

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Автоматизована система визначення якості повітря

Назва теми

КвРАКІТ.2022|22.01.07.ПЗ

Рівень вищої освіти перший

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

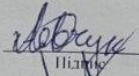
Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

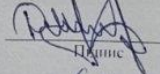
Виконав:

студент III курсу, група АКІТс-22-1


Підпис

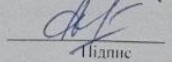
Антон ЛЕВЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник


Підпис

Денис МАКАРИШКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР


Підпис

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 04 » червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування
Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Валерій МАРТИНЮК

7 лютого 2025р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Левчуку Антону Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Автоматизована система визначення якості повітря

Керівник роботи к.т.н., доцент Макаришкін Д.А.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету №23 від 07.02.2025

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2025р.

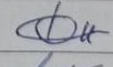
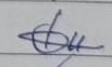
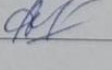
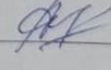
3 Вихідні дані до роботи Шкала індексу якості повітря. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. ДСТУ EN 482:2022 Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Огляд та аналіз підходів до визначення якості повітря. Підбір обладнання для автоматизованої системи визначення якості повітря. Розробка автоматизованої системи визначення якості повітря

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

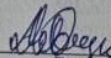
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 7 лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

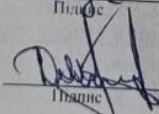
Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1. Вступ	15.02.2025	Виконано
2. Огляд та аналіз підходів до визначення якості повітря	30.02.2025	Виконано
3. Підбір обладнання для автоматизованої системи визначення якості повітря	30.03.2025	Виконано
4. Розробка автоматизованої системи визначення якості повітря	15.04.2025	Виконано
6. Висновки	30.04.2025	Виконано
7. Оформлення пояснювальної записки до КРБ	15.05.2025	Виконано
8. Оформлення пояснювальної записки до КРМ	20.05.2025	Виконано
9. Оформлення презентаційних матеріалів	30.05.2025	Виконано

Студент


Підпис

Антон ЛЕВЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Денис МАКАРИШКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система визначення якості повітря».

Автор роботи: Левчук А.О.

Керівник роботи: Макаришкін Д.А.

Пояснювальна записка: 67 с., 44 рис., 18 табл., 3 дод., 41 джерело.

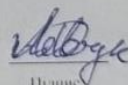
Графічна частина: 15 презентаційних слайдів

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ, ЕТАНОЛ, АМІАК, СИГМА-ДЕЛЬТА ПЕРШОГО ПОРЯДКУ, СИГМА-ДЕЛЬТА ДРУГОГО ПОРЯДКУ, КОНТРОЛЕР, ЦИФРОВА ПЛАТА, АЛГОРИТМ, КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКІВ, ДАТЧИК ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

Метою роботи є розробка автоматизованої системи визначення якості повітря, підбір її складових компонентів, розробка цифрової плати, калібрування та налаштування датчиків, а також перевірка точності роботи системи та часу реакції на зміну якості повітря. В роботі проведено підбір обладнання для автоматизованої системи визначення показників якості повітря, а також розроблено цифрову плату для цієї системи. В результаті створення системи було також проведено калібрування роботи датчика якості повітря та тестування різних схем системи на спрацювання у випадку наявності в повітрі етанолу.

30.05.2025

дата



Підпис

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ	8
1.1 Показники якості повітря	8
1.2 Огляд існуючих технічних та технологічних рішень щодо моніторингу якості повітря	12
1.3 Постановка задач автоматизації визначення якості повітря	21
1.4 Висновки до першого розділу	23
2 ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ	24
2.1 Датчики	24
2.2 Аналогово-цифрові перетворювачі	29
2.3 Плати налаштування	32
2.4 Інше обладнання в автоматизованій системі визначення показників якості повітря	34
2.5 Принципова схема автоматизованої системи визначення показників якості повітря	38
2.6 Висновки до другого розділу	40
3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ	41
3.1 Розробка плати керування для автоматизованої системи визначення показників якості повітря	41
3.2 Алгоритм роботи автоматизованої системи визначення показників якості повітря	43
3.3 Налаштування датчиків в автоматизованій системі визначення показників якості повітря	51

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	Автоматизована система визначення якості повітря. Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Левчук А.О.	<i>[Підпис]</i>	30.05.23		у	4	67
Перевір.		Макаришики Д.А.	<i>[Підпис]</i>	30.05.23	ХНУ гр. АКІТе-22-1			
Н.контр.		Корещька Л.О.	<i>[Підпис]</i>	30.05.23				
Затвер.		Мартинюк В.	<i>[Підпис]</i>	04.06.23				

3.4 Тестування автоматизованої системи визначення показників якості повітря	51
3.5 Висновки до третього розділу	56
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТКИ.....	65

ВСТУП

Щороку значна кількість професійних захворювань працівників та смертей стається внаслідок забрудненого повітря у виробничих приміщеннях. Відзначається, що вплив забруднюючих речовин в межах будівель на працівників в 50 разів вищий при розгляді його впливу на організм людини, ніж у порівнянні із впливом якості атмосферного повітря [1].

Крім того, якість повітря має значний вплив на технологічний процес при виготовленні продукції. У випадку із виробництвом, яке використовує роботизоване технологічне обладнання, важливо слідкувати за такими показниками повітря, як температура та відносна вологість. Високий рівень відносної вологості має значний негативний вплив на будь-яке технологічне обладнання.

У випадку хімічної, фармацевтичної та інших видів промисловостей, якість повітря в межах виконання технологічного процесу має вплив не тільки на технологічне обладнання, але й на якість самої продукції. Тому у таких видах промисловостей висуваються дуже жорсткі вимоги до якості повітря в межах робочої зони.

Автоматизація процесу відслідковування та реєстрації показників якості повітря призведе до покращення виконання технологічного процесу, зменшенню зносу робочого обладнання, збільшенню якості продукції, що виготовляється, покращенню здоров'я працівників та зменшенню кількості можливих професійних захворювань, тощо.

Автоматизація такого процесу призводить також до зменшення кількості роботи щодо безперервного або періодичного відслідковування стану повітря в робочій зоні, тому що автоматизована система буде проводити перевірку якості повітря без втручання працівників. Таким чином мінімізується вплив людського фактору та можливих помилок при зчитуванні даних з відповідного обладнання, яке призначене для реєстрації показників якості повітря.

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Метою роботи є розробка автоматизованої системи визначення якості повітря, підбір її складових компонентів, розробка цифрової плати, калібрування та налаштування датчиків, а також перевірка точності роботи системи та часу реакції на зміну якості повітря.

Для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра були поставлені наступні завдання:

- провести аналітичний огляд існуючих технічних та технологічних рішень з підходів до визначення якості повітря;
- виконати підбір необхідного обладнання для системи автоматизованого визначення якості повітря;
- розробити схеми функціонування автоматизованої системи виявлення визначення якості повітря;
- змодельювати роботу автоматизованої системи визначення якості повітря;
- створити прототип та перевірити роботу автоматизованої системи визначення якості повітря.

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

1.1 Показники якості повітря

Якість повітря – це поширений термін, який використовується для опису біологічних, фізичних та хімічних характеристик повітря з метою подальшого визначення його придатності без шкоди для життя людини та перебування людини в умовах впливу цього повітря, а також для нормального розвитку рослин та тварин [2].

При проведенні оцінки якості повітря використовується показник, який називається Індекс якості повітря та позначається AQI. Цей показник визначає рівень чистоти або забрудненості повітря і подальших пов'язаних із станом повітря ризиків для здоров'я людини [3].

При проведенні оцінки якості повітря в загальному, а не тільки в робочій зоні виробничого середовища, використовується відповідна кольорова шкала, яка показана на рисунку 1.1.

Індекс якості повітря	Рівні небезпеки для здоров'я	Кольори
Від 0 до 50	Добрий	Зелений
51 до 100	Помірний	Жовтий
101 до 150	Шкідливий для чутливих груп	Помаранчевий
151 до 200	Шкідливий	Червоний
201 до 300	Дуже шкідливий	Фіолетовий
301 до 500	Небезпечний	Бордовий

Рисунок 1.1 – Кольорова шкала індексу якості повітря

Добрий (зелений) рівень повітря характеризується високою якістю повітря, а Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) рекомендує при такому рівні знаходитись на свіжому повітрі якомога більше часу.

Помірний (жовтий) рівень повітря характеризується наявністю невеликої кількості твердих частинок, розчинених у повітрі. В такому випадку деякі люди більш чутливі та їм рекомендується скоротити час перебування при впливі такого повітря [4].

При помаранчевому рівні забруднення чутливим групам населення рекомендується вживати запобіжних заходів захисту органів дихання, а при червоному такі заходи рекомендуються всім групам населення. При фіолетовому дуже шкідливому рівні забруднення повітря всім групам населення рекомендується скоротити час перебування на повітрі, а при небезпечному бордовому рівні необхідно утриматись від виходу на вулицю взагалі [5].

У таблиці 1.1 наведений вміст твердих розчинених у повітрі частинок відповідно до рівнів забруднення повітря, які наведені на рисунку 1.1.

Таблиця 1.1 – Вміст розчинених у повітрі твердих частинок залежно від індексу якості повітря (AQI) [6]

Категорія AQI	Pb	NH ₃	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀
Хороший	0-0,5	0-200	0-40	0-1	0-50	0-40	0-30	0-50
Задовільний	0,5- 1,0	201- 400	41-80	1,1- 2,0	51- 100	41-80	31-60	51- 100
Помірно забруднений	1,1- 2,0	401- 800	81- 380	2,1- 10	101- 168	81- 180	61-90	101- 250
Високий	2,1- 3,0	801- 1200	381- 800	10-17	169- 208	181- 280	91- 120	251- 350
Дуже високий	3,1- 3,5	1200- 1800	801- 1600	17-34	209- 748	281- 400	121- 250	351- 430
Небезпечний	3,5+	1800+	1600+	34+	748+	400+	250+	430+

У випадку із якістю повітря в робочі зоні існує декілька показників якості повітря. Перший показник – це відповідність повітря мікрокліматичним нормам ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [7].

Параметрами мікроклімату приміщення з точки зору якості повітря є його температура, швидкість руху та відносна вологість. Стандартом визначено два види норм – оптимальні та допустимі норми мікроклімату. Оптимальні норми – це ідеальні значення для працівників, а допустимі – це значення, при яких допускається робота у виробничому приміщенні.

Норми параметрів мікроклімату наведені на рисунку 1.2. Як видно з рисунку 1.2, норми визначаються залежно від важкості робіт працівників та періоду року.

Період року	Характеристика робіт	Категорія робіт	Енерговитрати, Вт	Температура, °С				Вологість, %		Швидкість руху, м/с		
				Оптимальна	допустима		Оптимальна	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більше ніж	оптимальна, не більше ніж	допустима на робочих місцях постійних і непостійних		
					верхня межа	нижня межа						
					на робочих місцях							
п	н	п	н									
Холодний	Легка	Ia	90-120	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	≤ 0,1
		Iб	121-150	21-23	24	25	20	17	40-60	75	0,1	≤ 0,2
	Середня	IIa	151-200	18-20	23	24	17	15	40-60	75	0,2	≤ 0,3
		IIб	201-250	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	≤ 0,4
Важка	III	251-300	16-18	19	20	13	12	40-60	75	0,3	≤ 0,5	
Теплий	Легка	Ia	90-120	23-25	28	30	22	20	40-60	55 (при 28°C)	0,1	0,1-0,2
		Iб	121-150	22-24	28	30	21	19	40-60	55 (при 28°C)	0,2	0,1-0,3
	Середня	IIa	151-200	21-23	27	29	18	17	40-60	55 (при 28°C)	0,3	0,2-0,4
		IIб	201-250	20-22	27	29	16	15	40-60	55 (при 28°C)	0,3	0,2-0,5
Важка	III	251-300	18-20	26	28	15	13	40-60	55 (при 28°C)	0,4	0,2-0,6	

Рисунок 1.2 – Норми параметрів мікроклімату приміщень

Для перевірки відповідності вмісту розчинених речовин в повітрі встановленим нормованим значенням використовується поняття гранично-допустимої концентрації. Гранично-допустима концентрація (ГДК) – це концентрація, яка протягом робочого тижні, тобто 40 годин на тиждень або 5

робочих змін по 8 годин, не викликає відхилень у стані здоров'я або захворювань у працівників [8].

Гранично-допустимі концентрації для деяких речовин, розчинених у повітрі робочої зони, наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – ГДК деяких шкідливих речовин

Речовина	Клас небезпеки	ГДК, мг/м ³
Спирт етиловий	4	1000
Хлор	2	1
Вуглеводні нафти	4	300
Толуол	3	50
Карбід кремнію	4	6
Сікродень	2	10
Сірчаний ангідрид	3	10
Пил рослинного походження	4	2-6
Оксид вуглецю	4	20
Оксид азоту	2	5
Ксилол	3	50
Бору карбід	4	6
Бензол	2	5
Чавун	4	6
Бензин	4	100
Ацетон	4	200
Ацетилен	4	100
Аміак	4	20
Кам'яне вугілля	4	10

Більш детальні характеристики якості повітря у виробничій зоні наведені у Державному стандарті України ДСТУ EN 482:2022 Повітря робочої зони [9].

Окрім розчинення у повітрі твердих хімічних речовин, також в повітрі може бути розчинений пил різного походження, наприклад, кам'яний пил, органічний пил, дерев'яний пил, тощо. За замовченням для робочої зони виробничого приміщення норма запиленості повітря становить 6 мг/м^3 [10].

1.2 Огляд існуючих технічних та технологічних рішень щодо моніторингу якості повітря

Для проведення визначення показників якості повітря в межах робочої зони існує ряд приладів. Перший прилад, це монітор якості повітря моделі MT8060 (рисунок 1.3). Вартість приладу становить 4000 гривень [11].



Рисунок 1.3 – Монітор якості повітря MT8060

В конструкції монітору наявний інфрачервоний (ІЧ) датчик, який призначений для вимірювання кількості світла. Вимірюється саме те світло, яке пройшло через площину спеціально розробленого фільтру, на якому наявні молекули CO_2 . Після цього виконується порівняння кількості світла, що пройшло через світлофільтр та подальше обрахування різниці. В результаті прилад відображає концентрації газів в повітрі.

Технічні характеристики приладу наведені в таблиці 1.3.

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		10

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики монітору якості повітря МТ8060 [11]

Характеристика	Значення
Живлення, В	220
Діапазон робочих температур, °С	0-50
Вага приладу, гр	185
Розміри, мм	137 x 99 x 51
Діапазон вимірювань CO ₂ , ppm	0-3000
Сигнал	1 раз кожні 5 секунд
Вимірювання вологості, %	20-90

Під'єднання приладу до мережі виконується через USB-кабель або адаптера мережі, який входить у комплект. Відображення кількості CO₂ в повітрі виконується шляхом виведення значень на екран та світінням світлодіоду червоного, жовтого або зеленого кольору, які відповідно означають високий рівень, середній та нормальний рівень CO₂ в повітрі.

Такий монітор якості повітря призначений більше для побутового використання. У випадку необхідності проведення вимірювання в робочій зоні виконання технологічного процесу для вимірювання рівня вуглекислого газу можна використовувати вдосконалений датчик CO₂ моделі Analox 5S МКІІІ (рисунок 1.4) [12]



Рисунок 1.4 - Вдосконалений датчик CO₂ Analox 5S МКІІІ

Це точний та стабільний двопроменевий інфрачервоний датчик, який використовується для проведення безперервного контролю рівня вуглекислого газу в повітрі. Йому характерні тривалий термін експлуатації, низьке енергоспоживання та різноманітність діапазонів роботи. Технічні характеристики наведені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики Analox 5S МКІІІ [12]

Характеристика	Значення
Методика реєстрації	Інфрачервоне поглинання
Діапазон робочих температур, °С	від -5 до +55
Час розігріву, сек	30
Діапазон тиску, мбарА	800-1500
Діапазон потоку, л/хв	0,1-1,2
Температура зберігання, °С	від -20 до +70
Вихід	0-2 В при 1000 Ом або більше 4-20 мА при 400 Ом або менше
Розміри, мм	115 x 70 x 40

Для забезпечення нормальних показників кисню в повітрі використовується аналізатор кисню. На рисунку 1.5 наведена модель AR-8100. Його використовують у випадках, коли технологічний процес передбачає викиди великої кількості кисню в робочу зону, що може призвести до підвищення ризику виникнення вибуху або пожежі. Відображення показів кисню виконане на екрані приладу. При перевищенні порогового значення прилад сповіщає про це відповідним сигналом, що за замовченням налаштоване на рівень звуку 80 дБ.

Технічні характеристики приладу наведені в таблиці 1.5 [13].

Прилад можна також використовувати для вимірювання температури. В конструкції приладу наявний літєвий акумулятор, який можна перезаряджати. Рівень звуку оповіщення про перетин порогового значення можна налаштовувати.



Рисунок 1.5 – Аналізатор кисню AR-8100

Таблиця 1.5 - Технічні характеристики AR-8100 [13]

Характеристика	Значення
Похибка вимірювань, %	Менше 1,5
Безперервність роботи, год.	10
Вага, гр	170
Діапазон вимірювань, %	0-25
Джерело живлення, В	3,7
Розміри, мм	181 x 63 x 30
Час відгуку, с	Менше 15

За необхідності проводити вимірювання інших газів, можна використовувати модель AZ-77597 (рисунок 1.6). Цей газоаналізатор налаштований на реєстрацію CO₂, CO, чадного газу та параметрів мікроклімату. Вартість приладу становить 22 200 без ПДВ. Технічні характеристики наведені в таблиці 1.6 [14].

Для датчиків доступне ручне калібрування. Також існує можливість запису останніх 99 показників. При перетині граничного значення прилад сповіщує про це сигналом із рівнем звуку 80 дБ.

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики AZ-77597 [14]

Характеристика	Тип параметру, що реєструється	Значення
Роздільна здатність, ppm	CO ₂	1
	CO	1
	Температура, °C	0,1
	Відносна вологість, %	0,1
Час відгуку	CO ₂	Менше 30 секунд
	CO	Менше 60 секунд
	Температура	Менше 2 хвилин
	Відносна вологість	Менше 10 хвилин
Точність	CO ₂	±30 ppm
	CO	±10 ppm
	Температура	±0,6°C
	Відносна вологість	±3%
Діапазон вимірювань	CO ₂	0-9999 ppm
	CO	0-1000 ppm
	Температура	-20°C...+60°C
	Відносна вологість	0,1-99,9%
Діапазон вимірювань	CO ₂	-20...+50°C
	CO	0...+50°C
	Відносна вологість	-20...+60°C
Розмір екрана, мм		26 x 44
Габаритні розміри, мм		205 x 70 x 56
Вага, гр		200



Рисунок 1.6 – Газоаналізатор AZ-77597

Серед більш дешевих аналогів можна розглянути цифровий аналізатор якості повітря WP6910 (рисунок 1.7). Його вартість становить лише 2200 гривень. Цей прилад призначений в першу чергу для вимірювання рівня формальдегіду в повітрі. Технічні характеристики приладу наведені в таблиці 1.7 [15].



Рисунок 1.7 - Цифровий аналізатор якості повітря WP6910

якості повітря СЕМ DT-9881 (рисунок 1.8). Технічні характеристики приладу наведені в таблиці 1.8 [16].

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики аналізатору якості повітря СЕМ DT-9881 [16]

Характеристика	Значення
Вимірювання наявності твердих частинок	
Продуктивність, л/хв	2,83
Випадкова помилка, %	5
Точність вимірювання, %	50 для частинок розміром 0,3 мкм 100 для частинок розміром більше 0,45 мкм
Вимірювання параметрів мікроклімату	
Діапазон вимірювання температури, °С	0-50
Діапазон вимірювання відносної вологості, %	0-100
Діапазон вимірювання температури точки роси, °С	0-100
Точність вимірювання температури, °С	±0,5-1,0
Точність вимірювання відносної вологості повітря, %	±3-5
Точність вимірювання температури точки роси, °С	±0,5-1,0
Вимірювання формальдегіду	
Одиниця вимірювання, ppm	0,01
Діапазон значень, ppm	0,01-5,00
Точність, %	±5
Вимірювання чадного газу	
Точність, %	±5
Одиниця вимірювання, ppm	1
Діапазон значень, ppm	10-1000



Рисунок 1.8 - Аналізатор якості повітря SEM DT-9881

Цей аналізатор представляє собою мінілабораторію проведення екологічного контролю, в результаті якого можна визначити запиленість повітря, концентрацію формальдегіду та чадного газу, а також виміряти показники мікроклімату повітря та температуру точки роси.

Відображення результатів вимірювання передбачено через кольоровий рідкокристалічний екран, в якого наявна функція підсвічування. Роздільна здатність екрану становить 320 x 240.

Живлення передбачено від акумуляторної батареї, яка надає можливість роботи протягом 2 годин в режимі селевого адаптера та протягом 4 годин в режимі безперервного контролю показників якості повітря.

В комплект окрім приладу входять:

- універсальний мережевий адаптер;
- батарея;
- штатив;
- кейс для зберігання та транспортування;
- інструкція.

Прилад здатний вимірювати пил, розміри частинок якого становлять 10, 5, 2,5, 1, 0,5 та 0,3 мкм. При цьому аналізатор здатен проводити одночасне

Тому в роботі розглядається можливість створення автоматизованої системи визначення показників якості повітря у виробничих приміщеннях, яка б відслідковувала стан повітря за допомогою датчиків та передавала інформацію про якість повітря на контрольний прилад.

Таким чином, до автоматизованої системи визначення якості повітря (АСВЯП) висувуються наступні задачі:

- безперервний контроль вмісту газу в повітрі;
- безперервний контроль температури;
- керування системою за допомогою цифрової плати;
- керування поверхневим потенціалом.

В проєкті передбачається здчитування даних із хімічного датчика, які в подальшу використовуються для визначення концентрації газу в повітрі робочої зони. Для використання АСВЯП в хімічній промисловості час відгуку датчику повинен бути якомога меншим. Цього можна досягти шляхом паралельного відслідковування стану поверхневого потенціалу. АСВЯП передбачена для роботи в умовах живлення від 5 В. Також АСВЯП повинна відслідковувати температуру для більш стабільного керування поверхневим потенціалом.

Система передбачена для використання в першу чергу на потенційно небезпечних формах хімічної промисловості, оскільки там дуже важливим є відслідковування наявності шкідливих речовин в повітря робочої зони як з точки зору підтримання правильного ходу технологічного процесу, так і з точки зору збереження здоров'я працівників.

Крім того, АСВЯП можна використовувати і в інших галузях промисловості, де необхідно здійснювати безперервний контроль за показниками якості повітря в приміщенні робочої зони.

В першу чергу розроблена система спрямована на використання на невеликих промисловостях, де немає фінансової спроможності купляти більш дорогі аналоги автоматичного безперервного контролю якості повітря, але при цьому є така необхідність.

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1.4 Висновки до першого розділу

В розділі наведено основні показники якості повітря, які застосовуються при безперервному або періодичному контролю якості повітря в робочій зоні. Крім того, проведено огляд існуючих аналізаторів та моніторів чадного та вуглекислого газу, температури, вологості повітря, температури точки роси та вмісту пилу різного розміру в повітрі. В розділі було поставлено основні задачі автоматизації та вимоги до автоматизованої системи визначення показників якості повітря.

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		21

2 ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

2.1 Датчики

В АСВЯП передбачено використання ряду датчиків. Перший тип датчиків – це хеморезистивні датчики газу, тобто ті датчики, які змінюють свій електричний опір у випадку взаємодії з іншими хімічними речовинами [17].

За принципом роботи ці датчики змінюють свій електричний опір при контакті з певним видом газу, завдяки чому виконується вимірювання концентрації газу. Виготовляються такі датчики із полімерів, оксидів металів та інших матеріалів, які здатні забезпечувати чутливість на конкретні види газів [18].

Сфера застосування таких датчиків достатньо широка. Вони використовуються для виявлення біомаркерів при проведенні медичної діагностики на певні види захворювань, а також при виявленні наявності токсичних газів у повітрі з метою моніторингу якості повітря та загального стану навколишнього середовища. Також вони використовуються при необхідності проведення розпізнавання запахів.

Такі датчики частіше називають МОХ датчиками, від англійського Metal-Oxide [19]. Конструкція датчику представляє собою нагріту поверхню оксиду металу (рисунок 2.1), який змінює свій електричний опір залежно від вмісту газу в повітрі. Газу, що окислюють, збільшують опір, а газу, що відновлюють, зменшують опір.

На сигнал, що генерується таким МОХ датчиком впливає також відносна вологість повітря, оскільки водяна пара в такому випадку виступає в ролі газу, що відновлює. Якщо такі датчики передбачені для застосування у вологому середовищі, то ця проблема вирішується додатковим встановленням датчиків вологості в автоматизовану систему.

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

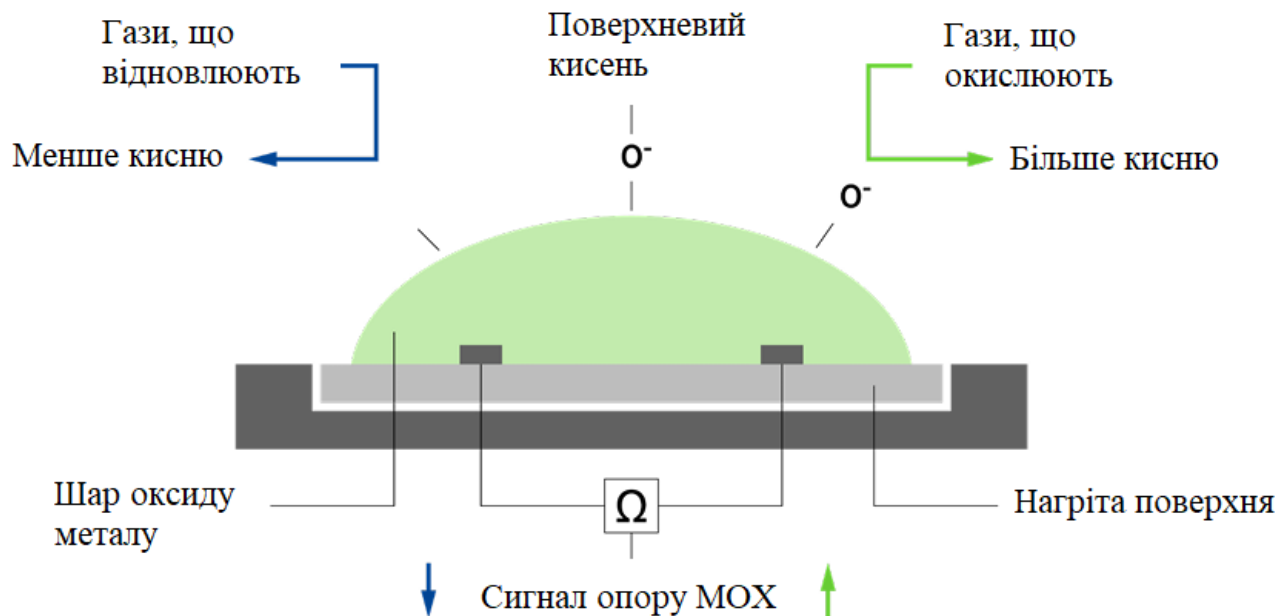


Рисунок 2.1 – Принцип роботи МОХ датчиків

Такі датчики є чудовим обладнанням для виявлення короткочасних змін складу повітря і більш точного розуміння процесів, що відбуваються із повітрям в робочій зоні.

Першим етапом використання таких датчиків є його калібрування на певний цільовий вид газу. Таке калібрування повинно виконуватись в лабораторних умовах, тобто при умові нормального атмосферного тиску та нормальної температури повітря, яка становить 20 °C. Такі датчики налаштовуються не лише на один вид газу в повітрі, а на декілька, крім того, він здатен розрізняти гази між собою.

В АСВЯП передбачено використання МОХ датчика CCS801 (рисунки 2.2, 2.3). Цей датчик представляє собою датчик якості повітря, який здатен вимірювати вуглекислий газ. Вартість датчика становить 500 гривень. Технічні характеристики наведені в таблиці 2.1 [20].

Цей датчик призначений в першу чергу для визначення значення еквіваленту концентрації вуглекислого газу, який позначається eCO_2 . Крім того, він здатен вимірювати температуру та значення летких органічних речовин, який позначається TVOC.

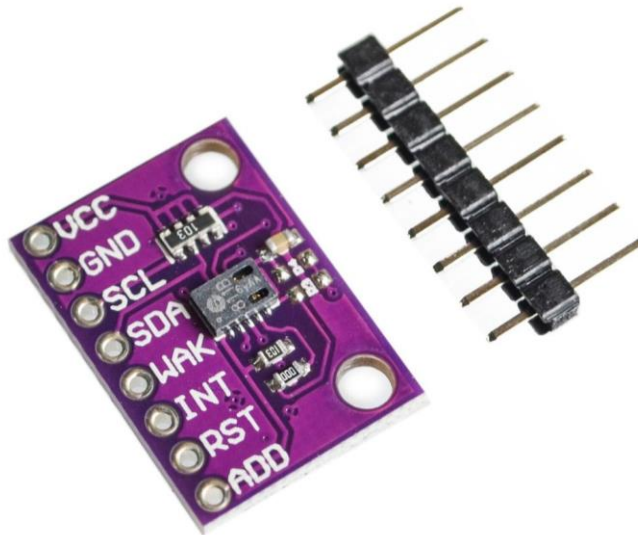


Рисунок 2.2 – MOX датчик якості повітря CCS801

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики датчика якості повітря CCS801 [20, 21]

Характеристика	Значення
Робочий струм, мА	30
Напруга живлення, В	1,8 – 3,6
Інтерфейс	I2C
Кількість режимів роботи	5
Внутрішня обробка даних	Вбудований мікроконтролер
Розміри, мм	15 x 21
Напруга, що споживається, мВт	До 60
Діапазон визначення eCO ₂ , ppm	400 - 32768
Діапазон визначення TVOC, ppb	0 - 32768
Робоча частота інтерфейсу, кГц	400

Повітря в робочій зоні містить приблизно 21% кисню та 78% азоту, а в останньому 1% розчинені інші домішки, наприклад, чадний газ, вуглекислий газ, інертні гази та органічні леткі речовини (ЛОВ). Зміна концентрації розчинених

домішок може впливати як на стан здоров'я працівників, так і на чистоту продукції, що виготовляється.

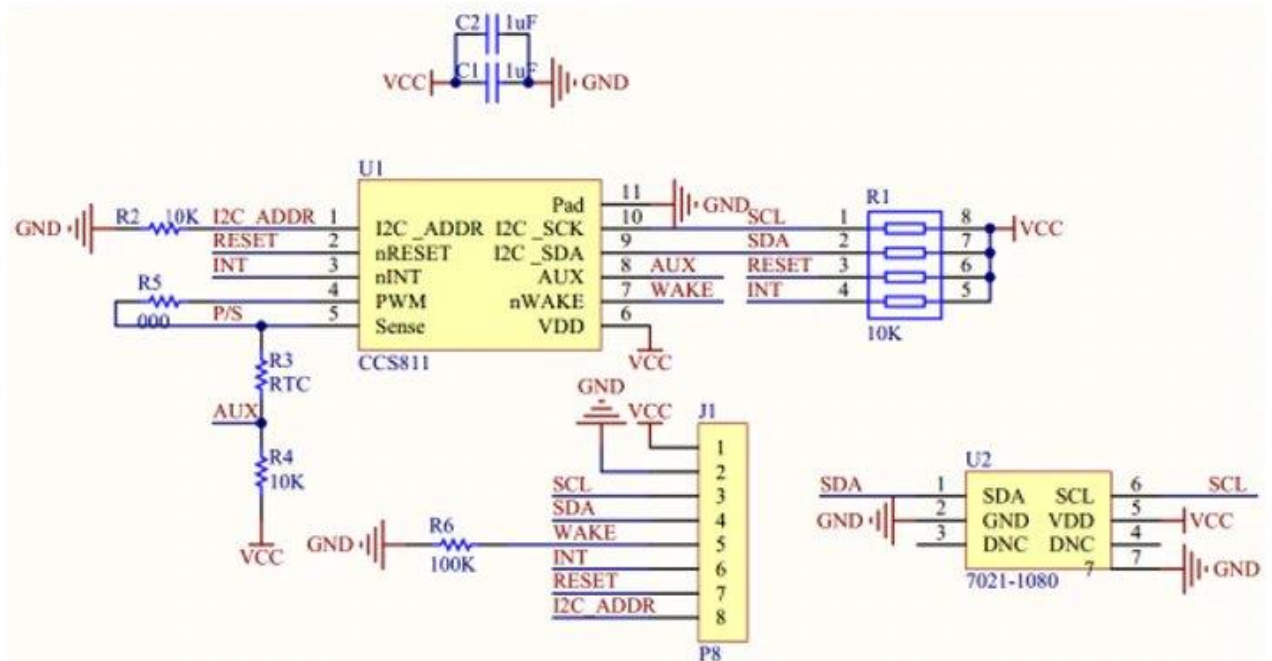


Рисунок 2.3 – Електрична схема підключення датчика CCS801

Раніше для визначення ЛОВ використовували датчики вуглекислого газу. Але дослідження показали, що залежність між ЛОВ та вуглекислим газом у повітрі не є прямою.

Перед початком роботи датчика йому необхідно дати час на прогрівання. Цей час становить більше 30 хвилин, протягом яких датчик показує велику похибку. Графік точності роботи датчика наведено на рисунку 2.4.

Підключення датчика до мікроконтролера Arduino наведено на рисунку 2.5.

Якщо розглядати ідеальні умови створення АСВЯП, то в систему краще додати ще датчики з наноголками оксиду вольфраму (WO_3). Вони дуже якісно зарекомендували себе при проведенні експериментальних досліджень [22, 23, 24]. Але ці датчики поки що знаходяться в розробці і не потрапили на український ринок.

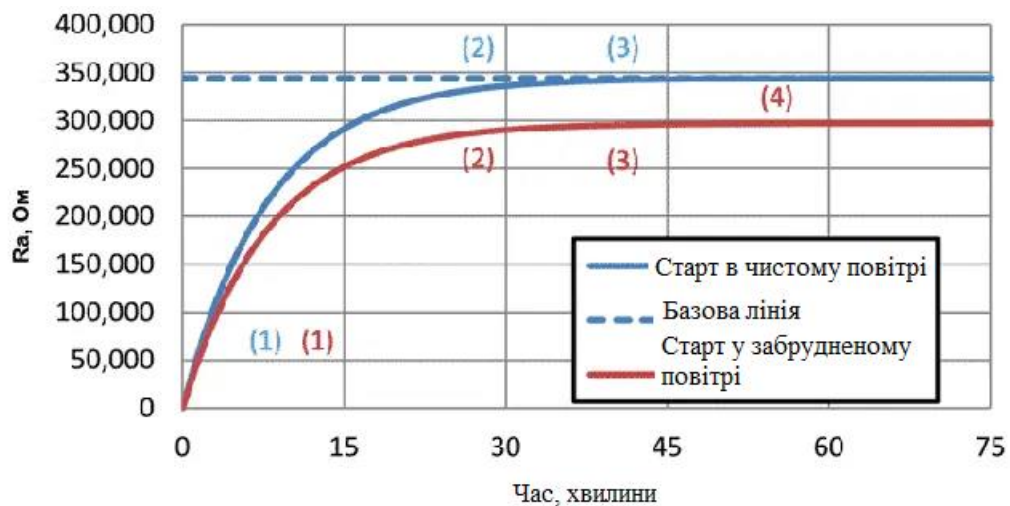


Рисунок 2.4 – Точність датчика з плином часу прогріву

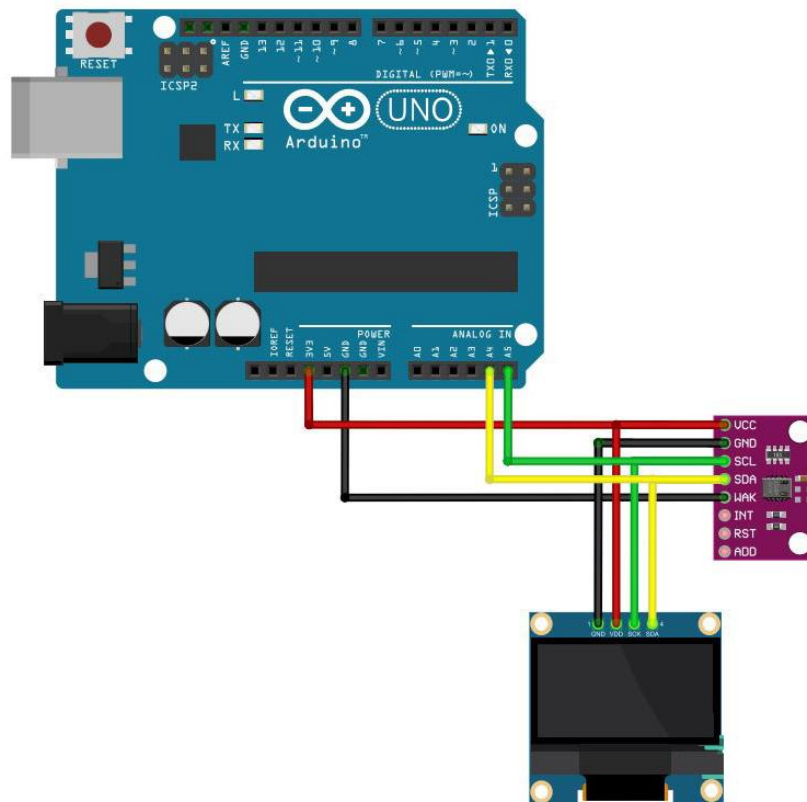


Рисунок 2.5 – Підключення датчика до мікроконтролера

Для отримання кращих даних із датчика робота датчика передбачена на основі методу керування поверхневим потенціалом. Поверхневий хімічний потенціал – це величина, яка відповідає роботі, затраченої на перенесення

одиночного заряду в точку у вакуумі з фази безпосередньо у поверхні електрода [25].

2.2 Аналогово-цифрові перетворювачі

В роботі [26, 27] було описано принцип налаштування датчиків якості повітря таким чином, щоб зчитувалось не поточне значення опору чутливого шару, а середнє значення. Такий контроль температури умовно розділяє дослідження на два метод: сигма-дельта першого (рисунок 2.6) і другого (рисунок 2.7) порядків.

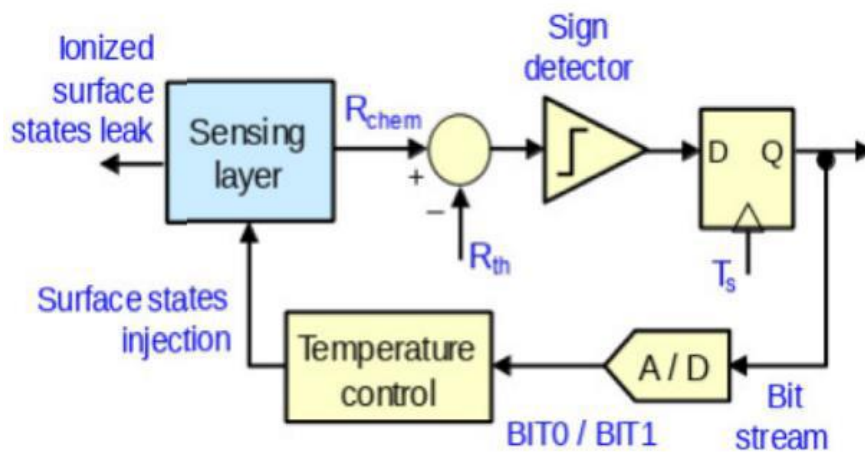


Рисунок 2.6 – Схема сигма-дельта першого порядку

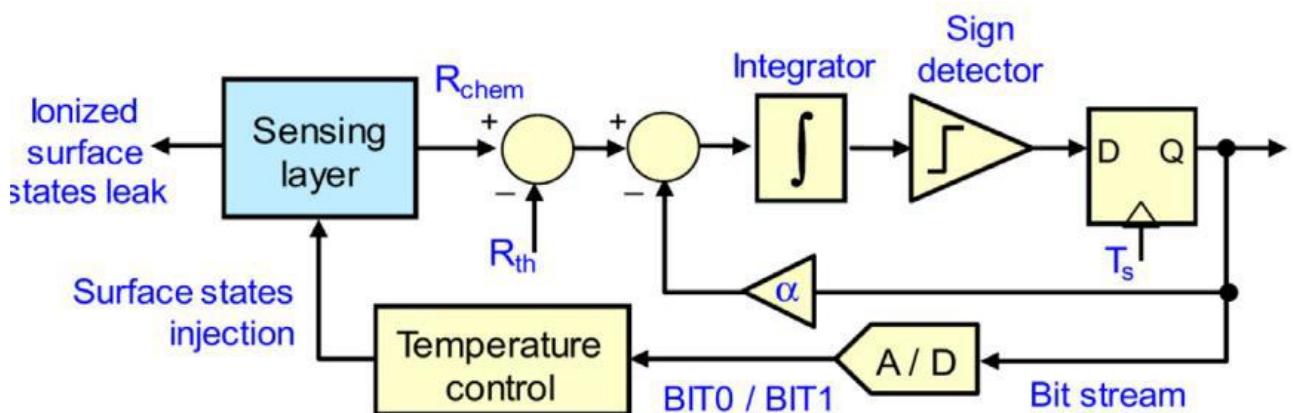


Рисунок 2.7 – Схема сигма-дельта другого порядку

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

Сігма-дельта модулятор першого порядку – це найпростіший тип дельта-модуляторів, який використовується для оцифрування аналогових сигналів. Він працює шляхом інтеграції вхідного сигналу та його подальшого порівняння з порогом. Якщо сигнал перевищує порогове значення, то на виході видається 1, а якщо не перевищує – на виході видається 0.

Для проведення перших вимірювань з метою забезпечення більшої точності роботи датчика да плати в системі передбачено використання NI USB6002 (рисунок 2.8) під керуванням програми LabView (рисунок 2.9). Технічні характеристики пристрою наведені в таблиці 2.2 [28].



Рисунок 2.8 – Пристрій NI USB6002

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики пристрою NI USB6002 [28]

Характеристика	Значення
Частота вибірки	50
Живлення	До 10 В
Діапазон робочих температур	0-45 °С
Кількість вихідних каналів	2
Кількість вхідних каналів	8

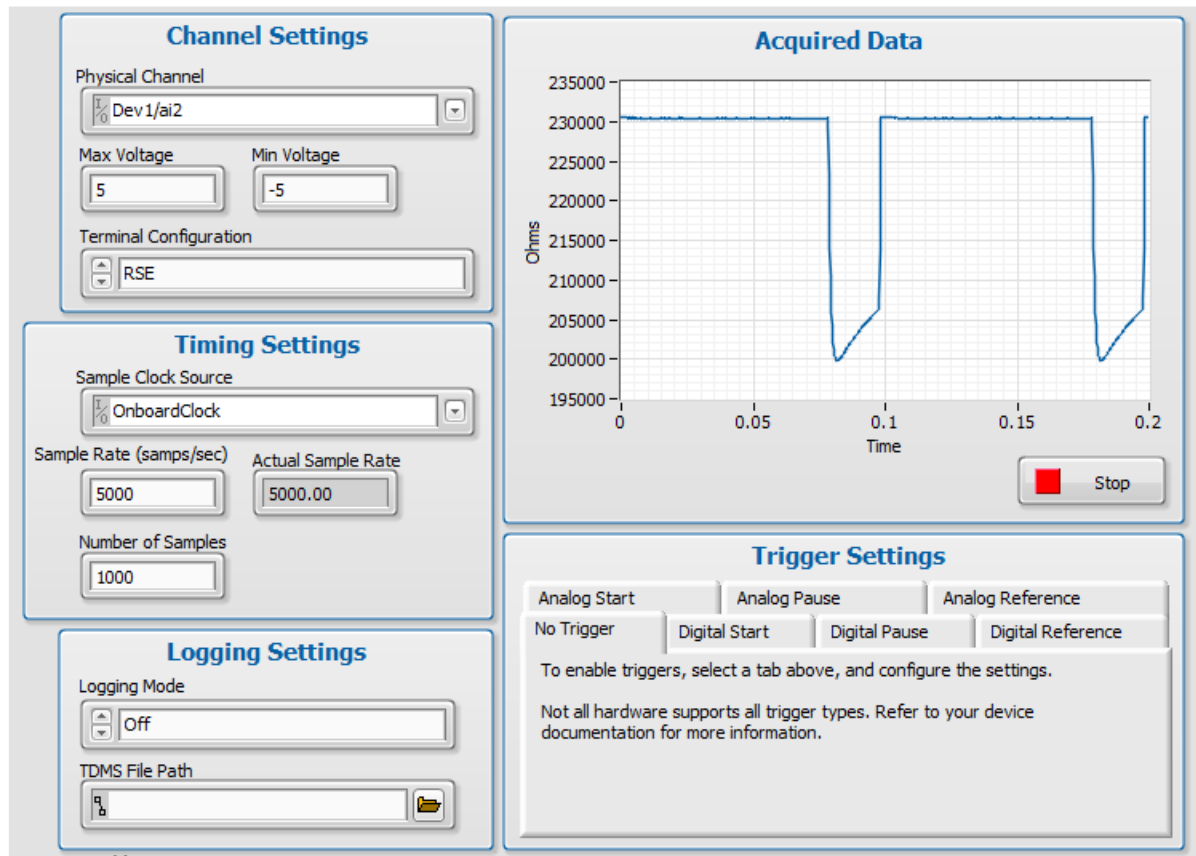


Рисунок 2.9 – LabView для пристрою NI USB6002

В АСВЯП передбачено також використання аналого-цифрового перетворювача (АЦП) LTC1865 (рисунок 2.10) та цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) DAC8830 (рисунок 2.11). Технічні характеристики наведені у таблицях 2.3 та 2.4 відповідно [29, 30].



Рисунок 2.10 – АЦП LTC1865



Рисунок 2.11 – ЦАП DAC8830

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики АЦП LTC1865 [29]

Характеристика	Значення
Напруга, В	2,7 – 3,6
Діапазон робочих температур, °С	0 – 70
Кількість входів	2
Частота відбору за секунду	150 тисяч
Кількість виводів	16
Архітектура	SAR

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики АЦП LTC1865 [30]

Характеристика	Значення
Робоча температура, °С	-40...+85
Мінімальна відносна похибка	±4
Вихідний опір, кОм	6,25
Час відгуку, мс	1
Живлення, В	2,7 – 5,5

2.3 Плати налаштування

Після зчитування даних з АЦП для керування та зчитування цих даних на першому рівні необхідно використовувати плату налаштування. В АСВЯП

передбачається використання плати налаштування NUCLEO F030R8 (рисунок 2.12). Технічні характеристики плати наведені у таблиці 2.5 [31].

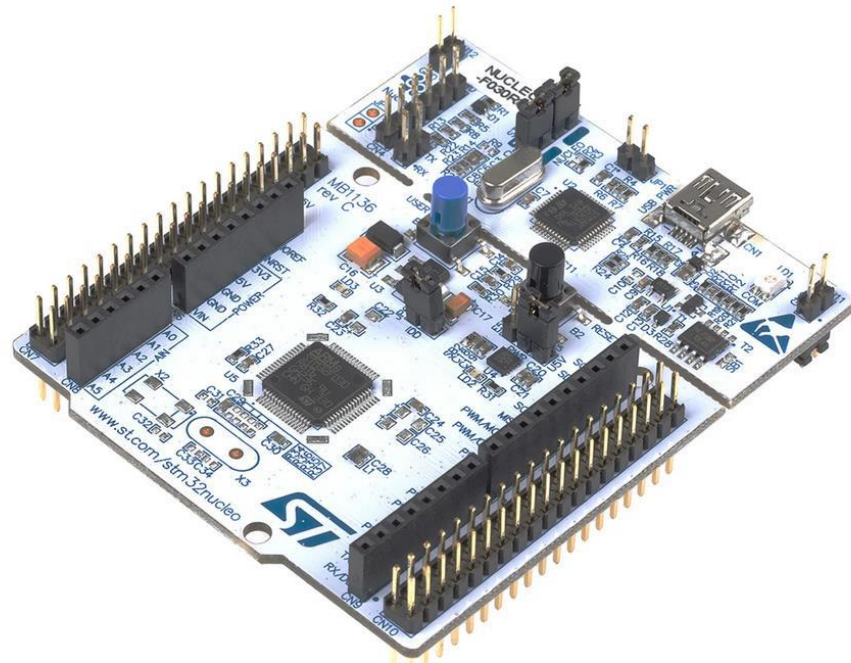


Рисунок 2.12 – Плата налаштування NUCLEO F030R8

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики плати налаштування NUCLEO F030R8 [31]

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	STM32F030R8T6
Кількість світлодіодів	3
Підтримка середі розробки	IDE, KEIL, IAR
Вбудований програматор	ST-LINK/V2
Сумісність з іншими платами	ST Morpho та Arduino Uno R3
Бібліотека	HAL

За допомогою цієї плати можна провести програмування програмного та апаратного забезпечення. В платі інтегровано мікроконтролер STM32. За необхідності встановлення зв'язку із іншою цифровою платою, в платі

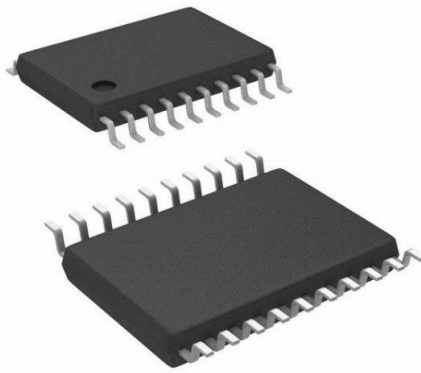


Рисунок 2.14 – Перетворювач логічного рівня TXB0108PWR та TXB0104PWR

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики перетворювачів логічного рівня [32, 33]

Характеристика	Значення	
	TXB0108PWR	TXB0104PWR
Вартість, грн.	11,5	58,5
Напруга живлення, В	1,2 - 5,5	1,2 – 5,5
Робоча температура, °С	-40...85	-40...85
Вид монтажу	SMD/SMT	SMD/SMT
Час затримки поширення, нс	9,5	7,4
Кількість ліній	8	4
Кількість каналів	8	4

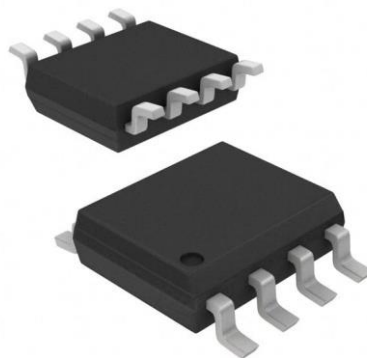


Рисунок 2.15 – Підсилювач TLV4110ID

Таблиця 2.7 - Технічні характеристики підсилювача TLV4110ID [34]

Характеристика	Значення
Струм-живлення, мкА	700
Струм – Вихід/канал, мА	320
Швидкість, В/мкс	1,57
Футляр	8-SOIC
Живлення, В	2,5 – 6

Також в АСВЯП передбачається використання мікросхеми SN74LV4052AD (рисунок 2.16, таблиця 2.8) [35], операційного підсилювача AD8628ARZ-REEL7 (рисунок 2.17, таблиця 2.9) [36], джампера JM-2.0 (рисунок 2.18, таблиця 2.10) [37].

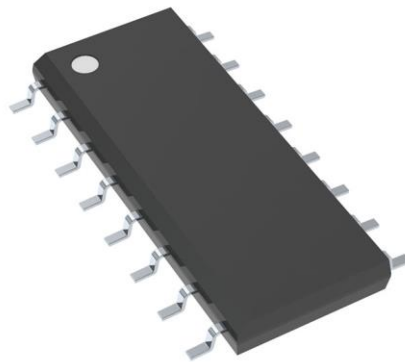


Рисунок 2.16 - Мікросхема SN74LV4052AD

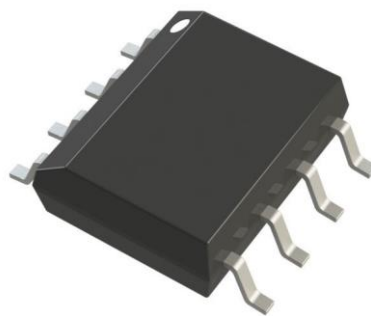


Рисунок 2.17 – Операційний підсилювач AD8628ARZ-REEL7

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики мікросхеми SN74LV4052AD [35]

Характеристика	Значення
Живлення, В	1 – 6
Діапазон робочих температур, °С	-40...+85
Корпус	SOIC-16
Вартість, грн	9

Таблиця 2.9 - Технічні характеристики операційного підсилювача AD8628ARZ-REEL7 [36]

Характеристика	Значення
Кількість каналів, шт.	1
Тип підсилення	Стандартний
Вартість, грн.	83
Споживаний струм, мкА	850
Живлення, В	2,7 - 5



Рисунок 2.18 – Дзампер JM-2.0

Дзампер в АСВЯП призначений для тимчасового виконання розмикання або замикання контактів в пристроях та приладах, встановлених в системі. Діаметр контактів становить 2 мм, тобто він підходить для підключення пінів на платах. Оскільки тип дзампера відкритий, то його можна легко відключати та

підключати без необхідності виконання розбору інших конструктивних елементів АСВЯП.

Таблиця 2.10 - Технічні характеристики джампера JM-2.0 [37]

Характеристика	Значення
Тип	Відкритий
Діапазон робочих температур, °С	-40...+85
Максимальний струм, А	3
Діаметр контакту, мм	2
Матеріал	Мідь із захисним покриттям

2.5 Принципова схема автоматизованої системи визначення показників якості повітря

Розміщення обладнання в АСВЯП та зв'язок між окремими конструктивними елементами системи наведено на рисунку 2.19.

Як видно з рисунку 2.19, система передбачена в першу чергу на виявлення аміаку та етанолу в повітрі. Етанол виділяється в основному в результаті бродіння цукрів, тобто розроблену систему можна використовувати для контролю якості повітря при виробництві алкогольних напоїв. Аміак виділяється у великому ряді промисловостей, до яких відносяться харчова, сільськогосподарська, косметична та хімічна промисловість. Тобто, розроблена система може використовуватись в широкому спектрі видів промисловостей.

Суміш повітря та розчиненому в ньому газів потрапляє у камеру датчику, де відбувається зчитування концентрації газів в повітрі. Отримані дані переходять на два контури: контур контролю температури повітря та контур контролю хімічної стійкості.

Хімічна стійкість повітря – це його здатність не вступати в хімічну реакцію із іншими речовинами, які розчинені в повітрі. Цей показник формально визначає

безпеку та стабільність повітря як для навколишнього середовища та працівників, так і для виконання технологічного процесу в межах промисловості [38].

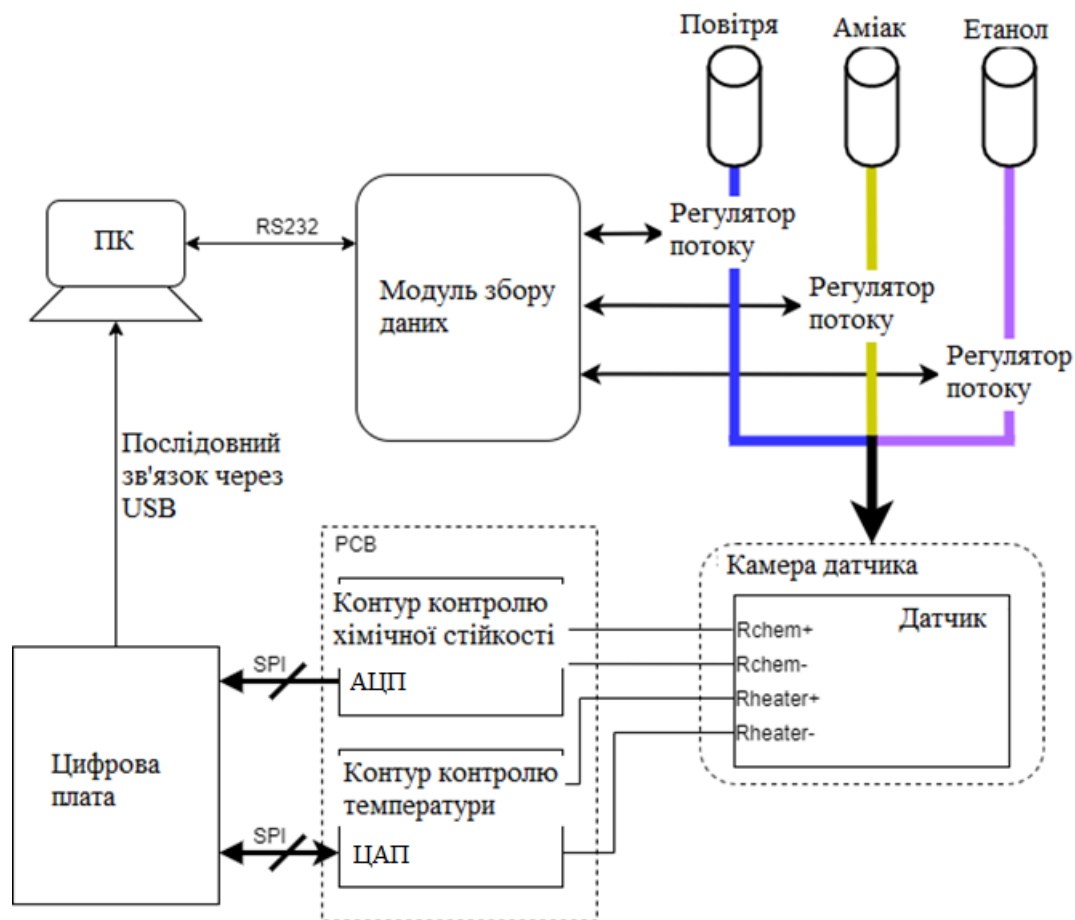


Рисунок 2.19 – Принципова схема автоматизованої системи визначення якості повітря

Наступним етапом є обробка інформації, отриманої датчика та відповідних контурів цифровою платою. Ця плата передає оброблені дані на ПК для відстежування стану повітря оператором системи.

2.6 Висновки до другого розділу

В другому розділі проведено підбір обладнання для автоматизованої системи визначення показників якості повітря. Це обладнання включає в себе датчик якості повітря CCS801, аналогово-цифровий перетворювач, який виступає контуром контролю хімічної стійкості та цифрово-аналоговий перетворювач, який відповідає за контроль температурного контуру повітря.

Ключовим елементом в АСВЯП буде цифрова плата обробки отриманої інформації. Серед додаткового обладнання в системі передбачено підсилювач, мікросхему, перетворювачі логічного рівня та джампер.

Система реагує на наявність в повітрі аміаку та етанолу, тобто її можна використовувати в хімічній, сільськогосподарській, харчовій та косметичній промисловості, а також при виготовленні алкогольної продукції.

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		38

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

3.1 Розробка плати керування для автоматизованої системи визначення показників якості повітря

Основною складністю в розробці АСВЯП стала цифрова плата. Це пояснюється тим, що на ринку продукції цифрових плат немає такої моделі, яка б містила весь необхідний функціонал. Тому для АСВЯП була розроблена власна цифрова плата.

В першу чергу для коректного запису показників датчика якості повітря та розробки системи керування було створено дві підсхеми цифрової плати. Перша призначена для керування нагрівальним елементом, тобто для контролю температури повітря, а друга – для визначення хімічного складу та хімічної стійкості повітря (ХСП).

На рисунку 3.1 наведена електрична схема керування температурою. Схема керування базується на двопровідному анемометричному контролері. З метою забезпечення можливості вибору між двома різними показниками температури, які необхідні для керування системою, в схемі передбачено використання SN74LV4052AD. По цій причині така схема може чергуватись між двома різними гілками опору або виходом ЦАП DAC8830.

Якщо розглядати розроблену схему з точки зору її особливостей, то основною особливістю є те, що вона здатна порівнювати співвідношення ЦАП замість виконання порівняння значень із виходів двох дільників напруги. Це забезпечує можливість отримання широкого діапазону значень температури для встановлення налаштувань нагрівача. Вибір значень температури виконується за допомогою цифрового сигналу SPI.

Після того, як система виконає порівняння двох значень сигналів, він проходить через стабілізатор напруги. Цей сигнал в системі позначається як V_{ref} і

в подальшому виходить на АЦП. Тобто, сигнал повертається назад в ланцюг, завдяки чому виконується замикання контору регулювання температури.

З метою контролю можливого падіння напруги на опорі нагрівача (V_{heater}) в системі передбачено використання ще одного АЦП. В результаті наявності двох показників можна виконати обчислення опору нагрівача.

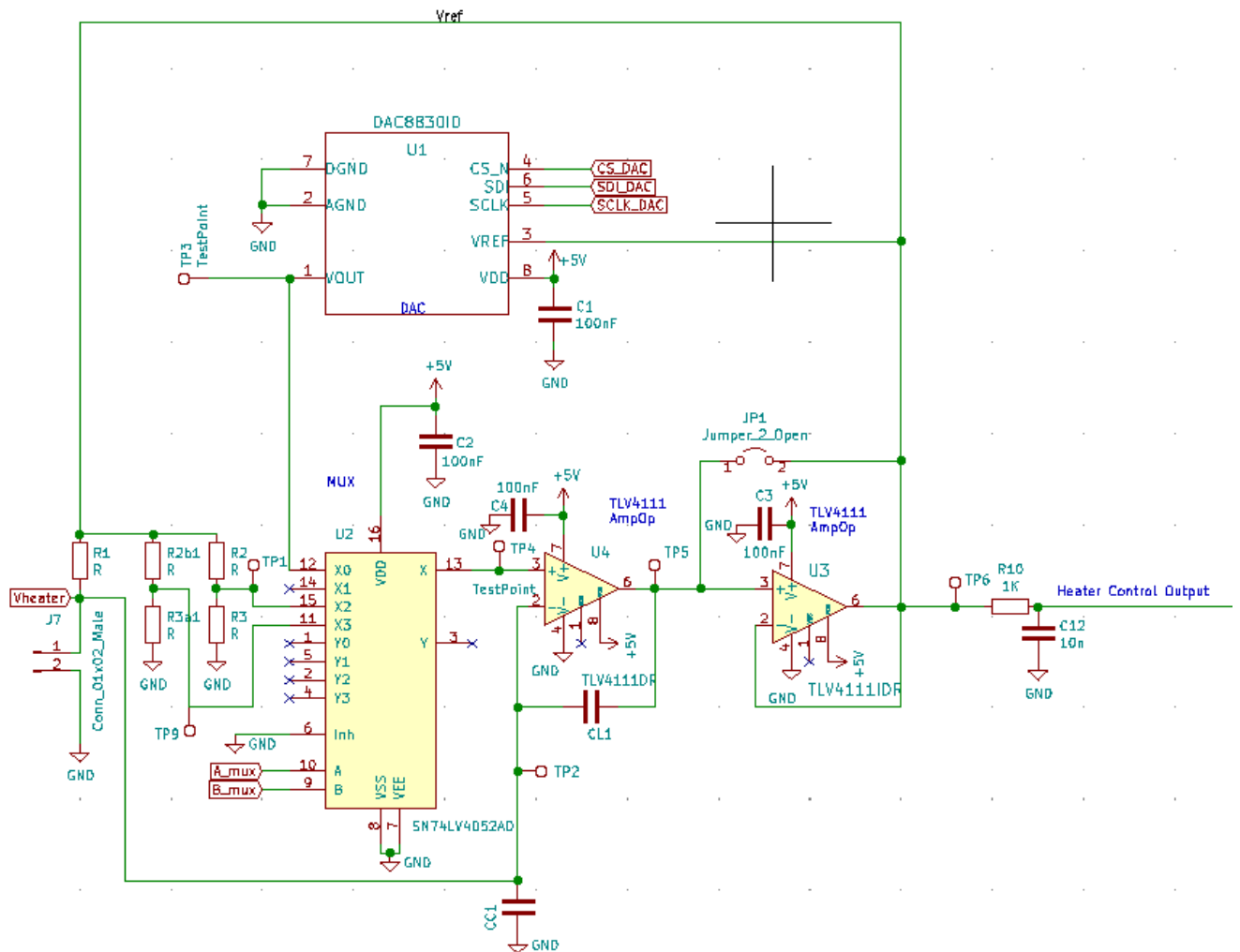


Рисунок 3.1 – Електрична схема керування температурою

На рисунку 3.2 наведено розроблену електричну схему керування хімічною стійкістю повітря. При визначенні ХСП і з метою застосування різних регуляторів, в системі необхідно виконати порівняння сигналів R_{chem} із об'єктивним опором. Це в системі передбачено завдяки роботі операційного підсилювача.

Передбачається виконання зміщення на 2,5 В, яке виконується завдяки роботі операційного підсилювача та дільника напруги. Отриманий сигнал передається на АЦП і на основі обробки цього сигналу цифрова плата приймає рішення щодо керування системою. До виходу, який передає сигнал R_{chem} підключений ще один АЦП, тому система безперервно отримує значення поточного опору чутливого шару.

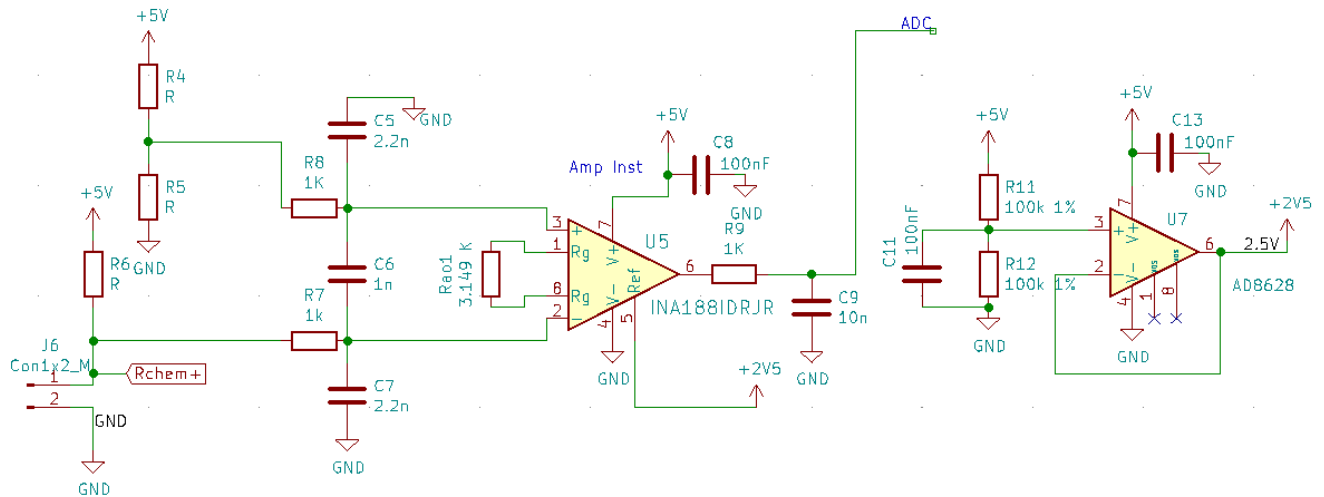


Рисунок 3.2 – Електрична схема керування хімічною стійкістю повітря

На рисунку 3.3 наведена електрична принципова схема розробленої автоматизованої системи визначення якості повітря. На рисунку 3.4 наведено модель цифрової плати, яка була створена як ключовий конструктивний елемент АСВЯП, а на рисунку 3.5 наведено розроблений прототип цифрової плати для АСВЯП.

3.2 Алгоритм роботи автоматизованої системи визначення показників якості повітря

Для розробленої плати були розроблені протоколи керування із використанням компілятора із відкритим вихідним кодом MBED.

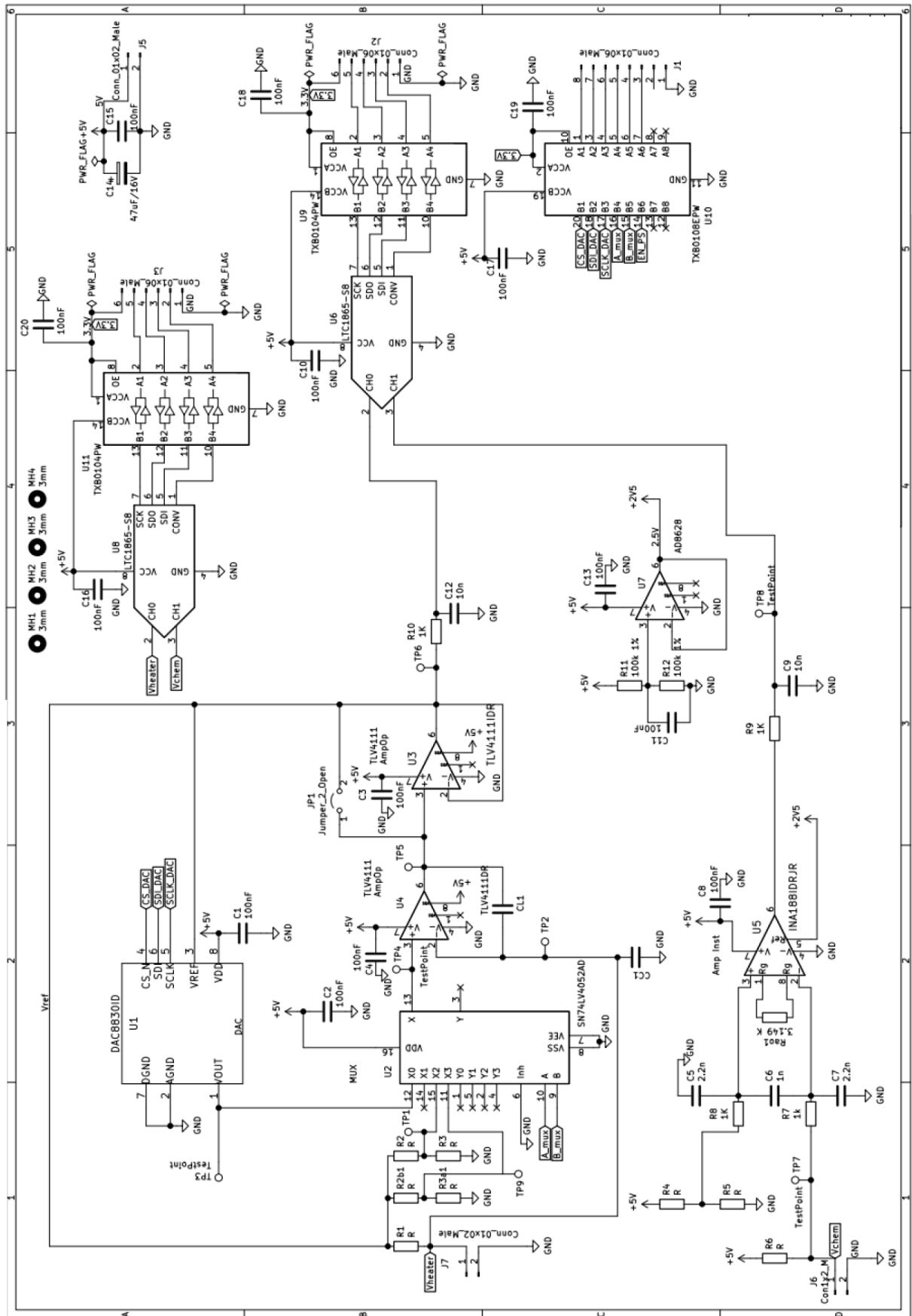
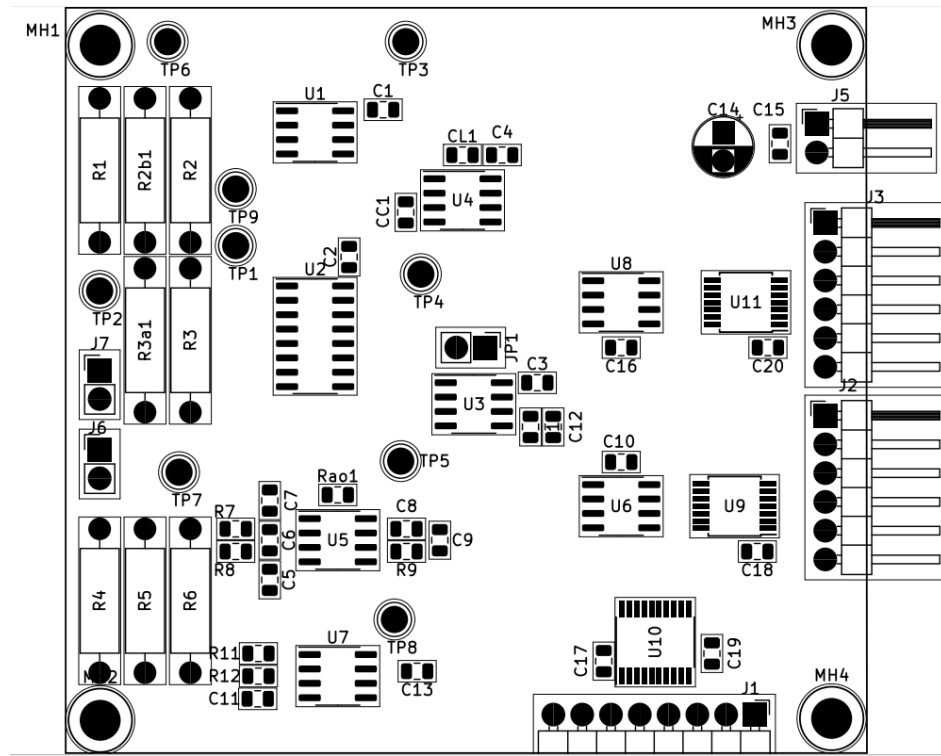
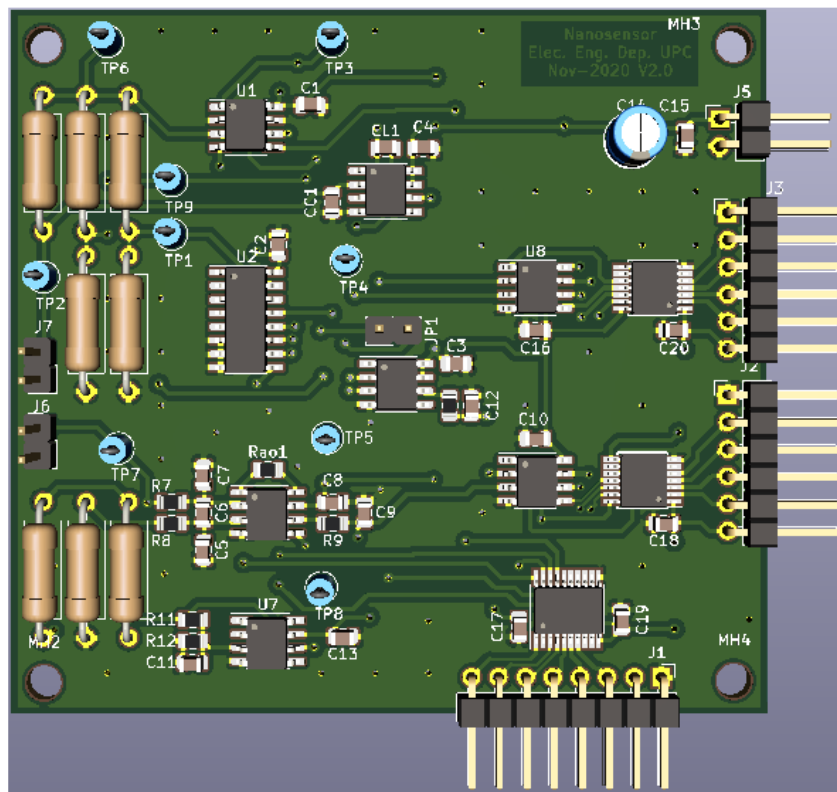


Рисунок 3.3 – Принципова електрична схема автоматизованої системи визначення якості повітря



а)



б)

Рисунок 3.4 – Розроблена цифрова плата:
а – принципова схема; б – тривимірний модель

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ

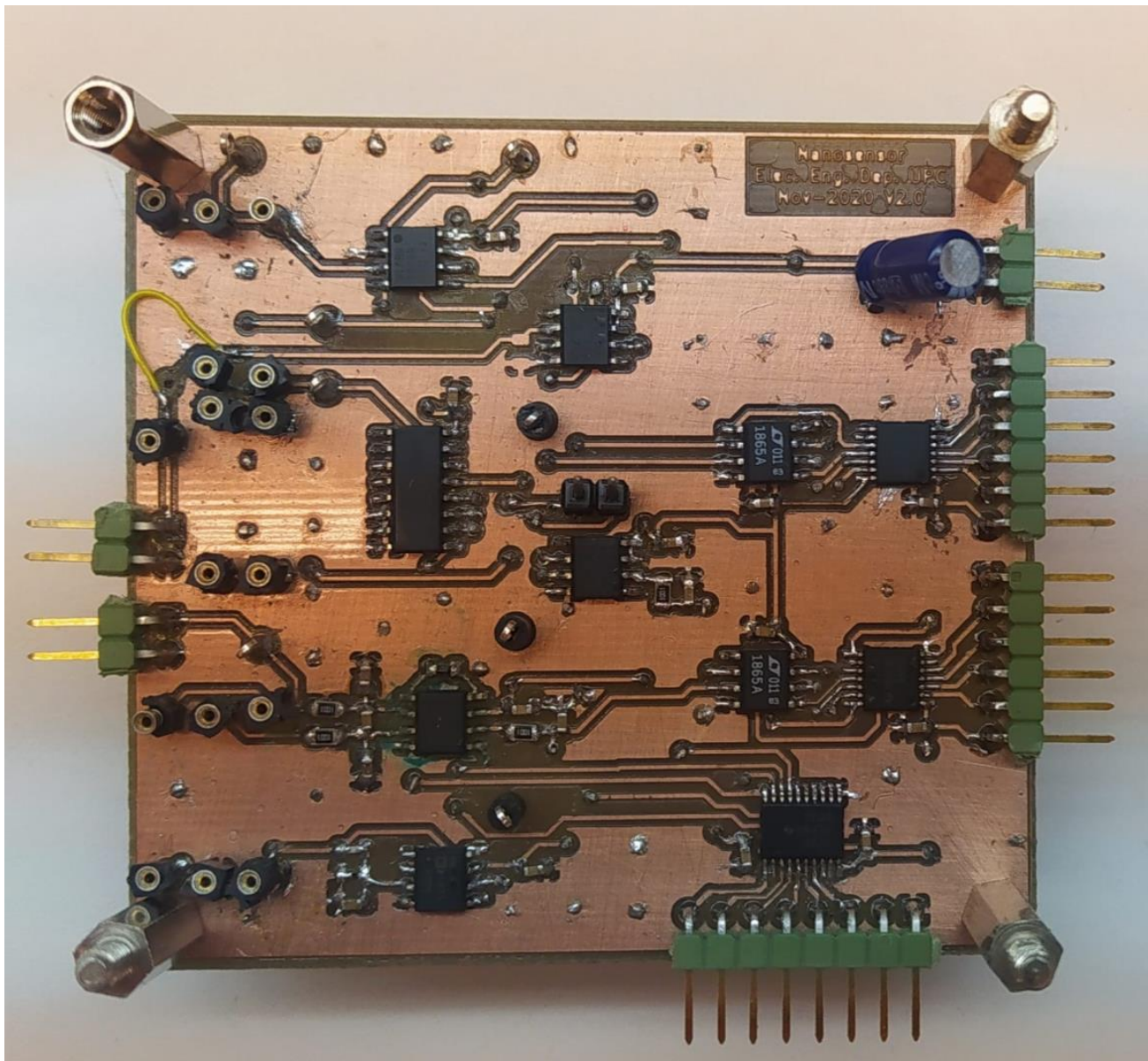


Рисунок 3.5 – Прототип розробленої цифрової плати для автоматизованої системи визначення якості повітря

Зв'язок із платою здійснюється посередком SPI, плата передбачає використання двох АЦП, які описані у розділі 2.2. Плата налаштована на зчитування нових значень кожену секунду роботи. Також кожену секунду роботи вона відправляє керуючі команди на ЦАП.

Для отримання інформації цифрова цифрова плата підключена до персонального комп'ютера, а також отримує необхідну інформацію через

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ

Арк.
44

Керування за цією схемою передбачає роботу із бітом 1 та бітом 0. Біт 1 – це реакція АСВЯП, коли система керування фіксує високу температуру (T_{high}), а біт 0 – фіксування системою низької температури (T_{low}). Графічне представлення бітів показано на рисунку 3.7. Тривалість кожного біта становить 160 мс.

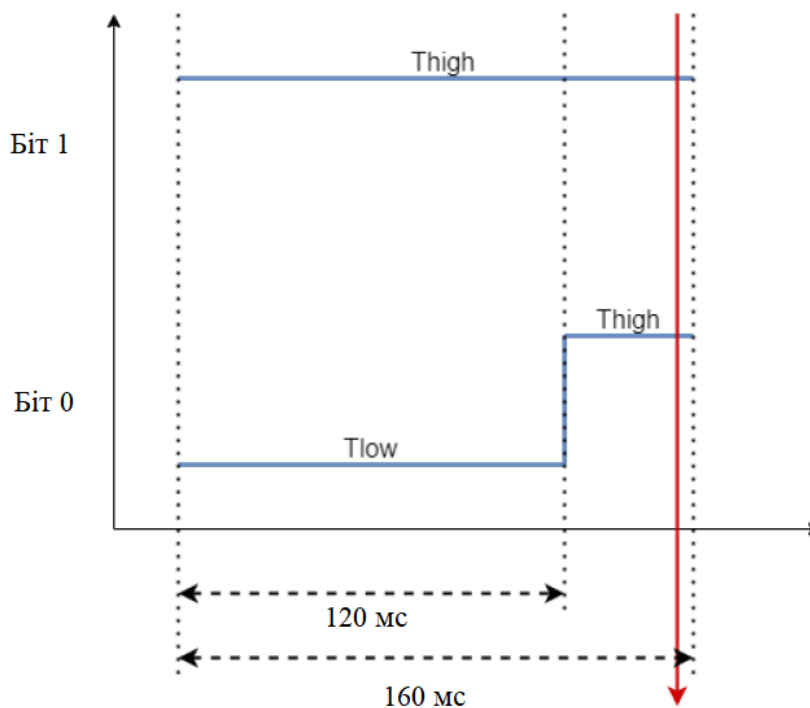


Рисунок 3.7 – Біти сігма-дельта першого порядку

Причиною вибору такої довжини біту полягає в тому, що біт 0 повинен мати високе значення температури на основі якого система приймає значення при приблизно однаковій температурі цього біту. Оскільки час нагрівання становить 40 мс, а принаймні 75% часу він знаходиться у стані T_{low} , тобто чверть часу при високих значеннях температури і три чверті часу при низьких значеннях температури.

Керування системою передбачає, що в кінці кожного біта порівнюється хімічний опір (R_{chem}) із об'єктивним опором (R_{obj}). Якщо $R_{chem} > R_{obj}$, то система приймає рішення відправити наступний біт 0. І навпаки, якщо $R_{chem} < R_{obj}$, то відправляється біт 1. Схема такого керування наведена на рисунку 3.8.

Для того, щоб уникнути небажаних впливів при контролі поверхневого потенціалу, необхідно використовувати підхід сигма-дельта другого порядку. За принципом ця концепція мало відрізняється від сигма-дельта першого порядку. Основна відмінність полягає в тому, що замість прийняття рішень щодо керування за останнім виміром останнього біта використовується інтегратор та виконується обробка всіх бітів. Така схема наведена на рисунку 3.9.

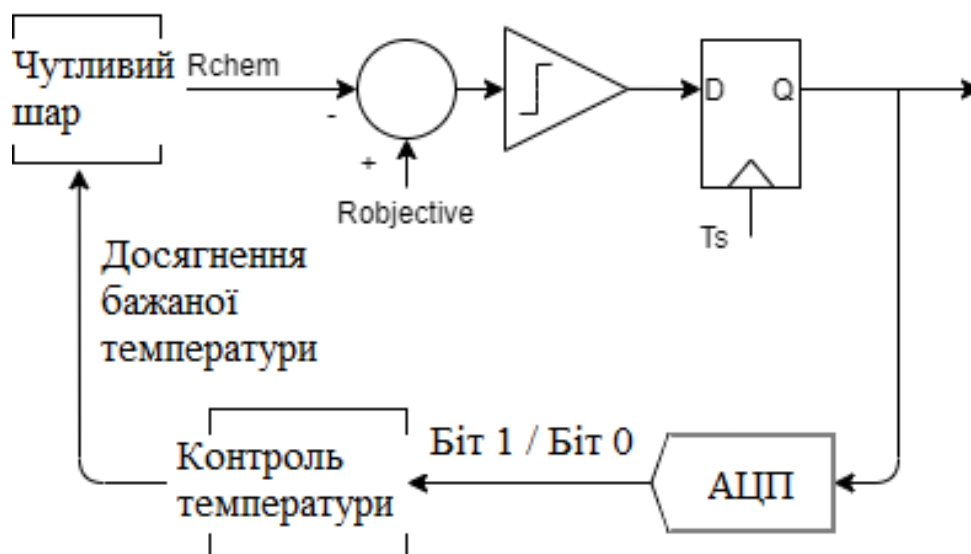


Рисунок 3.8 – Сигма-дельта першого порядку в АСВЯП

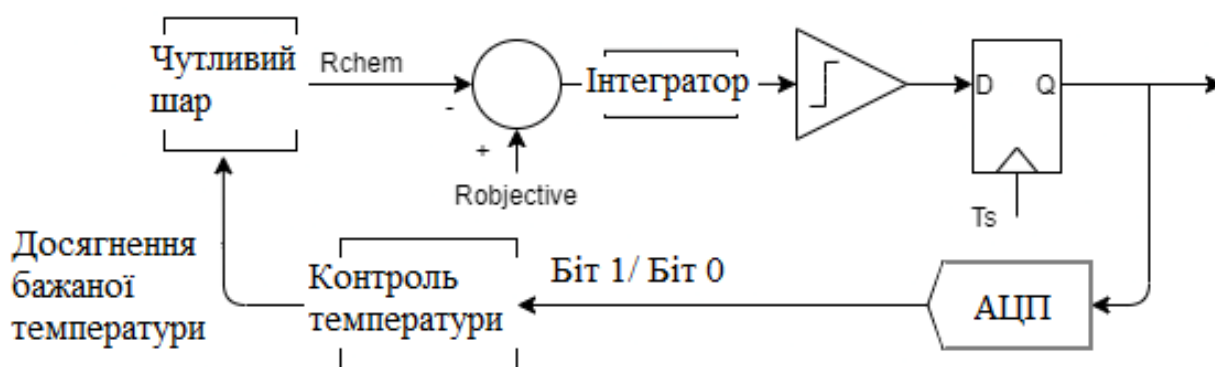


Рисунок 3.9 – Сигма-дельта другого порядку в АСВЯП

Керування відповідно до схеми, зображеної на рисунку 3.9, схожа на сигма-дельта першого порядку з однією відмінністю, що замість бітів із значенням 1 або

0 АСВЯП приймає рішення щодо зменшення або збільшення значення ШІМ. Значення ШІМ в даному контексті визначає час, протягом якого біт знаходиться в одному, або іншому стані, які зображені на рисунку 3.7. Реалізація такої системи керування надає можливість виконати точне налаштування значень середньої температури за допомогою ШІМ-сигналу, в результаті чого досягається вища роздільна здатність.

За попередньо описаними схемами керування в роботі датчиків реєструвалось зсув по часу значення хімічного опору, який не піддається керуванню. З метою уникнення цього зсуву в часі було розроблено покращену схему керування сигма-дельта регулятора першого порядку з ШІМ, в якому опір об'єкта буде змінюватись кожного разу, коли ШІМ знаходиться в стані насичення. Тобто значення ШІМ становитиме або 100% або 0%.

Для забезпечення цього в розробленій цифровій платі було вдосконалено прийняття рішень шляхом того, що рішення відтепер буде прийматись на основі значень чутливого шару, який вимірюється через напругу, яка змінюється в цьому шарі (рисунок 3.10). Це спростило схему і вона перестала бути перенасиченою елементами.

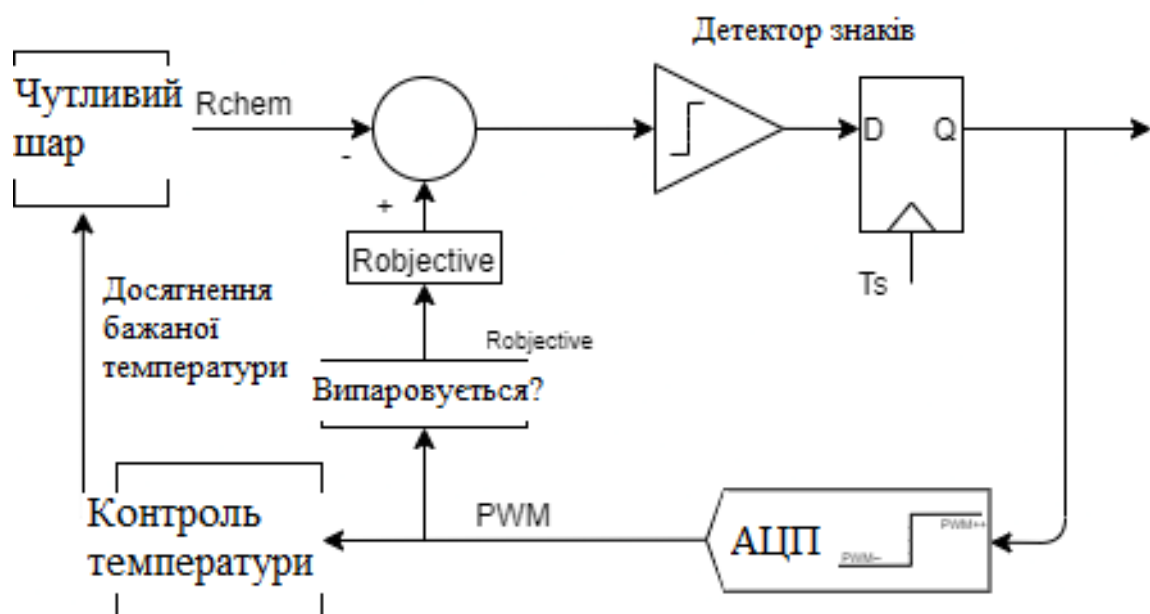


Рисунок 3.10 – Сигма-дельта першого порядку з регулюванням R_{obj}

3.3 Налаштування датчиків в автоматизованій системі визначення показників якості повітря

Конструкція датчика передбачає наявність двох частин, а саме частина опору нагрівача, який використовується для визначення температури, та частина хімічного пору, який відповідає за реагування на наявність газів в повітрі. Для розробки спільної характеристики пари нагрівач-датчик спочатку необхідно розробити незалежно характеристику для нагрівача.

З метою оптимального використання нагрівача для забезпечення необхідної хімічної стійкості та температури, необхідно забезпечити якісну характеристику нагрівального елемента. Для цього необхідно знати, яку температуру забезпечує контур. Це виконується шляхом вимірювання його опору у відомих точках температури в межах впливу нагрівального елемента.

Формула опору нагрівача для такого типу датчика зазначена в [39] і є наступною:

$$R = (R_0 - R_0C + R_0D) \cdot (\alpha \cdot (T - T_0) + 1 + \beta \cdot (T - T_0)^2) - R_0D + R_0C \quad (3.1)$$

де R – цільовий опір нагрівача при бажаній температурі, Ом;

R_0 – опір нагрівача при значеннях температури, які відомі, Ом;

C і D – константи, які становлять 0,27 і 0,063 відповідно;

α і β – константи температури введені в методі, які становлять $2,05 \cdot 10^{-3}$ і $0,03 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ відповідно.

Після типових перетворень, зазначених у [40, 41] рівняння 3.1 набуває наступного спрощеного вигляду:

$$R(T) = (\alpha \cdot (T - T_0) + 1) \cdot R_0. \quad (3.2)$$

Для АСВЯП було перевірено значення для температури 57 °С, яке в результаті дало значення опору $R_0 = 39,3$ Ом. Отже, характеристики АСВЯП відповідно до 3.2 наступні:

$$R(T) = (2,05 \cdot 10^{-3} + 1) \cdot 39,3 \text{ Ом.} \quad (3.3)$$

Після того, як визначені характеристики нагрівача, необхідно визначити характеристики R_{chem} . Спочатку необхідно провести визначення цих характеристик для різних значень температур. В системі передбачена в основному робота з двома значеннями температури, які становлять 240 та 335 °С. Ці температури рекомендуються для роботи із хімікатами, типу етанолу та аміаку, що вказано у [26]. У випадку використання інших датчиків в системі необхідно проводити додаткові налаштування та калібрування цих датчиків.

Для визначення реакції газу датчика CCS801 на різні значення концентрацій газу та температури було проведено вимір його опору при різній швидкості руху повітря та за умови досягнення різних середніх температур середовища. Результати показані на рисунку 3.11.

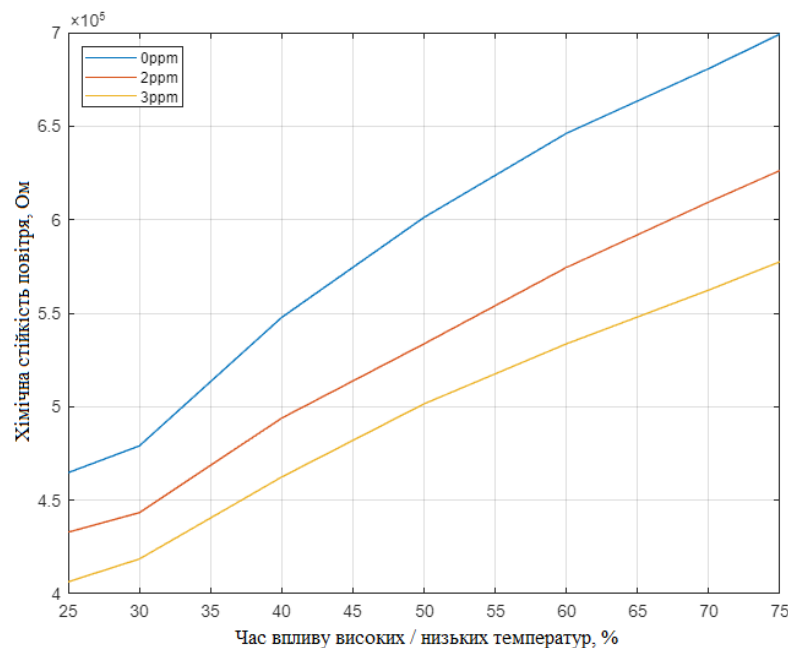


Рисунок 3.11 – Характеристики датчика CCS801 для АСВЯП

повітря додали 2 ppm етанолу, але зберігали загальний об'єм повітря у 50 кубічних сантиметрів. Етанол подавався протягом 15 хвилин, після чого знову подавалося лише чисте повітря без зміни його об'єму.

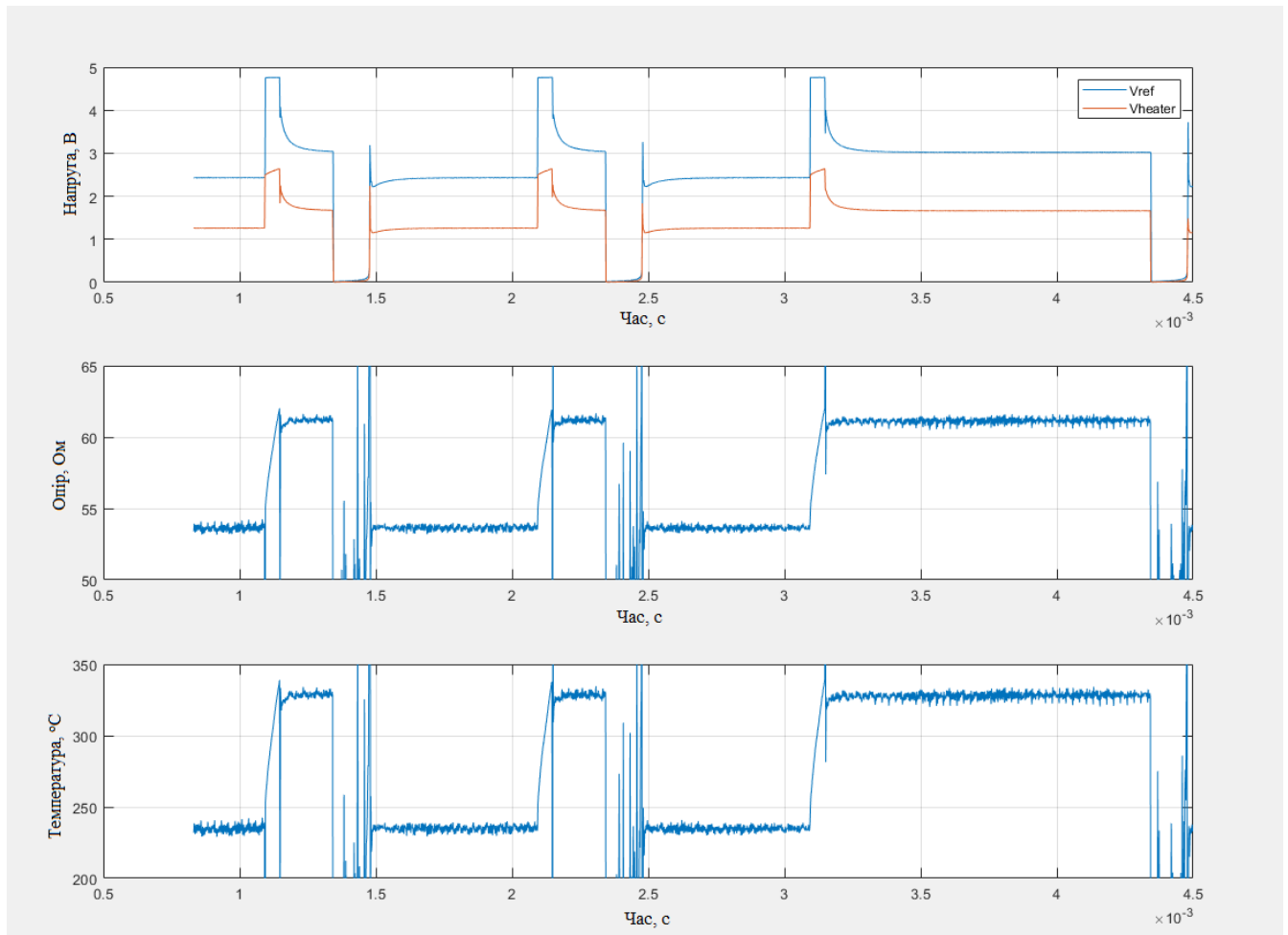


Рисунок 3.12 – Тестування контролю температури

До однієї клеми датчика, а саме його чутливого хімічного шару, підключено землю, а до іншої – резистор із опором 500 кОм, з'єднаний з напругою 5 В, то резистор діє як дільник напруги. Результати опору дільника напруги показані на рисунку 3.13.

За результатами проведеного тестування було встановлено, що датчик потребує різного часу на реагування на збільшення або зменшення кількості етанолу в повітрі. Наприклад, при збільшенні кількості етанолу з 0 до 2 проміле реакція датчика становила 7,2 хвилини, а при зменшенні значень в зворотному

напрямку, тобто при зміні кількості етанолу в повітрі від 2 до 0 проміле, час реакції датчику становить 25 хвилин.

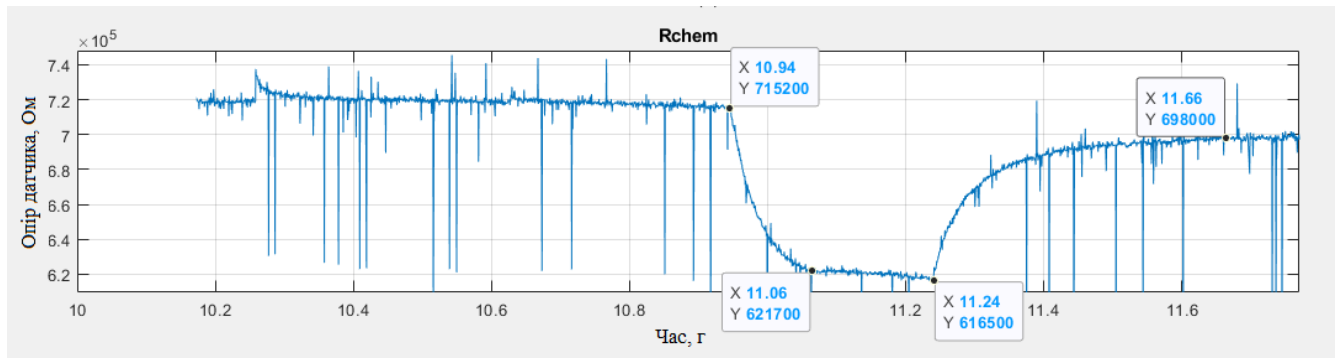


Рисунок 3.13 – Результати тестування реєстрації етанолу в повітрі

При проведенні тестування сигма-дельта першого порядку за допомогою датчика CCS801 було обрано ті ж самі концентрації, тобто 50 кубічних сантиметрів протягом 15 хвилин, потім 2 проміле етанолу протягом 30 хвилин та чисте повітря в об'ємі 50 кубічних сантиметрів протягом 1 години. Результати тесту наведені на рисунку 3.14.

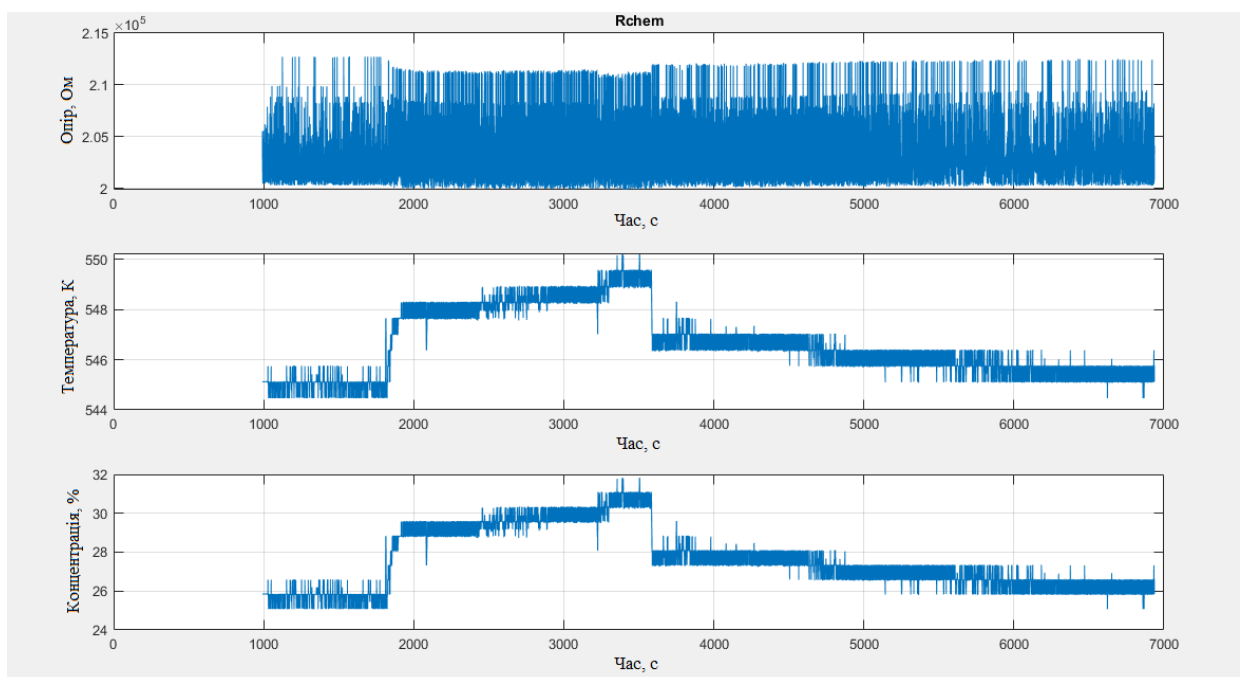


Рисунок 3.14 – Тестування роботи АЦП

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ

Арк.

53

З рисунку 3.14 видно, що для стабілізації вимірювання етанолу та видачі значення у 2 проміле час реєстрації становив вже 2 хвилини на відміну від 7,2 у попередньому тестуванні. Але час на стабілізацію системи, тобто при зменшенні концентрації етанолу з 2 до 0 промілей час реакції становить вже 10 секунд, що набагато швидше у порівнянні із 25 хвилинами.

Для тестування сигма-дельта другого порядку датчика CCS801 було проведено тестування, схоже до попередніх тестувань, в якому використовувався NUCLEO F030R8. Тип тестування був аналогічним, тобто подавалося повітря об'ємом 50 кубічних сантиметрів із різними концентраціями етанолу – 0 проміле, потім 2 проміле, потім знову 0 проміле.

В результаті використання сигма-дельта другого порядку (рисунку 3.15), система працює ще швидше, ніж у випадку сигма-дельта першого порядку. Час стабілізації від 0 до 2 проміле етанолу становив 20 секунд, а від 2 до 0 проміле – 10 секунд. Але при цьому різко падала роздільна здатність.

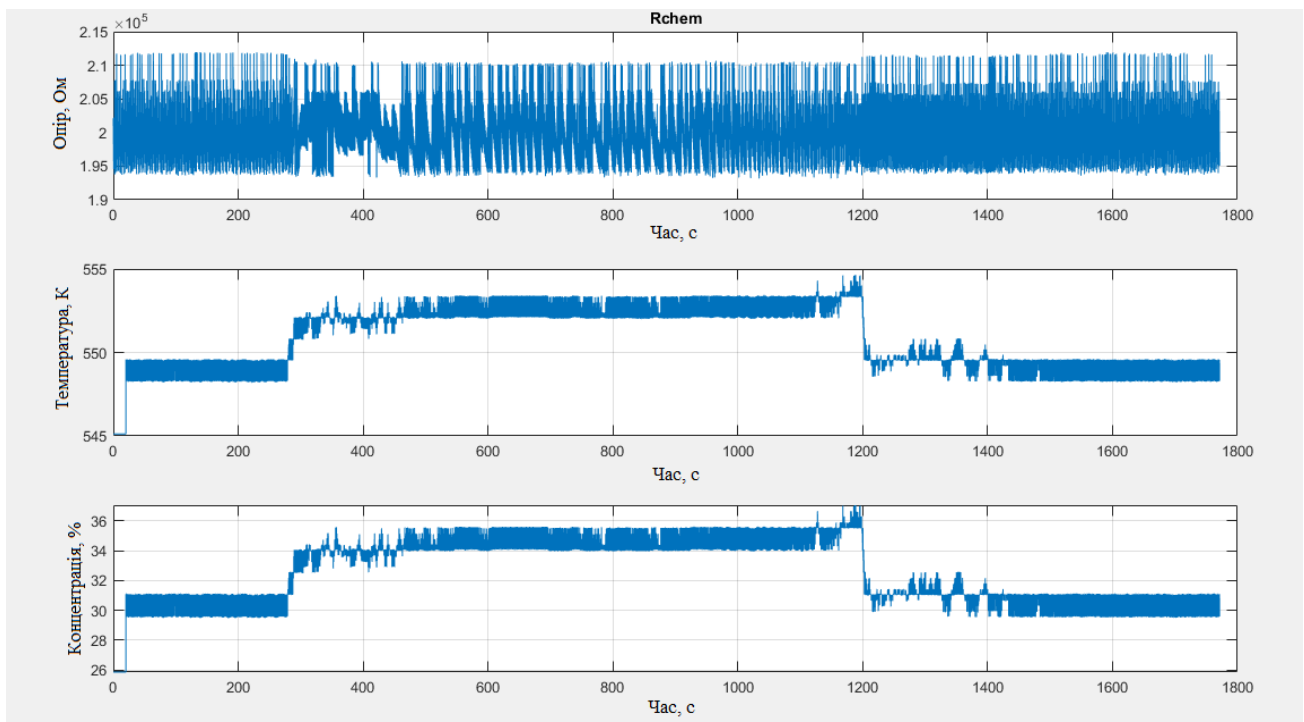


Рисунок 3.15 – Тестування роботи ЦАП

Для перевірки роботи системи сигма-дельта першого порядку з ШІМ було проведено аналогічний тест, але з використанням нового контролера. Протягом перших 45 хвилин подавалось чисте повітря, потім протягом 30 хвилин подавалось 2 проміле етанолу і потім протягом години подавалось знову чисте повітря.

На рисунку 3.16 видно, що роздільна здатність покращилась, а час реакції на збільшення кількості етанолу з 0 до 2 проміле становила 3 хвилини. В той же час реакція на зменшення кількості етанолу з 2 до 0 проміле становила 40 секунд.

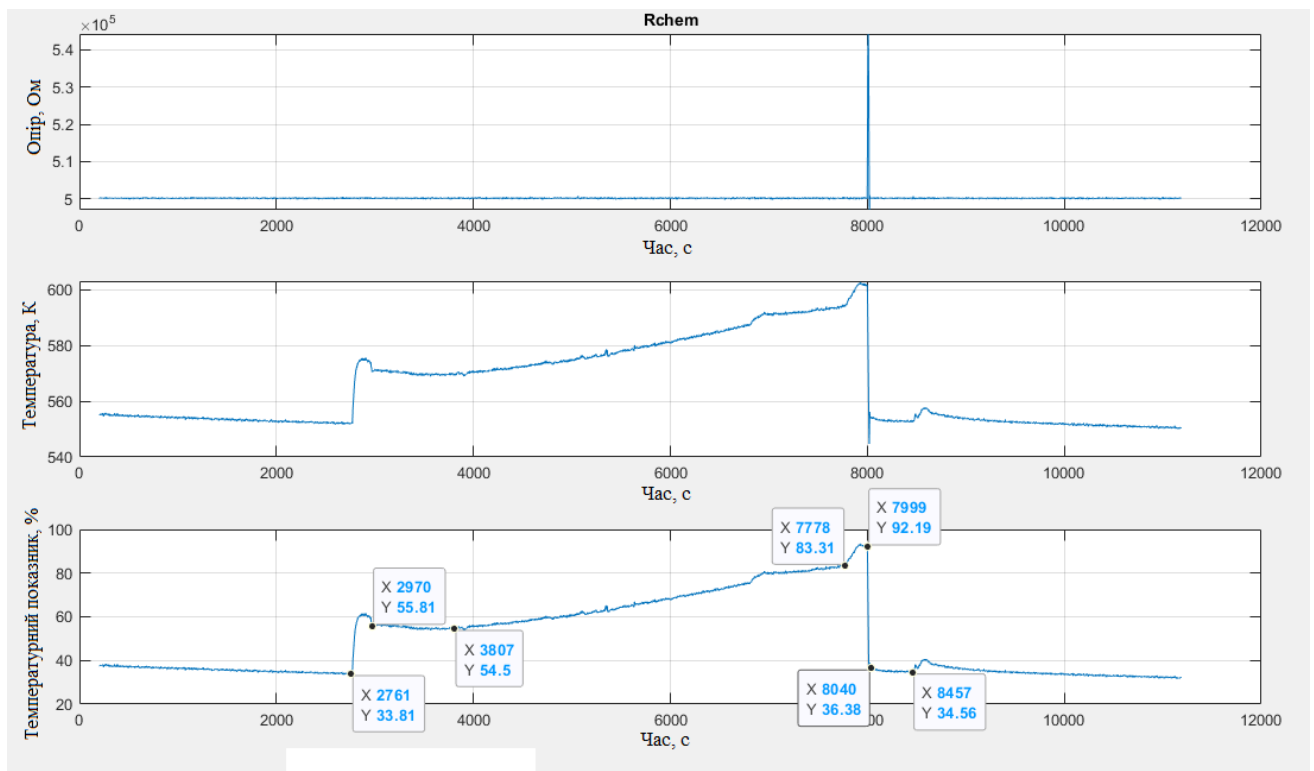


Рисунок 3.16 – Тестування роботи АЦП з ШІМ

Аналогічне тестування роботи системи проводилось для сигма-дельта другого порядку, результат якого наведено на рисунку 3.17. Змінився час подачі етанолу, а саме з 0 до 2 проміле час становив 5 хвилин, а з 2 до 0 проміле – 10 хвилин.

Реакція на насичення повітря етанолом в цьому випадку становила 5 хвилин для збільшення від 0 до 2 проміле та 3 хвилини для зменшення від 2 до 0 проміле.

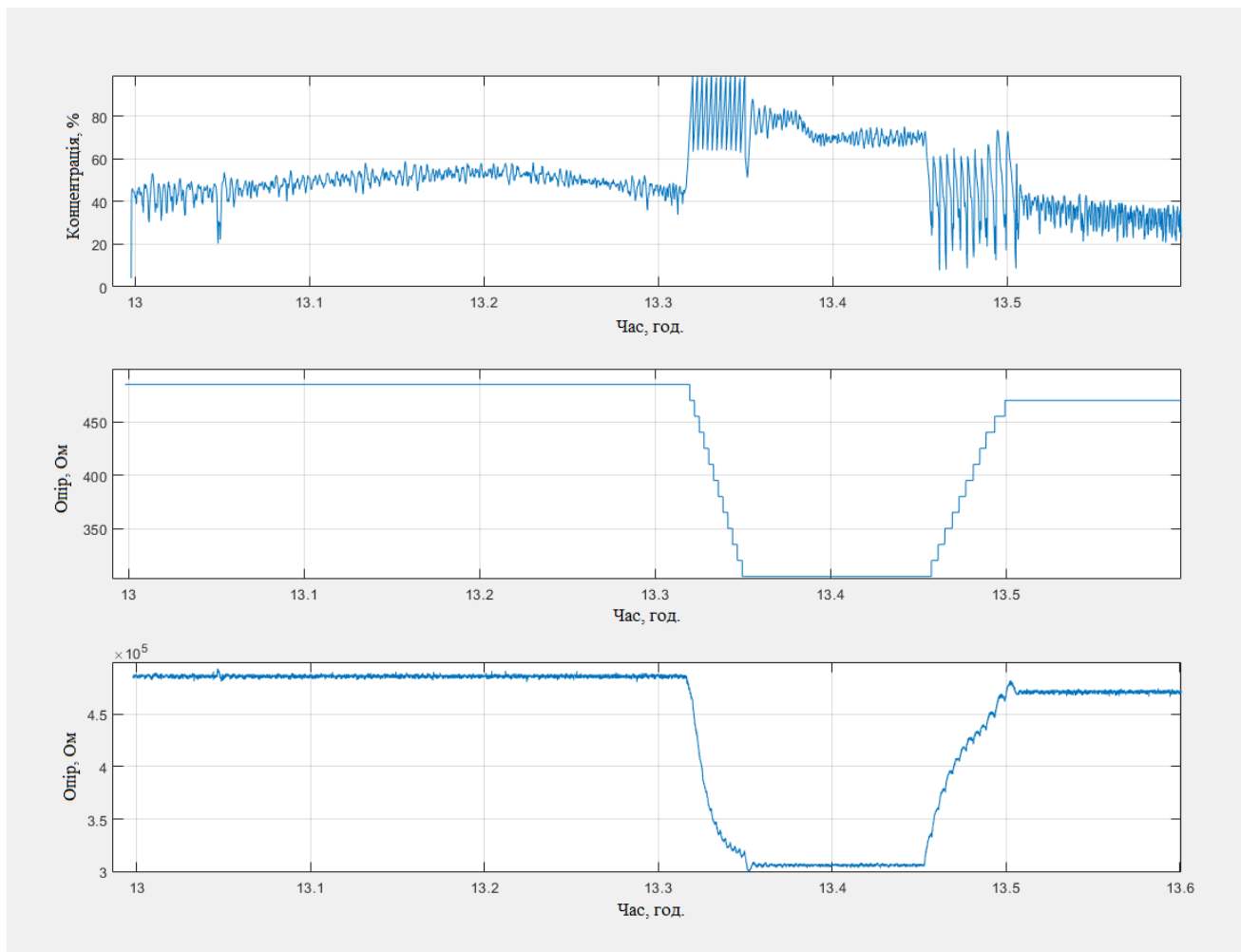


Рисунок 3.17 – Тестування роботи ЦАП з ШІМ

3.5 Висновки до третього розділу

В розділі наведено опис, модель та зовнішній вигляд розробленої плати для автоматизованої системи визначення якості повітря. Розроблене апаратне забезпечення, а також застосування різних методів керування та отримання результатів свідчать про якісну стабілізацію роботи датчика якості повітря з функцією температурного контролю.

В розділі наведено алгоритм роботи АСВЯП, а також методику налаштування датчика. За результатами налаштування датчика було встановлено, що його опір становить 39,3 Ом при температурах 240 та 335 °С.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Також було проведено тестування роботи системи за різних умов та різних схем керування. Дослідження передбачало подачу спочатку чистого повітря об'ємом 50 кубічних сантиметрів протягом певного часу, потім подачі відомої концентрації етанолу, яка становила 2 проміле без зміни об'єму повітря, яке подається, а потім подачі знову чистого повітря.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що в залежності від різних схем час реакції системи на наявність в повітрі етанолу різний. В результаті досліджень встановлено, що при використанні схеми, яка наведена на рисунку 3.9 було досягнуто найкращого часу реакції, а саме 20 секунд на реєстрацію наявності етанолу в повітрі та 10 секунд на реєстрацію відсутності етанолу в повітрі.

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		57

ВИСНОВКИ

В першому розділі наведено основні показники якості повітря, які застосовуються при безперервному або періодичному контролю якості повітря в робочій зоні. Крім того, проведено огляд існуючих аналізаторів та моніторів чадного та вуглекислого газу, температури, вологості повітря, температури точки роси та вмісту пилу різного розміру в повітрі. В розділі було поставлено основні задачі автоматизації та вимоги до автоматизованої системи визначення показників якості повітря.

В другому розділі проведено підбір обладнання для автоматизованої системи визначення показників якості повітря. Це обладнання включає в себе датчик якості повітря CCS801, аналогово-цифровий перетворювач, який виступає контуром контролю хімічної стійкості та цифрово-аналоговий перетворювач, який відповідає за контроль температурного контуру повітря.

Ключовим елементом в АСВЯП буде цифрова плата обробки отриманої інформації. Серед додаткового обладнання в системі передбачено підсилювач, мікросхему, перетворювачі логічного рівня та джампер.

Система реагує на наявність в повітрі аміаку та етанолу, тобто її можна використовувати в хімічній, сільськогосподарській, харчовій та косметичній промисловості, а також при виготовленні алкогольної продукції.

В третьому розділі наведено опис, модель та зовнішній вигляд розробленої плати для автоматизованої системи визначення якості повітря. Розроблене апаратне забезпечення, а також застосування різних методів керування та отримання результатів свідчать про якісну стабілізацію роботи датчика якості повітря з функцією температурного контролю.

В розділі наведено алгоритм роботи АСВЯП, а також методику налаштування датчика. За результатами налаштування датчика було встановлено, що його опір становить 39,3 Ом при температурах 240 та 335 °С.

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

Також було проведено тестування роботи системи за різних умов та різних схем керування. Дослідження передбачало подачу спочатку чистого повітря об'ємом 50 кубічних сантиметрів протягом певного часу, потім подачі відомої концентрації етанолу, яка становила 2 проміле без зміни об'єму повітря, яке подається, а потім подачі знову чистого повітря.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що в залежності від різних схем час реакції системи на наявність в повітрі етанолу різний. В результаті досліджень встановлено, що при використанні схеми, яка наведена на рисунку 3.9 було досягнуто найкращого часу реакції, а саме 20 секунд на реєстрацію наявності етанолу в повітрі та 10 секунд на реєстрацію відсутності етанолу в повітрі.

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		59

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Якість повітря в приміщенні – важливий критерій у промисловості. URL: <https://obera.fr/uk/%D0%BD%D0%B0%D1%88%D0%B0-%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B0/qualite-l-air-interieur-critere-essentiel-industrie/> (дата звернення – 8.02.2025)
2. Зацеркляний М.М., Столевич Т.Б., Зацеркляний О.М. Процеси захисту навколишнього середовища: підручник. Одеса: Фенікс, 2017. 454 с.
3. Системний аналіз якості навколишнього середовища. Т.А. Сафранов та ін. Одеса: Екологія, 2015. с. 256
4. Шкала індексу якості повітря та кольорова легенда. URL: <https://aqicn.org/scale/uk/> (дата звернення – 11.02.2025)
5. Лановенко О.Г., Остапішина О.О. Екологічний норматив якості атмосферного повітря. Словник-довідник з екології: навчально-методичний посібник. Херсон: ПП Вишемирський В,С., 2013. 79 с.
6. Лановенко О.Г., Остапішина О.О. Індекс забруднення атмосфери. Словник-довідник з екології: навчально-методичний посібник. Херсон: ПП Вишемирський В,С., 2013. 102 с.
7. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text> (дата звернення – 14.02.2025)
8. Безпека життєдіяльності, охорона праці та екологічна безпека: Методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти інженерно-технічних спеціальностей. Калда Г.С. та ін. Хмельницький: ХНУ, 2024. 54 с.
9. ДСТУ EN 482:2022 Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=112734 (дата звернення – 17.02.2025)

										Арк.
										60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ					

10. Охорона праці та безпека життєдіяльності: Лабораторний практикум. Навчальний посібник. В. А. Кирилков. Хмельницький: ХНУ, 2011. 137 с.

11. Монітор якості повітря. URL: <https://aic.kiev.ua/ua/p423326402-monitor-kachestva-vozdruha.html> (дата звернення – 18.02.2025)

12. Вдосконалений датчик CO₂ Analox 5S МКІІІ. URL: <https://promsystem.com.ua/product/analox-5s-mkiii-vdoskonalenyj-dachtyk-co2/> (дата звернення – 18.02.2025)

13. Аналізатор кисню AR-8100. URL: <https://promsystem.com.ua/product/ar-8100-analizator-kysnyu-u-povitri/> (дата звернення – 20.02.2025)

14. Газоаналізатор AZ-77597. URL: <https://promsystem.com.ua/product/az-77597-portatyvnyj-gazovyj-analizator-termogigrometr-so2so-rh-t-usb/> (дата звернення – 20.02.2025)

15. Цифровий аналізатор якості повітря WP6910. URL: <https://brom.ua/uk/tsifrovoi-detektor-formaldegida-analizator-kachestva-vozdruha-wp6910-ukr?srsltid=AfmBOoqrHj8UQvNiS9nwFWkSx6LLaTBx-DX4vwHviZIDkAHVl4bY NJPF> (дата звернення – 20.02.2025)

16. Аналізатор якості повітря СЕМ DT-9881. URL: <https://dilis.ua/ua/p1082562457-analizator-kachestva-vozdruha.html> (дата звернення – 22.02.2025)

17. Архелюк О.Д. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Перетворювачі та пристрої виміральної техніки» для студентів всіх форм навчання спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» відділу Інфокомунікацій та інженерії. Чернівці.: ЧНУ імені Юрія Федьковича 2021. 51 с.

18. Донцова Т.А., Янушевська О.І. Інноваційні неорганічні технології. Металоксидні сенсорні системи для моніторингу ґрунтового повітря [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 92 с.

19. What is metal-oxide (MOX) sensor? URL: https://sensirion.com/media/documents/0083CDF4/6294DFEA/Info_Note_MOX_sensor.pdf (дата звернення – 03.03.2025)

20. Датчик якості повітря, CO₂, вуглекислого газу. URL: <https://ardu.prom.ua/ua/p1007974201-datchik-kachestva-vozduha.html> (дата звернення – 03.03.2025)

21. Модуль датчиків якості повітря CCS801. URL: <https://arduino.ua/ru/prod4106-modyl-datchikov-kachestva-vozdyha-ccs811--hdc1080-co2voc?srsltid=AfmBOopeDgkJvi7I1x1Rt7wPN4TW28cN3Jm5UH8pJPbsipNKyMlIs5fM> (дата звернення – 03.03.2025)

22. Бурій О.А., Убізський С.Б. Сенсори газів на наноструктурах: сучасний стан та перспективи досліджень. *Вісник національного університету "Львівська політехніка"*. 2017. №885: Радіоелектроніка та телекомунікації. С. 113-131.

23. Проценко І.Ю., Шумакова Н.І. Наноматеріали і нанотехнології в електроніці : підручник. 2-ге вид., допов. Суми : Сумський державний університет, 2024. 169 с.

24. Xingxing Li., Li Fu, Karimi-Maleh H., Chen F., Zhao Sh. Innovation in WO₃ gas sensors: Nanostructure engineering, functionalization and future perspective. *Heliyon*. Volume 10, Issue 6. p. 123-147

25. Опейда Й., Швайка О. Глосарій термінів з хімії. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. Донецьк: Вебер, 2008. 758 с.

26. Open loop testing the closed loop operations of chemical systems / Dominguez-Pumar M. et al. *Computers & Chemical Engineering*. Volume 135, 2020. p. 231-255

27. Іванов О. В., Личак Д.О. Нічепорук А.О. Дослідження пасивного сигма-дельта модулятора другого порядку. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. №1, 2021. с. 77-81

28. Пристрій NI USB 6002. URL: <https://bigl.ua/ua/p2474575269-ustrojstvo-usb-6002> (дата звернення – 07.03.2025)

29. LTC1865LACS8#PBF. URL: [https://www.ftcelectronics.com.ua/product/ADI\(Analog-Devices,Inc.\)/LTC1865LACS8-PBF](https://www.ftcelectronics.com.ua/product/ADI(Analog-Devices,Inc.)/LTC1865LACS8-PBF) (дата звернення – 09.03.2025)

30. DAC8830ID. URL: <https://voron.ua/catalog/MS-DAC8830ID?lang=uk> (дата звернення – 09.03.2025)

31. NUCLEO-F030R8. URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=NUCLEO-F030R8> (дата звернення – 17.03.2025)

32. TXB0108PWR. URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=TXB0108PWR> (дата звернення – 21.03.2025)

33. TXB0104PWR. URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=TXB0104PWR> (дата звернення – 21.03.2025)

34. TLV4110ID. URL: <https://www.yuechengic.com/partno/tlv4110id-337672> (дата звернення – 21.03.2025)

35. SN74LV4052AD TI. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/sn74lv4052ad_43784.html (дата звернення – 21.03.2025)

36. AD8628ARZ-REEL7. URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/prodlist.php?page=0&name=ad8628arz> (дата звернення – 21.03.2025)

37. Дзампер JM-2.0. URL: <https://electronica.in.ua/p2368692994-dzhamper-20mm->

chernyj.html?source=merchant_center&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=20496384634&utm_term=&utm_content=&utm_position=&utm_matchtype=&utm_placement=&utm_network=x&gad_source=1&gad_campaignid=20496410134&gbraid=0AAAAAqEg4mSZCUB9GOQjrzf5Fi5fDycq&gclid=Cj0KCQjwlrvBBhDnARIsAHEQgOTKMOCoRBUqsXFqpItz1h3cAX3MPSsutvepR6xkA3X4CD282e4B-fAaAl38EALw_wcB (дата звернення – 21.03.2025)

38. Д'яконов І.В. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи "Оцінка хімічної небезпеки" з дисципліни "Цивільна оборона" (для студентів усіх напрямів і спеціалізацій підготовки). Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х.: ХНАМГ, 2012. 36 с.

39. CCS801. Ultra-Low Power Analog VOC Sensor for Indoor Air Quality Monitoring. URL: https://www.mouser.com/datasheet/2/588/CCS801_DS000457_2-00-1140362.pdf?srsltid=AfmBOoq-9njsM_BDINKxSwDOA5KSjG9zZo5l9WT98ggUAQbsfKxHs3VD (дата звернення – 05.04.2025)

40. Acceleration and drift reduction of MOX gas sensors using active sigma-delta controls based on dielectric excitation / Solà-Penafiel N. et al. *Sensors and Actuators B: Chemical*. Volume 365, 2022. p. 367-381

41. Kureshi R., Mishra B., Thakker R. Data-Driven Techniques for Low-Cost Sensor Selection and Calibration for the Use Case of Air Quality Monitoring. *Sensors*. 22(3):1093, 2022. p. 523-541

					<i>КВРАКІТ.2022122.01.07.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

Додатки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ТЕМУ:

«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ»

ВСТУП ТА МЕТА РОБОТИ

2

- Якість повітря має значний вплив на технологічний процес при виготовленні продукції. Вона впливає не лише на якість продукції, а й на здоров'я працівник та стан технологічного обладнання.
- Автоматизація процесу відслідковування та реєстрації показників якості повітря призведе до покращення виконання технологічного процесу, зменшенню зносу робочого обладнання, збільшенню якості продукції, що виготовляється, покращенню здоров'я працівників та зменшенню кількості можливих професійних захворювань, тощо.
- Метою роботи є розробка автоматизованої системи визначення якості повітря, а також перевірка точності роботи системи та часу реакції на зміну якості повітря.

ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

- Серед показників якості повітря, які застосовуються, визначається індекс якості повітря, наявність розчинених домішок, його температура, вологість, а також хімічна стійкість повітря.
- Хімічна стійкість повітря – це його здатність не вступати в хімічну реакцію із іншими речовинами, які розчинені в повітрі. Цей показник формально визначає безпеку та стабільність повітря

Індекс якості повітря	Рівні небезпеки для здоров'я	Кольори	Категорія AQI	Pb	NH ₃	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀
Від 0 до 50	Добрий	Зелений	Хороший	0-0,5	0-200	0-40	0-1	0-50	0-40	0-30	0-50
51 до 100	Помірний	Жовтий	Задовільний	0,5-1,0	201-400	41-80	1,1-2,0	51-100	41-80	31-60	51-100
101 до 150	Шкідливий для чутливих груп	Помаранчевий	Помірно забруднений	1,1-2,0	401-800	81-380	2,1-10	101-168	81-180	61-90	101-250
151 до 200	Шкідливий	Червоний	Високій	2,1-3,0	801-1200	381-800	10-17	169-208	181-280	91-120	251-350
201 до 300	Дуже шкідливий	Фіолетовий	Дуже високий	3,1-3,5	1200-1800	801-1600	17-34	209-748	281-400	121-250	351-430
301 до 500	Небезпечний	Бордовий	Небезпечний	3,5+	1800+	1600+	34+	748+	400+	250+	430+

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ



Монітор якості повітря MT8060



Аналізатор кисню AR-8100



Вдосконалений датчик CO₂ Analog 5S MKIII

Газоаналізатор AZ-77597



Аналізатор якості повітря SEM DT-9881

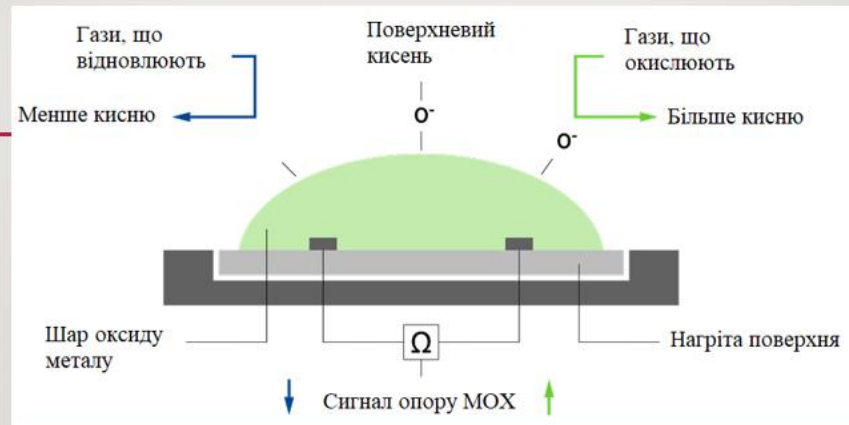


Цифровий аналізатор якості повітря WP6910



ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

5



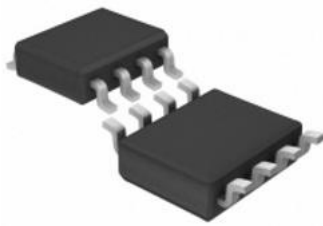
Характеристика	Значення
Робочий струм, мА	30
Напруга живлення, В	1,8 – 3,6
Інтерфейс	I2C
Кількість режимів роботи	5
Внутрішня обробка даних	Вбудований мікроконтролер
Розміри, мм	15 x 21
Напруга, що споживається, мВт	До 60
Діапазон визначення eCO_2 , ppm	400 - 32768
Діапазон визначення TVOC, ppb	0 - 32768
Робоча частота інтерфейсу, кГц	400

Датчик якості повітря CCS801



ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

6



LTC1865

Характеристика	Значення
Напруга, В	2,7 – 3,6
Діапазон робочих температур, $^{\circ}\text{C}$	0 – 70
Кількість входів	2
Частота відбору за секунду	150 тисяч
Кількість виводів	16
Архітектура	SAR

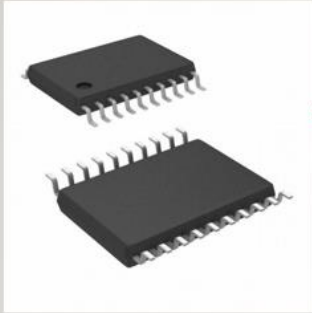
DAC8830



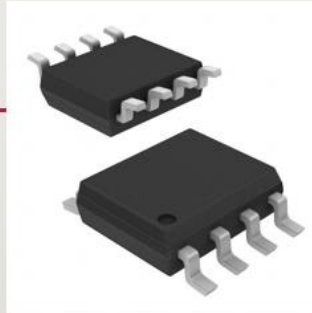
Характеристика	Значення
Робоча температура, $^{\circ}\text{C}$	-40...+85
Мінімальна відносна похибка	± 4
Вихідний опір, кОм	6,25
Час відгуку, мс	1
Живлення, В	2,7 – 5,5

ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

7



Перетворювачі логічного
рівня TXB0108PWR та
TXB0104PWR



Підсилювач TLV4110ID



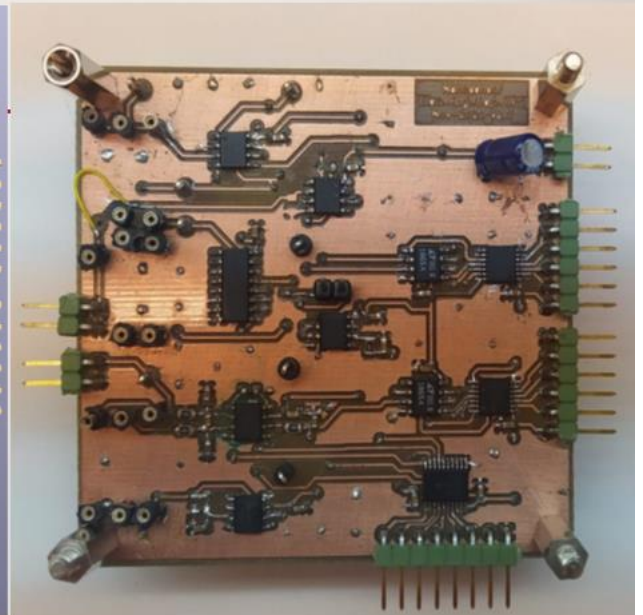
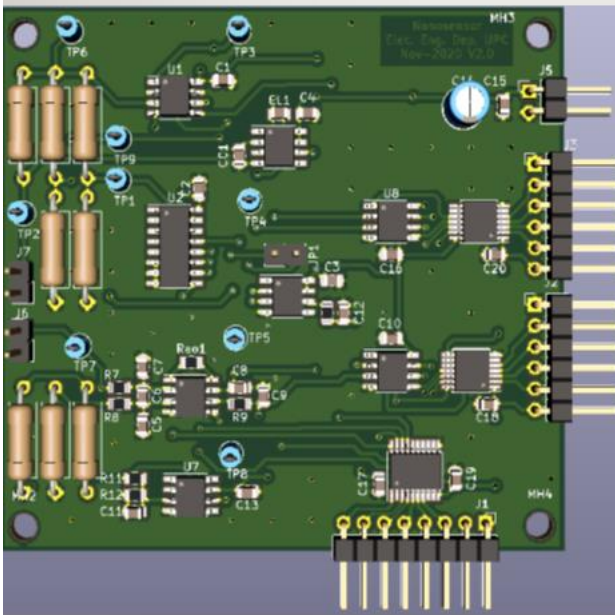
Мікросхема SN74LV4052AD

Джампер JM-2.0



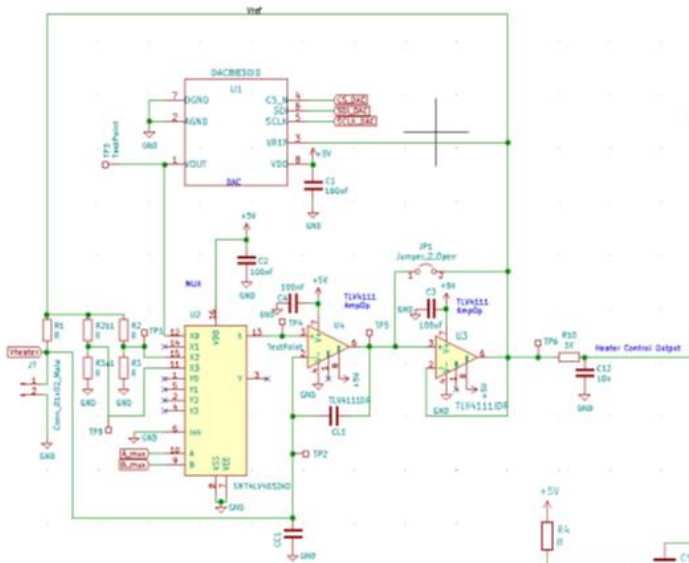
ПЛАТА КЕРУВАННЯ ДЛЯ АСВЯП

8

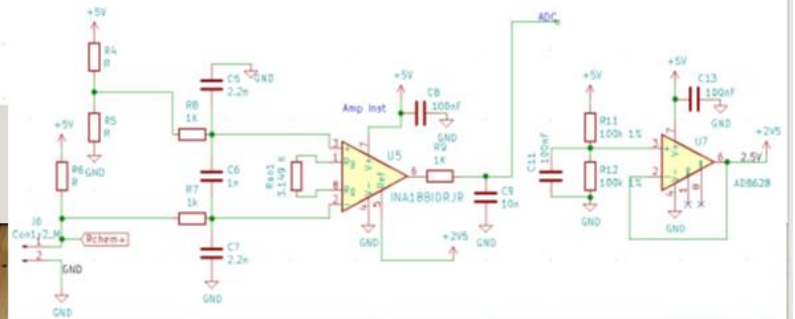


ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ

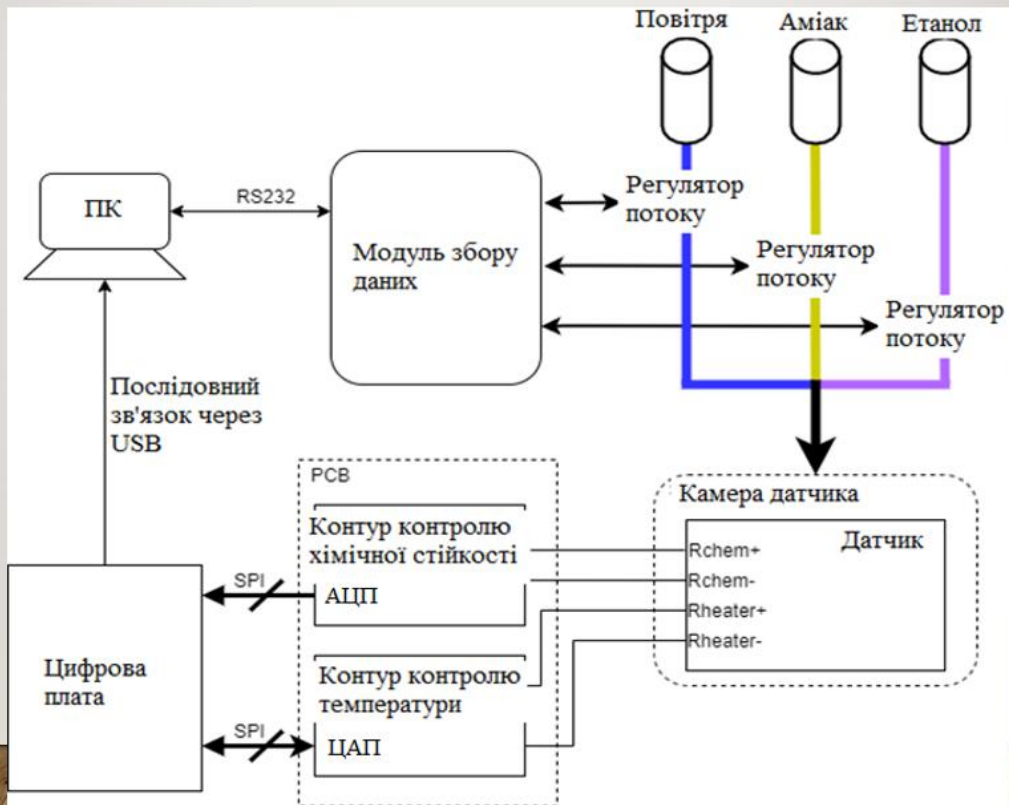
Електрична схема керування температурою



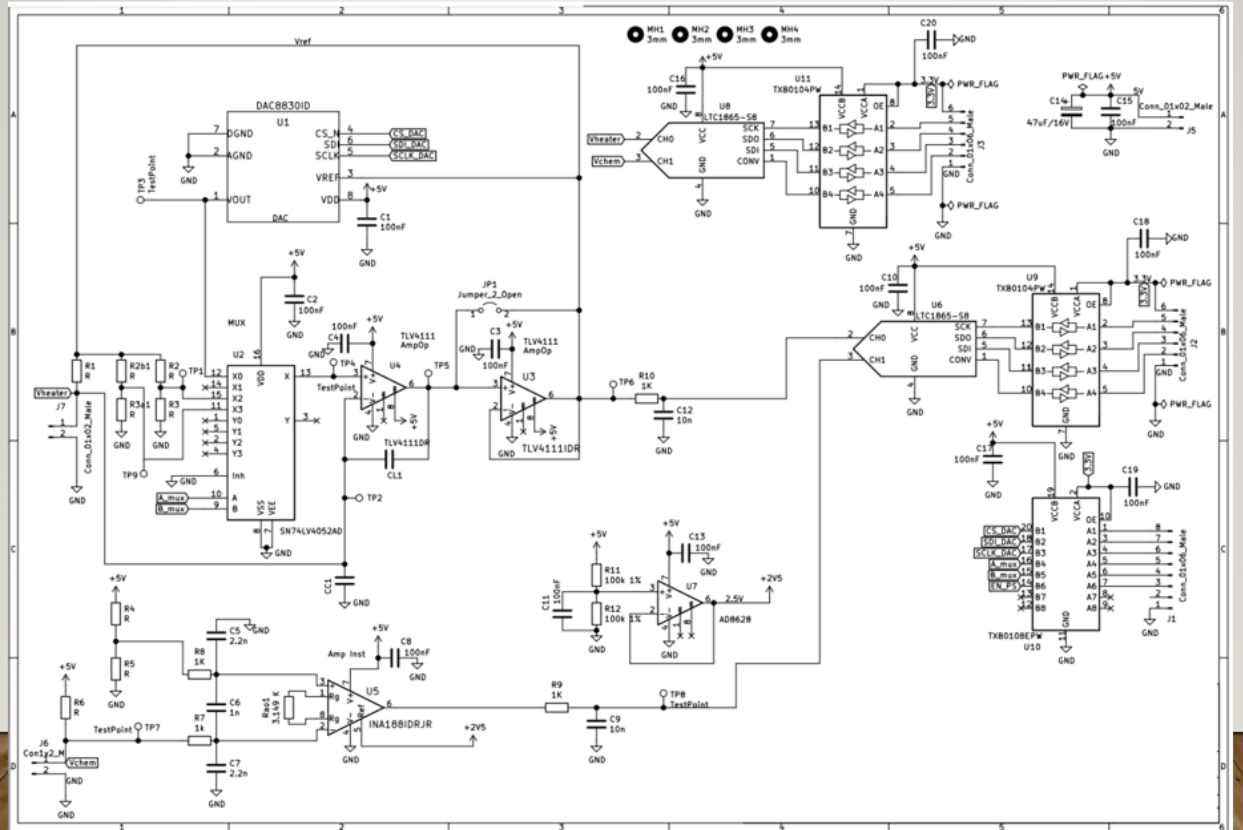
Електрична схема керування хімічною стійкістю повітря



СТРУКТУРНА СХЕМА АСВЯП



ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА АСВЯП



ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АСВЯП

Схема 1

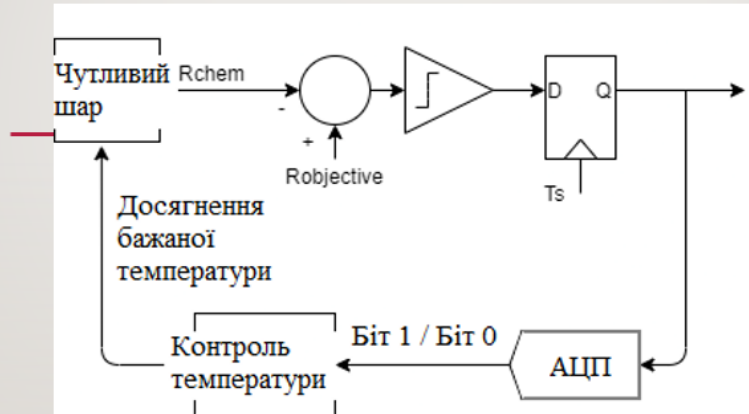
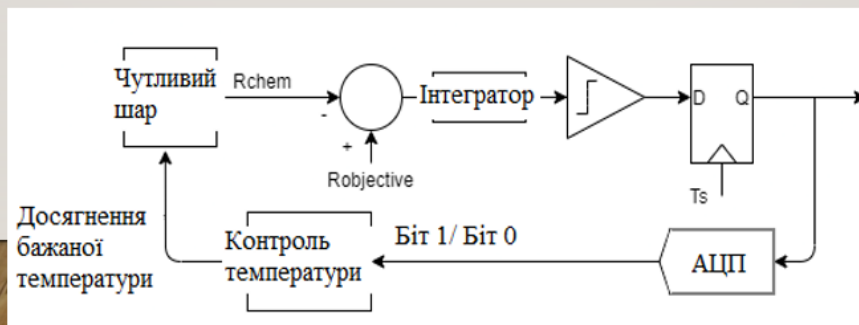
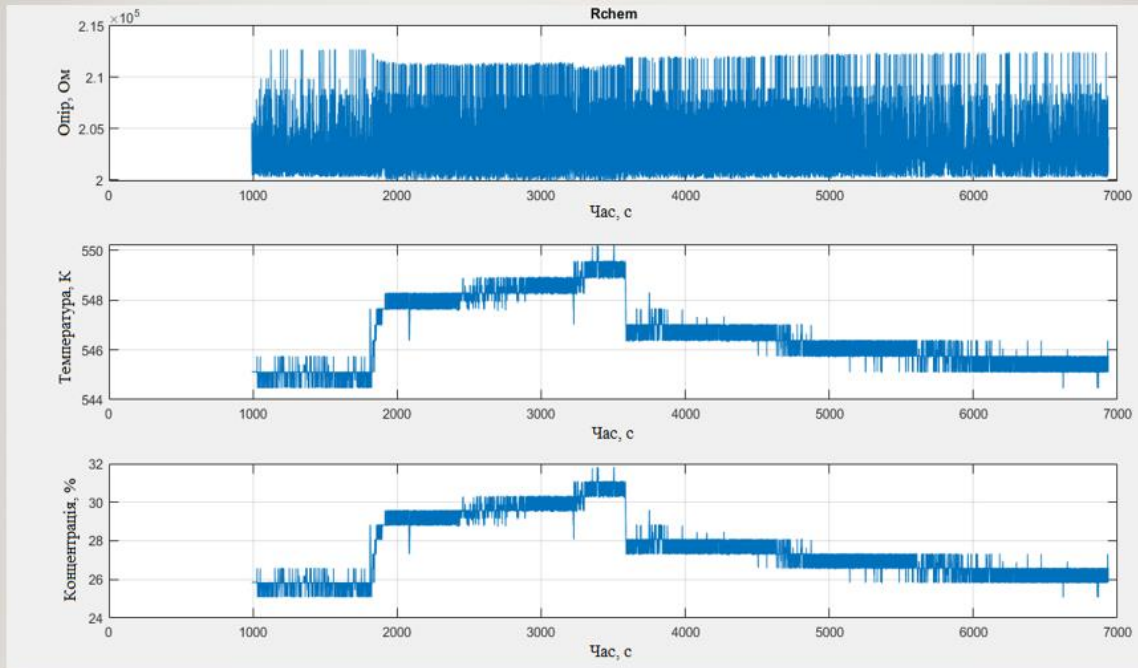


Схема 2



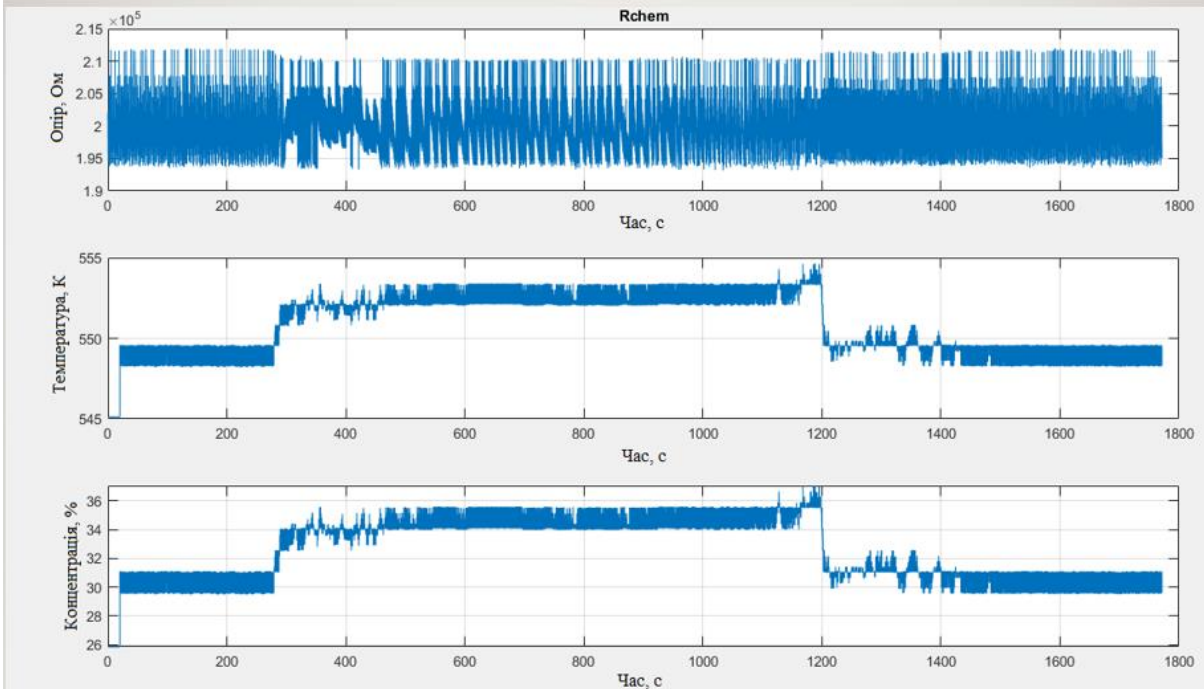
ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ. СХЕМА I

13



ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ. СХЕМА 2

14



ВИСНОВКИ

В роботі було розроблено автоматизовану систему визначення якості повітря.

Також було проведено підбір обладнання для такої системи та розроблено цифрову плату. Було розроблено принципову електричну схему та дві функціональні схеми.

Робота системи була перевірена відповідно до розроблених схем. Друга схема показала кращий час реагування на наявність в повітрі етанолу.

Дякую за увагу!



Додаток Б
Код датчика CCS801

```
CCS811 mySensor(CCS811_ADDR);

//Зчитування базових змінних

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("CCS811 Basic Example");

  Wire.begin();

  if (mySensor.begin() == false)
  {
    Serial.print("CCS811 error. Please check wiring. Freezing...");
    while (1)
      ;
  }
}

void loop()
{
  if (mySensor.dataAvailable())
  {
    mySensor.readAlgorithmResults();

    Serial.print("CO2[");
    Serial.print(mySensor.getCO2());
    Serial.print("] tVOC[");
    Serial.print(mySensor.getTVOC());
    Serial.print("] millis[");
    Serial.print(millis());
    Serial.print("]");
    Serial.println();
  }

  delay(10);
}

// Установка базової лінії

void setup()
```

```

{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println();
  Serial.println("CCS811 Baseline Example");

  Wire.begin();

  CCS811Core::CCS811_Status_e returnCode = mySensor.beginWithStatus();
  Serial.print("CCS811 begin exited with: ");
  Serial.print(mySensor.statusString(returnCode));
  Serial.println();

  if ((EEPROM.read(0) == 0xA5) && (EEPROM.read(1) == 0xB2))
  {
    Serial.println("EEPROM contains saved data.");
  }
  else
  {
    Serial.println("Saved data not found!");
  }
  Serial.println();

  Serial.println("Program running. Send the following characters to operate:");
  Serial.println(" 's' - save baseline into EEPROM");
  Serial.println(" 'l' - load and apply baseline from EEPROM");
  Serial.println(" 'c' - clear baseline from EEPROM");
  Serial.println(" 'r' - read and print sensor data");
}

void loop()
{
  char c;
  unsigned int result;
  unsigned int baselineToApply;
  CCS811Core::CCS811_Status_e errorStatus;
  if (Serial.available())
  {
    c = Serial.read();
    switch (c)
    {
    case 's':
      result = mySensor.getBaseline();
      Serial.print("baseline for this sensor: 0x");
      if (result < 0x100)

```

```

    Serial.print("0");
if (result < 0x10)
    Serial.print("0");
Serial.println(result, HEX);
EEPROM.write(0, 0xA5);
EEPROM.write(1, 0xB2);
EEPROM.write(2, (result >> 8) & 0x00FF);
EEPROM.write(3, result & 0x00FF);
break;
case 'l':
if ((EEPROM.read(0) == 0xA5) && (EEPROM.read(1) == 0xB2))
{
    Serial.println("EEPROM contains saved data.");
    baselineToApply = ((unsigned int)EEPROM.read(2) << 8) | EEPROM.read(3);
    Serial.print("Saved baseline: 0x");
    if (baselineToApply < 0x100)
        Serial.print("0");
    if (baselineToApply < 0x10)
        Serial.print("0");
    Serial.println(baselineToApply, HEX);
    errorStatus = mySensor.setBaseline(baselineToApply);
    if (errorStatus == CCS811Core::CCS811_Stat_SUCCESS)
    {
        Serial.println("Baseline written to CCS811.");
    }
    else
    {
        Serial.print("Error writing baseline: ");
        Serial.println(mySensor.statusString(errorStatus));
    }
}
else
{
    Serial.println("Saved data not found!");
}
break;
case 'c':
    Serial.println("Clearing EEPROM space.");
    EEPROM.write(0, 0x00);
    EEPROM.write(1, 0x00);
    EEPROM.write(2, 0x00);
    EEPROM.write(3, 0x00);
    break;
case 'r':

```

```

if (mySensor.dataAvailable())
{
  //Simply print the last sensor data
  mySensor.readAlgorithmResults();

  Serial.print("CO2[");
  Serial.print(mySensor.getCO2());
  Serial.print("] tVOC[");
  Serial.print(mySensor.getTVOC());
  Serial.print("]");
  Serial.println();
}
else
{
  Serial.println("Sensor data not available.");
}
break;
default:
  break;
}
}
delay(10);
}

// Калібрування протягом 20 хвилин

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("20 minute test");

  Wire.begin();

  CCS811Core::CCS811_Status_e returnCode = myCCS811.beginWithStatus();
  Serial.print("CCS811 begin exited with: ");
  Serial.println(myCCS811.statusString(returnCode));
}

void loop()
{
  if (myCCS811.dataAvailable())
  {
    myCCS811.readAlgorithmResults();
  }
}

```

```

    Serial.print("CO2[");
    Serial.print(myCCS811.getCO2());
    Serial.print("] tVOC[");
    Serial.print(myCCS811.getTVOC());
    Serial.print("] millis[");
    Serial.print(millis());
    Serial.print("] ");
    printRunTime();
    Serial.println();
}
else if (myCCS811.checkForStatusError())
{
    printSensorError();
}

delay(1000); //Wait for next reading
}

void printRunTime()
{
    char buffer[50];

    unsigned long runTime = millis();

    int hours = runTime / (60 * 60 * 1000L);
    runTime %= (60 * 60 * 1000L);
    int minutes = runTime / (60 * 1000L);
    runTime %= (60 * 1000L);
    int seconds = runTime / 1000L;

    sprintf(buffer, "RunTime[%02d:%02d:%02d]", hours, minutes, seconds);
    Serial.print(buffer);

    if (hours == 0 && minutes < 20)
        Serial.print(" Not yet valid");
}

void printSensorError()
{
    uint8_t error = myCCS811.getErrorRegister();

    if (error == 0xFF) //comm error
    {
        Serial.println("Failed to get ERROR_ID register.");
    }
}

```

```

}
else
{
  Serial.print("Error: ");
  if (error & 1 << 5)
    Serial.print("HeaterSupply");
  if (error & 1 << 4)
    Serial.print("HeaterFault");
  if (error & 1 << 3)
    Serial.print("MaxResistance");
  if (error & 1 << 2)
    Serial.print("MeasModeInvalid");
  if (error & 1 << 1)
    Serial.print("ReadRegInvalid");
  if (error & 1 << 0)
    Serial.print("MsgInvalid");
  Serial.println();
}
}

// Перевірка налаштувань чутливості спрацювання датчика

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("CCS811 EnvironmentalReadings Example");

  Wire.begin();

  CCS811Core::CCS811_Status_e returnCode = myCCS811.beginWithStatus();
  Serial.print("CCS811 begin exited with: ");
  Serial.println(myCCS811.statusString(returnCode));
}

void loop()
{
  Serial.println();
  humidityVariable = (float)random(0, 10000) / 100; //0 to 100%
  temperatureVariable = (float)random(500, 7000) / 100; // 5C to 70C
  Serial.println("New humidity and temperature:");
  Serial.print(" Humidity: ");
  Serial.print(humidityVariable, 2);
  Serial.println("% relative");
  Serial.print(" Temperature: ");

```

```

Serial.print(temperatureVariable, 2);
Serial.println(" degrees C");
myCCS811.setEnvironmentalData(humidityVariable, temperatureVariable);

```

```

Serial.println("Environmental data applied!");
myCCS811.readAlgorithmResults(); //Dump a reading and wait
delay(1000);
for (int i = 0; i < 10; i++)
{
  if (myCCS811.dataAvailable())
  {
    myCCS811.readAlgorithmResults();

    Serial.print("CO2[");
    Serial.print(myCCS811.getCO2());
    Serial.print("] tVOC[");
    Serial.print(myCCS811.getTVOC());
    Serial.print("] millis[");
    Serial.print(millis());
    Serial.print("]");
    Serial.println();
  }
  else if (myCCS811.checkForStatusError())
  {
    printSensorError();
  }
  delay(1000); //Wait for next reading
}
}

```

```

void printSensorError()
{
  uint8_t error = myCCS811.getErrorRegister();

  if (error == 0xFF) //comm error
  {
    Serial.println("Failed to get ERROR_ID register.");
  }
  else
  {
    Serial.print("Error: ");
    if (error & 1 << 5)
      Serial.print("HeaterSupply");
    if (error & 1 << 4)

```

```
    Serial.print("HeaterFault");  
    if (error & 1 << 3)  
        Serial.print("MaxResistance");  
    if (error & 1 << 2)  
        Serial.print("MeasModeInvalid");  
    if (error & 1 << 1)  
        Serial.print("ReadRegInvalid");  
    if (error & 1 << 0)  
        Serial.print("MsgInvalid");  
    Serial.println();  
}  
}
```

Додаток В
Код автоматизованої системи визначення якості повітря

```

#define SAMPLE_PERIOD 0.001
#define SAMPLE_TIME_UP 0.00004
#define TIMEOUT1 0.0005

#define ADC_CLOCK 1000000

#define SPI_SINGLE_0 0x8000
#define SPI_SINGLE_1 0xC000
#define SPI_DIFF_01 0x0000
#define SPI_DIFF_10 0x4000

#define FRAME_READS 160

Serial pc(SERIAL_TX, SERIAL_RX, 115200);
SPI spi(D4,D5,D3); // mosi, miso, sclk
SPI spi2(PB_15,PB_14,PB_13); // mosi, miso, sclk
PwmOut sample(D9);
InterruptIn isample(D8);
DigitalOut dout(D2);

Timeout tout1;

int frameCycle = 0;

int state = 0;

int decidata = 0x0000;
int PWM = 60;
int Rchem_obj = 0x01F4;//500
int Rstep = 0x00F;//15
float Vch_obj=5*((float)Rchem_obj)/(((float)Rchem_obj)+500);
float Vch=0;
Current read data
int data = 0;
int data2 = 0;

static inline void computeNewState(void)
{

if (frameCycle > (FRAME_READS-41)) {

```

```

state = 1;
}
else{
if (120-frameCycle < PWM){
state = 1;
}else{
state = 0;
}
}
}

void timeout1ISR(void)
{

int byte0, byte1, byte2, byte3, byte4, byte5, byte6, byte7;

dout = state;
if (frameCycle == FRAME_READS-2){
decidata=data2;
Vch=(float)decidata*5/65535;
if (Vch<Vch_obj){
PWM++;
if(PWM>120){
PWM=40;
Rchem_obj=Rchem_obj-Rstep;
if (Rchem_obj<1)Rchem_obj=Rstep;
Vch_obj=5*((float)Rchem_obj)/(((float)Rchem_obj)+500);
}
}else{
PWM=PWM-1;
if(PWM<0){
PWM=40;
Rchem_obj=Rchem_obj+Rstep;
Vch_obj=5*((float)Rchem_obj)/(((float)Rchem_obj)+500);
};
}
}

byte0 = (data>>12)&0x0F;
byte1 = (data>>5)&0x7F;
byte2 = (data<<2)&0x7C;

byte2 |= ((data2>>14)&0x03);
byte3 = (data2>>7)&0x7F;

```

```

byte4 = data2&0x7F;

byte5 =((Rchem_obj>>9)&0x7F);
byte6 =((Rchem_obj>>2)&0x7F);
byte7=((Rchem_obj<<5)&0x60);

byte0 |= 0x80; // Bit 7 : Always "1"
if (!frameCycle) byte0 |= 0x40; // Bit 6 : "1" on frameCycle 0
if (state) byte0 |= 0x20; // Bit 5 : Current dout state
if (!(frameCycle&0x01)) byte0 |= 0x10; // Bit 4 : Reading channel

pc.putc(byte0);
pc.putc(byte1);
pc.putc(byte2);
pc.putc(byte3);
pc.putc(byte4);
pc.putc(byte5);
pc.putc(byte6);
pc.putc(byte7);
// Update frameCycle
frameCycle++;
if (frameCycle >= FRAME_READS) frameCycle = 0;
}

void sampleISR(void)
{

tout1.attach(&timeout1ISR,TIMEOUT1-0.00004);

if (frameCycle&0x01){
data=spi.write(SPI_SINGLE_1);
data2=spi2.write(SPI_SINGLE_1);
}else{
data=spi.write(SPI_SINGLE_0);
data2=spi2.write(SPI_SINGLE_0);
}

computeNewState();
}

void timingInit(void)
{

sample.period(SAMPLE_PERIOD);

```

```
sample.write(SAMPLE_TIME_UP/SAMPLE_PERIOD);
```

```
isample.fall(&sampleISR);
```

```
void spiInit(void)
{
    spi.format(16,3);
    spi.frequency(ADC_CLOCK);
    spi2.format(16,3);
    spi2.frequency(ADC_CLOCK);
}
```

```
int main()
{
    spiInit();
    timingInit();
    while(1) {};
}
```

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Левчук Антон Олександрович

Тема: Автоматизована система визначення якості повітря

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 15 Кількість сторінок записки 68

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: створено автоматизовано систему визначення якості повітря
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі наведено основні показники якості повітря, які застосовуються при безперервному або періодичному контролю якості повітря в робочій зоні. Крім того, проведено огляд існуючих аналізаторів та моніторів чадного та вуглекислого газу, температури, вологості повітря, температури точки роси та вмісту пилу різного розміру в повітрі. В розділі було поставлено основні задачі автоматизації та вимоги до автоматизованої системи визначення показників якості повітря. В другому розділі проведено підбір обладнання для автоматизованої системи визначення показників якості повітря. Це обладнання включає в себе датчик якості повітря CCS801, аналогово-цифровий перетворювач, який виступає контуром контролю хімічної стійкості та цифрово-аналоговий перетворювач, який відповідає за контроль температурного контуру повітря. В третьому розділі наведено опис, модель та зовнішній вигляд розробленої плати для автоматизованої системи визначення якості повітря. Також було проведено тестування роботи системи за різних умов та різних схем керування. Дослідження передбачало подачу спочатку чистого повітря об'ємом 50 кубічних сантиметрів протягом певного часу, потім подачі відомої концентрації етанолу, яка становила 2 проміле без зміни об'єму повітря, яке подається, а потім подачі знову чистого повітря.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: не було проведено дослідження роботи системи при виявленні в повітрі аміаку

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

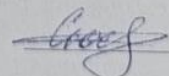
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (В/4,25)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Соколан Юлія Сергіївна, доцент кафедри будівництва та цивільної безпеки
Хмельницького національного університету

“ 04 ” 06 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук. проф. Мартиноку В.В.

Левчук А.О.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курс, групи АКІТе-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

29.05.2025

дата



підпис

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 2.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 9%

ID: 242684 Title: БКР Автоматизована система визначення якості повітря Added in a DB: 2025-05-30 Authors: АНТОН ЛЕВЧУК Heads: Денис МАКАРІШКІН Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	44246	653	2167 (5%)	31 (5%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Антон ЛЕВЧУК

Співавтор:

Назва: БКР Левчук

Науковий керівник:

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1:0.2%

Коефіцієнт подібності 2:0%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 1

Дата створення звіту: 2025-05-30 21:46:38.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-05-31

Дата

експерт

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Автоматизована система визначення якості повітря

Автор: Левчук Антон Олександрович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Макаришкін Денис Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 0,18% і адресується до 17 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Денис МАКАРИШКІН