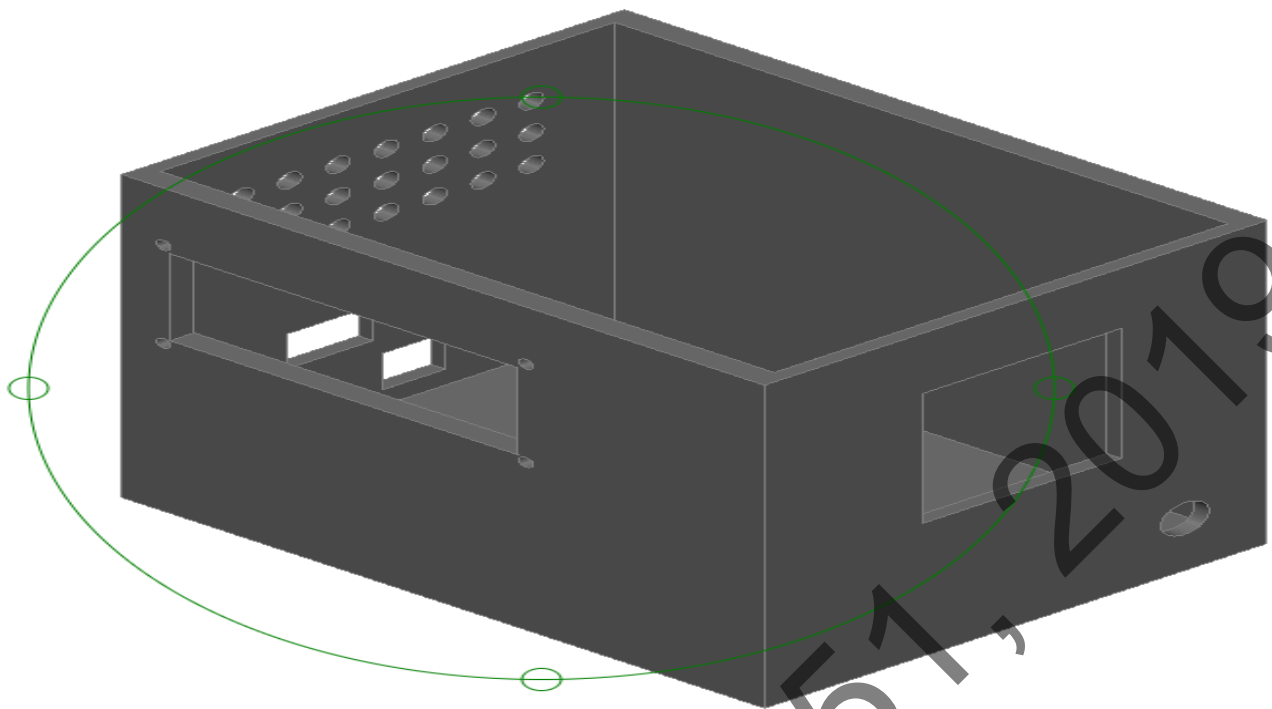


Рисунок 6.3 — Макет корпусу

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кресленник корпусу наведений в Додатку Б.

Бугайчук Т.І. РК-51, 2019

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці — це система законодавчих актів, соціально - економічних, гігієнічних та лікувально - профілактичних заходів і засобів, які забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Завдання охорони праці — звести до мінімуму імовірність ураження або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Відповідно до закону України “Про охорону праці” на все нове обладнання, що розробляється, необхідно розробляти безпечні умови для обслуговуючого персоналу. Тому питання безпеки та покращення умов праці разом з підвищенням продуктивності машини та випускаємої продукції є визначальним для конструктора.

В даному дипломному проекті проводиться розробка пристрою аналізатора забруднення повітря. Визначимо основні потенційно шкідливі і небезпечні виробничі чинники, що виникають при розробці, виробництві та експлуатації пристрою. Необхідно розробити заходи щодо зменшення шкідливості впливів цих факторів на людину, як в процесі експлуатації виробу, так і при його виробництві. В першу чергу визначимо найбільш небезпечні та шкідливі фактори що виникають в процесі конструювання, виробництва та використання приладу, а також запропонуємо відповідні комплексні заходи щодо запобігання впливу цих факторів на людину і навколишнє середовище. Також визначимо основні заходи з пожежної безпеки та профілактики.

### 7.1 Визначення основних потенційно шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Проаналізуємо основні потенційно шкідливі і небезпечні фактори, що

		Бугайчук			ПК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виникають при виготовленні даного пристрою:

- небезпека ураження електричним струмом;
- недостатня освітленість робочого місця;
- наявність електромагнітного випромінювання;
- незадовільні параметри мікроклімату у робочій зоні;
- підвищений рівень шуму;
- значні психофізіологічні навантаження;
- небезпека використання ручної пайки.

Одним з найбільш небезпечних і шкідливих факторів, при виробництві спроектованого пристрою, є пайка виводів радіо компонентів. При пайці використовується припій ПОС - 61, до складу якого входить свинець, що відноситься до першого класу небезпеки. При перевищенні добової норми, аналізатор повітря буде виводити на екран показники забрудненості атмосфери, також вологості і температури повітря.

Потенційно небезпечними і шкідливими виробничими факторами при ручній пайці є:

- пил і загазованість в повітрі робочої зони;
- наявність інфрачервоного випромінювання від паяльника;
- незадовільна освітленість робочих місць або підвищеною яскравістю світла;
- незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні;
- вплив бризів та крапель розплавленого припою;
- група психологічних шкідливих виробничих факторів: напруженість праці,
- нервово - психічні перевантаження;
- можливість поразки електричним струмом.

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				49
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 7.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії

### 7.2.1 Біологічна дія небезпечних та шкідливих факторів

Однією із необхідних умов здорової і високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря і нормальних метеорологічних умов у робочій зоні приміщення — просторі висотою до 2 м над рівнем підлоги. Знешкодження дії таких небезпечних виробничих факторів, як газів і парів, пилу, надлишкової теплоти і вологи, і створення здорового повітряного середовища є важливим народногосподарським завданням, яке повинно здійснюватися комплексно, одночасно з вирішенням основних питань виробництва.

Ручна пайка супроводжується забрудненням повітряного середовища аерозолем припою. Керівні принципи ВОЗ за якістю навколишнього повітря.

#### PM2.5:

- Середній річний показник: 10 мг / м<sup>3</sup>;
- Середній добовий показник: 25 µg / м<sup>3</sup>.

#### PM10:

- Середній річний показник: 20 µg / м<sup>3</sup>;
- Середній добовий показник: 50 µg / м<sup>3</sup>.

Знаходячись у запыленій атмосфері, робітники піддаються впливу пилу та пару, шкідливі речовини осідають на шкірі, попадають на слизову оболонку порожнини рота, очей, верхніх дихальних шляхів, зі слиною заковтуються в травний тракт, вдихаються в легені. Поряд із забрудненням повітряного середовища забруднюються робочі поверхні й одяг робітників. Ступінь впливу аерозолів залежить від хімічного складу. Більшість елементів, що входять до складу застосовуваних припоїв, є шкідливими для здоров'я та життя людини. У розроблювальному технологічному процесі застосовується припій ПОС - 61 ГОСТ1499 - 79. До складу припою входить

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

60 - 62% олова, інше — свинець. Біологічна дія, клас небезпеки і ГДК в повітрі робочої зони вихідних компонентів, що входять до складу аерозолію приведені в табл.7.2.1.

Таблиця 7.2.1 — Біологічна дія, клас небезпеки і ГДК в повітрі робочої

Компоненти	Характер токсичності дії	Клас небезпеки	ГДК у повітрі робочої зони, мг/м <sup>3</sup>
Свинець	При отруєнні спостерігається поразка нервової системи, крові, серцево - судинної системи, шлунково - кишкового тракту, статевої системи.	1	0,01
Олово	Поразка бронхів. При тривалому впливі можливий пневмоконіоз.	3	10,0
Спирт етиловий	Має наркотичну і дратівну дію при тривалому контакті.	4	1000
Каніфоль соснова	Має дратівну дію. При тривалому впливі на шкіру викликає дерматит.	—	—

зони:

### 7.2.2 Електробезпека

Згідно ОНТП24 - 86 та ПУЕ науково - дослідницька лабораторія відноситься до приміщень без підвищеного ризику. Електроустаткування, що використовується у роботі, відповідно до ГОСТ 12.2.007.0-75 належить до устаткування класів 0, I та II за електрозахистом. Спроектований виріб має III клас за електробезпекою.

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Електробезпека складається з визначення сили струму, що протікає через тіло людини, і порівняння його із допустимим значенням відповідно до ГОСТ 12.1.038-88. У загальному випадку допустима величина струму, що протікає через тіло людини, залежить від схеми підключення електроустаткування до електромережі, роду й величини напруги живлення, схеми включення.

При виконанні розрахунків для дипломного проекту використовувався персональний комп'ютер — I і II клас захисту, що живиться напругою 220 В. Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг доторкання та струмів, що проходять через тіло людини.

Напруга доторкання — це напруга між двома точками електричного кола, до яких одночасно доторкається людина. Гранично допустимі значення напруги доторкання та сили струму для нормального (безаварійного) та аварійного режимів електроустановок при проходженні струму через тіло людини по шляху «рука - рука» чи «рука - ноги» регламентуються ГОСТ 12.1.038-88.

Таблиця 7.2.2 — Гранично допустимі значення напруги доторкання  $U_{\text{доп}}$  та сили струму  $I_{\text{л}}$ , що проходить через тіло людини при нормальному режимі електроустановки.

Вид струму	$U_{\text{доп}}$ , В(не більше)	$I_{\text{л}}$ , мА (не більше)
Змінний, 50 Гц	2	0,3
Змінний, 400 Гц	3	0,4
Постійний	8	1,0

Гранично допустимі значення сили струму (змінного та постійного), що проходить через тіло людини при тривалості дії більше ніж 1 с нижчі за порогів невідпускаючого струму, тому при таких значеннях людина, доторкнувшись до струмопровідних частин установки, здатна самостійно звільнитися від дії електричного струму.

Таблиця 7.2.3 — Гранично допустимі значення напруги доторкання  $U_{\text{доп}}$  та  $I_{\text{л}}$ , що проходить через тіло людини при аварійному режимі електроустановки:

Вид струму	Нормоване значення	Тривалість дії струму $t$ , с					
		0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	>1,0
Змінний, 50 Гц	$U_{\text{доп}}$ , В	500	250	100	70	50	36
	$I_{\text{л}}$ , мА	500	250	100	70	50	6
Постійний	$U_{\text{доп}}$ , В	500	400	250	230	200	40
	$I_{\text{л}}$ , мА	500	400	250	230	200	15

Основними технічними засобами, що забезпечують безпеку робіт (згідно ПУЕ-87, ГОСТ 12.1.00976) є: надійна ізоляція, захисне заземлення, занулення, захисне відключення, засоби індивідуального захисту. У системі трифазних мереж із глухо заземленою нейтраллю, яка використовується у науково - дослідницькій лабораторії, найкращими засобами захисту є надійна ізоляція струмоведучих частин електроустаткування відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 і занулення відповідно до ПУЕ (з'єднання елементів, що перебувають під напругою, із глухо заземленою нейтраллю). Крім того, для заземлення переносних частин обладнання застосовують спеціальне з'єднання.

### 7.2.3 Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання

Виконаємо розрахунок ланцюга захисного відключення фазного проводу при короткому замиканні (КЗ). Струм КЗ можна обчислити за формулою:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_0 + R_{\text{ф}} + Z_{\text{ТР}}}$$

де  $U_{\text{ф}} = 220$  В — напруга фазного проводу;

$R_0 = 3$  Ом — опір нульового проводу;

$R_{\text{ф}} = 7$  Ом — опір фазного проводу;

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$Z_{\text{ТР}} \cong 0,1 \text{ Ом}$  — еквівалентний опір трансформатора.

$$I_{\text{кз}} = \frac{220}{3 + 7 + 0,1} = 21,78 \text{ А}$$

Струм спрацьовування автоматів захисту з електромагнітним розпилювачем повинен бути в 1,4 рази менше струму короткого замикання при струмі до 100 А.

$$I_{\text{СПР}} = \frac{21,78}{1,4} = 15,6 \text{ А}$$

Таким чином, струм спрацьовування автомата повинен бути менше 15,6 А. Розрахуємо напругу дотику до корпусів електрообладнання при короткому замиканні:

$$U_{\text{ДОТ}} = I_{\text{кз}} R_0 = 21,78 \cdot 3 = 65,34 \text{ В}$$

Відповідно до ГОСТ 12.1.038-88, щоб ця напруга була безпечна для людини, необхідно використовувати автомати максимального струмового захисту у яких час спрацьовування менше 0,8с.

Автомати максимального струмового захисту, встановлені у науково - дослідницькій лабораторії задовольняють цим умовам ( $I_{\text{СПР}} < 15,6 \text{ А}$ ,  $T_{\text{СПР}} < 0,8 \text{ с}$ ).

Із проведених розрахунків видно, що у науково - дослідницькій лабораторії основним захистом від поразки електричним струмом є занулення та застосування пристроїв максимального струмового захисту.

#### **7.2.4 Виробничий шум**

Для умов, що розглядаються в проекті і характеру роботи, який можна класифікувати, як роботу програміста обчислювальної машини, що розроблює аналізатор якості повітря у лабораторних умовах, рівні шуму визначені ДСН 3.3.6.037-99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» та ГОСТ 12.1.00-83. «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки». Допустимі рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот представлені у таблиці 7.2.4:

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.2.4 — Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньгеометричними значеннями (Гц)									Допустимий рівень звуку (ДБА)
	1,5	3	25	50	100	200	500	1000	2000	
Програміст т обчислювальн ої машини	6	1	1	4	9	5	2	0	8	50

Джерелами шуму в умовах робочого приміщення, що розглядається в роботі є вентилятор приладу та блок живлення (вентилятори блоку живлення, радіатора процесора та відеокарти) і системи аналізатора повітря.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел (ШХ) :

- рівень шуму, створюваний внутрішніми елементами ПК дорівнює 35 дБ;
- рівень шуму системи кондиціонування на низьких/високих частотах дорівнює 25/30 дБ.

Оскільки рівні звуку потенційних джерел шуму нижчі допустимих, умови робочого приміщення відповідають вимогам.

### **7.2.5 Визначення концентрації аерозолі свинцю при проведенні технологічного процесу пайки**

Як видно з табл. 7.2.1 найбільш небезпечною речовиною аерозолі є свинець. Виходячи з вищесказаного, небезпека процесу визначається токсичністю свинцю, причому наявність олова знижує токсичний ефект.

Зробимо розрахунок концентрації аерозолю свинцю в повітрі робочої зони. На робочих місцях питоме утворення аерозолю свинцю при пайці електропаяльником складає 0,02 мг/100 пайок. Концентрація аерозолю в атмосфері складає :

$$C = 0,6 \cdot \frac{y \cdot n \cdot t \cdot N}{V}, \quad (7.2.1)$$

де  $y = 0,02$  [мг/100пайок] — питоме утворення свинцю;

$n = 7$  — кількість пайок за хвилину, шт.;

$t = 10$  [год] — тривалість зміни;

$N = 2$  — кількість робочих місць, де ведеться пайка, шт.;

$V = 25$  [ $m^3$ ] — об'єм приміщення.

$$C = 0,6 \cdot \frac{0,02 \cdot 7 \cdot 10 \cdot 2}{25} = 0,068 \text{ [мг/м}^3\text{]}.$$

$$0,068 \text{ [мг/м}^3\text{]} > 0,01 \text{ [мг/м}^3\text{]}.$$

Після проведення розрахунку можна зробити такий висновок, так як концентрація аерозолю свинцю перевищує ГДК, нам необхідні відповідні заходи щодо поліпшення умов праці. Потрібно на робочих місцях монтажника встановити примусові витяжки.

### **7.2.6 Оцінка впливу інфрачервоного випромінювання при проведенні технологічного процесу пайки**

Зробимо перевірочний розрахунок інтенсивності інфрачервоного випромінювання від паяльника. При пайці використовується припій ПОС - 61. Його температура плавлення дорівнює 190 [ $^{\circ}C$ ]. Температура паяльника повинна бути на 40 $^{\circ}C$  більше і дорівнює 230 [ $^{\circ}C$ ].

Знайдемо довжину хвилі максимальної інтенсивності випромінювання:

$$\lambda = 2,88/T,$$

де  $\lambda$  — довжина хвилі, мм;

$T$  — температура випромінюючої поверхні, К.

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$l = 2,88 / 503 = 5,73 \text{ [мкм]}.$$

Випромінювання такої довгої хвилі поглинається шкірним покривом людини, в результаті чого підвищується температура шкіри і підшкірних тканин. Визначимо площу поверхні випромінювання.

$$S = \pi (d_1 \cdot l_1 + d_2 \cdot l_2),$$

де  $S$  — площа випромінюючої поверхні,  $\text{м}^2$ ;

$d_1$  — діаметр жала паяльника;

$d_2$  — діаметр нагрівача;

$l_1, l_2$  — довжини відповідно.

$$d_1 = 0,004 \text{ [м]}; l_1 = 0,03 \text{ [м]}; d_2 = 0,01 \text{ [м]}; l_2 = 0,03 \text{ [м]}.$$

$$S = 3,14 \cdot (0,004 \cdot 0,03 + 0,01 \cdot 0,03) = 0,00289 \text{ [м}^2\text{]}.$$

Визначимо інтенсивність опромінення. Якщо відстань від джерела випромінювання до людини  $r = 0,1 \text{ [м]} > r_{\text{min}} = 0,054 \text{ [м]}$ , то застосуємо точковий метод розрахунку.

$$q = 0,91 \cdot S \cdot [(T/100)^4 - A] / r^2,$$

$A = 85$  — для шкірного покриву людини.

$$q = 0,91 \cdot 0,00289 \cdot [(503/100)^4 - 85] / 0,12 = 106,1 \text{ [Вт/м}^2\text{]}.$$

При довжині хвилі  $l = 5,76 \text{ [мкм]}$ ;  $q_{\text{доп}} = 120 \text{ [Вт/м}^2\text{]}$ . Розраховане

$q < q_{\text{доп}}$ , тому додаткових заходів захисту не потрібно.

### 7.2.7 Параметри мікроклімату робочої зони

Виконувані роботи при пайці згідно з ДСН 3.3.6.042-99 відповідають категорії II, а робота — сидяча, з підняттям ваги до 1кг. Розглядається холодний період року.

Таблиця 7.2.7 — Параметри мікроклімату:

Назва	Припустимі параметри	Фактичні параметри

Температура повітря	21 - 25 °C	20 - 25°C
Швидкість руху повітря	0,1м/з	0.1м/з
Відносна вологість повітря	55%	50%

У приміщенні використовується 6 - ти секційна чавунна батарея центрального опалення для підтримки нормальної температури повітря в холодну пору року. Також є кондиціонер для підтримки постійної температури в приміщенні.

Для підтримки необхідних параметрів повітря в приміщенні використовується природна вентиляція. У приміщенні є вікно, яке можна відкривати, якщо буде потреба в теплий період. Шкідливі речовини в приміщенні не зберігаються й не використовуються.

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042 - 99.

### 7.3 Освітленість робочого місця

Перевіримо освітленість, що забезпечується загальним рівномірним штучним освітленням. Для визначення освітленості застосуємо метод коефіцієнта використання світлового потоку.

Як джерело світла використовуємо люмінесцентні лампи ЛБ - 80 потужністю 80 [Вт]. Застосовуються світильники ПВЛМ чи ЛСПО62·80 - 08.

Освітленість дорівнює:

$$E = \frac{N \cdot \Phi_0 \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot Z'}$$

де N = 12 — кількість світильників у приміщенні;

$\Phi_0 = 5220$  Лм — світловий потік світильника;

$K_3$  — коефіцієнт запасу;

$S = 35$  м<sup>2</sup> — площа освітлюваного приміщення;

$\eta$  — коефіцієнт використання світлового потоку. Визначається в залежності від індексу приміщення і коефіцієнтів відбиття стелі,  $\eta_1 = 0,7$ , стін  $\eta_2 = 0,5$ , підлоги  $\eta_3 = 0,1$ .

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i = \frac{l \cdot b}{h(l + b)}$$

де  $l = 7[\text{м}]$  — довжина приміщення;

$b = 5[\text{м}]$  — ширина приміщення;

$h = 3[\text{м}]$  — висота підвісу світильників;

$$i = 7 \cdot 5 / (3 \cdot (7 + 5)) = 0,96.$$

Визначаємо  $\eta = 0,34$ .

При використанні люмінесцентних ламп у приміщеннях з повітряним середовищем, що містить менше за  $1\text{мг}/\text{м}^3$  пилу;  $K_3 = 1,5$ ;  $Z = 1,1$  — коефіцієнт нерівномірності освітлення

$$E = 12 \cdot 5220 \cdot 0,34 / (35 \cdot 1,5 \cdot 1,1) = 368,78 [\text{Лк}].$$

Норма загального освітлення робочих місць (контраст об'єкта розрізнення середній, фон середній; робота високої точності) складає  $300 \text{ Лк}$ . Фактичне  $E$  більше необхідного, і норми ДБН В 2.5 — 28 — 2006 виконуються.

На робочому місці монтажу РЕА комбіноване освітлення повинне забезпечити освітленість місця  $E_{\text{норм}} = 750 \text{ Лк}$ . Загальне освітлення за безпечує  $369 \text{ Лк}$ , місцеве повинно бути  $E_{\text{норм}} - E_{\text{заг}} = 750 - 369 = = 381 [\text{Лк}]$ . Застосуємо джерело місцевого освітлення МЛ —  $2 \times 80$ . Перевіримо чи забезпечить даний світильник необхідну освітленість

$$E = \frac{n \cdot \Phi_0 \cdot L \cdot N \cdot \mu \cdot \psi}{1000 \cdot K_3},$$

де  $N = 1$  — число світильників;

$E$  — освітленість, яку забезпечує місцевий світильник;

$K_3 = 1,5$  — коефіцієнт запасу;

$n = 2$  — число ламп у світильнику;

$\Phi_0 = 4070 [\text{Лм}]$  — світловий потік лампи ЛД80;

$\mu = 1,2$  — коефіцієнт збільшення освітленості від навколишніх предметів;

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$L = 100$  — умовна освітленість за графіком;

$\psi = 1$  — враховує кут нахилу робочої площини, тоді:

$$E = 2 \cdot 4070 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 / 1000 / 1,5 = 651,2.$$

Комбіноване освітлення з джерелом МЛ – 2x80 забезпечить необхідну освітленість на робочому місці монтажника ( $651,2 > 381$ ).

#### 7.4 Пожежна безпека та профілактика

Відповідно до НАПБ Б.03.002 - 2007 та ОНТП24 - 86 робоче приміщення лабораторії відноситься до категорії В за вибухопожежною небезпекою. Відповідно до ПУЕ-87 та ДНАОП 0.00 - 1.32 — 01 клас робочих зон приміщення лабораторії за пожежонебезпекою — П-Па. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління). У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

1. Ретельну ізоляцію всіх струмоведучих провідників до робочих місць, періодичний огляд та перевірку ізоляції.
2. Дотримання норм протипожежної безпеки на робочих місцях.
3. Відповідні організаційні заходи (заборона паління, інструктаж).

Для гасіння пожежі в робочому приміщенні лабораторії (клас пожежі „Е” — наявність електрообладнання під напругою) використовуються вогнегасники ОП - 1 — “Момент” (2 шт.). Додатково в коридорі розташовані вогнегасники ОХП - 10. Така кількість вогнегасників відповідає вимогам ДСТУ 3675 - 98 та ISO394 - 77, якими передбачена обов'язкова наявність двох вогнегасників до 100м<sup>2</sup> площі підлоги для приміщення типу конструкторське бюро.

Дотримано усі вимоги ДБН В.1.1-7-2003 та СНиП 2.09.02-85 за шириною евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні.

З метою профілактики загоряння електропроводки необхідно не менш одного разу в три місяці проводити профілактичні огляди електромережі.

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рубильники для відключення мережі мають знаходитись на видному місці, підходи до них необхідно звільнити. У випадку виникнення пожежі в приміщенні, згідно ДБН, забезпечена можливість безпечної евакуації людей, через евакуаційні виходи.

У робочому приміщенні виконуються усі вимоги щодо пожежної безпеки у відповідності до НАПБ А.01.001 - 2004 "Правила пожежної безпеки в Україні".

Бугайчук Т.І. РК-51, 2019

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1 Проаналізувавши ринок та вже існуючі рішення схем, за основу обрано схему з мікроконтролером, оскільки така схема не потребує великої кількості радіоелементів та є зручною для розробки. У якості плати МК обрано Arduino UNO з МК ATmega328.

2 Проведені розрахунки дозволяють стверджувати, що прилад відповідає вимогам ТЗ.

3 При програмуванні, створені умови, коли отримана користувачем інформація є достатньою для достовірних висновків що до забруднюючого середовища.

4 Подальше вдосконалення приладу, може відбуватися в напрямку збільшення давачів (алкотестер, тощо).

5 Для збільшення діапазону використання приладу що до температури і вологості необхідно проводити додаткові дослідження з метою отримання більш точних формул для розрахунків.

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				62
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Аналізатор якості повітря [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.energometrika.ru/datchik-kachestva-vozduha-co2-co> — Назва з екрану.
2. Види датчиків якості повітря [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.energometrika.ru/datchik-kachestva-vozduha> — Назва з екрану.
3. Аналізатор повітря в приміщенні — WiFi елемент розумного будинку «Broadlink A1 e — Air» — prom.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://prom.ua/p201994222-datchik-okruzhayuschej-sredy.html> — Назва з екрану.
4. Побутовий аналізатор якості повітря, дозиметр, алкотестер «Страж» AQM - 22 — prom.ua [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://prom.ua/p3086338-ekomonitor-strazh-aqm.html> — Назва з екрану.
5. Схема Broadlink A1 e — Air [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://cs51.4pda.to/10239768/TC2.jpg?s=000000005ef4955c5cfe44c90000000e07f5defa77654837879a6046a9792de> — Назва з екрану.
6. Схема «Страж» AQM — 22 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.drive2.ru/b/469030495884149097/> — Назва з екрану.
7. ГОСТ 15150-69 — Cntd.ru [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/1200003320> — Назва з екрану.
8. ГОСТ 23216-78 — Cntd.ru [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/1200007148> — Назва з екрану.
9. ГОСТ 30773-2001 — Cntd.ru [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/1200028876> — Назва з екрану.
10. ГОСТ 16019-2001 — Cntd.ru [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/1200026583/> — Назва з екрану.

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Принципова схема плати AUR3 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino\\_Uno\\_Rev3-schematic.pdf](https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Uno_Rev3-schematic.pdf) — Назва з екрану.
12. Опис елементів плати AUR3 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-uno/> — Назва з екрану.
13. Розташування виводів плати мікроконтролера ATMEGA328 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-uno/> — Назва з екрану.
14. AUR3 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno> — Назва з екрану.
15. Визначення концентрації твердих частинок — [atmos-meas-tech-discuss.net](http://atmos-meas-tech-discuss.net) [Електронний ресурс]. Режим доступу [http://takingspace.org/wp-content/uploads/ShinyeiPPD42NS\\_Deconstruction\\_TracyAllen.pdf](http://takingspace.org/wp-content/uploads/ShinyeiPPD42NS_Deconstruction_TracyAllen.pdf) — Назва з екрану.
16. Мережевий адаптер, що має назву Dazzle (DZL) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ebay.com/itm/DAZZLE-DVE-DSA-0151F-05-A-C-Power-Supply-Switching-Adapter-DC-5V-2-8A-Charger-/273777231120> — Назва з екрану.
17. Плата LCD - дисплею, Схема резисторів та кнопок плати [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://linksprite.com/wiki/index.php5?title=16\\_X\\_2\\_LCD\\_Keypad\\_Shield\\_for\\_Arduino](http://linksprite.com/wiki/index.php5?title=16_X_2_LCD_Keypad_Shield_for_Arduino) — Назва з екрану.
18. Наукова стаття Девіда Холстіуса [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.atmos-meas-tech-discuss.net/7/605/2014/amtd-7-605-2014.pdf> — Назва з екрану.
19. Розрахунки для оцінки концентрації газу — [cdiweb.com](http://cdiweb.com) [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://www.cdiweb.com/datasheets/e2v/mics-2714.pdf> — Назва з екрану.

20. Розрахунок теплового індексу — [wpc.ncep.noaa.gov](http://wpc.ncep.noaa.gov) [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex\\_equation.shtml](https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtml) — Назва з екрану.

21. Середній добовий показник якості навколишнього повітря [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.who.int/ru/news-room/detail/12-05-2016-air-pollution-levels-rising-in-many-of-the-world-s-poorest-cities> — Назва з екрану.

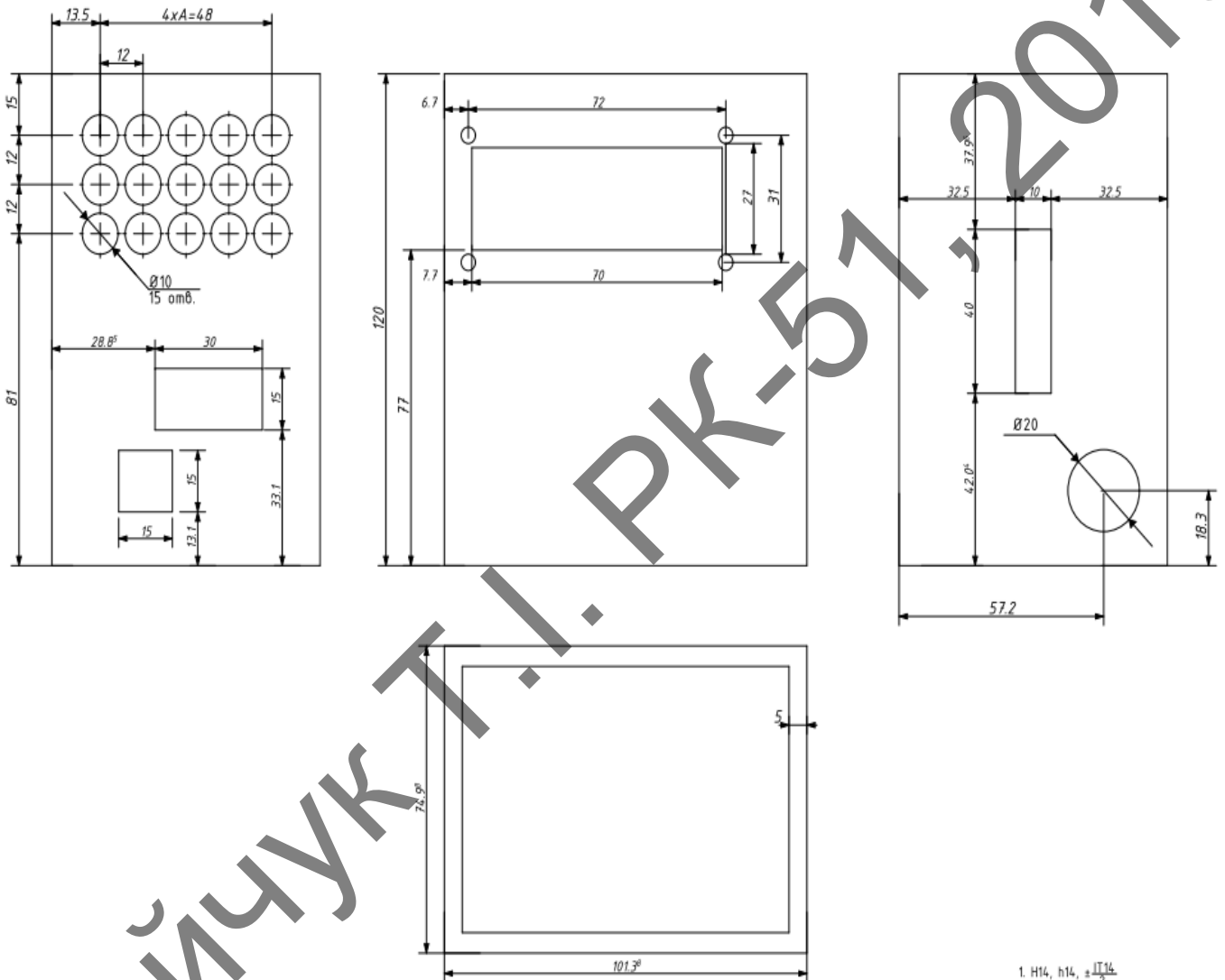
Бугайчук Т.І. РК-51, 2019

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ДОДАТКИ

### Додаток А Технічне завдання

### Додаток Б Комплект КД



1. Н14, h14,  $\frac{114}{2}$   
2. Інші вимоги по ОСТ4.ГО.070.015

### Додаток В Лістинг програмування датчику температури та вологості DHT11 та розрахунок теплового індексу

```
#include "DHT.h"
```

```
#define MIN_INTERVAL 2000
```

```
#define TIMEOUT -1
```

```
DHT::DHT(uint8_t pin, uint8_t type, uint8_t count) {
```

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    _pin = pin;
    _type = type;
#ifdef __AVR
    _bit = digitalPinToBitMask(pin);
    _port = digitalPinToPort(pin);
#endif
    _maxcycles = microsecondsToClockCycles(1000); // 1
мілісекунда тайм-ауту

    // зчитування імпульсів з датчика DHT.
}

// За бажанням можна пройти обробку(в мікросекундах) до
початку читання DHT.
void DHT::begin(uint8_t usec) {
    // установка контактів.
    pinMode(_pin, INPUT_PULLUP);
    _lastreadtime = millis() - MIN_INTERVAL;
    // Використання цього значення гарантує, що millis() -
lastreadtime буде
    // >= MIN_INTERVAL відразу. Зауважимо, що це
призначення обертається навколо,
    // тому буде віднімання.
    DEBUG_PRINT("DHT max clock cycles: ");
DEBUG_PRINTLN(_maxcycles, DEC);
    pullTime = usec;
}

//boolean S == Шкала. True == Фарангейт; False ==
Цельсій

float DHT::readTemperature(bool S, bool force) { //
зчитування температури повітря
float f = NAN;

    if (read(force)) {
        switch (_type) {
            case DHT11:
                f = data[2];
                if (data[3] & 0x80) {
                    f = -1 - f ;
                }
                f += (data[3] & 0x0f) * 0.1;
        }
    }
}

```

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



```

        if(S) {
            f = convertCtoF(f);
        }
        break;
    case DHT12:
        f = data[2];
        f += (data[3] & 0x0f) * 0.1;
        if (data[2] & 0x80) {
            f *= -1;
        }
        if(S) {
            f = convertCtoF(f);
        }
        break;
    case DHT22:
    case DHT21:
        f = ((word)(data[2] & 0x7F)) << 8 | data[3];
        f *= 0.1;
        if (data[2] & 0x80) {
            f *= -1;
        }
        if(S) {
            f = convertCtoF(f);
        }
        break;
    }
}
return f;
}

float DHT::convertCtoF(float c) { //конвертація цельсію
до фарангейту
return c * 1.8 + 32;
}

float DHT::convertFtoC(float f) { //конвертація
фарангейту до цельсію

return (f - 32) * 0.55555;
}

float DHT::readHumidity(bool force) {{ // зчитування
вологості повітря

```

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

float f = NAN;
if (read(force)) {
    switch (_type) {
        case DHT11:
        case DHT12:
            f = data[0] + data[1] * 0.1;
            break;
        case DHT22:
        case DHT21:
            f = ((word)data[0]) << 8 | data[1];
            f *= 0.1;
            break;
    }
}
return f;
}

//boolean isFahrenheit: True == фарангейт; False ==
цельсій
float DHT::computeHeatIndex(bool isFahrenheit) {
// зчитування рівняння індекса тепла
float hi =
computeHeatIndex(readTemperature(isFahrenheit),
readHumidity(),
isFahrenheit);
return hi;
}

//boolean isFahrenheit: True == фарангейт; False ==
цельсій
float DHT::computeHeatIndex(float temperature, float
percentHumidity,
bool isFahrenheit) {
// Використовуючи рівняння Ротфуса і Стедмана індекса
тепла
//
http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex\_equation.shtml
float hi;

if (!isFahrenheit)
temperature = convertCtoF(temperature);

```

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    hi = 0.5 * (temperature + 61.0 + ((temperature - 68.0)
* 1.2) + (percentHumidity * 0.094));

    if (hi > 79) {
        hi = -42.379 +
            2.04901523 * temperature +
            10.14333127 * percentHumidity +
            -0.22475541 * temperature*percentHumidity +
            -0.00683783 * pow(temperature, 2) +
            -0.05481717 * pow(percentHumidity, 2) +
            0.00122874 * pow(temperature, 2) *
percentHumidity +
            0.00085282 *
temperature*pow(percentHumidity, 2) +
            -0.00000199 * pow(temperature, 2) *
pow(percentHumidity, 2);

        if((percentHumidity < 13) && (temperature >= 80.0) &&
(temperature <= 112.0))
            hi -= ((13.0 - percentHumidity) * 0.25) *
sqrt((17.0 - abs(temperature - 95.0)) * 0.05882);

        else if((percentHumidity > 85.0) && (temperature >=
80.0) && (temperature <= 87.0))
            hi += ((percentHumidity - 85.0) * 0.1) * ((87.0 -
temperature) * 0.2);
    }

    return isFahrenheit ? hi : convertFtoC(hi);
}

bool DHT::read(bool force) {
    // Перевіряємо, що датчик був прочитаний менше двох
секунд і повернеться раніше
    // щоб використати останнє читання.
    uint32_t currenttime = millis();
    if (!force && ((currenttime - _lastreadtime) <
MIN_INTERVAL)) {
        return _lastresult; // повернути останнє правильне
вимірювання
    }
    _lastreadtime = currenttime;
}

```

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

// Скинути 40 біт отриманих даних до нуля.
data[0] = data[1] = data[2] = data[3] = data[4] = 0;

#if defined(ESP8266)
    yield(); // Handle WiFi / reset software watchdog
#endif

// Надіслати сигнал запуску. Див. Таблицю даних DHT для
повної сигнальної діаграми:
//
http://www.adafruit.com/datasheets/Digital%20humidity%20and%20temperature%20sensor%20AM2302.pdf

// Переходимо у стан високого імпедансу, щоб підняти
рівень підняття даних і
// розпочнеться процес читання.
pinMode(_pin, INPUT_PULLUP);
delay(1);

// Спочатку встановлюємо низьку лінію даних протягом
періоду відповідно до типу датчика pinMode(_pin, OUTPUT);
digitalWrite(_pin, LOW);
switch(_type) {
    case DHT22:
    case DHT21:
        delayMicroseconds(1100); // в специфікації сказано
"мінімум 1мс"
        break;
    case DHT11:
    default:
        delay(20); // в специфікації сказано 18мс, 20мс для
того, щоб бути в безпеці
        break;
}

uint32_t cycles[80];
{
    // Завершуємо сигнал запуску, встановивши високу
лінію передачі даних на 40 мікросекунд.
pinMode(_pin, INPUT_PULLUP);

    // Затримка на мить, для того щоб датчик потягнув
лінію даних на низькому рівні.

```

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

delayMicroseconds(pullTime);

// Тепер починаємо зчитувати рядок даних, щоб
отримати значення від датчика DHT.
// Вимикаємо переривання тимчасово, оскільки наступні
розділи
// є таймінгово критичні, і не хочеться будь-яких
переривання.
InterruptLock lock;

// Спочатку очікуйте низький сигнал протягом ~ 80
мкс, за яким слідує високий сигнал
// ~80 мкс знову.
if (expectPulse(LOW) == TIMEOUT) {
    DEBUG_PRINTLN(F("DHT timeout waiting for start
signal low pulse.));
    _lastresult = false;
    return _lastresult;
}
if (expectPulse(HIGH) == TIMEOUT) {
    DEBUG_PRINTLN(F("DHT timeout waiting for start
signal high pulse.));
    _lastresult = false;
    return _lastresult;
}

// Тепер зчитуємо 40 біт, відправлених датчиком.
Кожен біт передається як 50
// мікросекундний низький імпульс з наступною змінною
довжиною високого імпульсу. Якщо
// якщо високий імпульс ~ 28 мікросекунд, то це 0, а
якщо це ~ 70 мкс
// тоді це 1. вимірюємо кількість циклів початкового
50мкс низького імпульсу
// і використовувати це для порівняння з циклом
підрахунку високого імпульсу для визначення
// якщо біт дорівнює 0 (кількість циклів високого
стану < кількості циклів низького стану), або
// 1 (кількість циклів з високим станом > кількості
циклів низького стану).
// імпульси зчитуються в масив і потім перевіряються
на більш пізньому етапі.
for (int i=0; i<80; i+=2) {

```

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        cycles[i]    = expectPulse(LOW);
        cycles[i+1] = expectPulse(HIGH);
    }
} // Синхронізація критичного коду завершена.

// Перевіряємо імпульси та визначаємо, які з них = 0
(кількість циклів високого стану <низька
// кількість циклів станів), або 1 (кількість циклів
високих станів> кількості циклів низького стану).
for (int i=0; i<40; ++i) {
    uint32_t lowCycles  = cycles[2*i];
    uint32_t highCycles = cycles[2*i+1];
    if ((lowCycles == TIMEOUT) || (highCycles ==
TIMEOUT)) {
        DEBUG_PRINTLN(F("DHT timeout waiting for pulse."));
        _lastresult = false;
        return _lastresult;
    }
    data[i/8] <<= 1;
    // Тепер порівняймо низький і високий час циклу, щоб
побачити, чи є біт 0 або 1.
    if (highCycles > lowCycles) {
        // Високі цикли перевищують 50мс низького
підрахунку циклу, що повинен бути 1.
        data[i/8] |= 1;
    }
    // Інші високі цикли менше (або дорівнюють, дивному
випадку) 50мс низький
    // Цикл обчислюється так, що він має бути нулем.
Нічого не потрібно змінювати в
    // збережених даних.
}

DEBUG_PRINTLN(F("Received from DHT:"));
DEBUG_PRINT(data[0], HEX); DEBUG_PRINT(F(", "));
DEBUG_PRINT(data[1], HEX); DEBUG_PRINT(F(", "));
DEBUG_PRINT(data[2], HEX); DEBUG_PRINT(F(", "));
DEBUG_PRINT(data[3], HEX); DEBUG_PRINT(F(", "));
DEBUG_PRINT(data[4], HEX); DEBUG_PRINT(F(" =? "));
DEBUG_PRINTLN((data[0] + data[1] + data[2] + data[3]) &
0xFF, HEX);

```

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    // Перевіряємо, що прочитано 40 біт і що збігається
    // контрольна сума.
    if (data[4] == ((data[0] + data[1] + data[2] + data[3])
    & 0xFF)) {
        _lastresult = true;
        return _lastresult;
    }
    else {
        DEBUG_PRINTLN(F("DHT checksum failure!"));
        _lastresult = false;
        return _lastresult;
    }
}

```

```

    // Очікуємо, що сигнальна лінія буде на заданому рівні
    // протягом певного періоду часу
    // повертаємо кількість циклів, проведених на цьому рівні
    // (це число циклів може бути
    // використовується для порівняння відносного часу двох
    // імпульсів). Якщо еліпси більше мілісекунди
    // без зміни рівня, тоді виклик завершується з 0
    // відповіддю.
    // Це адаптовано з функції Arduino pulseInLong (яка
    // доступна лише
    // в останніх версіях IDE)
    uint32_t DHT::expectPulse(bool level) {
    #if (F_CPU > 16000000L)
        uint32_t count = 0;
    #else
        uint16_t count = 0; // Досить швидко працює на
        // повільних платах AVR
    #endif
    // для захвату імпульсів 10 частини мікросекунди в
    // довжину:
    #ifdef __AVR
        uint8_t portState = level ? _bit : 0;
        while ((*portInputRegister(_port) & _bit) ==
        portState) {
            if (count++ >= _maxcycles) {
                return TIMEOUT; // Перевищено тайм-аут, збій.
            }
        }
    #endif
    }
}

```

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
// В іншому випадку повернемося до використання функції
digitalRead.
#else
    while (digitalRead(_pin) == level) {
        if (count++ >= _maxcycles) {
            return TIMEOUT; // Перевищено тайм-аут, збій.
        }
    }
#endif

return count;
}
```

Бугайчук Т.І. РК-51, 2019

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ДОДАТОК Г ПРОГРАМУВАННЯ ПРИЛАДУ

У програмному розділі описано, як треба програмувати LCDS у даному проєкті: зміна кольору, використання символів тощо, програмний код для виміру температури і вологості.

### Підключення до бібліотеки LiquidCrystal

Для того, щоб користуватись нашим LCDS, нам потрібно його запрограмувати. Для цього скористаємось бібліотекою LiquidCrystal.

За допомогою цієї бібліотеки нам надалась можливість керування рідкокристалльним LCDS, побудованими на базі поширеного чіпсета Hitachi HD44780. У бібліотеці реалізована як чотирьох, так і восьми бітний режим роботи, тобто є така можливість використання 4 або 8 лінійних даних, спільно з керуючими лініями RS, Enable і RW).

За допомогою даної бібліотеки, ми створили змінну типу LiquidCrystal. В Arduino IDE вибираємо меню Sketch, Import Library, LiquidCrystal. На початок скетчу встановлюємо рядок.

Спочатку потрібно зробити наступне — це виставити рядок ініціалізації контактів відповідно до наших, за допомогою константи:

```
const int rs = 8, a0 = 13, rs = 9, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7;  
LiquidCrystal lcd(rs, a0, en, d4, d5, d6, d7,);
```

Після чого створюємо програму для виводу такого повідомлення: «air pollution analyzer is ready to use»:

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

// Підключаємо стандартну бібліотеку LiquidCrystal
#include <LiquidCrystal.h>
// ініціалізувавши об'єкт - екран, передаємо використані
// під підключення контакти на Ардуіно в такій послідовності:
// RS, A0, E, D4, D5, D6, D7
LiquidCrystal lcd(8, 13, 9, 4, 5, 6, 7);

void setup() {
    // встановлюємо розмір (кількість стовпців і рядків) екрану
    lcd.begin(16, 2);
    // друкуємо перший рядок
    lcd.print("air pollution analyzer is ready to use");
    // встановлюємо у стовпчик нульовий cursor, рядок 1.
    // але це другий рядок, тому що нумерація починається з нуля
    lcd.setCursor(0, 1);
    // друкуємо другий рядок
    lcd.print("Analyze done");
}

void loop()
{
}

```

Рис. 5.1 програма для виводу такого повідомлення: «air pollution analyzer is ready to use»:

### Текстове введення у «Серіал монітор»

Вводимо текст у «Серіал монітор», щоб побачити його на дисплеї:

```

#include <LiquidCrystal.h>

const int rs = 8, a0 = 13, rw = 9, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7;
LiquidCrystal lcd(rs, a0, rw, d4, d5, d6, d7);
void setup() {
    lcd.begin(16, 2);
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    if (Serial.available()) {
        delay(100);
        // очищаємо екран
        lcd.clear();
        // зчитуємо усі символи
        while (Serial.available() > 0) {
            // виводимо символи на екран
            lcd.write(Serial.read());
        }
    }
}

```

Рисунок 5.2 — Вводимо текст у «Серіал монітор»

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

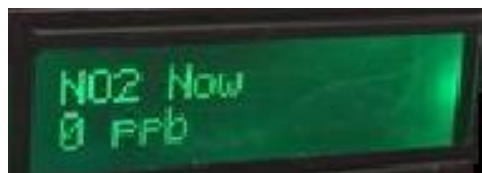


Рисунок 5.3 — Бачимо текст на дисплеї

### Програмування кнопок дисплею

Один з найважливіших моментів програмування дисплею — це програмування його кнопок. Одна, з додаткових частин плати являється чотирьох позиційна клавіатура з додатковою (5ю) клавішею вибору. Це дозволило створити власний інтерфейс керування під аналізатор повітря. Було використано минулу бібліотеку(пункти 5.1, 5.2 початок програми), щоб програмувати сам дисплей та нову LCDKeypad.h для програмування кнопок дисплею:

		<i>Бугайчук</i>			<b>PK51.407769.001 ПЗ</b>	Арк.
		<i>Попсуй</i>				78
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

```

include <LiquidCrystal.h>
include <LCDKeypad.h>
LiquidCrystal lcd(8, 13, 9, 4, 5, 6, 7); char msgs[5][16] = {"Right Key OK ",

"Up Key OK   ",
"Down Key OK ",
"Left Key OK  ",
"Select Key OK" };
int adc_key_val[5] = {50, 200, 400, 600, 800 }; int NUM_KEYS = 5; int adc_key_in; int key=-1; int oldkey=-1;

void setup() {

  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("   Air pollution ");
  lcd.print("   device!");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("   Air");
  lcd.print("   is OK");
  delay(1000);

  lcd.setCursor(0,0);
  for (char k=0;k<26;k++)
  {
    lcd.scrollDisplayLeft();
    delay(400);
  }
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("ADC key testing");
} void loop() {

  adc_key_in = analogRead(0); // зчитує значення з датчика
  key = get_key(adc_key_in); // перетворює в натискання клавіш
  if (key != oldkey) // якщо виявлено натискання клавіші
  {
    delay(50); // очікування часу відліку
    adc_key_in = analogRead(0); // зчитує значення з датчика
    key = get_key(adc_key_in); // перетворює в натискання клавіш
    if (key != oldkey)
    {
      lcd.setCursor(0, 1);
      oldkey = key;
      if (key >=0)
      {
        lcd.print(msgs[key]);
      }
    }
  }
  delay(100);
} // Перетворює значення ADC на key число int get_key(беззнаковий int input) {
  int k;
  for (k = 0; k < NUM_KEYS; k++)
  {
    if (input < adc_key_val[k])
    {
      return k;
    }
  }
  if (k >= NUM_KEYS)k = -1; // не натиснута дійсна клавіша
  return k;
}

```

Рисунок 5.4 — Програмування кнопок дисплею

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Проста зміна кольору

Для зміни кольору, використовуємо функцію кольору та надаємо список із трьох кольорів: червоного, зеленого, синього кольорів, тобто [R, G, B], що знаходяться в діапазоні від 0 до 100. Наприклад, щоб встановити червоний колір потрібно написати наступний код, зображений на рисунках 5.5 і 5.6:

```
1 | lcd.color = [100, 0, 0]
```

Рисунок 5.5 — Встановлюємо червоний колір



Рисунок 5.6 — Колір змінився на червоний у дисплеї

Або зелений:

```
1 | lcd.color = [0, 100, 0]
```

Рисунок 5.7 — Встановлюємо зелений колір

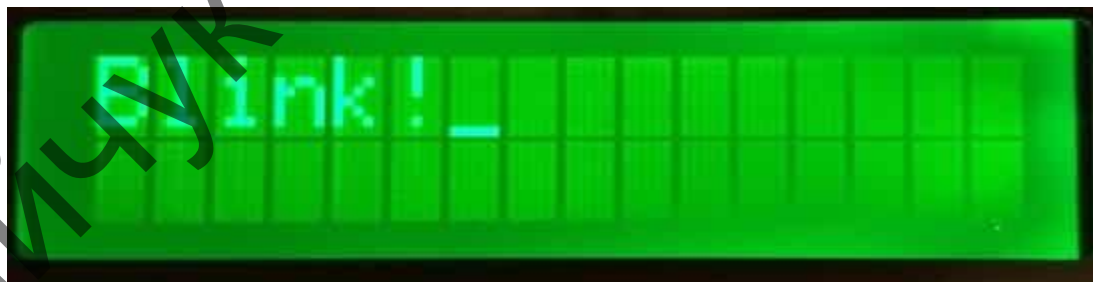


Рисунок 5.8 — Колір змінився на зелений у дисплеї

Чи на синій:

```
1 | lcd.color = [0, 0, 100]
```

Рисунок 5.9 — Встановлюємо синій колір

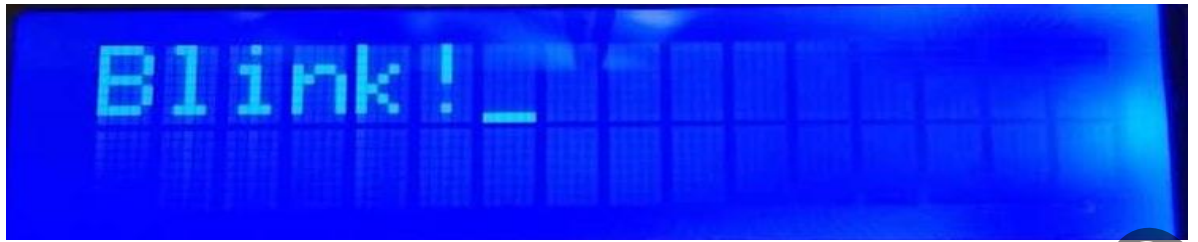


Рисунок 5.9.1 — Колір змінився на синій у дисплеї

### Зміщення символів

Для того щоб зміщувати символи потрібно створити програмний код, що показано на рисунку 5.9.2. Даний програмний код може переміщати надруковане повідомлення на один символ ліворуч, якщо потрібно було б прокрутити його з екрану, що зображено на рисунках та 5.9.3:

```
#include <LiquidCrystal.h>

const int rs = 8, a0 = 13, en = 9, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7;
LiquidCrystal lcd(rs, a0, en, d4, d5, d6, d7,);

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Blink!");
  delay(1000);
}

void loop() {
  // зрушуємо на 1 позицію (довжина рядка) вліво
  for (int positionCounter = 1{
    // зрушення в 1у позицію
    lcd.scrollDisplayLeft();
    delay(150);
  }
}
```

Рисунок 5.9.2 — Програмний код, де виконується зміщення символу вліво

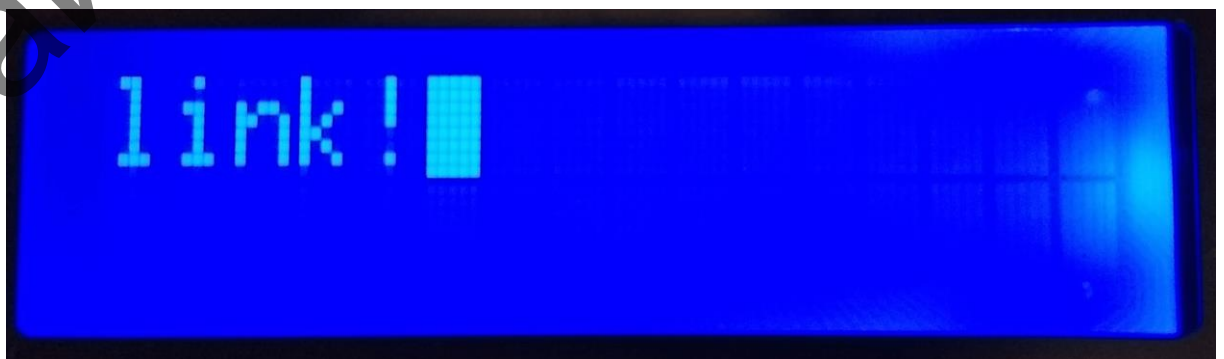


Рисунок 5.9.3 — Символьне зміщення наліво

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі, щоб змістити символи направо, тобто повернути його назад, використовуємо наступну програму:

```
#include <LiquidCrystal.h>

const int rs = 8, a0 = 13, en = 9, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7;
LiquidCrystal lcd(rs, a0, en, d4, d5, d6, d7,);

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Blink!");
  delay(1000);
}

void loop() {
  // зрушуємо на 1 позицію управо (довжина рядка + довжина екрану)
  for (int positionCounter = 1{
    // зрушення в 1у позицію управо
    lcd.scrollDisplayRight();
    delay(150);
  }
}
```

Рисунок 5.9.4 — Програмний код, де виконується зміщення символу  
вправо

І тепер він змістився направо:



Рисунок 5.9.5 — Символьне зміщення управо  
Символьні маніпуляції, було продемонстровано вище.

### Основні моменти програмування датчика вологості та повітря

Зчитування температури повітря датчиком, де S — це Scale, true == Фарангейт, false == Celsius:

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

//boolean S == Scale. True == Fahrenheit; False == Celcius
float DHT::readTemperature(bool S, bool force) {
    float f = NAN;

    if (read(force)) {
        switch (_type) {
            case DHT11:
                f = data[2];
                if (data[3] & 0x80) {
                    f = -1 - f;
                }
                f += (data[3] & 0x0f) * 0.1;
                if(S) {
                    f = convertCtoF(f);
                }
                break;
            case DHT12:
                f = data[2];
                f += (data[3] & 0x0f) * 0.1;
                if (data[2] & 0x80) {
                    f *= -1;
                }
                if(S) {
                    f = convertCtoF(f);
                }
                break;
            case DHT22:
            case DHT21:
                f = ((word)(data[2] & 0x7F)) << 8 | data[3];
                f *= 0.1;
                if (data[2] & 0x80) {
                    f *= -1;
                }
                if(S) {
                    f = convertCtoF(f);
                }
                break;
        }
    }
    return f;
}

```

Рисунок 5.9.6 — Фрагмент коду зчитування температури повітря датчиком DHT11

```

float DHT::convertCtoF(float c) {
    return c * 1.8 + 32;
}

float DHT::convertFtoC(float f) {
    return (f - 32) * 0.555555;
}

```

Рисунок 5.9.7 — Фрагмент коду конвертації цельсію в фарангейти і навпаки

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



```

float DHT::readHumidity(bool force) {
    float f = NAN;
    if (read(force)) {
        switch (_type) {
            case DHT11:
            case DHT12:
                f = data[0] + data[1] * 0.1;
                break;
            case DHT22:
            case DHT21:
                f = ((word)data[0]) << 8 | data[1];
                f *= 0.1;
                break;
        }
    }
    return f;
}

```

Рисунок 5.9.8 — Фрагмент коду зчитування вологості повітря

Перевіряємо, що датчик був прочитаний менше двох секунд і повернеться раніше, щоб використати останнє зчитування (читання):

```

bool DHT::read(bool force) {
    // Перевіряємо, що датчик був прочитаний менше двох секунд і повернеться раніше
    // щоб використати останнє читання.
    uint32_t currenttime = millis();
    if (!force && ((currenttime - _lastreadtime) < MIN_INTERVAL)) {
        return _lastresult; // повернути останнє правильне вимірювання
    }
}

```

Рисунок 5.9.9 — Фрагмент коду 2х секундного зчитування датчика

Синхронізація критичного коду завершена:

```

// Синхронізація критичного коду
for (int i=0; i<80; i+=2) {
    cycles[i] = expectPulse(LOW);
    cycles[i+1] = expectPulse(HIGH);
}

```

Рисунок 5.9.9.1 — Фрагмент коду синхронізації критичного коду

Перевіряємо імпульси та визначаємо, які з них = 0 або 1:

```

for (int i=0; i<40; ++i) {
    uint32_t lowCycles = cycles[2*i];
    uint32_t highCycles = cycles[2*i+1];
    if ((lowCycles == TIMEOUT) || (highCycles == TIMEOUT)) {
        DEBUG_PRINTLN(F("DHT timeout waiting for pulse."));
        _lastresult = false;
        return _lastresult;
    }
}

```

Рисунок 5.9.9.2 — Фрагмент коду перевірки імпульсів

		Бугайчук			РК51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

data[i/8] <<= 1;
// Тепер порівняймо низький і високий час циклу, щоб побачити, чи є біт 0 або 1.
if (highCycles > lowCycles) {
    // Високі цикли перевищують 50мс низького підрахунку циклу, що повинен бути 1.
    data[i/8] |= 1;
}
// Інші високі цикли менше (або дорівнюють, дивному випадку) 50us низький
// Цикл обчислюється так, що він має бути нулем. Нічого не потрібно змінювати в
// збережених даних.
}

```

Рисунок 5.9.9.3 — Фрагмент коду порівняння низького і високого часу циклу, щоб побачити, чи є біт 0 або 1

Очікуємо, що сигнальна лінія буде на заданому рівні протягом певного періоду часу, після чого повертаємо кількість циклів, проведених на цьому рівні (це число циклів може бути використовуватися для порівняння відносного часу двох імпульсів). Якщо пройшло більше однієї мілісекунди без зміни рівня, тоді виклик завершується з 0 відповіддю циклу очікування імпульсу. Використовується прямий доступ до порту GPIO, оскільки це набагато швидше і краще.

```

uint32_t DHT::expectPulse(bool level) {
#ifdef F_CPU > 16000000L
    uint32_t count = 0;
#else
    uint16_t count = 0; // Досить швидко працює на повільних платах AVR
#endif
    // для захвату імпульсів 10 частини мікросекунди в довжину:
#ifdef __AVR__
    uint8_t portState = level ? _bit : 0;
    while ((*portInputRegister(_port) & _bit) == portState) {
        if (count++ >= _maxcycles) {
            return TIMEOUT; // Перевищено тайм-аут, збій.
        }
    }
    // в іншому випадку повернемося до використання функції digitalRead.
#else
    while (digitalRead(_pin) == level) {
        if (count++ >= _maxcycles) {
            return TIMEOUT; // Перевищено тайм-аут, збій.
        }
    }
#endif
    return count;
}

```

Рисунок 5.9.9.4 — Фрагмент коду циклу очікування імпульсу

При return TIMEOUT буде перевищено тайм - аут і його збій.

		Бугайчук			PK51.407769.001 ПЗ	Арк.
		Попсуй				85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		