

Державний вищий навчальний заклад
«Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Фізико-технічний факультет
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Соломовський Роман Володимирович
Solomovskyi Roman

УДК 004.31

Спеціальність 123 «комп'ютерна інженерія»

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня магістр

**Апаратно-програмний комплекс контролю якості повітря
навколишнього середовища
Environmental air quality monitoring
system**

Науковий керівник:

д.т.н., проф. Когут І.Т.

Рецензент:

д.ф.-м.н., проф. Яремій І.П.

Івано-Франківськ

2021

АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі розглянуто основні забруднювачі повітря, джерела походження, вплив на здоров'я людини та засоби їх контролю. Проаналізовано готові рішення, які наявні на ринку, вказано на їх плюси та недоліки

Мета роботи – розробка системи контролю якості повітря навколишнього середовища з широким спектром вимірювання вмісту шкідливих речовин в повітрі та з візуалізацією зібраних даних.

В результаті роботи було спроектовано апаратно-програмний комплекс контролю якості повітря навколишнього середовища на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 3 B+ з урахуванням переваг та недоліків конкурентів на ринку.

Ключові слова: ЛОС, система контролю якості повітря, забруднювачі повітря.

					<i>123.УДК:004.31</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
Розробив		Солюмовський Р.В.			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
Перевірив		Когут І.Т.				3	1
Н. Контр.							
Затвердив							

ABSTRACT

The master's thesis deals with the main air pollutants, the source of origin, the impact on human health and means of their control. Ready-made solutions that are available on the market are analyzed, their pros and cons are shown

The purpose of the work - air quality control system development with a wide range of measurements of harmful substances in the air and the visualization of the collected data.

As a result, the hardware and software complex of air quality control was designed on the basis of one computer Raspberry Pi 3 B + with the advantages and disadvantages of competitors in the market.

Key words: VOC, air quality control system, air pollutants.

					<i>123.УДК:004.31</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розробив		Соломовський Р.В.			Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
Перевірів		Когут І.Т.					4	59
Н. Контр.								
Затвердив								

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Фізико-технічний факультет
Кафедра «Комп'ютерної інженерії та електроніки»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на тему:

Апаратно-програмний комплекс контролю якості повітря
навколишнього середовища

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ЛОС – Леткі органічні сполуки

CO₂ – Вуглекислий газ

NO – оксид нітрогену

SO₂ – діоксид сульфуру

CO – оксид карбону

NO_x – оксид азоту

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

вищезазначених стандартів. Крім того, даний стандарт широко використовується, як додаток для розгортання різних IoT систем визначення якості повітря.

На даний момент IAQ повітря визначається його хімічним складом, фізичними властивостями і наявністю в ньому сторонніх частинок, що виражається в індексі якості повітря. По своїй природі, індекс якості повітря є комунікаційним інструментом, який може використовуватись урядом та його інституціями для донесення до громадськості поточний стан забруднення повітря. Потреба в такому індексі виникає в тому, що самі по собі показники моніторингу якості повітря є складними та незрозумілими для громадськості і, відповідно, необхідно конвертувати їх в показник, що би показував взаємозв'язок між даними спостережень давачів та їх наслідками для здоров'я населення.

Оскільки можливі наслідки для здоров'я встановлюються епідеміологічними дослідженнями на основі національних науково-дослідних установ, а самі по собі показники якості повітря варіюються від географічного положення. Водночас різні країни керуються різноманітними національними стандартами для визначення індексу забрудненості повітря. Та при цьому, більшість індексів мають певні структурні елементи, що повинні збігатися. Тому важливо збирати та структурувати інформацію про якість повітря і доносити її до громадськості в зручному та загально зрозумілому форматі.

В роботі розглянуто: готові системи контролю якості повітря, їх плюси та недоліки; основні типи забруднювачів повітря і джерела їх походження; наслідки забрудненого повітря для здоров'я людини; платформу Arduino; побудову системи на основі raspberry pi.

Мета даної роботи – розробка апаратно-програмного комплексу контролю якості повітря навколишнього середовища на основі одноплатного комп'ютера raspberry pi та мови програмування GO.

					123.УДК:004.31	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Огляд проблематики та існуючих рішень

1.1 Моніторинг якості повітря в сучасному світі

Підтримка і моніторинг належної якості повітря є глобальним викликом для урядів та їх громадян. Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) було визначено, що забруднення повітря, зокрема навколишнього середовища, причиною 4,2 мільйона передчасних смертей щорічно у всьому світі. Ця величина є відображенням населення проживання в сільській та міській місцевості. Карта на рис. 1.1 показує кількість передчасних смертей через забруднення повітря.

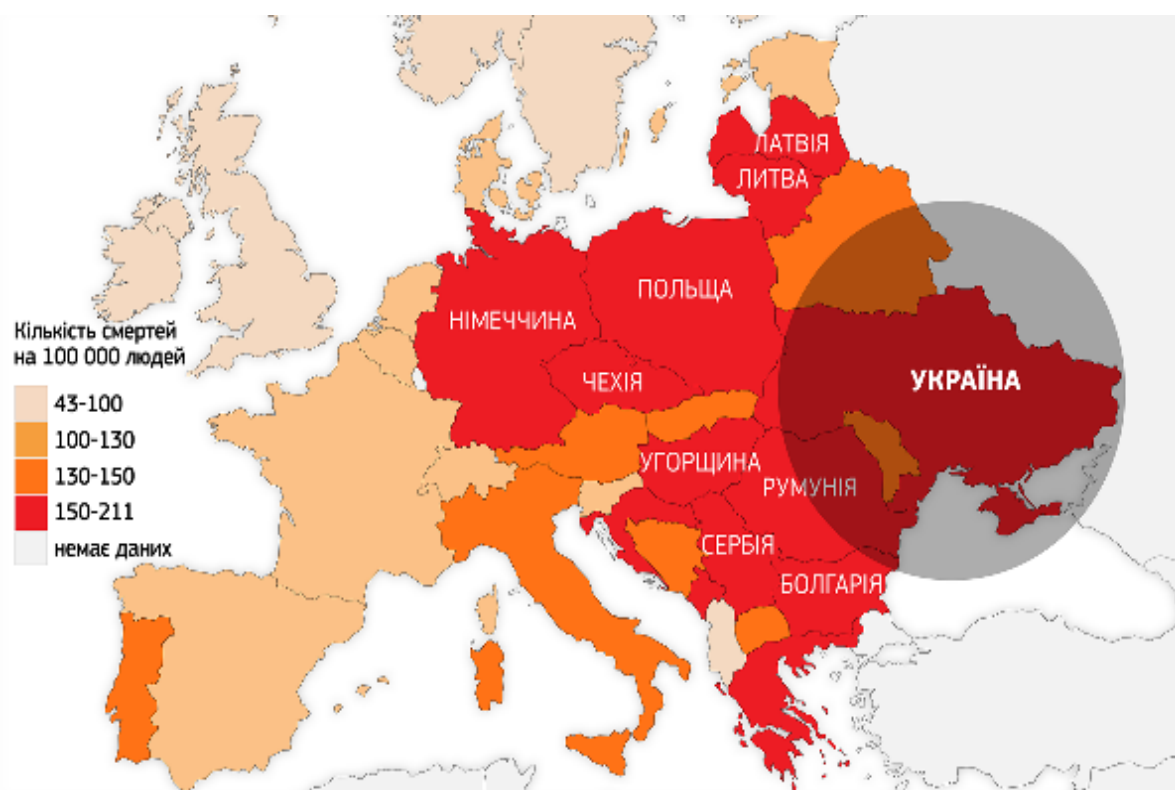


Рис. 1.1. Кількість передчасних смертей через забруднення повітря.

Погіршення якості повітря, по суті, змусило уряди всього світу інвестувати багато мільярдні кошти в розробку політики та стратифікації рішень для вирішення даної проблеми. Забруднення здебільшого викликано за рахунок твердих частинок, що викидаються промисловими підприємствами, автомобілями,

промисловими методами. Деякі з найбільш значних забруднювачів: пил важких металів, чадний газ, озон, вуглекислий газ, діоксид азоту, оксиди фтористого водню сірки та інші. Ці забруднювачі потрапляють в атмосферу і завдають серйозної шкоди здоров'ю та значною мірою впливають на навколишнє середовище.

Забруднення повітря впливає на наше життя та покоління, які ще не народилися. Тому, нам варто контролювати та слідкувати за шкідливими викидами в атмосферу.

Важливий крок у досягненні даної мети є розробка дешевої та зручної системи контролю якості повітря в режимі реального часу з використання технологій IoT. IoT – це інновація, яка змінює підхід в технологіях, політиці та в інженерних колах що можуть забезпечити контроль якості повітря. IoT дозволяє створити та підключити мережу пристроїв за допомогою підключення інтелектуальних систем зондування, таких як радіочастотна ідентифікація та різноманітні давачі [2]. IoT з'єднує кілька пристроїв через інтернет для спілкування та обмін даними і використовує такий взаємозв'язок для виконання комплексних функцій. Сучасний світ технологій стрімко розвивається і приносить значні зміни в людське життя. Поступово все, що оточує людей у їхньому повсякденному житті, стає розумним і робить життя легше і зручніше. Такі розумні речі, як наприклад, смартфони, планшети, годинники, телевізор, розумний транспорт, розумні будівлі. Вони обслуговують користувача автоматично та спільно, при цьому користувачеві не потрібно докладати великих зусиль, щоб їх використовувати. Вони спілкуються один з одним, створюючи таким чином єдину мережу, яка також може взаємодіяти зі світом. Це система доступна через інтернет речей, яка з'єднує різні об'єкти, наприклад смартфони, годинники, автомобілі, давачі тощо. За даними Gartner [2], в 2017 році кількість підключених пристроїв, які будуть використовуватися в усьому світі досягне 8,4 мільярда. Це число збільшилось з 2016 року до понад 31% і зросте до 20,4 мільярдів до 2020 року. Це може викликати занепокоєння щодо кількості енергії, що використовуватимуть ці пристрої. Однак IoT також може стати одним із важливих драйверів зелених

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

інформаційно-комунікаційних технологій. Одним із загальних принципів є мінімізація бездротового шляху передачі даних. Це важливо для IoT систем, що збирають і передають велику кількість даних через бездротові мережі. Більше того, оскільки пристрої та датчики взаємодіють напряму без посередників, це зменшує використання пропускної здатності і, як наслідок споживання енергії в цілому.

Енергоспоживання великої кількості пристроїв IoT становить складне завдання. Щоб продовжити термін служби акумулятора пристроїв IoT, необхідно заощадити енергію що споживається ними. Наприклад, у рамках моніторингу IAQ пристрої IoT мають дві основні функції, що споживають велику кількість енергії. Це передача даних між пристроєм IoT і шлюзом та датчиками для вимірювання забрудненості повітря. Останнім часом дослідження було проведено щодо них обох. Рішення для першого полягає у використанні більш енергоефективних підходів збору даних, завдяки чому датчики обмінюються даними з розумними пристроями, передаючи їх, і завантажуючи дані, що поставляються більш енергоефективним способом. Рішення для другого — запланувати цикл пристроїв, який може відключити непотрібне виконання процесу сканування датчика.

Значні перешкоди, з якими стикається традиційний моніторинг повітря – це відносно складні апаратні інновації, висока вартість, та громіздкі інструменти. Крім того, щоб обладнання забезпечувало високу точність та продуктивність, складні статистичні методи з допоміжними пристроями, такими як датчики, фільтри і температурні монітори, необхідні в будь якому випадку. Однак такі методи вимагають надмірної кількості енергії від масивного та дорогого обладнання. Отже, вони не є енергоефективними та низьковартісними. Звичайні методи не роблять систему ефективною для віддаленого моніторингу і негативно сприяють виявленню зростання концентрації забруднення. В ідеалі датчики ефективні, дешеві та відносно невеликого розміру є найкращим вибором для моніторингу навколишнього повітря. Такі пристрої використовуються в промисловості, але частково можуть використовуватися в моніторингу навколишнього середовища через неефективність вимірювання масових даних певних забруднювачів газу.

					123.УДК:004.31	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Огляд існуючих пристроїв

1.2.1 Система контролю якості повітря Extech CO100



Рисунок 1.2 Система контролю якості повітря Extech CO100 [3].

Характеристики та показники пристрою:

- Температура;
- Вологість;
- Вміст CO₂;
- Функція виклику з пам'яті мін./макс. значення CO₂;
- Цифровий годинник та календар;
- Індикатор для сповіщень;
- Ціна - 8000 грн;

Переваги даного приладу – це висока точність вимірювання CO₂ та температури, функція виклику з пам'яті мінімального та максимального значення

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

123.УДК:004.31

Арк.

14

вуглекислого газу, вбудований цифровий годинник та календар. Недоліками можна назвати відсутність вимірювання формальдегіду та доволі високу вартість пристрою.

1.2.2 Система контролю якості повітря SNDWAY SW

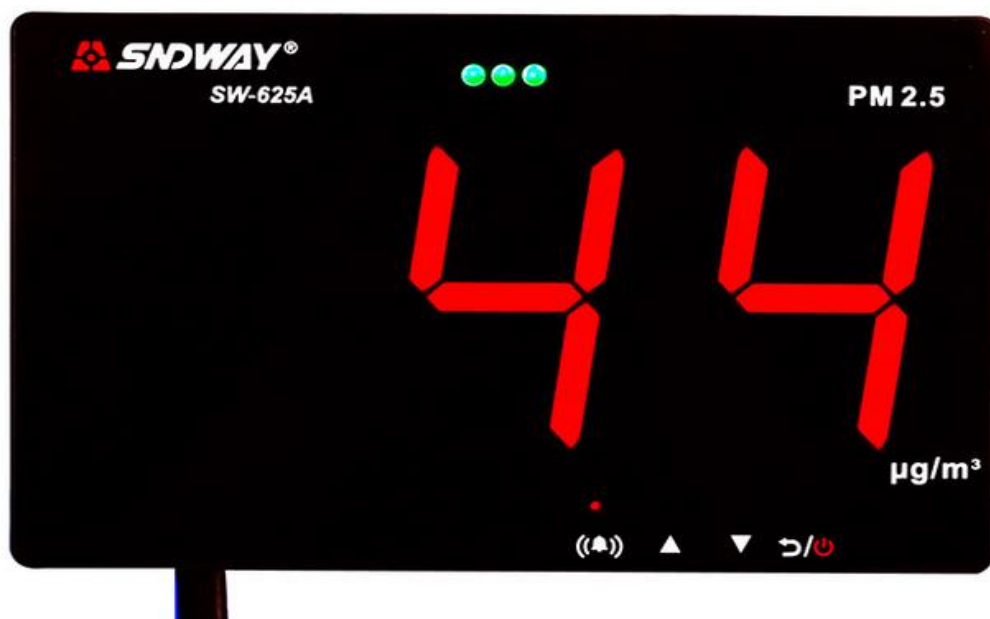


Рисунок 1.3 Система контролю якості повітря SNDWAY SW.

Характеристики та показники пристрою:

- Пил фракції PM2.5 і PM10
- Вологість повітря;
- Вмісту CO₂;
- Живлення від USB;
- Ціна - 5000 грн;

Перевагою даного пристрою є використання для живлення порту USB, що є зручним для кінцевого користувача, адже це дозволяє підключитись до майже будь-якого USB джерела живлення (комп'ютер, ноутбук, блок живлення). Мінусом можна вказати відсутність датчика формальдегіду.

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

1.2.3 Система контролю якості повітря AZ – 87798



Рис 1.4 Система контролю якості повітря AZ – 87798.

Характеристики та показники пристрою:

- Температура;
- Вологість повітря;
- Вміст CO₂;
- Визначення точки роси;
- Запис даних датчиків на SD-карту;
- Відображення року, місяця, дати;
- Індикатори для сповіщень;
- Живлення від блоку (5В) ;
- Живлення від акумулятора (3 батарейки AA);
- Ціна - 5800 грн;

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Плюсом данного пристрою варто зазначити можливість живлення від акумулятора, або блоку живлення. А також значною перевагою є великий екран з можливістю відображення додаткової інформації (рік, місяць, день) [4]. Мінусом данного пристрою є велика ціна, відсутність датчиків наявності пилу фракції PM2,5 та PM10, що є суттєвим недоліком та відсутність датчика формальдегіду.

					123.УДК:004.31	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Аналіз основних забруднювачів повітря та джерел їх походження

В атмосфері переважно міститься певна кількість домішок, що викликані антропогенними і природними джерелами. До таких домішок, що викликані природними явищами можна віднести: різноманітні частинки пилу (вулканічні, частинки морської солі, космічний, рослинний та наслідок ерозії ґрунтів), дим, тумани, пожежі (лісові, степові), гази від виверження вулканів, продукти тваринного, мікробіологічного та рослинного джерел походження. Рівень забруднення, що викликаний природними явищами зазвичай є фоновим і незначним, та не має глобального впливу протягом великого проміжку часу, завдяки потужним механізмам природи по самоочищенню. Однак сьогодні природа вже не може самостійно впоратись з цим завданням.

На теперішній час основними джерелами забруднення повітря є промислові та побутові чинники. Ці джерела можна розділити на такі групи:

- забруднення, що утворюються при викиді промислових виробництв;
- забруднення від сільськогосподарської діяльності;
- забруднення при згорянні та переробці відходів;
- забруднення, при згорянні палива (побутові засоби, автомобілі) та підприємствах. А також викиди при опаленні житлових будинків;
- різноманітні природні явища;

Протягом попередніх кількох років в світі в середньому використовується близько 10 мільярдів тон палива на рік. Що є причиною викиду в атмосферу 22-24 мільярдів тон вуглекислого газу, 300 мільйонів тон оксиду карбону, 300 - 800 мільйонів тон пилу та диму, 150 мільйонів тон діоксиду сульфуру, 50 мільйонів тон оксиду нітрогену та великої кількості інших небезпечних, хвороботворних, канцерогенних речовин [5].

Підсумовуючи, найбільш розповсюдженими токсичними речовинами, що забруднюють навколишнє повітря є: вуглекислий газ (CO₂), оксид нітрогену (NO),

					123.УДК:004.31	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та при диханні живих істот. Використовується рослинами для фотосинтезу вуглеводів. Присутність більшої кількості вуглекислого газу в атмосфері не дає частині радіаційної енергії, отриманої Землею, випромінюватися в космос, викликаючи цим так званий парниковий ефект.

За останні 170 років людська діяльність збільшила концентрацію вуглекислого газу в атмосфері майже на 50% вище доіндустріального рівня (з 1850 року). Це більше, ніж те, що було спричинено природним шляхом за останні 20 тисяч років (від останнього льодовикового максимуму до 1850 року, з 185 ppm до 280 ppm). Сучасний рівень CO₂ наведений на рисунку 2.2.

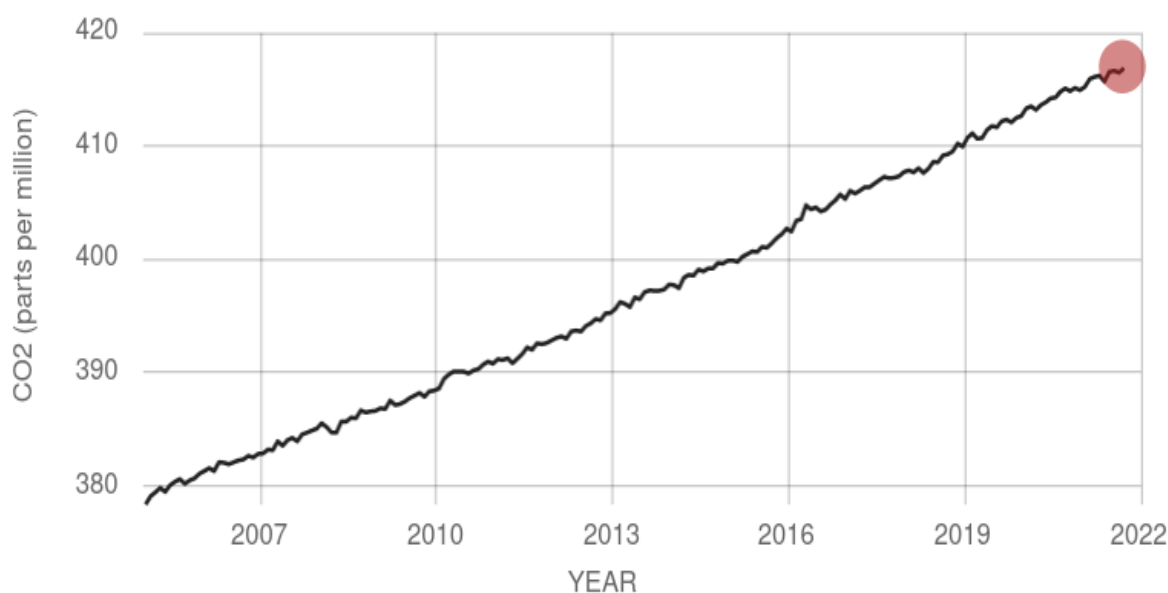


Рис. 2.2. Середня концентрація CO₂ в атмосфері 2007-2021 рр.

Якщо відкинути глобальні зміни в атмосфері і звернути увагу, що у закритому приміщенні з зачиненими вікнами та без вентиляції з декількома людьми рівень CO₂ вже через пару годин в кілька разів буде перевищувати норму та може сягнути 2500-2600 ppm (частинок на 1 мільйон). Такий показник є доволі високим та може становити небезпеку для організму (таблиця 2.1). Тому необхідно завжди провітрювати приміщення де знаходиться багато людей. А в найкращому випадку слідкувати за рівнем вуглекислого газу та підтримувати його в нормі.

Таблиця 2.1 Вплив кількості забруднення
CO₂ на самопочуття людини.

Рівень CO ₂ , ppm (частинок на 1 мільйон)	Якість повітря та його вплив на здоров'я людини
300-400 ppm	ідеальне для людини
400-600 ppm	нормальна якість
600-800 ppm	можуть з'явитися скарги через якість повітря
800-1000 ppm	скарги на якість повітря з симптомами: головний біль, слабкість та сонливість
вище 1000 ppm	сильний дискомфорт, запаморочення, головний біль, проблеми з увагою, слабкість, сонливість
вище 2000 ppm	можливі серйозні загрози в здоров'ї людини

2.2 Озон

Озон — високореакційний газ, який складається з трьох атомів кисню. Це як природний, так і штучний продукт, що зустрічається у верхніх шарах атмосфери планети. Залежно від того, де він знаходиться в атмосфері, озон може впливати на життя, як добре, так і погано. У стратосфері озон утворюється природним шляхом при взаємодії ультрафіолетового випромінювання з киснем [6]. Так званий

“Озоновий шар” розташовується на висоті близько 10-50 км. над поверхнею Землі (рисунок 2.3).

Озон завдяки своїм захисним властивостям може зменшувати кількість шкідливого ультрафіолетового-випромінювання, що проникає до Землі. Тропосферний озон, яким ми дихаємо, утворюється в більшості в результаті фотохімічних реакцій між двома основними класами забруднювачів повітря, летких органічних сполук і оксидів азоту.

Оксиди азоту утворюються зазвичай в результаті високотемпературного горіння. Основними джерелами викидів оксиду азоту є промислові печі, котли, автотранспорт та електростанції. Ці реакції зазвичай розглядалися, як залежні від присутності тепла та сонячного світла, що призводить до підвищення концентрації озону в середовищі в теплі місяці. Але протягом останніх 10 років високі концентрації озону можна було спостерігати за певних обставин і в холодні місяці.

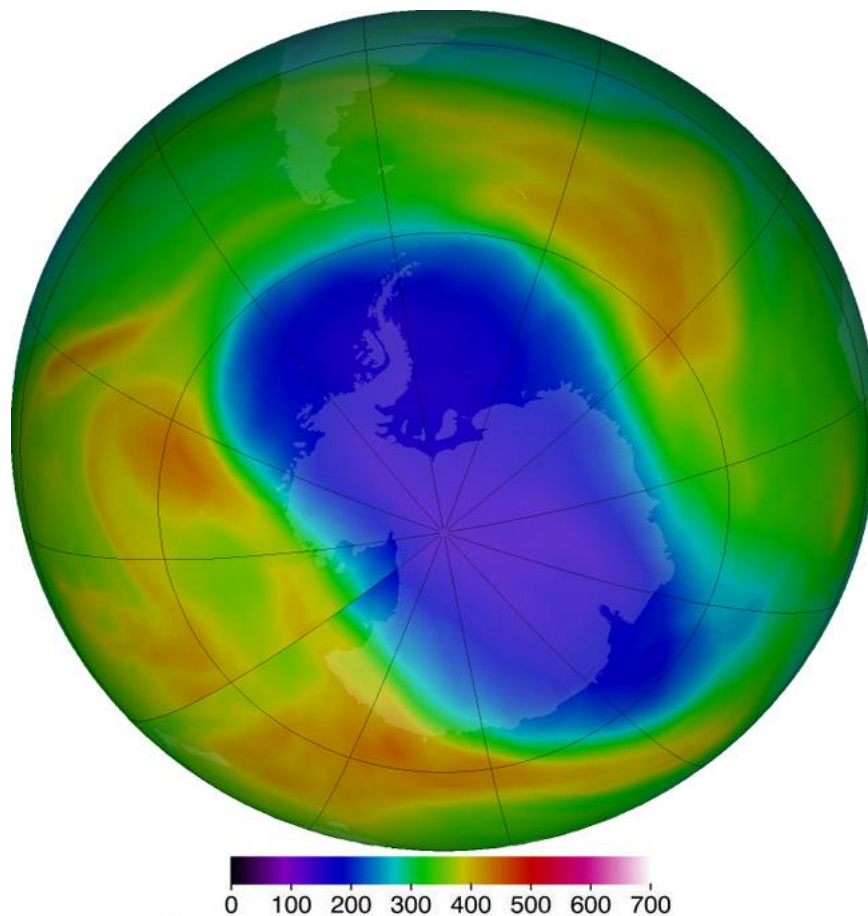


Рис. 2.3 Озоновий шар Землі виражений в одиницях Добсона.

					123.УДК:004.31	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Є помилкою вважати, що високі концентрації озону присутні лише у великих міських районах. Насправді значні концентрації озону в навколишньому середовищі можуть зустрічатись в будь-якому місці. Тому утворення озону ніяк не обмежується великими містам. Він також переміщається за сотні кілометрів за вітром, і може впливати на якість навколишнього середовища в інших міських та сільських районах. Там, де утворюється озон, пік концентрації у більшості випадків припадає на денні години, коли сонце найспекотніше. Однак у районах за вітром від основних джерел, піки озону можуть ставитися вдень та ввечері, після того як вітер переніс озон за багато кілометрів від їх джерел. Таким чином, великі концентрації озону можуть виникати у відносно віддалених районах в різний час доби, в тому числі рано ввечері або пізно вночі.

2.3 Тверді частинки фракції PM_{2,5} та PM₁₀

Частинки PM_{2,5} відносяться до категорії твердих забруднювачів розміром 2,5 мікрон або менше та є широко поширеними по всьому світі (рисунок 2.4.). Середній поперечний переріз людського волосся становить близько 50 мікрон. PM означає “частинки”. ЕРА (Агенція з охорони довкілля) та багато інших організацій охорони здоров’я класифікують тверді частки за розміром, оскільки частинки різного розміру мають різний вплив на здоров’я людини [7]. Наприклад, частинки PM₁₀ (частинки що менше 10 мікрон) можуть пошкоджувати ваш ніс та очі, але менша кількість цих частинок здатна проникати глибоко у легені, тому вони не викликають тих самих проблем зі здоров’ям, які можуть мати менші мікронні частинки, хоча вони підвищують частоту респіраторних захворювань в рази.

PM_{2,5} і менше вважаються особливо небезпечними для людини, оскільки вони оминають багато захисних механізмів людського організму. Волосся в носі, слиз та інші засоби захисту працюють, щоб зловити ці частинки, перш ніж вони зможуть проникнути глибоше в тіло. Тим не менш, частинки PM можуть потрапити

					123.УДК:004.31	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і в легені, де вони досягають альвеол і потім потрапляють в кров. Ці частинки є складними по своїй структурі, тому що вони можуть складатися з різноманітних типів хімічних речовин і інших частинок. Також вони можуть бути частково рідкими, на відміну від повністю твердих, таких як звичайна частинка пилу або піску. Тверді частинки, що повністю або частково складаються з крапель називають аерозолі. Природні види аерозолів включають в себе: морську сіль, пил, вулканічний пил. В свою чергу, як техногенні джерела включають в себе: автомобільні викиди, викиди промислових виробництв спалювання вугілля та біомаси для сільського господарства і для розчищення землі.

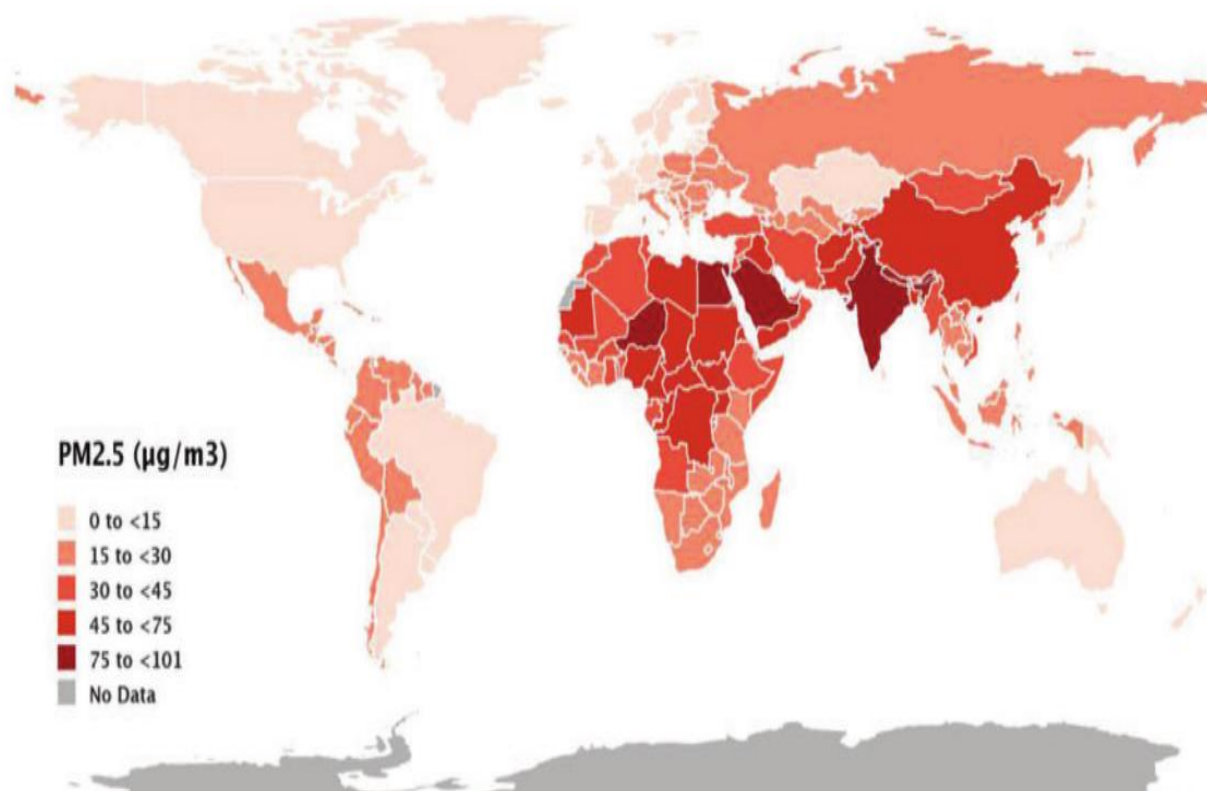


Рис. 2.4. Інтенсивність забруднення повітря частинками PM_{2,5} у світі в 2017 р.

PM_{2,5} можуть надходити з різних джерел, що робить його дуже складним типом забруднення. Певні джерела PM_{2,5} можуть випромінювати частинки безпосередньо в атмосферу. Відомі як “первинні джерела”, вони включають в себе:

					123.УДК:004.31	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лісові пожежі, промислові процеси і деякі електростанції. Однак вторинні частинки PM_{2,5} можуть утворюватись, коли хімічні речовини з'єднуються в повітрі. Різноманітні хімічні забруднення з вугільних електростанцій або вихлопи з автомобілів можуть входити в реакцію з парою в атмосфері та світлом, при цьому утворюючи нові частинки, розмір яких може бути менше 2,5 мікрон. Через велику кількість способів, за допомогою яких можуть утворюватись частинки з хімічних сполук, а також велику кількість різноманітних факторів, що можуть впливати таких, як погода, регіон, діяльність людини, майже неможливо знати напевно, які саме хімічні речовини присутні в цих частинках PM.

У приміщеннях є певні джерела PM_{2,5} та PM₁₀, які можуть вплинути на здоров'я людини, навіть за умови якщо зовнішнє повітря не забруднене або закриті вікна при поганій якості повітря. Зазвичай джерела забруднень всередині приміщень це вугілля, дрова кулінарні випари і навіть деякі свічки.

Дослідження в галузі охорони здоров'я людини показали (таблиця 2.2), що значна кількість частинок PM в повітрі може корелювати з значним посиленням шкідливих наслідків для здоров'я людини, включаючи в себе збільшення кількості респіраторних захворювань та серцево-судинні наслідки, що можуть призвести до серцевих нападів і в результаті смерті.

Таблиця 2.2. Вплив на ризик для здоров'я людини від кількості частинок PM_{2,5} та PM₁₀

Кількість частинок PM 2,5 та PM10 у мкг/м ³	Якість повітря / Ризик для здоров'я людини
1-10	низький
10-20	задовільний
20-25	середній
25-50	високий

50-75	дуже високий
75-100	небезпечний
100 і більше	смертельний

Особливо небезпечним ці частинки робить те, що вони надзвичайно малі (рисунок 2.5), і через це їх важко вивести з організму, тому профілактика та їх контроль є найкращим рішенням.



Рисунок 2.5. Розміри $PM_{2.5}$ та PM_{10} в порівнянні.

PM_{10} на відміну від $PM_{2.5}$ можна вивести при кашлі та чханні. Дослідження 2010 року довело, що вплив цих частинок від кількох годин до декількох тижнів може сприяти збільшенню смертності від серцево-судинних захворювань. тривале опромінення (наприклад, кілька років) збільшує ризик

серцево-судинної смертності в кілька раз, в порівнянні з опромінення протягом кількох днів та скорочує очікувану тривалість життя людини від кількох місяців до кількох років. Хоча забруднення твердими частинками небезпечно для всіх, є певні групи людей, що піддаються більшому ризику. Люди з захворюваннями серця, захворюваннями легень, немовлята і маленькі діти та літні люди страждають від серйозних наслідків спричинених цими частинками. Люди з захворюваннями серця та легень можуть відчувати негайні симптоми від впливу високих концентрацій частинок РМ. Міжнародний вплив твердих частинок на здоров'я значно вплинув на населення в різноманітних регіонах світу. За оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я, забруднене повітря вбиває кожного року сім мільйонів людей по всьому світі, а їх зібрані дані вказують на те, що 9 з 10 людей дихають забрудненим повітрям з великою кількістю забруднюючих речовин.

Частинки РМ є надзвичайно небезпечною категорією забруднювачів повітря і тому варто розуміти, що це таке, звідки ці частинки беруться, як їх відстежувати та як їм протистояти.

2.4 Леткі органічні сполуки

Леткі органічні сполуки (ЛОС) – це газы, що можуть виділятися великою кількістю джерел всередині приміщення (таблиця 2.3). Багато ЛОС в більшості це хімічні речовини, що виготовлені самою людиною, які застосовуються та виробляються у промисловому виробництві фарб, фармацевтичних препаратів. ЛОС, зазвичай, є промисловими розчинниками такими, як метил-трет-бутиловий ефір, трихлоретилен, оксигенати палива, або різні побічні продукти, що отримані при хлоруванням під час обробки води [8].

Хімічні та фізичні властивості даних газів і сполук, а також їх час життя в атмосфері, який може коливається від декількох хвилин до парки місяців, дозволяє їм подолати великі відстані від джерел викиду та потрапити в організм, зазвичай

					123.УДК:004.31	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітряним шляхом рідше через шкіру. В результаті вони викликають симптоми, що можуть призвести до складних патологій, atopічний дерматит, астма та різноманітні неврологічні проблеми. ЛОС досить часто є компонентом гідравлічних рідин, нафтового палива, фарб, розчинників та засобів для очищення. Також даний газ є поширеним забруднювачем ґрунтових вод. В більшості випадків концентрація летких органічних сполук значно вища в закритому приміщенні, ніж зовні.

Одним із найпоширеніших летких органічних сполук є формальдегід. Формальдегід це – безбарвний газом з різким та гірким запахом. Він поширений у багатьох будівельних та побутових матеріалах таких, як ДСП, фанера і клей. Також його можна виявити в тканині, шторах і деяких видах піноізоляції. Іншими джерелами летких органічних сполук можуть бути: паливо, газ, деревина та різноманітні тютюнові вироби. Даний забруднювач можна також знайти в засобах особистої гігієни: лаки для волосся, парфуми, засоби та рідини для хімічного і звичайного очищення, лаки для дерева, фарба, клей, товари для хобі і навіть копіювальні та друкарські машини. Формальдегід може виділятися з продуктів під час використання та і при їх зберіганні. Але кількість формальдегіду, що виділяється зменшується з плином часу в міру старіння самого продукту.

Таблиця 2.3. Гази летких органічних сполук та їх вплив на здоров'я людини.

ЛОС	Засіб/матеріал	Ступінь небезпеки
Формальдегід	ПВХ, епоксидні лаки/смоли, вінілові шпалери, ДСП, МДФ, пластик, лінолеум, папір для принтера	Дуже висока

Бензол	Різноманітні чистячі засоби	Висока
Ціанід водню	Дим від тютюну	Висока
Хлороформ	Підігріта хлорована вода та чистячі засоби	
Ацетон	Людина	Висока
Оксид вуглецю	Газові прилади, дим від тютюну	Середня

ЛОС включають в себе найрізноманітніші хімічні речовини, що можуть викликати значні пошкодження (таблиця 2.4) носа, горла та очей; викликати задишку, нудоту, втому, запаморочення, головний біль, проблеми з шкірою та волоссям. У великих концентраціях ЛОС викликають ураження нирок, печінки, ураження легень та навіть спричиняють ураження центральної нервової системи. Довготривалий вплив може також спричинити ураження печінки, нирок або центральної нервової системи.

Даний забруднювач також відіграє важливу роль при утворенні озону та інших дрібних частинок в атмосфері. Під сонячним світлом леткі органічні сполуки входять в реакцію з оксидами азоту, які виділяються в більшості транспортними засобами, промисловими підприємствами та деякими електростанціями утворюючи озон, який, у свою чергу, сприяє утворенню дрібних частинок. Значне збільшення дрібних частинок, озону та інших забруднюючих речовин можуть призводити до утворення смогу, який знижує видимість. Смог особливо шкідливий при сильному сонячному світлі та застійних погодних умовах. Довготривалий вплив важкого смогу може спровокувати постійне пошкодження легневих тканин і негативно впливати на імунну систему. Крім того, смог значно погіршує видимість та дуже негативно впливає на туризм.

Таблиця 2.4. Вплив формальдегіду на здоров'я людини.

Концентрація формальдегіду, ppm	Вплив на самопочуття/здоров'я
0 - 0,05 ppm	вплив відсутній
0,05 - 0,1 ppm	незначні нейрофізіологічні ефекти на стан людини
0,1 - 0,5 ppm	мінімальний вплив
0,5 - 1 ppm	відчутно на запах, вплив мінімальний
1-2 ppm	подразнення оболонки очей, головна біль
2-5 ppm	подразнення верхніх відділів дихальних шляхів, нудота
5-30 ppm	подразнення нижніх відділів дихальних шляхів, нудота
30-100 ppm	відтік легень
100 ppm і більше	смерть

Деякі ЛОС можуть навіть спричинити виникнення раку. Вплив цього забруднювача повітря на здоров'я в основному залежить від концентрації та часу впливу хімічних речовин. Основна маса людей не відчуває дискомфорту від короткотривалого впливу рівнів ЛОС, що знаходяться в житлових будинках. Але деякі люди можуть бути значно чутливішими, як от, наприклад, люди в яких астма. На рахунок довготривалого впливу низьких рівнів летких органічних

сполук, проводяться та тривають численні дослідження, які краще допоможуть зрозуміти вплив та наслідки для здоров'я людини.

2.4 Чадний газ

Чадний газ (окис вуглецю, CO) — це безбарвний та токсичний забруднювач повітря, який не має запаху. Утворюється при згорянні палива, в якому присутній вуглець: природний газ, вугілля нафта, бензин і дрова. Основним джерелом чадного газу є викиди від автомобілів.

Вдихання високих доз CO призводить до значного зниження здатності транспортування кисню гемоглобіном, що стає наслідками для здоров'я такі, як: головний біль, підвищення ризику у людей з серцево-судинними захворюваннями болю в грудях і можливі порушення реакції. При вдиханні чадного газу він швидко проникає через альвеолярний епітелій і попадає до крові, де CO зв'язується з гемоглобіном, утворюючи карбоксигемоглобін (COHb). Оскільки CO має значну спорідненість з гемоглобіном (в 200 разів більше, ніж O₂), тому присутність чадного газу в легенях витісняє кисень з гемоглобіну [9]. Іншими словами, коли CO проникає в легені, гемоглобін більше не зможе досягти насичення киснем. Окрім того, наявність карбоксигемоглобіну збільшує спорідненість гемоглобіну до кисню, зменшуючи цим вивільнення кисню з гемоглобіну в тканини організму.

Таблиця 2.5. Вплив концентрації чадного газу на здоров'я людини

Концентрація чадного газу в повітрі, ppm	Якість повітря
0 - 10 ppm	Чудова
10 - 20 ppm	Добра

20 - 30 ppm	Погана
30 -50 ppm	Дуже погана
50-70 ppm	Екстремальна
70 ppm і більше	Смертельна при довготривалому впливі

Дуже високі концентрації чадного газу мало ймовірно зустріти на відкритому повітрі [10]. Але коли концентрація СО виска на відкритому повітрі це може стати особливою небезпекою для людей з певними типами серцево-судинних захворювань. У таких людей знижена здатність доносити насичену киснем кров до серця у ситуаціях, коли організму потрібно значно більше кисню. Вони дуже вразливі до впливу чадного газу особливо під час різноманітних фізичних вправ або під час стресу. У таких обставинах вплив високих концентрацій вмісту СО може призвести до зниження кількості кисню, який поступає в серце, що може супроводжуватись болями в грудях, відомим також, як стенокардія.

3. Розробка апаратно-програмного комплексу контролю якості повітря

3.1 Вибір платформи та розробка апаратної частини

3.1.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi — це серія одноплатних недорогих комп'ютерів, виготовлених благодійною організацією Raspberry Pi Foundation у Південному Кембриджширі, Великої Британії [11]. Мета цих комп'ютерів навчати людей роботі з комп'ютерами та значно полегшувати доступ до комп'ютерної освіти.

Перший комп'ютер Raspberry Pi був випущений в 2012 році, і з того часу було випущено декілька варіацій та покращень (таблиця 3.1). Оригінальний Pi був оснащений одноядерним процесором з тактовою частотою у 700 МГц і тільки 256 МБ оперативної пам'яті, а остання на даний момент версія оснащена чотирьохядерним процесором Broadcom BCM2711 з частотою 1,5 ГГц та 8 ГБ оперативної пам'яті [12].

Таблиця 3.1. Модельний ряд Raspberry Pi.

Модель	Процесор	RAM	Бездрото ві мережі	Порти вводу/виводу
Raspberry Pi 4 B (2GB)	1.5-GHz, 4-core Broadcom BCM2711 (Cortex-A72)	2 GB	802.11ac / Bluetooth 5.0	2x USB 3.0, 2x USB 2.0, 1x Gigabit Ethernet, 2x micro HDMI
Raspberry PI 4 B (4GB)	1.5-GHz, 4-core Broadcom BCM2711 (Cortex-A72)	4 GB	802.11ac / Bluetooth 5.0	2x USB 3.0, 2x USB 2.0, 1x Gigabit Ethernet, 2x micro HDMI

Raspberry Pi 4 B (8GB)	1.5-GHz, 4-core Broadcom BCM2711 (Cortex-A72)	8 GB	802.11ac / Bluetooth 5.0	2x USB 3.0, 2x USB 2.0, 1x Gigabit Ethernet, 2x micro HDMI
Raspberry Pi 3 B+	1.4-GHz, 4-core Broadcom BCM2837B0 (Cortex-A53)	1 GB	802.11ac, Bluetooth 4.2, Ethernet	4 x USB 2.0, HDMI, 3.5mm audio
Raspberry Pi Zero W	1-GHz, 1-core Broadcom BCM2835 (ARM1176JZF- S)	512 MB	802.11n / Bluetooth 4.1	1x micro USB, 1x mini HDMI
Raspberry Pi Zero WH	1-GHz, 1-core Broadcom BCM2835 (ARM1176JZF- S)	512 MB	802.11n / Bluetooth 4.1	1x micro USB, 1x mini HDMI
Raspberry Pi Zero	1-GHz, 1-core Broadcom BCM2835 (ARM1176J-S)	512 MB	N/A	1x micro USB, 1x mini HDMI

Комп'ютери Raspberry Pi можуть працювати під керуванням Linux, а також також надають доступ набору контактів GPIO (введення/виведення), які дають змогу керувати компонентами для різноманітних фізичних обчислень та використовувати Інтернет речей (IoT). Тому по всьому світі люди застосовують ці

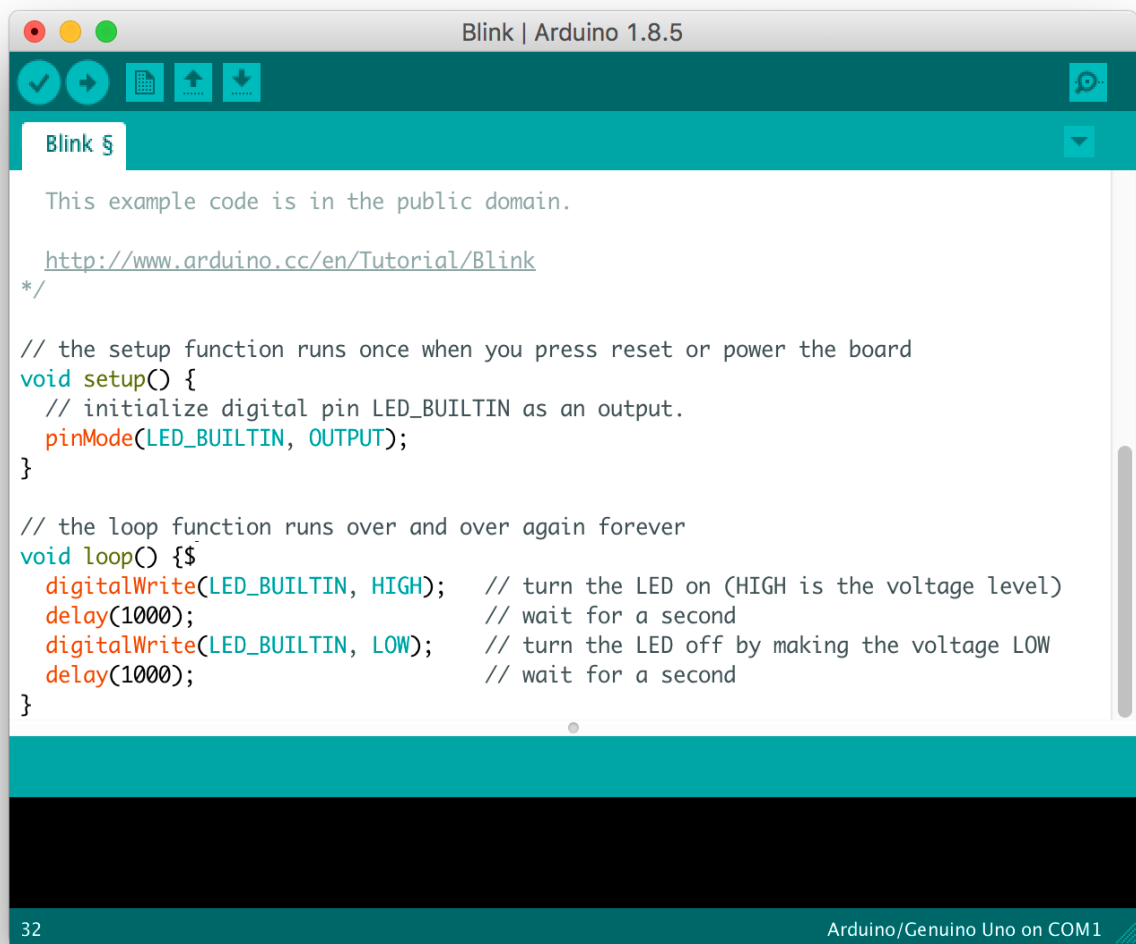


Рис. 3.1. Середовище розробки Arduino IDE.

Вони хотіли того, щоб пристрій легко підключався до різних речей (різноманітні датчики, реле) та без зайвої складності програмувався. Пристрій повинен бути дешевим, оскільки любителі та студенти не мають багато вільних коштів. Тому розробники вибрали ряд 8-розрядних мікроконтролерів MCU і AVR та на їх основі розробили друковану плату з зручним та простими у використанні з'єднаннями. Потім розробили програму завантажувача для даних мікроконтролерів та помістили це все в IDE (інтегроване середовище розробки). Результатом роботи став Arduino (рисунок 2.3).

					123.УДК:004.31	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

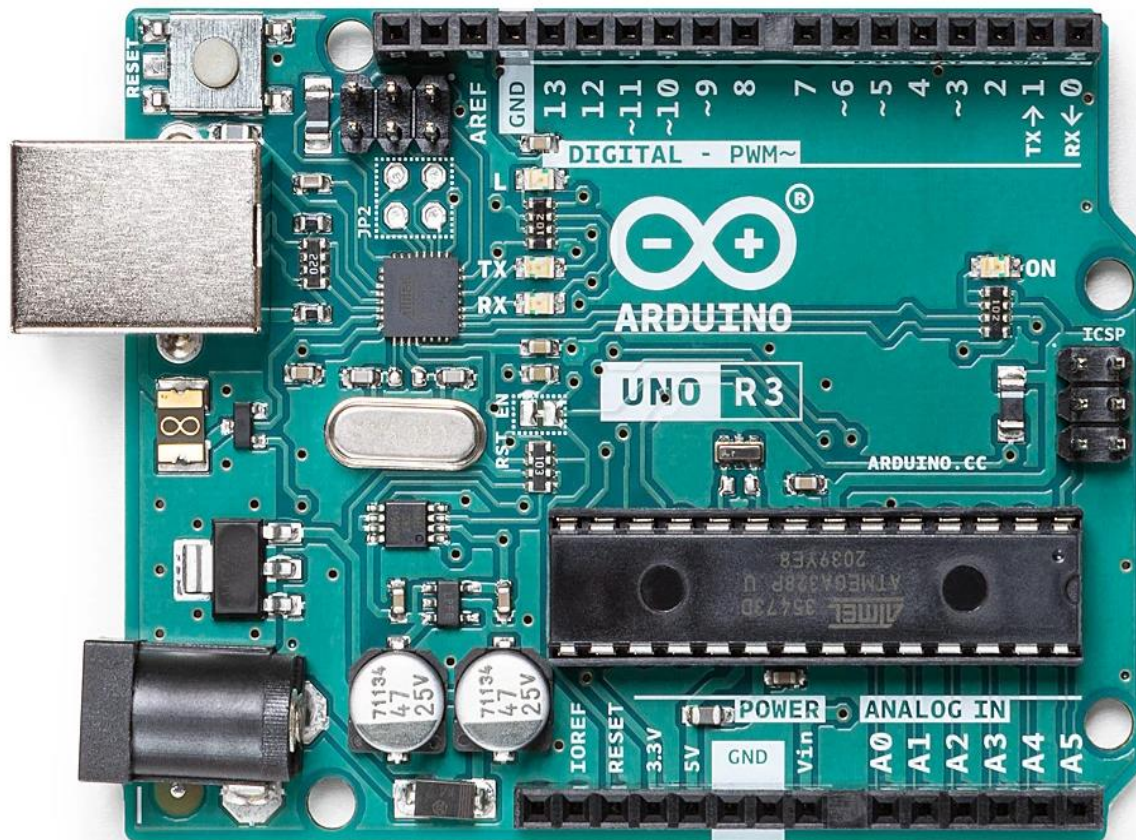


Рис. 3.2. Зображення Arduino Uno, одна із найпопулярніших моделей на теперішній час.

З того часу Arduino розвивається у декількох напрямках: деякі моделі стають меншими за оригінальну плату, а інші стають більш потужними та все більшими. Кожна з моделей з них має певну нішу, яку потрібно заповнити. Але загальним елементом серед усіх цих моделей який їх об'єднує є бібліотека AVR-GCC, яка наявна разом із середовищем розробки та спеціальне програмне забезпечення для завантажувача, яке наявне на мікроконтролерах в усіх Arduino. Модельний ряд плат Arduino (таблиця 3.2) використовує процесори, що виготовлені корпорацією Atmel. У більшості випадків конструкцій використовуються 8-розрядні мікроконтролери з серії AVR. Найбільшим винятком винятком є плата Due, в якій наявний 32-розрядний процесор ARM Cortex-M3.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 3.2. Модельний ряд плат Arduino.

Назва	Рік випуску	Мікроконтролер
Diecimila	2007 р.	ATmega 168V
LilyPad	2007 р.	ATmega 168/ATmega 328V
Mini	2008 р.	ATmega 168
Nano	2008 р.	ATmega 328/ATmega 168
Mini Pro	2008 р.	ATmega 328
Duemilanove	2008 р.	ATmega 168/ATmega 328
Mega	2009 р.	ATmega 1280
Mega 2560	2010 р.	ATmega 2560
Fio	2010 р.	ATmega 328P
Uno	2010 р.	ATmega 328P
Ethernet	2011 р.	ATmega 328
Mega ADK	2011 р.	ATmega 2560

Leonardo	2012 р.	ATmega 32U4
Micro	2012 р.	ATmega 32U4
Esplora	2012 р.	ATmega 32U4
Due	2012 р.	ARM Cortex-M3
Yun	2013 р.	ATmega 32U4 + Linino

Нові та оновлені плати Arduino з'являються з кожним роком. У новіших версій більш потужні процесори, значно більша кількість пам'яті та є наявність розширених функцій введення/виведення. Але в більшості розробники використовують ті самі ж розведення компонентів, щоб новіші плати могли працювати з існуючими додатковими платами та іншими додатками (реле, датчики, виконавчі механізми). Новіші версії плат Arduino також можуть запуснути основну масу програм, що розроблялися для попередніх плат, для роботи деяких програм прийдеться внести незначні зміни та використати новіші бібліотеки. Але програми, що написані для найновіших версій, в більшості випадків не працюватимуть, або будуть певні проблеми на старих моделях Arduino.

Хоча Arduino — це проста базова платформа для розробки на основі Atmel AVR, її значно виділяє програмне забезпечення. Це загально-користувацький програмний продукт, який об'єднує всіх користувачів Arduino, що основною концепцією плат Arduino. Протягом існування Arduino, інженери розробили широкий ряд плат. Першою досить популярною платою стала Arduino Diecimila, що вперше випущена в 2007 році, і з самого моменту свого випуску сімейство

					<i>123.УДК:004.31</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

Arduino розвивалося, щоб скористатись новими перевагами пристроїв від Atmel. Arduino Due, 2012-го року випуску, є першим в своєму роді Arduino, що базується на 32-розрядному процесорі ARM Cortex-M3, що значно його виокремлює від решти лінійки плат з точки зору потужності та можливостей розширення. Є також вузько спеціалізовані плати, наприклад, Nano і LilyPad, вони не мають такої самої ніші як інші продукти в лінійці, і назначаються для більш вузького діапазону завдань, як от: портативна електроніка на базі Esplora, переносні пристрої на LilyPad, та максимально компактні плати Mini, Micro і Nano.

Однією із найкращих плат відносно ціни, якості та потужності є Arduino Uno (рисунок 3.3). Uno — це плата, яка базується на основі 8-розрядного мікроконтролера ATmega 328P. Також наявні ще такі компоненти: регулятор напруги, послідовний зв'язок, кварцовий генератор, та інші речі для підтримки мікроконтролера [14]. В даній платі наявні 6 аналогових контактів, USB-інтерфейс, 14 цифрових портів вводу/виводу, що застосовуються для під'єднання до зовнішніх схем. 6 контактів з цих 14 можна використовувати для ШІМ-виходу. Це дозволить керувати зовнішніми електричними пристроями та схемами у режимі реального часу.

Таблиця 3.3. Характеристики Arduino Uno.

Мікроконтролер	ATmega 328p
Робоча напруга	5 В
Вхідна напруга (рекомендована)	7-12 В
Вхідна напруга (максимальна)	6-20 В
Цифрові контакти вводу/виводу	14

ШІМ цифрові контакти вводу/виводу	6
EEPROM	1 КБ
SRAM	2 КБ
Виводи аналогового входу	6
Постійний струм для контакту 3,3 В	50 мА
Постійний струм на контакт введення/виводу	20 мА
Флеш-пам'ять	32 КБ
Тактова частота	16 МГц
Вбудовані LED світлодіоди	13
Довжина	68,6 мм
Ширина	53,4 мм
Вага	25 г

Система контролю якості повітря на основі Arduino Uno мала б наступний вигляд:

					<i>123.УДК:004.31</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

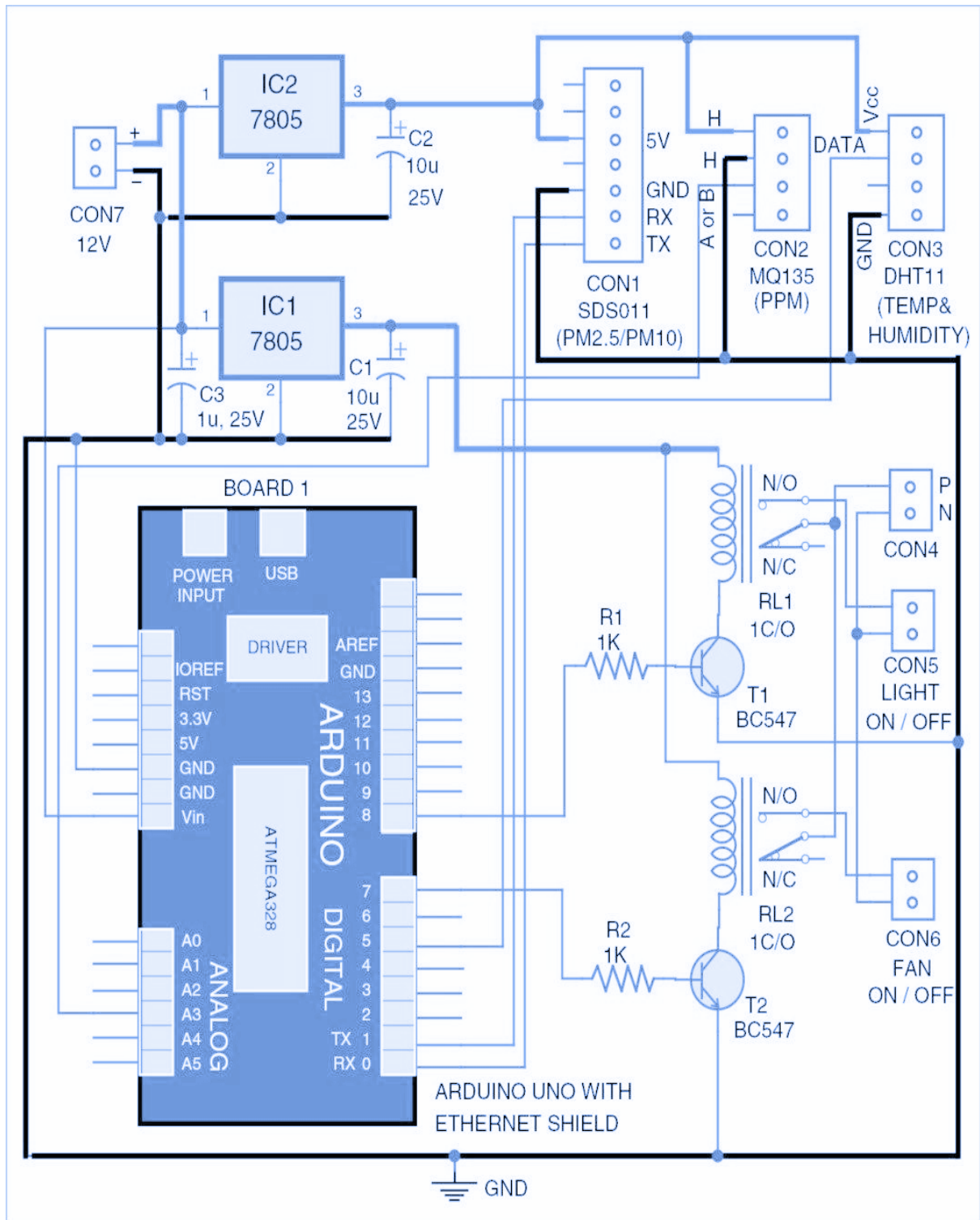


Рисунок 1.8 Схема системи контролю якості повітря на основі Arduino Uno.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

123.УДК:004.31

Арк.

42

3.1.3 Розробка апаратної частини

Перш ніж перейти до розробки апаратної частини потрібно вибрати між платформами Raspberry Pi та Arduino. Перш за все основна відмінність між ними це те, що Arduino базується на мікропроцесорі, а Raspberry Pi є одноплатним комп'ютером (SBC). Тому Arduino, який базується на мікроконтролері є простим і легким у використанні пристроєм, призначеним для початківців, щоб запускати прості програми циклічно. Raspberry Pi на відміну — це одноплатний комп'ютер в основі якого лежить мікропроцесор, що діє як звичайний комп'ютер [15]. Raspberry може працювати з декількома операційними системами: Linux і Windows та може запускати декілька програм паралельно, що робить його значно потужнішим, але більш складним у використанні порівняно з Arduino.

Підсумуємо, якщо потрібна легка у користуванні плата для виконання нескладних циклічних завдань Arduino буде найкращим варіантом. Однак, якщо потрібна можливість виконувати більш складні функції та виконання декількох завдань одночасно Raspberry Pi буде чудовим вибором. Отже, враховуючи вищесказане найкраще для виконання поставленого завдання підходить Raspberry Pi, а саме Raspberry Pi 3 B+, що є не найпотужнішою моделлю в лінійці [16], але з оптимальними характеристиками по критеріям ціна/продуктивність. Характеристики даної моделі наведені в таблиці нижче.

Таблиця 3.4. Характеристики Raspberry Pi 3 B+ .

	Raspberry Pi 3 B+
Процесор	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4 GHz
Ethernet	1000/100 Base
WiFi	2.4 GHz and 5 GHz IEEE 802.11.

	b/g/n/ac wireless
Живлення через Ethernet (PoE)	Підтримується
RAM	1GB LPDDR2
Порти	1 DSA 1 RCA 1 HDMI 4 USB
Підтримка кодеків	H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics
Відео та звук	Повнорозмірний HDMI Порт дисплея MIPI DSI Порт камери MIPI CSI 4-полюсний стереовихід і композитний відеопорт
Підтримка SD карт	Micro SD для завантаження операційної системи і зберігання даних
Вхідна потужність:	5 В/2,5 А постійного струму через роз'єм micro USB 5 В постійного струму через роз'єм GPIO Живлення через Ethernet (PoE)

Після вибору платформи необхідно підібрати давачі (таблиця 3.5) та підключити їх до пристрою. Були обрані наступні давачі:

- Температура та вологість (RHT) — DHT22
- Вуглекислий газ (CO₂) — K-30
- Чадний газ (CO) — DGS-CO 968-034
- Озон (CO₃) — DGS-O3 968-042
- Оксид азоту (NO₂) — DGS-NO2 968-043
- Частинки PM_{2.5/10} — SDS011
- Діоксид Сірки (SO₂) — DGS-SO2 968-038
- Леткі органічні сполуки (TVOC) — uThing:VOC

Давач SDS011 (рисунок 3.3) вимірює кількість твердих частинок фракцій PM_{2,5/10} за допомогою техніки лазерного розсіювання. Давач оснащений вбудованим вентилятором що підключається до Raspberry Pi за допомогою інтерфейса UART (універсальний асинхронний приймач-передавач). SDS 011 має швидкий час відгуку (<10 с), що дозволяє вимірювати концентрацію твердих частинок з точністю ±5% [17].



Рис. 3.3 Давач SDS011

Давач DHT22 використовується для вимірювання рівня вологості та температури. Він підключається до Raspberry Pi через резистор на 5 кОм за допомогою контактів вводу/виводу. Вимірювальна здатність цього датчика

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

складає від -20°C – 80°C та 0% до 100% вологості. DHT22 виводить значення вологості та температури як послідовні дані.

K30 – модуль, який призначений як сенсорна платформа для вимірювання газу CO_2 . Датчик використовує метод NDIR (недисперсного інфрачервоного випромінювання) для виявлення CO_2 . Модуль підключається до Raspberry Pi за допомогою з'єднання UART. Давач має швидкий відгуку у 20 с та може вимірювати концентрацію CO_2 в межах від 0 і 5000 ppm з похибкою $\pm 3\%$.



Рис. 3.4 Давач K30.

Давач SPEC-DGS-NO2 968-043 – це малопотужний інтегрований газовий датчик IoT, який використовується для вимірювання рівню NO_2 . Давач з часом відгуку менше 30 с з точність показань ± 5 в межах від 0 до 10 ppm.

SPEC-DGS-SO2-968-038 – це високопродуктивний давач газу, що використовується для вимірювання рівня SO_2 . Давач з напругою 3 вольт, що взаємодіє з модулем Raspberry Pi за допомогою з'єднання UART, з часом відгуку менше 30 с, похибкою $\pm 5\%$ в межах від 0 до 20 ppm.

UThing:VOC – це давач, що вимірює рівень забрудненості леткими органічними сполуками: ацетон та ізопрен з точністю до 5%.

Давач підключається до пристрою за допомогою простого USB-з'єднання та VCP (віртуальний порту зв'язку) для експорту даних у форматі CSV (значення, що

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

розділені комами) [18]. Датчик з часом відгуку менше однієї секунди виводить індекс IAQ від 0 до 500 на основі рекомендаціями EPA, що відповідають концентраціям ЛОС.

SPEC-DGS-NO2 968-043 – це вбудований давач з низьким енергоспоживанням, який використовується для вимірювання рівня CO, з'єднується з Raspberry Pi за допомогою з'єднання UART. З часом відгуку 15 с і похибкою $\pm 3\%$, вимірювання CO у межах 0–1000 ppm.

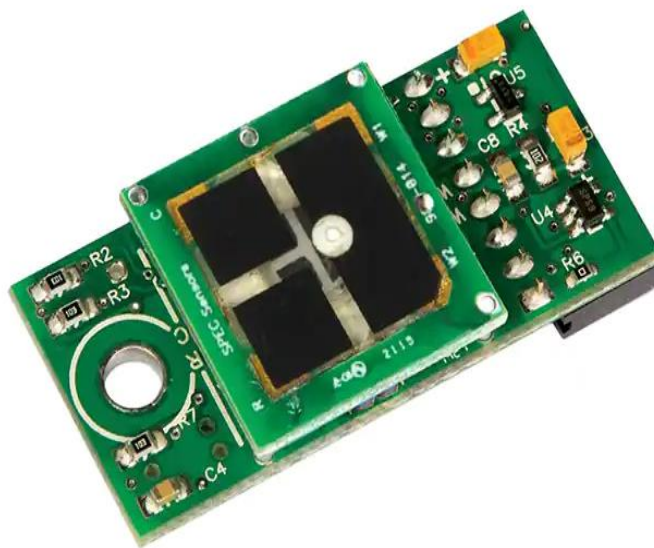


Рис. 3.5 Давач DGS-NO2 968-043.

Таблиця 3.5 Параметри вибраних давачів.

Давач	Параметр вимірювання	Межі вимірювання	Точність
DHT22	RHT	-20 °C – 80 °C; 0% до 100%	± 0.5 °C; $\pm 1\%$
K-30	CO2	0–5000 ppm	$\pm 3\%$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

123.УДК:004.31

Арк.

47

DGS-CO 968-034	CO	0–1000 ppm	±5%
DGS-O3 968-042	O3	0–5 ppm	±5%
DGS-NO2 968-043	NO2	0–10 ppm	±5%
SDS011	PM2.5/10	0.0–999.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5%; $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
DGS-SO2 968-038	SO2	0–20 ppm	±5%
uThing:VOC	TVOC	0–500 IAQ	±5%

Пристрій з підключеними давачами виглядатиме наступним чином:

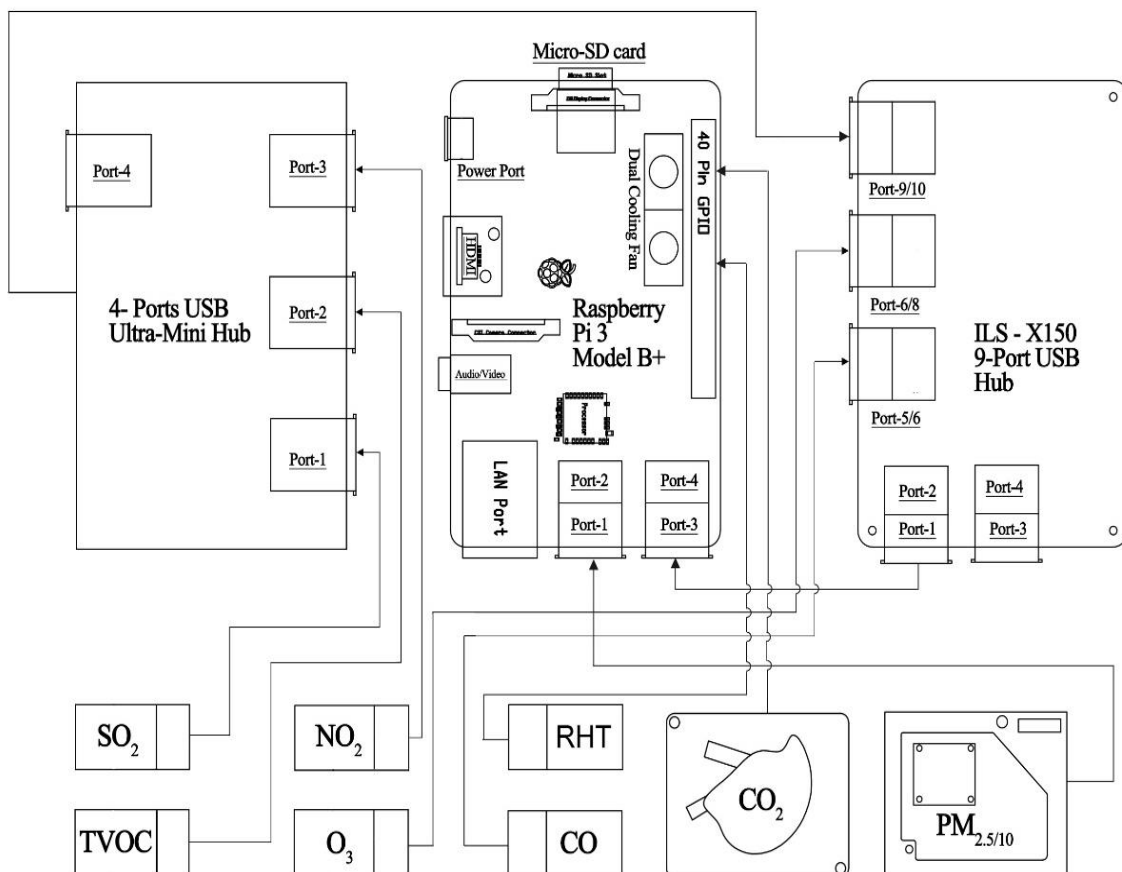


Рис. 3.6. Схематичне зображення Raspberry Pi 3 B+ з підключеними давачами та USB розширювачами.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.2.1 База даних та візуалізація даних

Після отримання даних від датчиків їх потрібно зберегти в базу даних а потім передати в сервіс для побудови графіків та візуалізації даних (рисунок 3.8). Найкраще для цього завдання підійде InfluxDB — це база даних часових рядів. База даних часових рядів (TSDB) — це система баз даних, що оптимізована для даних часових рядів і їх зберігання у зв'язку з часом та значенням [20]. Часовий ряд — це сукупність спостережень за чітко визначеними елементами даних, які отримані в результатах повторних вимірювань у часі. Дані часових рядів індексуються у часовому порядку, який є послідовністю точок даних. База даних часових рядів складається з вимірювань або подій, які відстежуються. Це можуть бути метрики сервера, дані аналізу моніторингу додатків, дані від датчиків, біржові ринки, дані ринкової торгівлі. Така база даних здатна приймати мільйони точок даних в секунду, забезпечуючи при цьому високий рівень продуктивності. Хорошим прикладом часового ряду з реального світу є дані про ціни на біржовій валюті.



Рис. 3.8 Принцип роботи розробленого пристрою.

Встановлення та налаштування InfluxDB:

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

1. Додавання репозиторію.

```
curl -sL https://repos.influxdata.com/influxdb.key | sudo apt-key add -  
  
source /etc/os-release  
test $VERSION_ID = "7" && echo "deb https://repos.influxdata.com/debian whee  
zstable" | sudo tee /etc/apt/sources.list.d/influxdb.list  
test $VERSION_ID = "8" && echo "deb https://repos.influxdata.com/debian jess  
iestable" | sudo tee /etc/apt/sources.list.d/influxdb.list  
test $VERSION_ID = "9" && echo "deb https://repos.influxdata.com/debian stre  
tch stable" | sudo tee /etc/apt/sources.list.d/influxdb.list  
  
sudo apt-get update
```

2. Встановлення залежностей і самої бази даних.

```
sudo apt-get install libfontconfig1  
sudo apt-get -f install  
sudo apt-get install influxdb
```

3. Запуск сервісу.

```
sudo service influxdb start
```

4. Створення користувача та бази даних "якості повітря".

```
> CREATE USER "user" WITH PASSWORD 'password' WITH ALL PRIVILEGES  
> create database airquality  
> use airquality  
> show measurements
```

Для візуалізації даних з InfluxDB використовується платформа Grafana. Grafana — це платформа візуалізації даних з відкритим кодом для запуску аналітики даних, отримання метрик, моніторингу програм. Grafana може підключатися до багатьох баз даних, таких як InfluxDB, Prometheus, Graphite, ElasticSearch, PostgreSQL [21]. Інструмент допомагає вивчати, аналізувати та

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

відстежувати дані за певний період часу. Великим плюсом проекту є те, що його можна розгорнути локально, щоб дані не передавалися в хмару постачальника з міркувань безпеки та інших причин. З часом даний фреймворк набув великої популярності в індустрії та використовується такими великими компаніями, як Intel, PayPal, eBay та багатьма іншими.

Встановлення та налаштування Grafana:

1. Завантаження та встановлення.

```
cd ~ && wget https://s3-us-west-2.amazonaws.com/grafana-releases/release/grafana_5.2.1_armhf.deb
sudo apt-get install -y adduser libfontconfig
sudo dpkg -i grafana_5.2.1_armhf.deb
```

2. Включення сервісу для автозапуску при старті.

```
sudo systemctl enable grafana-server
```

3. Запуск сервісу.

```
sudo systemctl start grafana-server
```

4. Перейти на <http://raspberrypi.local:3000> та налаштувати джерело даних (локальну базу даних InfluxDB airquality) з наступними параметрами:

- Name: airqualityMonitor
- Type: InfluxDB
- URL: <http://localhost:8086>
- Skip TLS verification
- Database: airquality
- User identification: не потрібне, оскільки в налаштуваннях його можна ВИКЛЮЧИТИ

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Результат виглядатиме наступним чином:



Рис. 3.9 Візуалізація тестових даних з InfluxDB платформию Grafana.

					<i>123.УДК:004.31</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

4. Економічне обґрунтування

Метою даної магістерської роботи є розроблення апаратно-програмного комплексу контролю якості повітря навколишнього середовища. Пристрій може виводити отриману інформацію від датчиків у вигляді графіків і таблиць та має наступні функції та вимірювані характеристики:

- Температура та вологість
- Вуглекислий газ
- Чадний газ
- Озон
- Оксид азоту
- Частинки PM2.5/10
- Діоксид Сірки
- Леткі органічні сполуки
- Збереження зібраних даних в базу даних
- Побудова інтерактивних графіків та таблиць на основі інформації із бази даних

Розроблений пристрій базується на основі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 3 B+, що робить його дорожчим від можливих аналогів на базі Arduino та різноманітних мікроконтролерів, але значно розширює можливості та функції кінцевого пристрою, як от підключення ще більшої кількості датчиків, підключення LCD дисплея, хостинг ботів для месенджерів (telegram, viber), які надсилатимуть зібрані датчиками дані за потребою.

Основна ніша застосування пристрою – приватні будинки, невеликі офіси. З меншою ефективністю пристрій можна використовувати і в промислових підприємствах, громадських місцях, державних установах.

Точність вимірювання розробленого пристрою наведена в таблиці нижче:

					123.УДК:004.31	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 Вимірювані характеристики розробленого пристрою.

Параметр	Межі вимірювання	Похибка
Температура та вологість	-20 °C – 80 °C; 0% до 100%	±0.5 °C; ±1%
CO ₂	0–5000 ppm	±3%
CO	0–1000 ppm	±5%
O ₃	0–5 ppm	±5%
NO ₂	0–10 ppm	±5%
SO ₂	0–20 ppm	±5%
Частинки PM _{2.5/10}	0.0–999.9 µg /m ³	5%; ±10 µg/m ³
Леткі органічні сполуки	0–500 IAQ	±5%

Як можна побачити з вищенаведеної таблиці у пристрою широкий спектр вимірювання якості повітря, значно більший ніж в його конкурентів (температура та вологість, вміст CO₂, частинки PM_{2,5/10}), які описувались в підрозділі 1.2. Основним їх недоліком є відсутність давачів вмісту формальдегіду та оксидів, а також відсутність веб застосунку для зручного перегляду та аналізу даних, що є значним недоліком у наш час.

Таблиця 4.2. Порівняльна характеристика розглянутих пристроїв.

Параметр	Розроблений пристрій	Extech CO100	AZ – 87798	SNDWAY SW
CO ₂	+	+	+	+
CO	+	-	-	-
O ₃	+	-	-	-
NO ₂	+	-	-	-
SO ₂	+	-	-	-
Частинки PM _{2.5/10}	+	-	-	+
Леткі органічні сполуки	+	-	-	-
Температура та вологість	+	+	+	+
Інтерактивний веб-інтерфейс	+	-	-	-
Запис зібраних даних	+	-	+	-
Дисплей	-	+	+	+
Ціна	7600	8000	5800	5000

Ціна пристрою з усіма давачами та USB розширювачами — 7600 грн, що хоч і є високою ціною, але це на 400 грн менше від найдорожчого конкурента (Extech

CO100), при цьому розроблений пристрій має на 5 параметрів вимірювання якості повітря більше та обходить конкурента майже по всім характеристикам (таблиця 4.2). Якщо зменшити кількість датчиків до 3-4, це значно опустить ціну, що дозволить конкурувати з середнім сегментом (4000-5000 грн). Хоча переваги в кількості вимірюваних параметрів більше не буде, залишиться зручний веб інтерфейс для перегляду даних, що значно виділятиме пристрій на фоні конкурентів.

					123.УДК:004.31	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Контроль якості повітря в сучасному світі є надзвичайно важливою складовою підтримки високого рівня здоров'я населення. Зазвичай якості повітря не надають великого значення, іноді нехтують повністю, що є катастрофічною помилкою, яка може призвести до руйнівних наслідків. Дієвим рішенням проти цієї проблеми є систематичний моніторинг складу повітря та виявлення високих концентрацій забруднюючих речовин.

В результаті аналізу основних забруднювачів повітря було показано: типи забруднення, джерела забруднення, допустимі концентрації, їх руйнівний вплив для організму та способи моніторингу та контролю якості повітря. Розглянуто та проаналізовано готові рішення ринку. Основними недоліками таких готових рішень є:

- відсутність можливості перегляду зібраних даних на смартфоні або комп'ютері
- відсутність збереження зібраних даних
- відсутність датчиків формальдегіду
- відсутність датчиків оксидів
- відсутність можливості розширення функціоналу (додавання нових датчиків, екранів)
- відносно висока ціна з дуже обмеженим функціями які доступні пристрою.

Результатом виконаної роботи став пристрій, що базується на одноплатному комп'ютері Raspberry Pi 3 B+ з широким спектром моніторингу якості повітря. Було враховано недоліки конкурентів на ринку, тому в пристрої наявні датчики вмісту формальдегіду та різноманітних оксидів. Також важливою функцією є візуалізація

					123.УДК:004.31	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зібраних даних за допомогою платформи Grafana, що дозволяє зручно переглянути та проаналізувати дані на певному проміжку часу.

Представлена реалізація пристрою є ефективною та гнучкою, що дозволяє легко змінювати конфігурацію та доступні функції під задані потреби, як показано в результаті економічного обґрунтування, що дозволяє займати нішу як і високобюджетних, так і середньобюджетних виробів.

					<i>123.УДК:004.31</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		60

<https://www.arduino.cc/en/about>

14. Arduino Uno Rev3 [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/>

15. Raspberry Pi documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/getting-started.html>

16. Raspberry Pi 3 B+ [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>

17. Real-time Air Quality readings from the SDS011 [Електронний ресурс] – Режим

доступу: <https://aqicn.org/sensor/sds011/>

18. Air-Quality USB sensor dongle [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://ohmtech.io/products/uthingvoc/>

19. The Go Project [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://golang.org/project>

20. InfluxDB [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.influxdata.com/products/influxdb/>

21. Grafana [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://grafana.com/>

					<i>123.УДК:004.31</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		62

```
package sensors
```

```
import (
```

```
    "log"
```

```
    "os/exec"
```

```
    "strconv"
```

```
    "strings"
```

```
)
```

```
func GetTempAndHumidity() (temperature float64, humidity float64, err error) {
```

```
    out, err := exec.Command("/home/pi/anavi/DHT22").Output()
```

```
    if err != nil {
```

```
        log.Fatal(err)
```

```
    }
```

```
    s := string(out[:len(out)])
```

```
    lines := strings.Split(s, "\n")
```

```
    lineTemp := lines[1]
```

```
    linePress := lines[2]
```

```
    tempStr := strings.Split(lineTemp, ": ")[1]
```

```
    temperature, err = strconv.ParseFloat(tempStr[0:len(tempStr)-2], 32)
```

```
    humStr := strings.Split(linePress, ": ")[1]
```

```
    humidity, err = strconv.ParseFloat(humStr[0:len(humStr)-4], 32)
```

```
    return
```

```
}
```

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

package database

```
import (  
    "context"  
    "fmt"  
    "time"  
  
    "github.com/influxdata/influxdb-client-go/v2"  
)
```

```
func database() {  
  
    cl := influxdb2.NewClient("http://localhost:8086", "token")  
  
    writeAPI := cl.WriteAPIBlocking("my", "my-bucket")  
  
    pd := influxdb2.NewPoint("stat",  
        map[string]string{"unit": "temp"},  
        map[string]interface{}{"avg": 22.5, "max": 42.0},  
        time.Now())  
  
    writeAPI.WritePoint(context.Background(), pd)  
  
    pd = influxdb2.NewPointWithMeasurement("stat").  
        AddTag("unit", "temperature").  
        AddField("avg", 23.2).  
        AddField("max", 45.0).  
        SetTime(time.Now())  
    writeAPI.WritePoint(context.Background(), pd)
```

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

```

ld := fmt.Sprintf("stat,unit=temperature avg=%f,max=%f", 23.5, 45.0)
writeAPI.WriteRecord(context.Background(), ld)

query := cl.QueryAPI("my-org")
res, err := query.Query(context.Background(), `from(bucket:"my-bucket")|>
range(start: -1h) |> filter(fn: (r) => r._measurement == "stat")`)
if err == nil {

    for res.Next() {
        if res.TableChanged() {
            fmt.Printf("table: %s\n", res.TableMetadata().String())

            fmt.Printf("row: %s\n", res.Record().String())
        }
        if res.Err() != nil {
            fmt.Printf("Query error: %s\n", res.Err().Error())
        }
    }
    cl.Close()
}

```

Інші важливі файли містяться на CD-диску.

					123.УДК:004.31	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65