

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

Приладобудівний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра інформаційно-вимірювальної техніки

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ **Єременко В.С.**
(підпис) (ініціали, прізвище)

« _____ » _____ 20____ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) _____

(код і назва спеціальності)

на тему: «Система моніторингу якості повітря» _____

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

(шифр групи)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент, Синиця В. І.

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

(підпис)

Консультант «Стартап проект» д.е.н., доцент, Бояринова К.О.

(назва розділу)

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

(підпис)

Рецензент _____

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

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень	4
Вступ	5
1 Призначення і область застосування	9
2 Розробка структурної та принципової схеми пристрою	11
2.1 Структурна схема пристрою	11
2.2 Опис функціональної схеми	23
3 Вибір і обґрунтування технічних рішень конструкції системи	30
3.1 Вимірювальні перетворювачі, що основані на використанні теплопровідної суміші	30
3.2 Дросельні пневматичні (газодинамічні) перетворювачі	31
3.3 Спектрометричні перетворювачі	32
3.4 Емісійні перетворювачі.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.4.1 Хемілюмінесцентні вимірювальні перетворювачі.....	33
3.4.2 Флуоресцентні вимірювальні перетворювачі	34
3.5 Напівпровідникові вимірювальні перетворювачі	Ошибка! Закладка не определена.
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність і надійність системи моніторингу якості повітря	41
4.1 Розрахунок підсилювача.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Вибір і розрахунок АЦП	Ошибка! Закладка не определена.
4.3 Вибір і опис елементів мікропроцесорної системи	Ошибка! Закладка не определена.
4.4 Розрахунок теплового режиму .	Ошибка! Закладка не определена.

4.5 Розрахунок надійності пристрою **Ошибка!** **Закладка** **не определена.**

5 Аналіз і розрахунок похибок..... 61

5.1 Похибка, що вноситься газовим каналом **Ошибка!** **Закладка** **не определена.**

5.2 Похибка, що вноситься газоаналізатором **Ошибка!** **Закладка** **не определена.**

5.3 Похибки, що вносяться підсилювачем **Ошибка!** **Закладка** **не определена.**

5.4 Похибки, що вносяться АЦП ... **Ошибка!** **Закладка не определена.**

5.5 Підсумовування похибок..... **Ошибка!** **Закладка не определена.**

6 Розробка стартап-проекту..... 78

6.1 Опис ідеї проекту. **Ошибка!** **Закладка не определена.**

6.2 Технолонічний аудит ідеї проекту **Ошибка!** **Закладка** **не определена.**

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап- проекту .. **Ошибка!**
Закладка не определена.

6.4 Розробка ринкової стратегії проекту **Ошибка!** **Закладка** **не определена.**

6.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту **Ошибка!**
Закладка не определена.

Висновки 100

Перелік посилань..... 101

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЗП – збірний пристрій;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ГП – газовий перемикач;

ГА – газоаналізатор;

БУОІ – блок управління і обробки інформації;

ПВІ – пристрій відображення інформації;

ПЗСС – пристрій звукової та світлової сигналізації;

СКО – середньоквадратичне відхилення;

ГК – газовий канал;

ПЗ – повітрозбірник;

ПВ – підсилювач витрати;

ЦП – цифровий пристрій;

ВП – вимірювальний перетворювач ;

ВІС – великі інтегральні мікросхеми;

ВСТУП

Людська діяльність неминуче призводить до змін атмосферного повітря. З кожним історичним періодом їх масштаби невідомо зростають, набуваючи глобального характеру. З метою обмеження шкідливих викидів у атмосферу і запровадження сучасних високоефективних методів очищення повітря необхідно здійснювати постійний моніторинг його стану.

Повітряна оболонка Землі формує атмосферу радіусом до 20 000 м. Атмосферне повітря утворене з різних газів: 78,08 % азоту, 20,95 % кисню, 0,93 % аргону, 0,03 % вуглекислого газу, 0,01 % неону, гелію, метану, радону та ін. Усі вони по своєму важливі для людини, біосфери, формування клімату.

У зв'язку з бурхливим розвитком промисловості й спалюванням великих обсягів палива темпи використання запасів кисню та накопичення вуглекислого газу в атмосфері різко збільшились. Унаслідок цього порушився кругообіг вуглецю в природі, що спричинило екологічну кризу - різке погіршення умов існування людини, зумовлене антропогенною дією на навколишнє середовище. Саме промислова діяльність, в результаті якої в повітря викидається велика кількість оксидів вуглецю, промислових газів, є основним джерелом забруднення повітря, що завдає великої шкоди природному середовищу і людям.

Забруднення атмосферного повітря - внесення в атмосферу або виникнення в ній нових, нехарактерних для неї фізичних, хімічних, біологічних речовин та перевищення природного рівня концентрацій речовин, які є складовими повітря.

Забруднення атмосфери стало глобальною проблемою, особливо гострою у промислово розвинутих країнах. Збитки, завдані людству забруд-

ненням атмосферного повітря, дуже великі й постійно зростають. Усе це актуалізує необхідність нарощування зусиль, спрямованих на охорону повітряного басейну.

Забруднення атмосферного повітря спричинене процесами і явищами, що відбуваються у природі, та промисловою побутовою діяльністю людини (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Маса забруднюючих речовин (т/рік), які викидаються в атмосферу

Речовина	Природні надходження	Антропогенні викиди
Оксид вуглецю (CO)	-	3,5-108
Діоксид сірки (CO ₃)	1,4-108	1,45-108
Оксиди азоту (NO ₃)	1,4-109	(1,5 2,0)-107
Аерозолі (тверді частинки)	(7,7 22,0)-1010	(9,6 26,0)-1010
Поліхлорвінільні речовини, фреони	-	2,0-10e
Озон (O ₃)	2,0-109	-
Вуглеводи	1,0-109	1,0-106
Свинець (Pb)	-	2,0-106

Продовження таблиці 1.1

Ртуть (He)	-	5,0-103
Діоксид вуглецю (CO ₂)	0,-1013	0,18-10
Сірководень (H ₂)	1,9-107	0,36-107

Моніторинг атмосферного повітря – це система спостережень за станом атмосфери, його забрудненням і природними явищами, які відбуваються в ньому, а також оцінка і прогноз стану атмосферного повітря (контроль, аналіз, висновки)

В даний час в багатьох містах промислово розвинених країн створюється мережа пунктів спостереження (моніторингу) за забрудненням повітря. За останнє десятиліття дана система отримала значне розширення і розвиток. Збільшилося число міст, в яких ведеться контроль за забрудненням повітря, число пунктів спостережень в них і спостережуваних інгредієнтів. Розроблені нові методи і технічні засоби вимірів, у тому числі автоматичні прилади і системи контролю.

Характерною особливістю розвитку моніторингу є і те, що організацією і вдосконаленням його у ряді країн активно зайнялися метеорологічні відомства. Це дозволило підвищити науково-технічний рівень спостережень, що проводилися, і одночасно з виміром концентрацій шкідливих речовин вивчити метеорологічні, топографічні і інші чинники, що визначають їх розподіл в атмосфері.

Моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря проводиться з метою отримання, збирання, оброблення, збереження та аналізу інформації про рівень забруднення атмосферного повітря, оцінки та прогнозування його

го змін і ступеня небезпечності та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі охорони атмосферного повітря (ст. 32 Закону України “Про охорону атмосферного повітря”). Він є складовою частиною державної системи моніторингу довкілля України.

РОЗДІЛ 1

ПРИЗНАЧЕННЯ І ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря проводиться з метою отримання, збирання, оброблення, збереження та аналізу інформації про рівень забруднення атмосферного повітря, оцінки та прогнозування його змін і ступеня небезпечності та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі охорони атмосферного повітря.

До об'єктів моніторингу атмосферного повітря належать: атмосферне повітря, у т. ч. атмосферні опади; викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря. До суб'єктів моніторингу атмосферного повітря належать: атмосферне повітря та опади, джерела промислових викидів в атмосферу, підприємства, установи, організації, діяльність яких призводить або може призвести до погіршення стану атмосферного повітря.

У результаті проведення моніторингу атмосферного повітря одержуються: первинні дані контролю за викидами та спостережень за станом забруднення; узагальнені дані про рівень забруднення на певній території за певний проміжок часу; узагальнені дані про склад та обсяги викидів забруднюючих речовин; оцінка рівнів та ступеня небезпечності забруднення для довкілля та життєдіяльності населення; оцінка складу та обсягів викидів забруднюючих речовин.

Набір речовин, забруднюючих повітря, дуже широкий, це: газоподібні неорганічні речовини (SO_2 , H_2S , NO_2 , Cl_2 , CO , SiF_4); мінеральні кислоти (HCl , HF , H_2SO_4 , HNO_3); радіонукліди (стронцій-90, цезій-137, йод-129, плутоній-240, радій-226, амеріцій-241); прості органічні речовини (альдегіди, ефіри, вуглеводні, кетони, феноли, крезолі тощо); речовини з сильним запахом (наприклад, меркаптани і аміни); поліциклічні вуглеводні (наприклад 3,4-бенз(а)пірен і 1,12-бензперілен); пилоподібні речовини і суміші речовин (сажа, летюча зола, вуглевий пил, цементний пил, збагачений оксидами металів, свинцем, миш'яком).

До числа найбільш важливих забруднюючих атмосферне повітря речовин в Україні віднесено: пил, SO₂, NO₂, CO, свинець, формальдегід, бенз(а)пірен, озон. Під час проведення моніторингу атмосферного повітря в обов'язковому порядку визначається наявність в атмосферному повітрі загальнопоширених забруднюючих речовин, показників та інгредієнтів атмосферних опадів.

Система моніторингу якості повітря призначена для:

1. спостереження і контролю рівня забруднення атмосфери;
2. виявлення джерел забруднення;
3. оцінювання ефективності заходів щодо захисту від забруднення об'єктів;
4. забезпечення зацікавлених організацій оперативною і режимною інформацією про зміну або можливість зміни рівня забруднення
5. забезпечення прогнозами про ймовірність зміни рівня забруднення довкілля;

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

2.1 Структурна схема пристрою

Одним із завдань даного дипломного проекту є розробити таку структурну схему пристрою, яку б запросто можна було б реалізувати. Плюс до цього вона має бути недорогою при виготовленні і доступною, завдяки використанню найбільш поширених елементів, а також комплектуючих, які легко можна замінити на аналогічні. На рис. 2.1 наведена структурна схема системи моніторингу якості повітря.

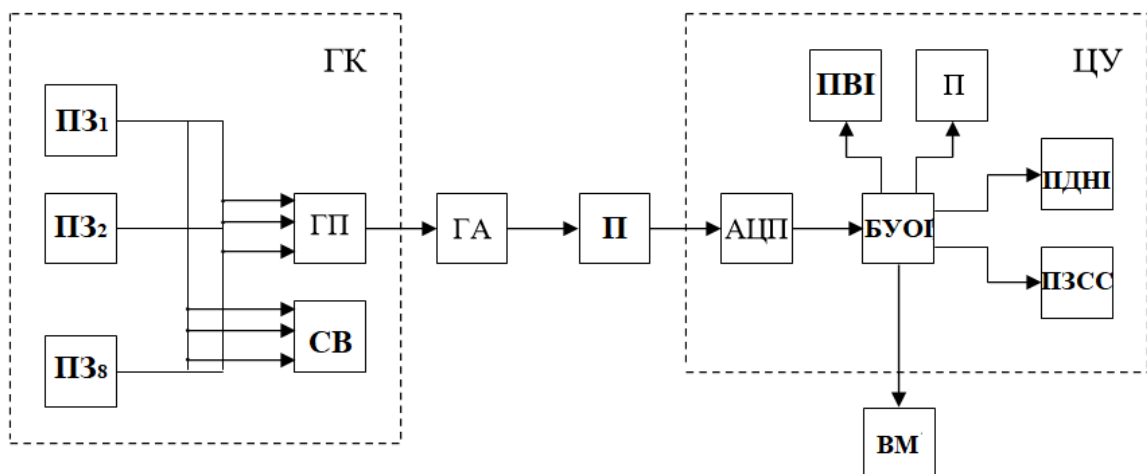


Рис. 2.1 Структурна схема системи моніторингу якості повітря

На основі технічного завдання система моніторингу якості повітря повинна проводити вимірювання таких параметрів: зміну вхідного ініфікованого сигналу струму, вихідної напруги, вимірювання об'ємних концентрацій оксиду азоту і суми оксидів азоту.

Перш за все, система повинна працювати таким чином, що проби повітря, які відбираються вісьмома збірними пристроями (ЗП), де відбувається попередній витяг домішок, мають надходити на вхід газового перемикача (ГП). Підсилювач безперервно доставлятиме проби повітря до газово-

го перемикача. Якщо цього не робити, то буде витрачатися додатковий час на доставку проби повітря при перемиканні з одного збірного пристрою на інший.

Газовий перемикач періодично (циклічно) «підводить» проби до газоаналізатора (ГА). Газоаналізатор здійснює транспортування проби, її обробку (очищення, осушення, стабілізація тиску і температури) і перетворює концентрації окису азоту або суми оксидів азоту в уніфікований електричний сигнал. Діаграма роботи аналогової частини системи приведена на рис. 2.2

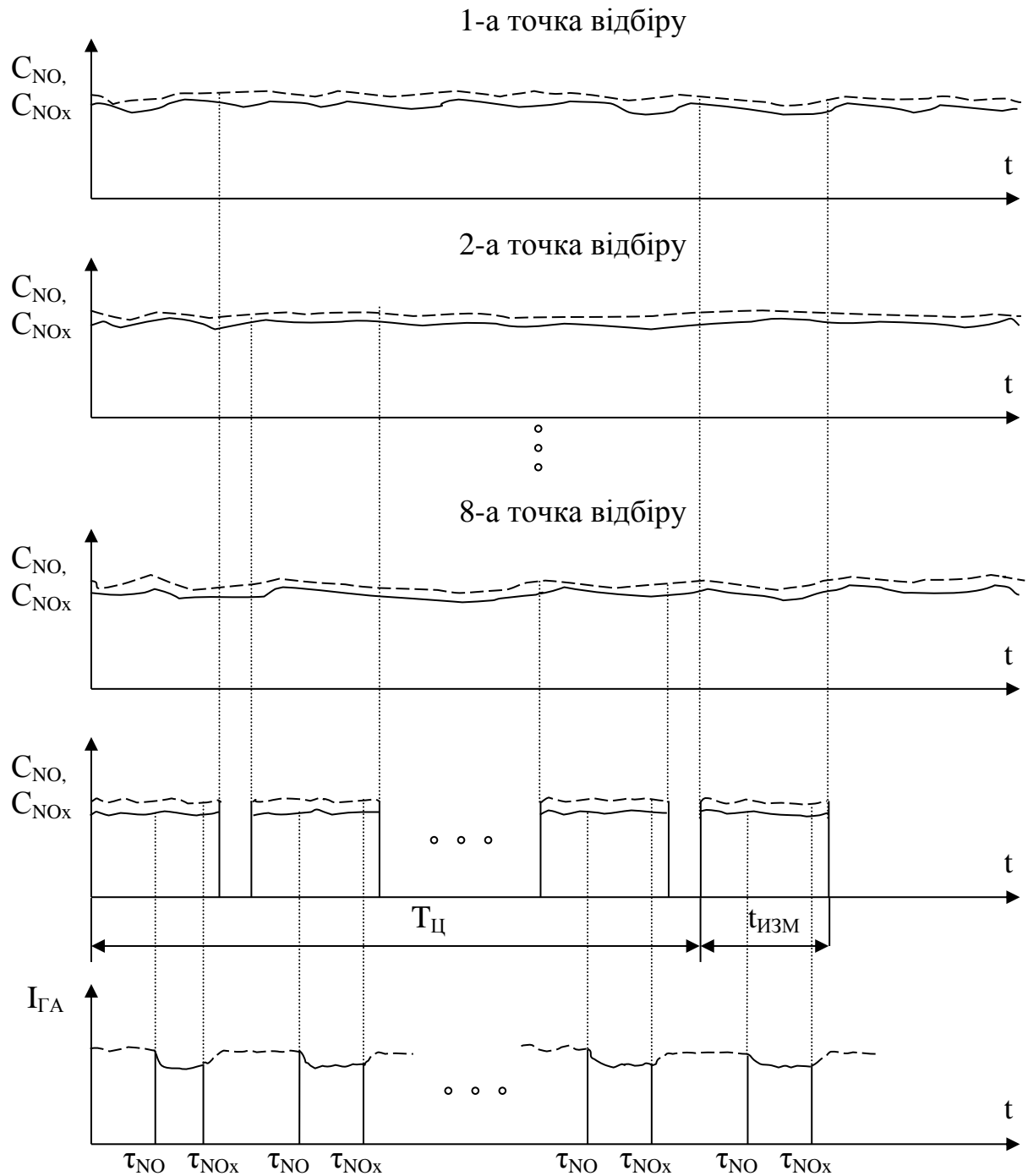


Рис. 2.2 Діаграма роботи аналогової частини системи

Позначені сигнали, відповідні концентрації NO_x , а безперервної - NO . τ_{NO} і τ_{NOx} моменти часу відповідають початку вимірювання концентрації, відповідно, NO і NO_x . $T_{Ц}$ - тривалість опитування всіх точок відбору проби (тривалість циклу вимірювання), $t_{изм}$ - тривалість опитування однієї точки вимірювання.

Електричний сигнал, пропорційний значенню концентрації, посилюється підсилювачем (П) і надходить на АЦП, де перетворюється в цифровий код. Діаграма роботи цифрової частини системи приведена на рис. 2.3

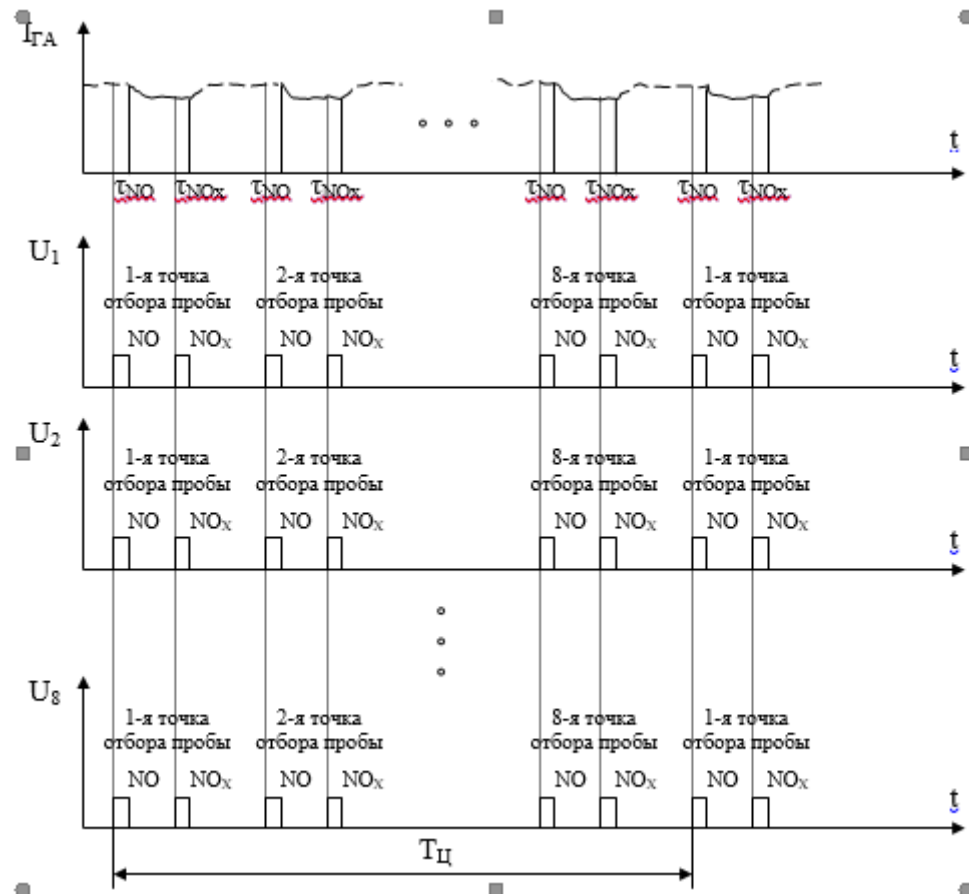


Рис. 2.3 Діаграма роботи цифрової частини системи

Код, пропорційний значенню концентрації, надходить в блок управління і обробки інформації (БУОІ). БУОІ для візуального контролю виводить значення концентрації на пристрій відображення інформації (ПВІ) і порівнює отримане значення з допустимим і в разі його перевищення видає керуючі сигнали на включення пристрою звукової та світлової сигналізації (ПЗСС) і виконавчого механізму (вентиляції). БУОІ також записує значення концентрації в пам'яті (П) для накопичення результатів вимірювання і

визначення дози концентрації. Пристрій введення інформації забезпечує функції ручного введення даних в систему.

Згідно ТЗ, основна наведена похибка вимірювання і концентрації оксиду азоту (NO) не повинна перевищувати 6 %

Газоаналізатор є стандартним пристроєм, похибка $\gamma_{\text{ГА}}$ якого при вимірювання концентрації NO не перевищує 5 %. Тоді похибка $\gamma_{\text{ОСТ}}$, що вноситься іншими блоками, дорівнюватиме

$$\gamma_{\text{ОСТ}} = \gamma_{\text{ИЗМ}} - \gamma_{\text{ГА}} = 6 - 5 = 1 \%.$$

Допустим, що похибка усіх блоків, крім газоаналізатора, однаково впливають на загальну похибку $\gamma_{\text{ОСТ}}$, тоді

$$\gamma_{\text{ГК}} = \gamma_{\text{У}} = \gamma_{\text{АЦП}} = \frac{\gamma_{\text{ОСТ}}}{3} = \frac{1}{3} \approx 0,33 \%.$$

Проаналізуєм джерела похибок по блокам (таблиця 2.1)

Таблиця 2.1

Джерела похибок по блокам

Блок	Джерела похибки	Позначення	Характер похибки	Закон розподілу
Газовий канал	Розчинення оксидів азоту у воді, що залишилась на стенках	$\gamma_{\text{ГК}}$	випадкова	рівномірний
Газоаналізатор	-	$\gamma_{\text{ГА}}$	випадкова	нормальний
Підсилювач	1 Нестабільність коефіцієнта підсилювача ОП	$\gamma_{\text{КУ}}$	випадкова	нормальний
	2 Неточність резистора	$\gamma_{\text{НР}}$	випадкова	нормальний
	3 Дрейф ОП	$\gamma_{\text{Д}}$	випадкова	нормальний
Аналого-цифровий	1 Квантування	$\gamma_{\text{КВ}}$	випадкова	рівномірний

перетворювач	2 Диференційна нелінійність	$\gamma_{\text{дн}}$	випадкова	рівномірний
	3 Дрейф АЦП	$\gamma_{\text{др}}$	випадкова	рівномірний

Визначимо значення складових похибки з урахуванням даних про закон розподілу і характер похибки (табл. 2.1).

Всі складові сумарної похибки є випадковими, а отже можна визначити математичне очікування і середньоквадратичне відхилення (СКО) цих похибок.

1) Похибка газового каналу $\gamma_{\text{ГК}}$ має симетричний нормальний закон розподілу, тоді її математичне очікування і СКО дорівнює:

$$M[\gamma_{\text{ГК}}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{\text{ГК}}] = \frac{\gamma_{\text{ГК}}}{3} = \frac{0,33}{3} \approx 0,1 \, \%.$$

2) Похибка газоаналізатора $\gamma_{\text{ГА}}$ має симетричний нормальний закон розподілу, тоді її математичне очікування і СКО дорівнює:

$$M[\gamma_{\text{ГА}}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{\text{ГА}}] = \frac{\gamma_{\text{ГА}}}{3} = \frac{5}{3} \approx 1,7 \, \%.$$

3) Похибка підсилювача $\gamma_{\text{У}}$ складається із трьох складових: $\gamma_{\text{КУ}}$, $\gamma_{\text{НР}}$, $\gamma_{\text{Д}}$. Допустимо, що вони рівномірно впливають на похибку $\gamma_{\text{У}}$, тоді

$$\gamma_{\text{КУ}} = \gamma_{\text{НР}} = \gamma_{\text{Д}} = \gamma_{\text{Уі}} = \frac{\gamma_{\text{У}}}{3} = \frac{0,33}{3} \approx 0,1 \, \%,$$

$$\sigma[\gamma_{\text{КУ}}] = \sigma[\gamma_{\text{НР}}] = \sigma[\gamma_{\text{Д}}] = \sigma[\gamma_{\text{Уі}}] = \frac{\gamma_{\text{Уі}}}{3} = \frac{0,1}{3} \approx 0,03 \, \%.$$

4) Похибка АЦП $\gamma_{\text{АЦП}}$ складається із трьох складових: $\gamma_{\text{КВ}}$, $\gamma_{\text{дн}}$, $\gamma_{\text{др}}$. Допустимо, що вони однаково впливають на похибку $\gamma_{\text{У}}$, тоді

$$\gamma_{\text{КВ}} = \gamma_{\text{дн}} = \gamma_{\text{др}} = \gamma_{\text{АЦПі}} = \frac{\gamma_{\text{АЦП}}}{3} = \frac{0,33}{3} \approx 0,1 \, \%,$$

$$\sigma[\gamma_{\text{КВ}}] = \sigma[\gamma_{\text{дн}}] = \sigma[\gamma_{\text{др}}] = \sigma[\gamma_{\text{АЦПі}}] = \frac{\gamma_{\text{АЦПі}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} \approx 0,06 \, \%.$$

При вимірюванні концентрації суми оксидів азоту (NO_x) основна наведена похибка, згідно ТЗ, не повинна перевищувати 10 %.

Похибка газоаналізатора $\gamma_{\text{ГА}}$ при вимірюванні концентрації NO_x дорівнює 7 %, тоді похибка $\gamma_{\text{ОСТ}}$, що вноситься іншими блоками, дорівнює

$$\gamma_{\text{ОСТ}} = \gamma_{\text{П}} - \gamma_{\text{ГА}} = 10 - 7 = 3 \, \%.$$

Допустимо, що похибки блоків, крім газоаналізатора, рів номірно впливають на загальну похибку $\gamma_{\text{ОСТ}}$, тоді

$$\gamma_{\text{ГК}} = \gamma_{\text{У}} = \gamma_{\text{АЦП}} = \frac{\gamma_{\text{ОСТ}}}{3} = \frac{3}{3} = 1 \, \%.$$

Визначимо значення складових похибки з урахуванням даних о законі розподілу і характеру похибки (табл. 2.1).

Всі складові сумарної похибки є випадковими, а отже можна визначити математичне очікування і середньоквадратичне відхилення (СКО) цих похибок.

1) Похибка газового каналу $\gamma_{\text{ГК}}$ має симетричний нормальний закон розподілу, тоді її математичне сподівання і СКО дорівнює

$$M[\gamma_{\text{ГК}}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{\text{ГК}}] = \frac{\gamma_{\text{ГК}}}{3} = \frac{1}{3} \approx 0,33 \, \%.$$

2) Похибка газоаналізатора $\gamma_{\text{ГА}}$ має симетричний нормальний закон розподілу, тоді її математичне сподівання і СКО дорівнює

$$M[\gamma_{\text{ГА}}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{\text{ГА}}] = \frac{\gamma_{\text{ГА}}}{3} = \frac{7}{3} \approx 2,3 \, \%.$$

3) Похибка підсилювача $\gamma_{\text{У}}$ складається із трьох складових: $\gamma_{\text{КУ}}$, $\gamma_{\text{НР}}$, $\gamma_{\text{Д}}$. Допустимо, що вони однаково впливають на похибку $\gamma_{\text{КУ}}$, тоді

$$\gamma_{\text{КУ}} = \gamma_{\text{НР}} = \gamma_{\text{Д}} = \gamma_{\text{Уі}} = \frac{\gamma_{\text{У}}}{3} = \frac{1}{3} \approx 0,33 \, \%,$$

$$\sigma[\gamma_{\text{КУ}}] = \sigma[\gamma_{\text{НР}}] = \sigma[\gamma_{\text{Д}}] = \sigma[\gamma_{\text{Уі}}] = \frac{\gamma_{\text{Уі}}}{3} = \frac{0,33}{3} \approx 0,1 \, \%.$$

4) Похибка АЦП $\gamma_{\text{АЦП}}$ складається із трьох складових: $\gamma_{\text{КВ}}$, $\gamma_{\text{ДН}}$, $\gamma_{\text{ДР}}$. Допустимо, що вони однаково впливають на похибку γ_y , тоді

$$\gamma_{\text{КВ}} = \gamma_{\text{ДН}} = \gamma_{\text{ДР}} = \gamma_{\text{АЦПі}} = \frac{\gamma_{\text{АЦП}}}{3} = \frac{1}{3} \approx 0,33 \%,$$

$$\sigma[\gamma_{\text{КВ}}] = \sigma[\gamma_{\text{ДН}}] = \sigma[\gamma_{\text{ДР}}] = \sigma[\gamma_{\text{АЦПі}}] = \frac{\gamma_{\text{АЦПі}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,33}{\sqrt{3}} \approx 0,2 \%.$$

На основі аналізу наведеного в даному підрозділі можна висунути вимоги до блоків.

1) Газовий канал (ГК)

Газовий канал призначений для відбору, обробки та транспортування проби повітря. Наведена похибка газового каналу при вимірюванні концентрації NO не повинна перевищувати 0,33 %, а при вимірюванні концентрації NO_x – 1%.

Газовий канал складається з наступних блоків:

- повітрозабірник;
- підсилювач витрати;
- газовий перемикач.

а) Повітрозабірник (ПЗ)

Повітрозабірник призначений для відбору і обробки проби повітря. Повітрозабірник повинен містити фільтр для вилучення з проби повітря механічних домішок.

Повітрозабірник повинен відповідати наступним вимогам:

- концентрація механічних частинок на вході не менше 10 г/м³;
- концентрація механічних частинок на виході не більше 5 мг/м³;
- розміри механічних частинок на вході не менше 10 мкм;
- тиск на вході не менше 250 кПа;
- умовний прохід 4 мм;
- діапазон робочих температур від 10 до 60 °С;
- відносна вологість повітря від 45 до 80%;

- стійкість матеріалів повітрязабірника до впливу аналізованого повітря;

- робоче положення - вертикальне.

б) Підсилювач витрати (ПВ)

Підсилювач витрати призначений для забезпечення транспортування проби повітря і повинен відповідати наступним вимогам:

- концентрація механічних частинок на вході не більше 5 мг/м³;

- розміри механічних частинок не менше 10 мкм;

- умовний прохід 4 мм;

- продуктивність при перепаді тиску 250кПа не менше 60л/хв;

- стійкість матеріалів спонукача витрати до впливу аналізованого повітря;

- діапазон робочих температур від 10 до 45 ° С;

- відносна вологість повітря від 45 до 80%;

- робоче положення - будь-яке.

в) Газовий перемикач (ГП)

Газовий перемикач призначений для періодичного (циклічного) підключення точок відбору проби до газоаналізатора і повинен відповідати наступним вимогам:

- число точок комутації 8;

- час перемикання 60 с;

- концентрація механічних частинок на вході не більше 5 мг/м³;

- розміри механічних частинок не менше 10 мкм;

- тиск на вході не менше 250 кПа;

- умовний прохід 4 мм;

- стійкість матеріалів газового перемикача до впливу аналізованого повітря;

- діапазон робочих температур від 10 до 45 ° С;

- відносна вологість повітря від 45 до 80%;

- робоче положення - будь-яке.

2) Газоаналізатор (ГА)

Газоаналізатор призначений для перетворення концентрації окису азоту та суми оксидів азоту в уніфікований сигнал.

Газоаналізатор повинен відповідати наступним вимогам:

- діапазон виміру концентрації окису азоту від 0 до 2100 ppm;
- діапазон виміру концентрації суми оксидів азоту від 0 до 2500 ppm;
- приведена похибка вимірювання окису азоту не більше 5%;
- приведена похибка вимірювання суми оксидів азоту не більше 7%;
- час встановлення показань вихідного сигналу не більше 50 с;
- діапазон зміни вихідний уніфікованого струмового сигналу від 0 до 5 мА;
- концентрація механічних частинок на вході не більше 5 мг / м³;
- умовний прохід 4 мм;
- стійкість матеріалів газоаналізатора до впливу аналізованого повітря;
- діапазон робочих температур від 10 до 45 ° С;
- відносна вологість повітря від 45 до 80%.

3) Підсилювач (П)

Підсилювач призначений для посилення і перетворення уніфікованого струмового сигналу в напругу і повинен відповідати наступним вимогам:

- діапазон зміни вхідного уніфікованого сигналу від 0 до 5 мА;
- діапазон зміни вихідний напруги від 0 до 10 В;

- приведена похибка при вимірюванні концентрації NO не більше 0,33%;
- приведена похибка при вимірюванні концентрації NO_x не більше 1%;
- діапазон робочих температур від 10 до 45 ° C.

4) Аналого-цифровий перетворювач (АЦП)

Аналого-цифровий перетворювач призначений для перетворення аналогового сигналу (напруги) в цифровий сигнал (код) і повинен відповідати наступним вимогам:

- діапазон зміни вхідного напруги від 0 до 10 В;
- вид вихідного коду двійковий;
- число розрядів 8;
- приведена похибка при вимірюванні концентрації NO не більше 0,33%;
- приведена похибка при вимірюванні концентрації NO_x не більше 1%;
- час перетворення не більше 10 мкс;
- вихідний сигнал ТТЛ-рівня;
- управління від мікропроцесорної системи;
- внутрішній опорний генератор;
- діапазон робочих температур від 10 до 45 ° C

5) Цифровий пристрій (ЦП)

Цифровий пристрій призначений для управління блоками системи; прийому, обробки та зберігання даних про значення концентрації; введення команд управління і відображення результату вимірювання; генерації тривожних звукових і світлових сигналів; формування керуючих сигналів для виконавчого механізму.

Цифровий пристрій складається з наступних блоків:

- блок управління і обробки інформації;
- пристрій введення інформації;
- пам'ять;

- пристрій відображення інформації;
- пристрій звукової і світлової сигналізації.

а) Блок управління і обробки інформації (БУОІ)

БУОІ призначений для управління блоками системи, а також виконання функцій математичної обробки інформації. БУОІ повинен бути реалізований на базі мікропроцесорного комплексу.

Вимоги, що пред'являються до блоку управління і обробки інформації:

- тактова частота не менше 1 МГц;
- сигнали ТТЛ-рівня;
- обсяг пам'яті не менше 5 Кбайт;
- число адресованих пристроїв введення / виводу не менше 5;
- діапазон робочих температур від 10 до 45 ° С.

б) Пристрій введення інформації (ПВІ)

Пристрій введення інформації має забезпечувати функції ручного введення даних в систему.

в) Пам'ять (П)

Пам'ять призначена для накопичення вимірювальної інформації і зберігання алгоритмів роботи системи і повинна відповідати наступним вимогам:

- ємність не менше 5 Кбайт;
- розрядність осередків 8 біт;
- час доступу при записі / читанні не більше 1 мкс.
- діапазон робочих температур від 10 до 45 ° С.

г) Пристрій відображення інформації (ПВІ)

Пристрій відображення інформації призначене для візуального контролю оператором вимірюваної і вводиться вручну інформації.

Уоі має відповідати наступним вимогам:

- вид відображаються чисел десятковий;
- кількість виведених розрядів 4.
- діапазон робочих температур від 10 до 45 ° С.

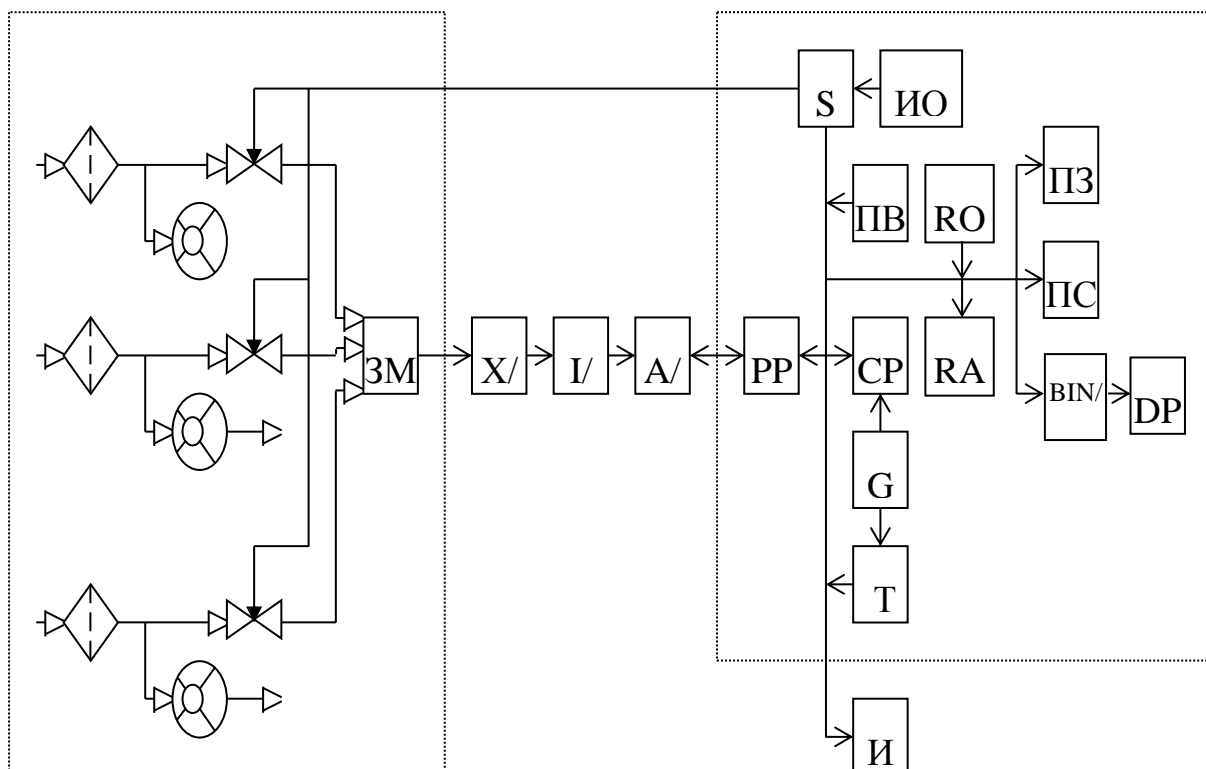
д) Пристрій звукової та світлової сигналізації (ПЗСС)

Пристрій звукової і світлової сигналізації призначений для генерації тривожних звукових і світлових сигналів і має відповідати наступним вимогам:

- гучність звукового сигналу не менше 100 дБ;
- час безперервної роботи не менше 240 хв;
- колір світлового сигналу червоний;
- діапазон робочих температур від 10 до 60 ° С;
- відносна вологість повітря від 45 до 80%;
- робоче положення будь-яке.

2.2 Опис функціональної схеми

Функціональна схема, алгоритм і діаграма роботи системи наведені,



відповідно, на рисунках 2.4, 2.5 і 2.6.

Рис. 2.4 Функціональна схема системи моніторингу якості повітря

Нехай у вихідному стані газовий перемикач з'єднує газоаналізатор з першою точкою відбору проби повітря, газоаналізатор вимірює концентрацію окису азоту (NO). По закінченню 50 с, коли на виході газоаналізатора встановився сигнал, відповідний значенням концентрації NO, блок управління і обробки інформації (БУОІ) подає на вхід АЦП DR сигнал низького рівня, що дозволяє йому перетворити посилений і перетворений підсилювачем (П) сигнал газоаналізатора в двійковий код. Через час, необхідний для перетворення на виході АЦП В / С, з'являється сигнал з рівнем логічної одиниці, який запитує дані з АЦП на шину даних мікропроцесорної системи. Приймавши дані, мікроконтролер встановлює на вході DR АЦП рівень логічної одиниці, який "гасить" інформацію, що міститься у вихідному регістрі АЦП. Отримавши, значення концентрації у вигляді коду, CPU записує кодове число в оперативну пам'ять (RAM) і посиляє його для візуального контролю значення концентрації через дешифратор семисегментного коду на індикатор.

Через 60 с, після початку вимірювання NO, мікроконтролер подає сигнал SD на вимір газоаналізатором концентрації NO_x. Робота системи відбувається за такою ж схемою, як і при вимірюванні NO.

Після закінчення вимірювання концентрації проби повітря відібраної в першій точці, CPU посиляє сигнал SC на відключення першого і включення другого клапана для під'єднання газоаналізатора до другої точки відбору проби. Так як сигнали мікропроцесорної системи не мають достатньо високий потенціал, щоб переключити клапан, то сигнал SC управляють ключем, через який на клапан подається напруга з достатньою потужністю. Процес вимірювання відбувається, також як при відборі проби з першої точки.

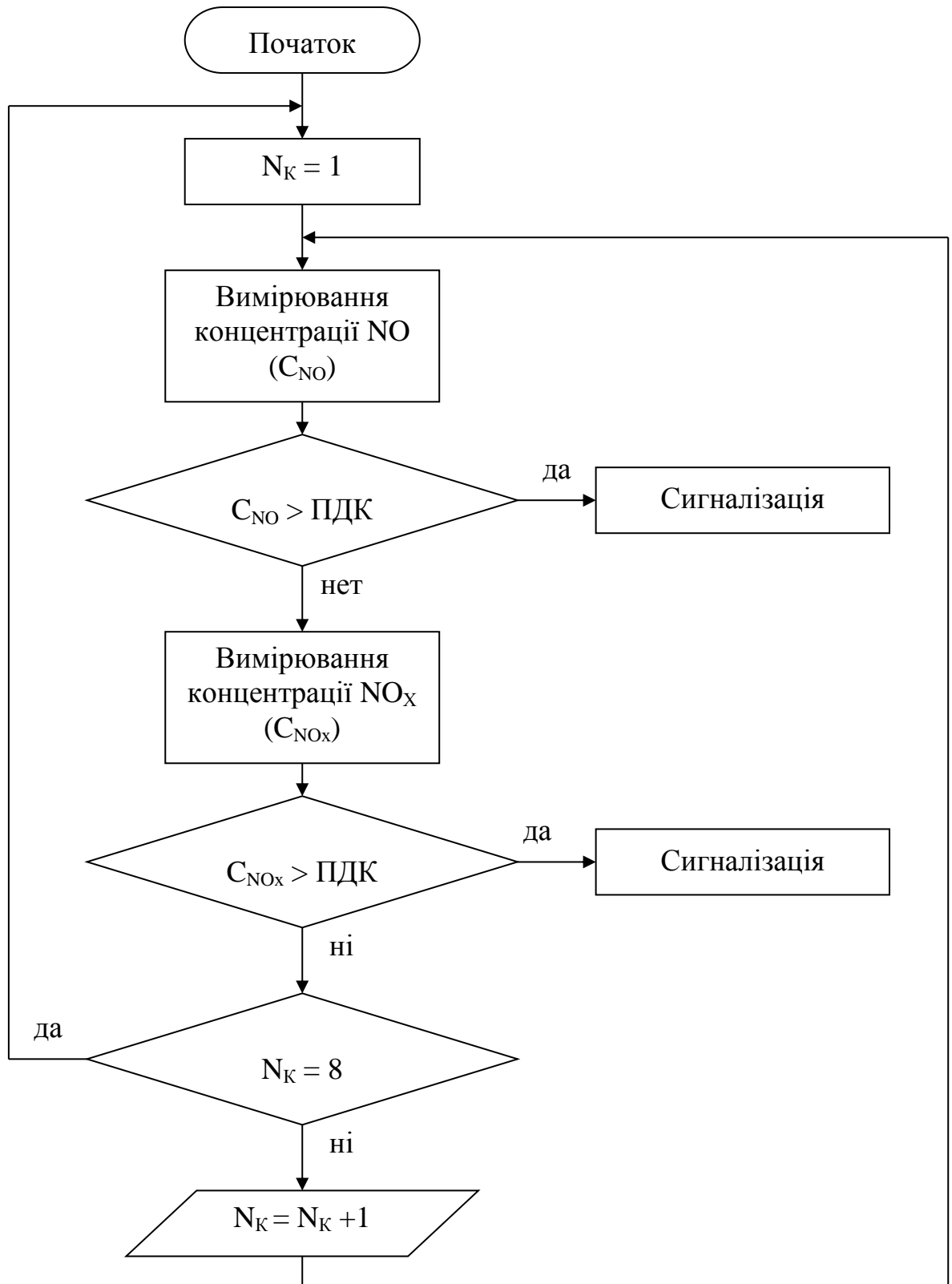


Рис. 2.5 Алгоритм роботи системи

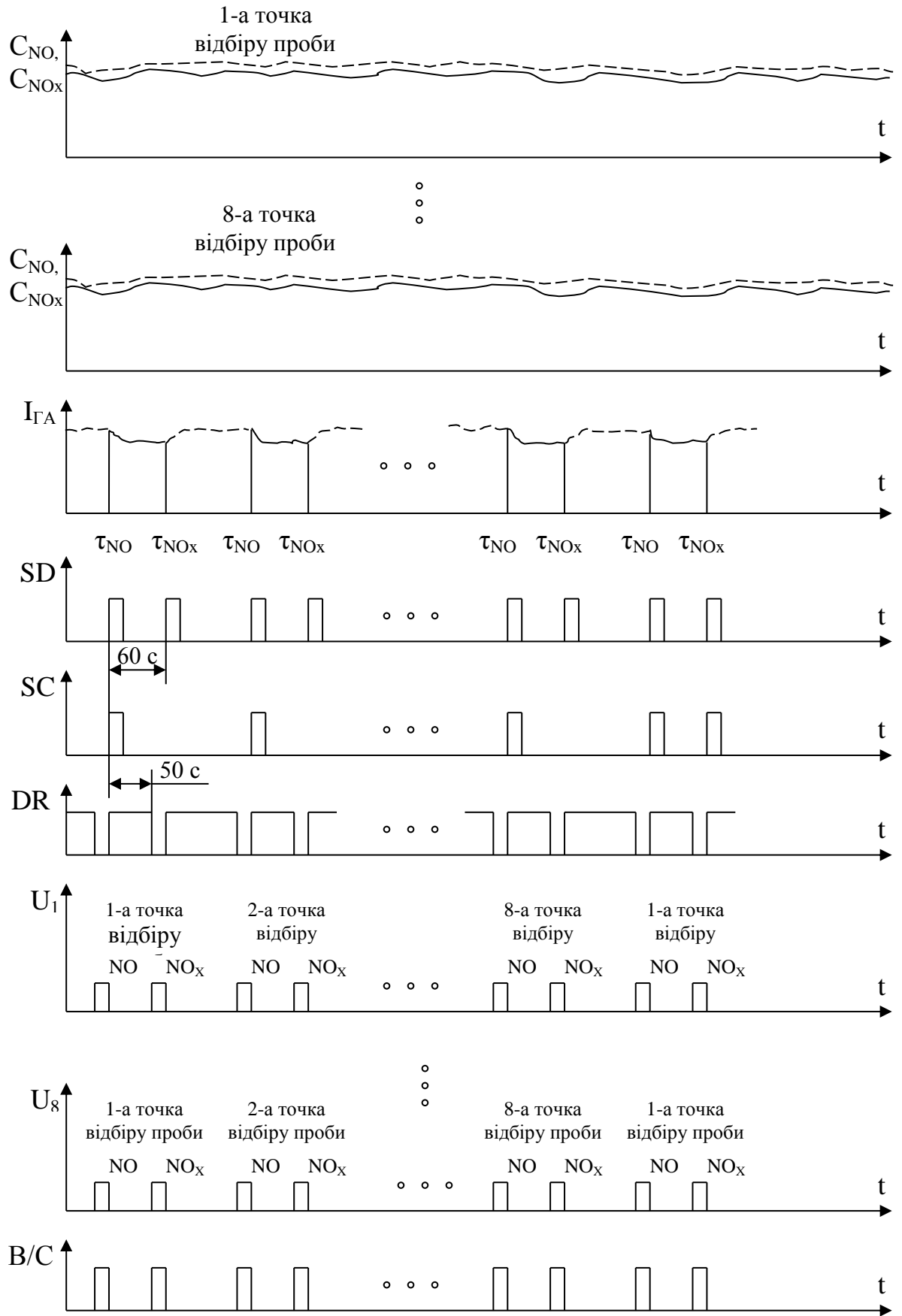


Рис. 2.6 Часова діаграма роботи систем

Вимірювання концентрації в восьми точках відбувається циклічно, тобто після вимірювання концентрації в першій точці вимірюється концентрація в 2-й, 3-й, ..., 7-й, 8-й точках, а потім знову в 1-й, 2-й і т.д. Паралельно CPU розраховує середні значення концентрації (دوزи) NO і NO_x проб повітря в кожній з восьми точках і записує їх в оперативну пам'ять, одночасно стираючи з пам'яті застарілі дані. Оператор за допомогою пристрою введення інформації (ПВІ) може надіслати запит на визначення дози NO або / і NO_x в будь-якій точці або в середньому по всіх точках за період часу від 1 ч (за минулу добу) до 1 року (за минулий рік).

Для визначення дози окису азоту (NO) і суми оксидів азоту (NO_x) числові значення концентрації повинні накопичуватися в плинні часу за яке необхідно визначити дозу. Оператор повинен мати можливість визначити дозу в будь-якій точці відбору за 1 год, 2 год, 4 ч, 8 ч (зміну), тиждень, місяць, квартал, півроку і за минулий рік. Для зберігання результатів вимірювання протягом року знадобився б великий обсяг пам'яті, тому запам'ятовуються результати вимірювань тільки за минулу добу, середнє значення в кожній точці за зміну протягом останнього місяця і середнє значення за місяць протягом останнього року. Визначимо, який знадобиться обсяг оперативної пам'яті.

Кожну хвилину відбувається вимір концентрації NO або NO_x по одному з каналів. Кількість записів, яку концентрації, що вимірюються в перебігу зміни по всім каналам, має бути заповнено, визначимо з формули

$$N_{\text{CM}} = \frac{t_{\text{CM}}}{t_{\text{ИЗМ}}},$$

де t_{CM} – тривалість зміни, хв;

$t_{\text{ИЗМ}}$ – тривалість вимірювання одного значення концентрації, хв.

Тривалість одної зміни 8 годин або 480 хвилин. Тривалість одного вимірювання 1 хв. Підставивши відповідні значення, отримаємо

$$N_{CM} = \frac{t_{CM}}{t_{ИЗМ}} = \frac{480}{1} = 480.$$

За день необхідно заповнити в три рази більше значень $N_{СУТ} = 1440$.

Плюс необхідно заповнити середнє значення концентрації NO і NO_x в кожній із вісьми точках відбору проби за зміну протягом останнього місяця для трьох змін

$$D_{CM} = M_{ПАР} \cdot M_{Т.О.} \cdot M_{CM} \cdot M_{СУТ},$$

де $M_{ПАР}$ – кількість вимірювальних параметрів, $M_{ПАР} = 2$;

$M_{Т.О.}$ – кількість точок відбору проби, $M_{Т.О.} = 8$;

M_{CM} – кількість змін протягом дня, $M_{CM} = 3$;

$M_{СУТ}$ – кількість днів в місяці, $M_{СУТ} = 31$.

Підставивши відповідні значення в формулу, отримаємо

$$D_{CM} = M_{ПАР} \cdot M_{Т.О.} \cdot M_{CM} \cdot M_{СУТ} = 2 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 31 = 1488.$$

Плюс необхідно зберегти середнє значення концентрації NO і NO_x в кожній з восьми точках відбору проби за місяць протягом останнього року для трьох змін

$$D_{MEC} = M_{ПАР} \cdot M_{Т.О.} \cdot M_{CM} \cdot M_{MEC},$$

де M_{MEC} – кількість місяців в році, $M_{MEC} = 12$.

Підставивши відповідні значення, отримаємо

$$D_{MEC} = M_{ПАР} \cdot M_{Т.О.} \cdot M_{CM} \cdot M_{MEC} = 2 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 12 = 576.$$

Тоді необхідний об'єм оперативної пам'яті розраховується їх сумою

$$N_{ОП} = N_{CM} + D_{CM} + D_{MEC}.$$

Підставивши відповідні значення, отримаємо

$$N_{ОП} = N_{CM} + D_{CM} + D_{MEC} = 1440 + 1488 + 576 = 3504.$$

Якщо врахувати, що кожне значення займає один байт пам'яті, то для збереження всього розрахованого об'єму даних знадобиться 3504 байта оперативної пам'яті.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ

Однією з основних частин системи є вимірювальний перетворювач (ВП), який зумовлює структуру системи в цілому.

В основу побудови ВП покладено використання різних фізико-хімічних властивостей газів, їх бінарних, псевдобінарних і багатокомпонентних сумішей.

Фізичні характеристики у вимірювальних перетворювачах використовуються для перетворення концентрації газу в інформаційний сигнал, підрозділяють на інтегральні (теплопровідність, швидкість поширення акустичних хвиль і ін.) І спектральні (оптичні, мас-, γ -спектри і т.д.)

Розглянувши найбільш важливі ВП, які забезпечують найвищі метрологічні і динамічні характеристики, на базі яких створимо систему для вимірювання концентрації оксидів азоту.

3.1 Вимірювальні перетворювачі, що основані на використанні теплопровідної суміші

У термокондуктометричних ВП у якості параметра перетворення використовується теплопровідність газів і їх сумішей. Теплопровідність газів λ в широких межах практично не залежить від тиску і має позитивний температурний коефіцієнт A . З достатньою для практики точністю теплопровідність газів при різних температурах може бути визначена рівнянням

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + A\theta), \quad (3.1)$$

де λ_t , λ_0 – теплопроводність при температурі t і t_0 ($\theta = t - t_0$).

Теплопровідність газових сумішей з достатньою для практики точністю (у вузьких діапазонах вимірювань, з малим дипольним моментом) виконується за законом адитивності, тобто

$$\lambda_{\text{см}} = C_1 \cdot \lambda_1 + C_2 \cdot \lambda_2 + \dots + C_n \cdot \lambda_n = \sum_{i=1}^n C_i \cdot \lambda_i, \quad (3.2)$$

де $\lambda_{\text{см}}$ – теплопровідність газових компонентів в частках одиниці;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – теплопровідність компонентів;

C_1, C_2, \dots, C_n – концентрація газових компонентів в частках одиниці.

Чутливими елементами (ЧЕ) розглянутих у вимірювальних перетворювачах є термозалежні платинові і напівпровідникові опори. Напівпровідникові опори мають більш високі температурні коефіцієнти і забезпечують підвищену чутливість, проте вони відрізняються обмеженою стабільністю і інерційні.

3.2 Дросельні пневматичні (газодинамічні) перетворювачі

Дросельний метод газового аналізу заснований на залежності інтенсивності проходження аналізованої суміші від її складу. При стабільності конструктивних параметрів дроселя і перепаді на ньому тиску, витрати газової суміші визначаються значеннями таких її фізичних величин, як в'язкість, щільність і показник адіабати, які функціонально залежні зі складом.

Залежно від природи газодинамічного опору дросельні елементи таких ВП поділяються на ламінарні і турбулентні. До ламінарним відносяться дроселі циліндричної форми з більшим значенням відношення довжини до діаметру, що забезпечує ламінарний потік газу. Основний вплив на ефект дроселювання в цих дроселях надають втрати, що зумовлені тертям газу під час його потоку по каналу. До турбулентним відносяться дроселі циліндричної форми з малим значенням відношення довжини до діаметру, потік газу в яких є турбулентним, і ефект дроселювання обумовлюється головним чином значеннями опору на вході і втратами на виході. У цих елементах сили тертя газу об стінки каналу при перебігу його по каналу не впливають на ефект дроселювання.

Аналіз показує, що опір ламінарного дроселя визначається в'язкістю, а турбулентність - щільністю і показником адіабати аналізованого газу або суміші. Отже, склад суміші яка протікає через дросель, можна визначити вимірюванням його газодинамічного опору. На жаль, дросельні перетворювачі мають обмежену селективність, тому для зменшення впливу неінформативних параметрів і підвищення чутливості застосовують декілька дроселів, включених в різні вимірювальні схеми.

3.3 Спектрометричні перетворювачі

Спектрометричні перетворювачі відносяться до великої групи іонізаційних перетворювачів, в яких з метою аналізу газових компонентів створюється спектр всіх позитивно заряджених іонів досліджуваної суміші.

В основі роботи спектрометричних перетворювачів і мас-спектрометра лежить введення з системи запуску аналізованого газу в джерело іонів, де відбувається його іонізація, поділ іонів на складові в мас-аналізаторі, вимірювання і реєстрація спектру розділених іонів з визначеним масовим числом (відношення маси до заряду) і амплітудних значень всіх компонентів іонних струмів. Інформація про номер масового числа також вводиться в систему реєстрації та обробки інформації. Значення іонного струму служить мірою концентрації відповідних компонентів в аналізуючій суміші.

Чутливість, необхідна для мас-аналізатора, визначається рядом факторів і насамперед конструкцією джерела іонів, а також параметрами напруги живлення підсилювача струму ПС і пристрою обробки інформації.

Роздільна здатність спектрометричних перетворювачів залежить від його складності і вартості. Висока роздільна здатність необхідна для прямого визначення CO , N_2 , C_2H_4 , що мають майже однакову полярну масу.

3.4 Емісійні перетворювачі

До емісійних перетворювачів відноситься група давачів, що використовують не поглинання, а емісію випромінювання визначеного компонента

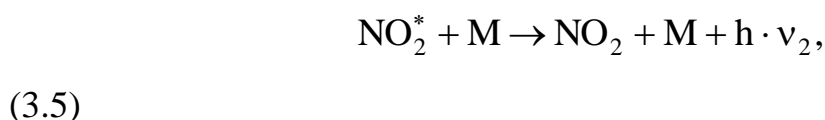
газу. Найбільшого поширення отримав метод молекулярної емісії, який полягає в тому, що досліджувані молекули (азоту, окису азоту, сполук сірки та ін.) призводять в стан оптичного збудження, а потім реєструють інтенсивність люмінесценції, що виникає при поверненні їх в нормальний (рівноважний) стан.

Для визначення концентрації оксидів азоту можна застосувати два види люмінесценції: хемілюмінесценція (збудження молекул відбувається в процесі хімічної реакції); флуоресценція (оптично збуджувана люмінесценція).

3.4.1 Хемілюмінесцентні вимірювальні перетворювачі

Принцип роботи ХВП заснований на детектуванні світіння хемілюмінесцентної реакції, що виникає між окисом азоту і озоном при визначених умовах.

Хемілюмінесцентна реакція відбувається у дві стадії: збудження і люмінесценція (світіння). Стадія збудження полягає у створенні частинок з великою енергією



де NO_2^* – збудження молекул двоокису азоту;

h – стала Планка;

ν_1, ν_2 – частота випромінювання;

M – молекули інших газів (наприклад, N_2 , O_2 , CO_2 та ін.).

Встановлено, що близько 10% утворених молекул двоокису азоту переходять в збуджений стан. Перехід в основний стан супроводжується висвічуванням, спектр якого знаходиться у видимій і близькій ІК областях (0,6 - 2,9 мкм).

Інтенсивність світіння пропорційна концентрації NO і залежить від температури за законом

$$I_t = I_0 e^{\frac{A}{RT}},$$

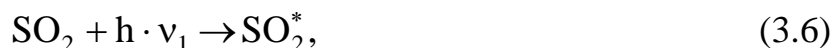
де I_t , I_0 – інтенсивність світіння при заданній і номінальній температурах;

A – температурний коефіцієнт.

При тиску в реакційній камері ВП, значення якого близькі до атмосферного, реакція протікає по рівнянню (3.5) з довжиною хвилі 3,4 - 3,8 мкм, що обумовлює значні похибки вимірювання від невимірювального компоненту М. Усунення цього явища досягається зниженням тиску до 10 - 20 кПа і нижче, при якому реакція протікає по типу рівняння (3.4).

3.4.2 Флуоресцентні вимірювальні перетворювачі

Дія флуоресцентних ВП заснована на вимірюванні інтенсивності випромінювання збуджених ультрафіолетовими променями молекул двоокису сірки при переході їх в нормальний стан



(3.7)

В якості джерела збудження використовують цинкові або кадмієві ультрафіолетові лампи з довжиною хвилі випромінювання λ_1 відповідно 213,8 і 228,8 нм. Спектральна область флуоресценції знаходиться в інтервалі 240 - 420 нм. Лінійність функції перетворення ФВП знаходиться в більш широкому динамічному діапазоні при використанні кадмієвої лампи. Однак в цьому випадку спостерігається істотна залежність вихідного сигналу перетворювача від вологості аналізованого газу.

Підвищення селективності досягається застосуванням складної системи оптичних (рідинних) фільтрів, що виключають вплив на значення вихідного сигналу невимірювальних компонентів.

За допомогою ФВП можна визначати концентрацію NO_2 і CO в газових сумішах.

3.5 Напівпровідникові вимірювальні перетворювачі

Такі перетворювачі працюють наступним чином. При переміщенні напівпровідникового елемента в газове середовище, на його поверхні в результаті наявності вільної поверхневої енергії частинок на межі розділу середовища збираються (адсорбуються) молекули визначених компонентів. Експериментально встановлено, що поглинання газу збільшується зі зростанням тиску. В цей же час, процес адсорбції носить ізотермічний і оборотний характер.

Явище адсорбції молекул газів призводить до зміни поверхневої провідності напівпровідника, а значить і його електричного опору. ЧЕ цих перетворювачів виготовляють з напівпровідників (германій та ін.) й різних оксидів металів Al_2O_3 , ZnO , SnO , TiO_2 і ін.

Проаналізуємо переваги і недоліки, перерахованих ВП.

Таблиця 3.1

Переваги і недоліки перерахованих ВП

Назва ВП	Переваги	Недоліки
Термокон- думетричні ВП	<ul style="list-style-type: none"> - простота конструкцій і вимірювальних схем - висока чутливість - широкий діапазон вимірювання - висока точність перетворення при аналізі бінарних і псевдобінарних сумішей - економічність - мала залежність вихідних 	<ul style="list-style-type: none"> - залежність вихідного сигналу від зміни багатьох дестабілізуючих факторів (температури, витрати газової суміші, напруги живлення та ін.) - мала виборча здатність (селективність) по відношенню до вимірюваного компонента газової суміші

	сигналів від тиску	- нелінійність функції перетворення - велика інерційність
--	--------------------	--

Дросельні пневматичні перетво- рювачі (ДПП)	<ul style="list-style-type: none"> - конструктивна і схемна простота - малі габаритні розміри - економічність - відсутність електричного живлення - великий термін служби - висока надійність і точність перетворення (при аналізі бінарних і псевдобінарних сумішей). 	– обмежена селективність
Мас- спектромет- ричні пере- творювачі (МСП)	<ul style="list-style-type: none"> - малий час встановлення показань перетворення - висока точність - лінійність функції - хороша вибірковість - висока чутливість - універсальність 	<ul style="list-style-type: none"> - складність конструкції - громіздкість та ціна - найчастіше вимагають обробки інформації з допомогою обчислювальної машини
Хемілюмінес- мілюмінес- центні вимірюваль- ні перетво- рювачі (ХВП)	<ul style="list-style-type: none"> - надзвичайно висока чутливість - висока вибірковість по O_3 і NO - лінійність функції перетворення - досить широкий діапазон виміру. 	
Флуорес- центні вимірюваль-	<ul style="list-style-type: none"> - лінійність передавальної функції в широкому діапазоні - висока швидкодія і вибір- 	

ні перетворювачі (ФВП)	ковість	
Напівпровідникові вимірювальні перетворювачі (НВП)	<ul style="list-style-type: none"> - простота і портативність (розміри чутливих елементів можуть досягати близько міліметра) - висока чутливість - мала споживана потужність - велика швидкодія - економічність. 	<ul style="list-style-type: none"> - нелінійність функції перетворення - залежність опору напівпровідникового перетворювача температури і тиску проби - обмежена селективність - тимчасова нестабільність

З усіх перерахованих ВП найбільш підходить хемілюмінесцентний ВП так як його функція перетворення лінійна на відміну від термокондуктометричних і напівпровідникових ВП, він має найвищу чутливість до NO і не так складний і дорогий як мас-спектрометричний перетворювач.

В системі передбачається використовувати вже розроблений хемілюмінесцентний ВП концентрації окису азоту та суми оксидів азоту. У таблиці 3.2 наведені основні типи газоаналізаторів, побудовані на основі хемілюмінесцентного ВП.

До розробленої системи висунуто наступні вимоги:

- 1) Вимірювання концентрації окису азоту (NO) і суми оксидів азоту (NO_x).
- 2) Основна приведена похибка вимірювання NO не повинна перевищувати 6%, а основна приведена похибка вимірювання NO_x - 10%.

Таблиця 3.2

Типи газоаналізаторів, побудовані на основі хемілюмінесцентного ВП

Тип газоаналіза-	Вимірюючі	Діапазон ви-	Похибка	Швид-	Темпера-
------------------	-----------	--------------	---------	-------	----------

тора	компонен- ти	мірювання, ррм	вимірю- вання, %	кодія, с	турний діапазон, °C
344ХЛ12	NO	0 ... 2100	5	40	– 10 ... + 45
	NO _x	0 ... 2500	6		
"Клен-2М"	NO, NO ₂	0 ... 20; 0 ... 100; 0 ... 200; 0 ... 500	25	60	– 5 ... + 50
		0...1000; 0...2000; 0...5000	20		
Bentix (США) модель 8101-С	NO	0...1000	20	40	– 10 ... + 55
		0...5000	15		
Bentix (США) модель 8102	NO	0...2,4	25	20	+ 5 ... + 45
Beckman (США) модель 951А	NO	0...10; 0...100;	20	30	– 10 ... + 50
		0...1000; 0...10000	15		
Beckman (США) модель 952А	NO	0...25	25	120	– 10 ... + 50
Monitor Labs (США) модель 8840 (еталон)	NO	0...0,15; 0...0,3; 0...0,5; 0...1,0	10	180	+ 15 ... + 35
		0...3; 0...5; 0...10	15		
Үанасо (Японія) модель TCL-	NO _x	0...500	10	90	0 ... + 50

77A-01					
Yanaco (Японія) модель ECL- 77A-02	NO _x	0...2500	5	90	0 ... + 50

3) Час вимірювання по одному з параметрів не повинно перевищувати 60 с.

Згідно першій вимозі, що використовується в системі газоаналізатора, він повинен вимірювати концентрацію NO і NO_x. Можна використовувати і два типи газоаналізаторів, один з яких вимірює концентрацію NO, а інший - NO_x, але це економічно не вигідно. Тому з усіх перерахованих типів газоаналізаторів (таблиця 3.2) для використання в системі підходять два: 344ХЛ12 і "Клен-2М". Виходячи з часу вимірювання, підходять обидва газоаналізатора, але згідно вимоги щодо похибки вимірювання підходить тільки газоаналізатор типу 344ХЛ12, він і буде використовуватися в складі системи.

Система повинна вимірювати концентрацію повітря в восьми точках. Крім того, в разі перевищення значення концентрації будь-якого з вимірюючих компонентів певного рівня, система має сигналізувати про це тривожними звуковими і світловими сигналами. Для візуального контролю показники вимірюючих параметрів можуть відрізнятися і повинні виводитися на індикатор.

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМИ МОНИТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

4.1 Розрахунок підсилювача

Підсилювач призначений для перетворення малих струмів в напругу і вдає із себе підсилювач струму. Найпростіший спосіб перетворити струм в напругу - це пропустити цей струм через резистор з відомим опором. Однак при цьому для збільшення чутливості при вимірюванні малих струмів доведеться істотно збільшити опір резистора. Це, в свою чергу, призводить, по-перше, до збільшення небажаного зворотного впливу цього каскаду на попередні каскади, по-друге, вимагає підвищення входного опору каскадів і, по-третє, збільшує інерційності каскаду, яка викликана дією паразитних ємностей, зокрема ємності сполучної лінії.

Підсилювач на основі операційного підсилювача (ОП) дозволяє в значній мірі позбутися перерахованих недоліків. Підсилювач являє собою інвертуючий підсилювач (рис. 4.1)

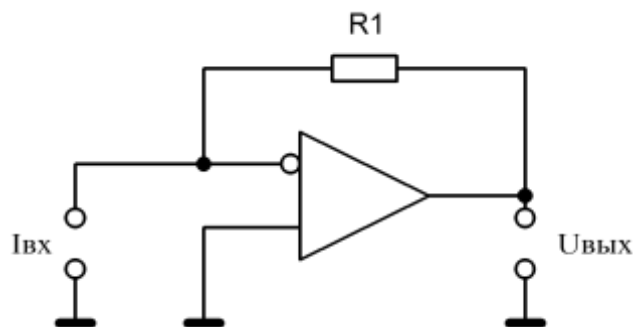


Рисунок 4.1– Підсилювач струму

Коефіцієнт перетворення такого підсилювача дорівнює

$$K_y = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}} = -R_1 \cdot \frac{1}{1 + 1/(K \cdot \beta)},$$

де K – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача

β - коефіцієнт підсилення зворотного зв'язку, який дорівнює

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_i},$$

де R_i -вихідний опір газоаналізатора.

Припустимо, що $K \cdot \beta \gg 1$, тоді $K_y = -R_1$.

Діапазон зміни вхідного струму I_{BX}^{MAX} від 0 до 5 мА, а вихідної напруги від 0 до 10 В, тоді значення опору R_1 дорівнюватиме

$$R_1 = \frac{U_{ВЫХ}^{MAX}}{I_{BX}^{MAX}} = \frac{10}{5 \cdot 10^{-3}} = 2 \text{ кОм}.$$

В якості операційного підсилювача можна взяти мікросхему типу К140УД6, яка має такі характеристики:

- коефіцієнт посилення K_y , В / мВ 1000
 - напруга зміщення нуля U_{CM} , мВ 0,025
 - температурний дрейф напруги зміщення нуля $\Delta U_{CM}/\Delta T$, мкВ/°С0,6
 - різниця вхідних струмів ΔI_{BX} , нА 40
 - дрейф різниці вхідних струмів $\Delta I_{BX}/\Delta T$, нА / ° С 35
- Резистор можна вибрати типу С2-14 з наступними параметрами:
- номінальний опір R , кОм 2
 - номінальна потужність P_H , Вт 0,125
 - допустиме відхилення опору від номінального $\gamma_d, \%$ 0,2

4.2 Вибір і розрахунок АЦП

Для початку необхідно визначити розрядність АЦП. Розрядність можна визначити із виразу

$$n = \log(1/\gamma_{KB}),$$

де - похибка квантування АЦП.

За попереднім розрахунком в розділі 4.1 похибка квантування дорівнює 0,4%, тоді $n = \log(1/\gamma_{KB}) = \log(1/0,004) \approx 8$.

Час перетворення має бути не більше 10 мкс. В цьому випадку можна використовувати як АЦП послідовного, так і паралельного наближення, але останні більш у застосуванні.

Відповідно, можна застосувати мікросхему K1113ПВ1, яка має наступні параметри:

- число розрядів n	10
- абсолютна похибка $\delta_{ПШ}$,	2
- інтегральна нелінійність δ_H	1
- диференціальна нелінійність $\delta_{дн}$	1
- час перетворення $t_{ПР}$, мкс	25
- опорна напруга $U_{оп}$, В	10,24
- вихідні логічні напруги	ТТЛ

ІС K1113ПВ1 розрахована на входні напруги від 0 до 10,24 В або від мінус 5,12 до 5,12 В. Для перемикання режиму роботи в однополярний режим вивод 15 з'єднується з виводом цифрова «земля» GD. Схема підключення мікросхеми K1113ПВ1 приведена на рисунку 5.2

Процес перетворення в цьому АЦП здійснюється при нулі на вході В / С. Для скидання поточного вихідного коду перетворювача необхідно подати одиницю (мінімум на 2 мкс) на вхід В / С. Після цього подача нуля на вхід В / С створює новий цикл перетворення. Після закінчення перетворення на виході DR (готовність) з'являється сигнал «нуль». В процесі скидання і перетворення на цьому виході підтримується одиниця і кодові виводи АЦП знаходяться в стані високого імпедансу. І тільки після закінчення перетворення, одночасно з сигналом готовності даних $DR = 0$ на кодових виводах встановлюється інформація, відповідна результату перетворення цифрових ТТЛ-схем.

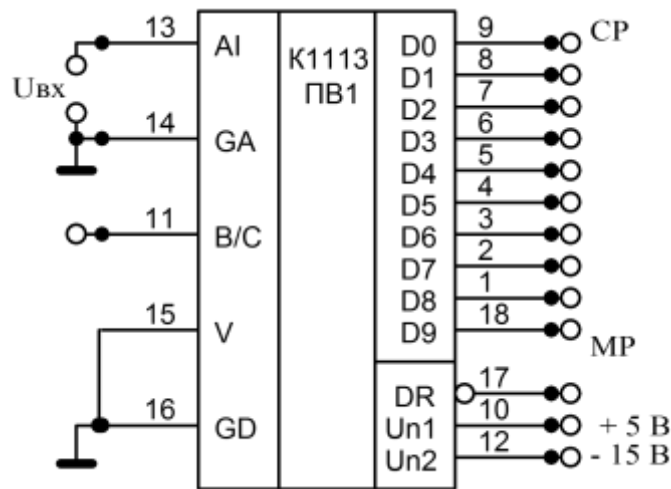


Рис. 4.2 Схема підключення АЦП К1113ПВ1

Мікросхема К1113ПВ1 є 10-розрядним АЦП, а для правильного функціонування системи потрібний 8-розрядний АЦП тому необхідно використовувати тільки вісім старших розрядів.

4.3 Вибір і розрахунок елементів мікропроцесорної системи

Великі інтегральні мікросхеми (ВІС), що входять до складу мікропроцесорного комплексу (МПК) КР580 і виконані по nМОП технології, мають досить високу швидкодію і відносно невелику задану потужність. ВІС цього МПК мають фіксовану архітектуру, що однозначно визначає архітектуру і систему команд пристроїв, побудованих на основі МПК.

1) Мікропроцесор КР580ИК80А

Мікропроцесор КР580ИК80А є програмованою універсальною ВІС, здатної виконувати функції центрального процесора ЕОМ, тобто мікропроцесор може зчитувати інформацію з зовнішніх пристроїв, пам'яті і виробляти з неї арифметичні і логічні операції, аналізувати результати обчислень і записувати дані в пам'ять зовнішніх пристроїв, функціонування при цьому під управлінням команд з деякої фіксованої множини.

Він має наступні основні характеристики:

- швидкодія:

кількість операцій в секунду $0,5 \cdot 10^6$

- тактова частота, МГц $\leq 2,5$
- тривалість циклу, мкс 1,6
- здатність до навантаження 1 вхід ТТЛ схеми
- вихідна напруга, В $U_{OL} \leq 0,45 U_{OH} \geq 3,7$

На рисунку 4.3 наведено схематичне позначення мікропроцесора на принциповій схемі. Призначення виводів мікропроцесора КР580ИК80А показано в таблиці 4.1

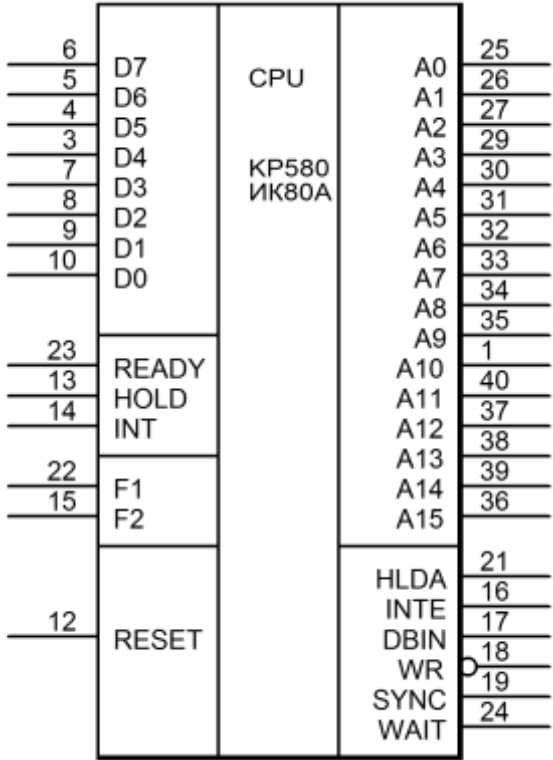


Рисунок 4.3 Схематичне позначення мікропроцесора КР580ИК80А

Таблиця 4.1

Призначення виводів мікропроцесора KP580ИК80А

Номер вивода	Позначення	Тип виводу	Функціональне позначення
25–27,29-35	A0–A15	Виходи з високоімпедансним станом	Шина адресу
1,40,37,38,39,36	D0–D7	Виходи з високоімпедансним станом	Шина даних
3–6	SYN C	Виходи з високоімпедансним станом	Ознака початку машинного циклу
19	DBI N	Вихід	Прийом даних
	READ		Готовність
17	WAI T	Вихід	Очікування
23	WR	Вхід	Видача даних

24	HOLD	Вихід	Запит на захват
18	HOLD A	Вихід	Підтвердження захвату
13	INT	Вхід	Запит на переривання
21	INT E	Вихід	Дозвіл на переривання
14	RESET	Вхід	Скидання
16	F1, F2	Вихід	Синхросерії
12	-	Вхід	-
22,15	-	Вихід	-

2) Генератор тактових сигналів КР580ГФ24

Мікропроцесорна інтегральна мікросхема КР580ГФ24 використовується як генератор тактових синхросерії F1 і F2 для мікропроцесора КР580ИК80А. Крім того, генератор виробляє сигнали початкової установки мікропроцесора RESET і готовності READY, синхронізовані тактовим імпульсами, і стрибає DBIN, який використовується для фіксації слова стану в системному контролері.

Генератор тактових сигналів КР580ГФ24 має наступні основні характеристики:

- максимальна частота генерації, МГц 10 - 20

- напруга, В:

- вихідна високого рівня ($I_{OH} = -1 \text{ мА}$) 3,6

- вихідна низького рівня ($I_{OL} = 15 \text{ мА}$) 0,45

На рис. 4.4 зображено умовне графічне позначення КР580ГФ24 на схемі електричної принципової.

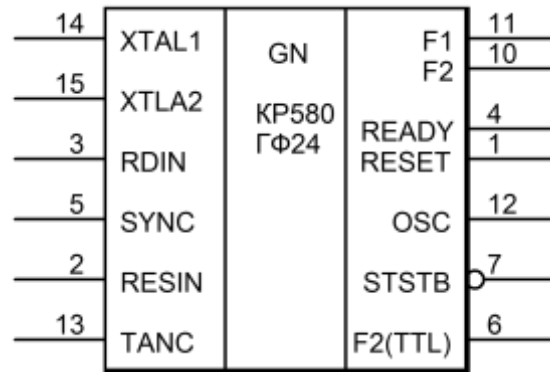


Рис. 4.4 Схематичне позначення генератора КР580ГФ24

3) Системний контролер КР580ВК28

Системний контролер КР580ВК28 призначений для фіксації слова стану мікропроцесора КР580ИК80А, сигналів управління пам'яттю і зовнішніми пристроями і буферизації шини даних.

На рисунку 4.5 зображено умовне графічне позначення системного контролера на схемі електричній принциповій. Функціональне призначення виводів контролера наведено в таблиці 4.2

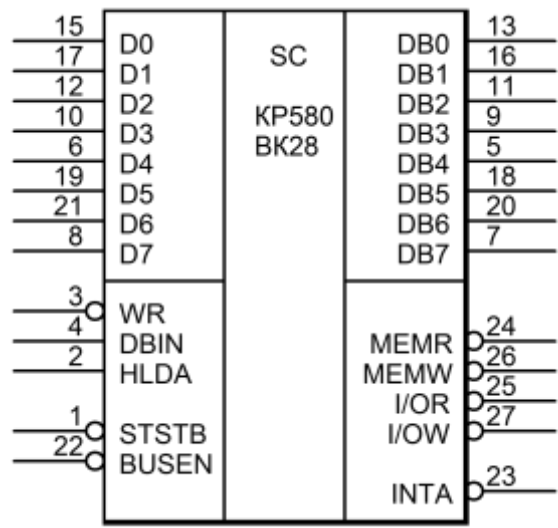


Рис. 4.5 Схематичне позначення контролера KP580BK28

Таблиця 4.2

Функціональне призначення виводів контролера

Номер виводу	Позначення	Тип виводу	Функціональне позначення
15,17,12,10,6,19,21,8	D0-D7	Входи- Виходи	Підключається до виводів D0 – D7 мікропроцесора
13,16,11,9,5,18,20,7	DB0-DB7	Входи- Виходи з високоімпедансним станом	Підключаются до шини даних системи

1	STSTB	Вхід	Фіксація стану мікропроцесора
2	HLDA	Вхід	Підтверження захвату (сигнал поступає на системний контролер від мікропроцесору)
3	WR	Вхід	Фіксація вводу даних (сигнал поступає від мікропроцесору)
4	DBIN	Вхід	Фіксація шини даних при вводі (сигнал поступає від мікропроцесору)
27	I/OW	Вихід	Запис на зовнішній пристрій

26	MEMW	Вихід	Запис в пам'ять
25	I/OR	Вихід	Читання із зовнішніх пристроїв
24	MEMR	Вихід	Підтвердження переривання
23	INTA	Вихід	Сигнал управління системною шиною
22	BUSEN	Вхід	

В кінці першого такту кожного машинного циклу генератор КР580ГФ24 видає на вхід STSTB системного контролера стрибкоподібний імпульс негативної полярності. З цього імпульсу відбувається фіксація слова стану мікропроцесора в регістрі стану системного контролера, яка потім дешифрується з допомогою декодируючої схеми, і на відповідному керуючому виході (MEMR, MEMW, I / OR, I / OW) з'являється сигнал, призначений для управління пам'яттю і зовнішніми пристроями.

Схема підключення системного контролера до мікропроцесора КР580ИК80А зображена на рис 4.6

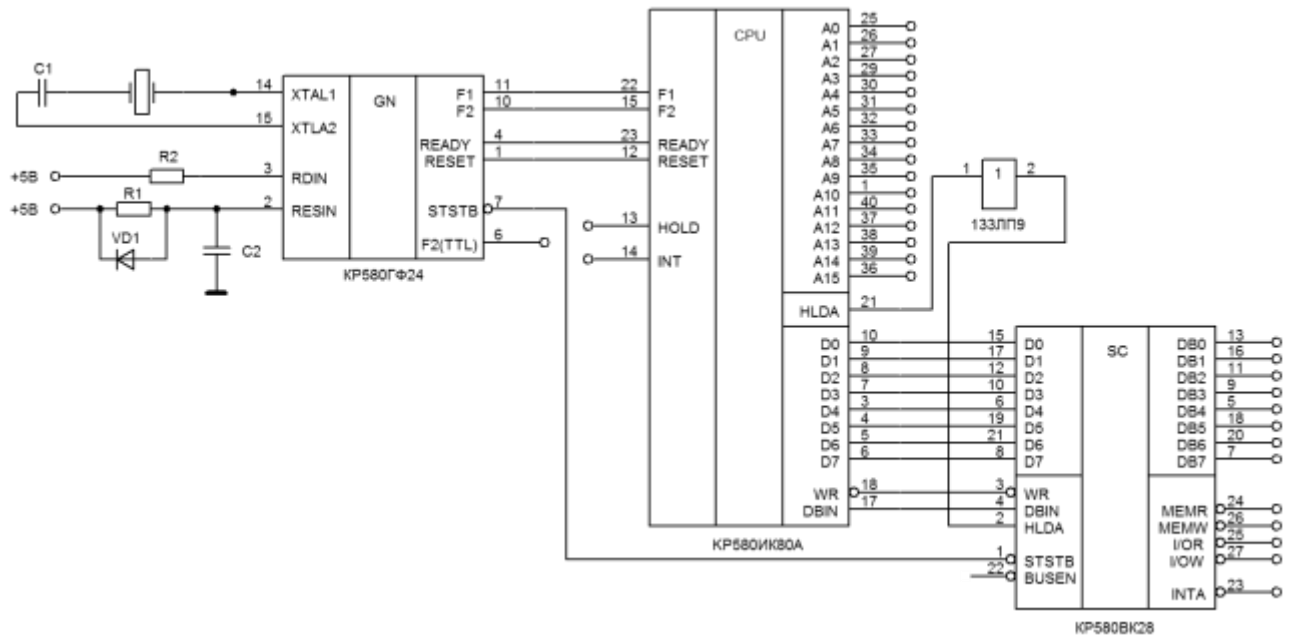


Рис. 4.6 Схема підключення системного контролера KP580BK28 до мікропроцесора KP580ИК80А

Оскільки мікропроцесор має здатність навантаження 1 вхід ТТЛ схеми, то необхідно провести буферизацію шини адреси (буферизацію шини даних виробляє системний контролер). Буферизацію шини адреси можна за допомогою чотирьох мікросхем 155ЛП10, одна на чотири лінії. На рис. 4.6 наведена принципова схема підключення буфера шини адреси на мікросхемах 155ЛП10 до мікроконтролеру.

4) Програмований паралельний інтерфейс KP580IK55

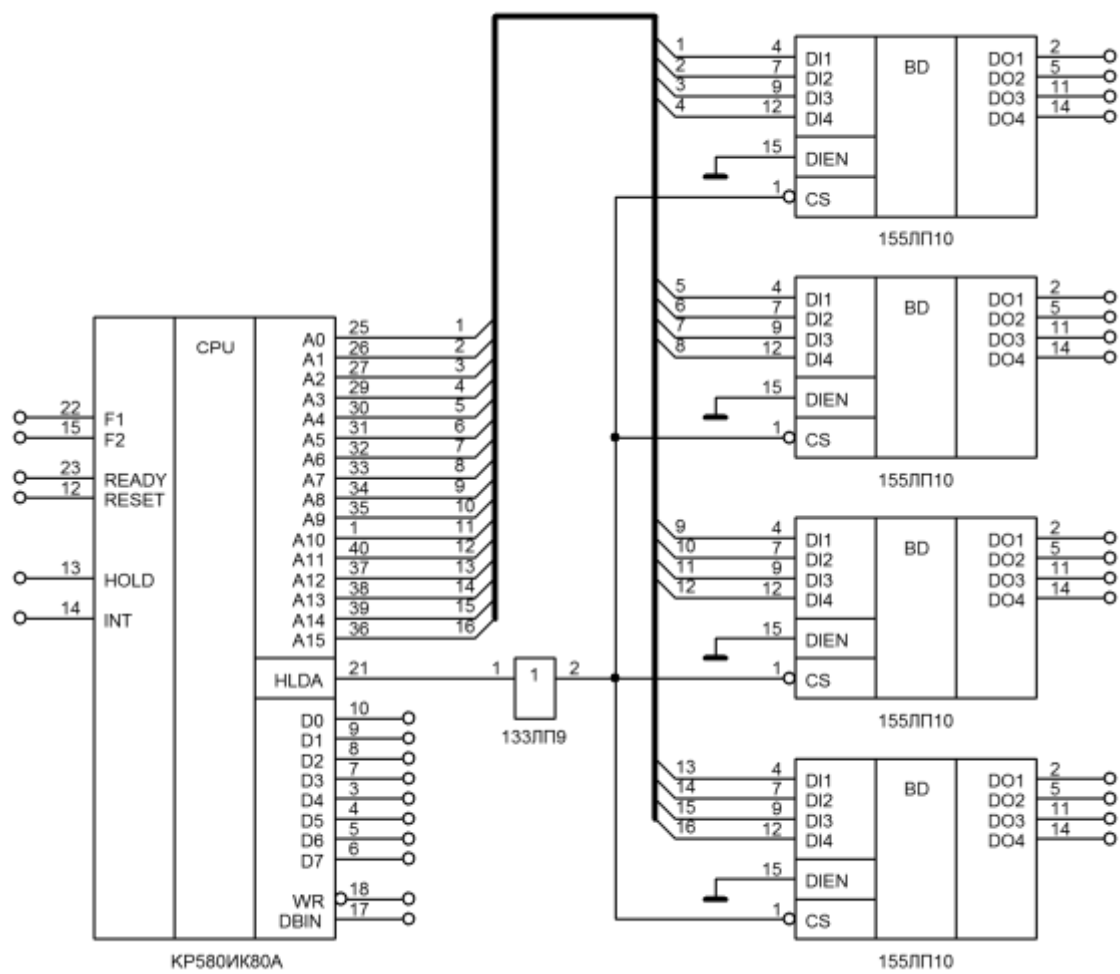
Програмований паралельний адаптер серії KP580 використовується для реалізації програмно-керованого обміну між мікропроцесором і АЦП, пам'яттю, клавіатурою, індикаторами.

Основні технічні характеристики інтерфейсу KP580IK55:

- максимальна тактова частота, МГц 2
- вихідна напруга:
 високого рівня ($I_{OH} = 0,04 \text{ мА}$) $U_{OH} \geq 2,4$
 низького рівня ($I_{OL} = 1,6 \text{ мА}$) $U_{OL} \leq 0,45$
- здатність навантаження 1 ТТЛ вхід

На рис. 4.7 наведено умовне графічне позначення програмованого паралельного адаптера на схемі електричній принциповій.

Рис. 4.7 Схема підключення буфера шини адреси на мікросхемах 155ЛП10 до мікроконтролера КР580ИК80А



Таблиця 4.3

Функціональне призначення виводів

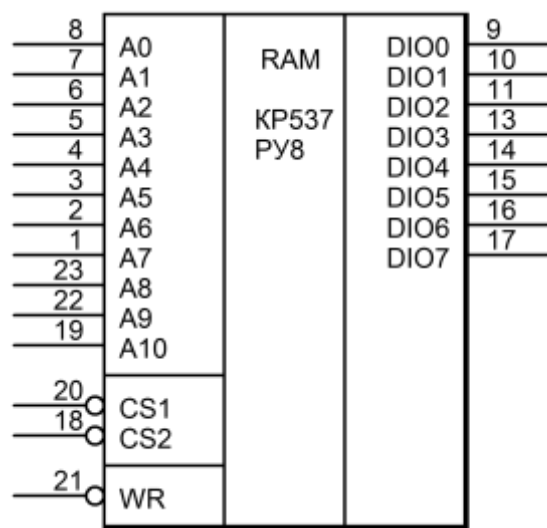
Номер виводу	Позначення	Тип виводу	Функціональне
--------------	------------	------------	---------------

			призначення
34-27	D0-D7	Входи-виходи з високоімпедансним станом	Шина даних
35	RESET	Вхід	Скидання
6	CS	Вхід	Вибір мікросхеми
5	RD	Вхід	Читання
36	WR	Вхід	Запис
9,8	A0-A1	Виходи	Вибір порту і регістра управляючого слова
37-40,1-4	PA0-PA7	Входи-Виходи	Порт А
25-18	PB0-PB7	Входи-Виходи	Порт В
10-13,17-14	PC0-PC7	Входи-Виходи	Порт С

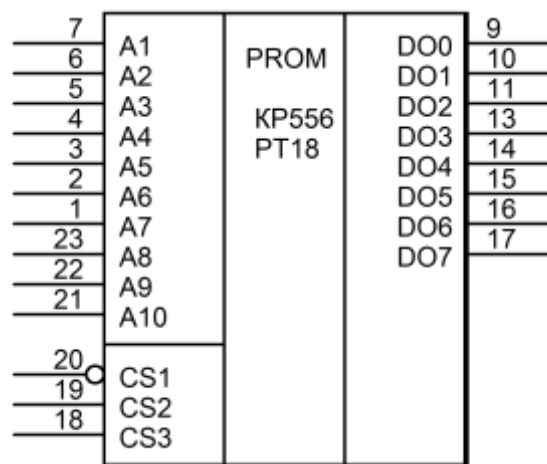
5) пам'ять

Для реалізації оперативної пам'яті (RAM) спільно з МПК КР580 доцільно використовувати інтегральні схеми сімейства К541 або К537. Можна використовувати мікросхему КР537РУ8 об'ємом 2К 8 біт (рис. 4.8)

Рис. 4.8 Позначення виводів мікросхеми КР537РУ8



Знадобиться три таких мікросхеми. Вибірку чарунок оперативної пам'яті можна здійснювати за допомогою дешифратора К155ІД4. Він дозволяє



адресувати пам'ять об'ємом 8 Кбайт. 6 Кбайт адресного простору зайнято під оперативну пам'ять, тому залишилися 2 Кбайта, які можна зайняти під постійну пам'ять, необхідно тільки підібрати постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗУ) обсягом 2К 8 біт. Таким обсягом має мікросхема КР556РТ18 (рис. 4.9).

Рис. 4.9 Позначення виводів мікросхеми КР556РТ18

4.4 Розрахунок теплового режиму

Тепловий режим - це сукупність показників температури всіх елементів, що містяться в складі радіоелектронних засобів. Залежно від теплового режиму вузли і блоки радіоелектронних засобів поділяють на теплонавантаженні й нетеплонавантаженні. Теплова навантаженість РЕА пе-

редусім виділяється щільністю теплового потоку у проектованому пристрої. Щільність теплового потоку характеризується теплом, що проходить через одиницю поверхні.

Нетеплонавантаженість характеризується щільністю теплового потоку, яка здебільшого не перевищує $0,5 \text{ мВт/см}^2$. Таким чином, перегрів поверхні пристрою в порівнянні з температурою навколишнього середовища не перевищує $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Якщо під час розрахунків щільності теплового потоку, розрахункове значення переважає $0,5 \text{ мВт/см}^2$, пристрій допускається вважати теплонавантаженим, який потребуватиме застосування спеціальної системи охолодження.

Для захисту елементів від перегріву використовують радіатори, тепло відвідні шини, вентилятори та системи рідинного примусового охолодження. Під час захисту пристрою від високих температур використовують термоустаткування, яке може бути як із підігрівом, так і без нього.

Зміна температури може погіршити надійність. До головних причин поступових відмов, які спричиняють погіршення роботи пристрою відносять ізоляційні властивості матеріалу, які з часом погіршуються.

До причин різких відмов пристрою відносять:

- Пошкодження цілісності елементів в конструкції пристрою
- Друковані провідники з часом відслоюються
- Конденсація вологості.

Під час визначення температури в корпусі пристрою, необхідно розрахувати температуру в корпусі критичного елемента. Критичний елемент – елемент, який має найбільшу чутливість до підвищення температури, завдяки чому пристрій може вийти з ладу. В розробленій електрично принциповій схемі таким елементом є давач CO_2 МН-Z19, оскільки максимальна допустима температура нижча в порівнянні з іншими мікросхемами.

При встановленні температури у корпусі пристрою передусім розраховують еквівалентний коефіцієнт теплопровідності модуля ($\lambda_{\text{екв}}$), в якому знаходиться дана мікросхема. При недостатності теплопровідних шин виконується умова, що $\lambda_{\text{екв}} = \lambda_0$, де λ_0 – теплопровідність матеріалу основи плати. Для склотекстоліту $\lambda_0 = 0,25 \text{ Вт/(м·К)}$

Розрахуємо коефіцієнт теплового потоку

$$K = \sqrt{\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\delta_{\text{п}} \cdot \lambda_{\text{екв}}}}$$

Де α_1 і α_2 - коефіцієнти теплового обміну на друкованій платі. Зазвичай для природного теплообміну сума коефіцієнтів α_1 та α_2 становить $17 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. $\delta_{\text{п}}$ – товщина друкованої плати.

Розрахований коефіцієнт складає 82.462

Розрахуємо перегрів, що утвориться на поверхні корпусу мікросхеми за наступною формулою:

$$\Delta t = k \cdot \left(\frac{Q_{\text{т}}}{k_{\alpha} \cdot (S_{\text{т}} - S_{\text{осн т}})} + \sum_{i=1}^N \frac{Q_{\text{ел}} \cdot \frac{K_0(mr_i)}{K_0(mR)}}{k_{\alpha} \cdot (S_{\text{ел}} - S_{\text{осн эл}})} \right)$$

Де k – емпіричний коефіцієнт. Для корпусу, центр якого знаходиться на відстані близько $3R$ від краю друкованої плати становить 1. $k_{\alpha} = 45 \text{ Вт/м}^2$ – коефіцієнт тепловіддачі від корпусів ЕРЕ. $N = 2$ – кількість елементів, які розташовані навколо давача CO2 МН-Z19.

$K_0(mr_i)$ і $K_0(mR)$ – модифіковані функції Бесселя, співвідношення яких залежить від еквівалентного радіусу R . Їх співвідношення наближено дорівнює 1,18.

$Q_{\text{т}} = 0,7 \text{ Вт}$ – потужність, що розсіюється давачем CO2 МН-Z19,

$Q_{\text{ел}} = 0,22 \text{ Вт}$ - потужність, що розсіюється сусідніми елементами,

$S_{\text{т}} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ – площа поверхні мікросхеми,

$S_{\text{ел}} = 15,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ - площа поверхні сусідніх елементів,

$S_{\text{осн т}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ – площа основи давача CO₂ МН-Z19,

$S_{\text{осн ел}} = 9,46 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ - площа основи сусідніх елементів.

За результатами розрахунків Δt складає 4.8 (°C).

Знайдемо температуру мікросхеми в корпусі пристрою

$$t_{\text{Т}} = t_{\text{В}} + \Delta t$$

За результатами розрахунків температура складає 32.8 (°C)

Так як максимальна температура T_{max} давача становить 50 °C, перегрів не відбувається і давач працює у не тепло навантаженому режимі. Отже, можна зробити висновок, що додаткове охолодження корпусу не потрібне.

4.5 Розрахунок надійності пристрою

До раптових експлуатаційних відмов зазвичай відносять відмову пристрою під час її експлуатації або коли напруцювання пристрою перевершило заданий термін. Раптові експлуатаційні відмови здебільшого виникають із за прихованих внутрішніх дефектів, які практично не можливо виявити встановленою системою технічного контролю або великої концентрації зовнішніх і внутрішніх навантажень.

Розрахунок надійності проводиться згідно методики, що наведена в [7]. Початковими даними є схема електрична принципова з переліком елементів.

Під час визначення надійності пристрою через відомі показники надійності його елементів застосовують два припущення:

- відмова елементів системи статично не залежні;
- відмова будь-якого елементу приводить до відмови всієї системи.

Прийняті припущення дозволяють використати теорему множення ймовірностей, яка після групування рівно надійних елементів виглядає наступним чином.

Розбиваємо елементи на рівно-надійні групи.

Розрахунок значень надійності для всіх рівно надійних груп, що входять до складу даного вибору наведений в таблиці 4.4

Таблиця 4.4

Розрахунок значень надійності рівнонадійних груп раптових експлуатаційних відмов

	Тип елемента	$\lambda_{0i} \cdot 10^{-6},$ 1/ч	K_n	a_i	N	λ_i $10^{-6}, 1/\text{ч}$
1	Мікросхема K1113ПВ1	1,11	0,6	0,67	1	0,446
2	Мікропроцесор KP580ИК80А	1,11	0,4	0,67	1	0,297
3	Мікропроцесорна інтегральна мікросхема KP580ГФ24	1,11	0,5	0,67	1	0,37
4	Системний кон- тролер KP580BK28	1,11	0,6	1,04	1	0,69
5	Програмова- ний паралель- ний інтерфейс KP580ИК55	1,11	0,7	0,67	1	0,52
6	Мікросхема KP556PT18	1,11	0,6	1,11	1	0,74
7	Резистор RC1206 220 Ом 0.125Вт	0,006	0,5	0,82	4	0,01

8	Кварцевий резонатор	0,0062	0,7	1,22	1	0,0053
9	Мікросхема КР537РУ8	1,11	0,6	1,04	3	2,079
10	Роз'єм	0.785	-	-	2	1,57
11	Пайка з'єднування	0.03	-	-	50	1,5
12	Провідні з'єднання	0,035	-	-	20	0,7
13	Загалом					8,927

Де λ_{0i} — інтенсивність відмов елементів рівно надійної групи в номінальному режимі роботи;

K_n — коефіцієнт навантаження, взяті рекомендовані для розрахунку згідно [2];

a_i — поправочний коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього середовища та електричного навантаження елемента при температурі $t = 40^\circ\text{C}$.

Інтенсивність потоку відмов всього блоку визначається по формулі:

$$\lambda_0 = K_\lambda \cdot \sum_{i=1}^n N_i \cdot \lambda_i$$

де K_λ - поправочний коефіцієнт, який визначає умови експлуатації.

За результатами розрахунків K_λ складає 1.07

Розрахована інтенсивність потоку відмов всього блоку — $9.54 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$

Тоді, середнє напрацювання на відмову визначаємо за формулою:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_0}$$

За результатами розрахунків середнє напрацювання складає 13280,21

Як бачимо з розрахунків, середнє напрацювання на відмову пристрою задовольняє умови технічного завдання: напрацювання портативної метеостанції на відмову становить не менше 10000 годин.

Отриманий результат повністю задовольняє вимоги технічного завдання, висунутих по надійності пристрою.

РОЗДІЛ 5

АНАЛІЗ І РОЗРАХУНОК ПОХИБОК

5.1 Похибка, що вноситься газовим каналом

Частина оксидів азоту розчиняться у воді, яка осідає на стінках елементів газового каналу. Це вносить похибку в результат вимірювання.

На підставі довідкових даних ця похибка не перевищує 0,01%.

Похибка є адитивною випадковою з рівномірним законом розподілу, тоді математичне очікування і середньоквадратичне відхилення (СКО) цієї похибки рівні

$$M[\gamma_{ГК}] = \frac{\gamma_{ГК}}{2} = \frac{0,01}{2} = 0,005 \%, \quad \sigma[\gamma_{ГК}] = \frac{\gamma_{ГК}}{\sqrt{3}} = \frac{0,01}{\sqrt{3}} \approx 0,006 \%.$$

5.2 Похибка, що вноситься газоаналізатором

Вимірюючий перетворювач газоаналізатора призначений для перетворення концентрації окису азоту в електричний сигнал. Вимірювання концентрації суми оксидів азоту (NO) можливо завдяки наявності каталітичного перетворювача, який відновлює двоокис азоту (NO₂) до окису азоту. Відновлення відбувається в повному обсязі, що вносить додаткову похибку у вимірювання суми оксидів азоту.

Похибка газоаналізатора є мультипликативною випадковою з симетричним нормальним законом розподілу.

Наведена похибка використаного в системі газоаналізатора 344ХЛ12, її математичне сподівання і СКО рівні:

а) при вимірі концентрації NO

$$\gamma_{ГА} = 5 \%, \quad M[\gamma_{ГА}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{ГА}] = \frac{\gamma_{ГА}}{3} = \frac{5}{3} \approx 1,7 \%.$$

б) при вимірюванні концентрації NO_x

$$\gamma_{ГА} = 7 \%, \quad M[\gamma_{ГА}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{ГА}] = \frac{\gamma_{ГА}}{3} = \frac{7}{3} \approx 2,3 \%.$$

5.3 Похибки, що вносяться підсилювачем

Похибка через нестабільність коефіцієнта підсилення операційного підсилювача (ОП) $\gamma_{КУ}$ є мультипликативною випадковою з симетричним нормальним законом розподілу.

Для підсилювача наведеного на рис. 4.1 ця похибка дорівнює

$$\gamma_{\text{КУ}} = \frac{\gamma_{\text{К}}}{1 + \text{К} \cdot \beta}, \quad (5.1)$$

де К - коефіцієнт підсилення операційного підсилювача;

- нестабільність коефіцієнта посилення ОП;

β - коефіцієнт посилення зворотного зв'язку, який дорівнює

$$\beta = \frac{R_i}{R_1 + R_i}, \quad (5.2)$$

де R_i - внутрішній опір джерела струму (вихідний опір газоаналізатора),

Операційний підсилювач типу К140УД26 має наступні параметри:

$$\text{К} = 1 \cdot 10^6 \text{ і } \gamma_{\text{К}} = \pm 50 \%$$

Підставивши в формулу (6.1) відповідні значення отримаємо

$$\gamma_{\text{КУ}} = \frac{\gamma_{\text{К}}}{1 + \text{К} \cdot \beta} = \frac{\gamma_{\text{К}}}{1 + \text{К} \cdot \frac{R_i}{R_1 + R_i}} = \frac{50}{1 + 1 \cdot 10^6 \cdot \frac{200}{2000 + 200}} \approx 5,5 \cdot 10^{-4} \%$$

Математичне сподівання і СКО тоді рівні

$$M[\gamma_{\text{КУ}}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{\text{КУ}}] = \frac{\gamma_{\text{КУ}}}{3} = \frac{5,5 \cdot 10^{-4}}{3} \approx 2,8 \cdot 10^{-4} \%$$

Похибка, обумовлена неточністю резисторів $\gamma_{\text{НР}}$ є мультиплікативною випадковою з симетричним нормальним законом розподілу і для підсилювача струму, наведеного на рис. 4.1, дорівнює похибці резистора γ_{R1}

$$\gamma_{\text{НР}} = \gamma_{R1}$$

Резистор типу С2-14 має похибку γ_{R1} рівну 0,2%, тоді

$$\gamma_{\text{НР}} = \gamma_{R1} = 0,2 \%$$

Математичне сподівання і СКО для похибки рівні

$$M[\gamma_{\text{НР}}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{\text{НР}}] = \frac{\gamma_{\text{НР}}}{3} = \frac{0,2}{3} \approx 0,07 \%$$

Похибка через тимчасове дрейфу ОП $\gamma_{\text{др}}$ є адитивною випадковою з симетричним нормальним законом розподілу.

Для ОП типу К140УД26 тимчасової дрейф напруги зсуву нуля і різниці вхідних струмів відповідно рівні $\Delta U_{\text{БР}} = \pm 0,6 \text{ мкВ}$ і $\Delta I_{\text{БР}} = 35 \text{ нс}$.

Наведену похибку $\gamma_U, \%$, внесену параметром $\Delta U_{\text{БР}}$ можна визначити за формулою

$$\gamma_{\text{др}} = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}} = \frac{\Delta U_{\text{БР}}}{U_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}} \cdot \frac{1}{\beta} \cdot 100, \quad (5.3)$$

де $U_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}$ - максимальне значення напруги на виході підсилювача, В;

β - коефіцієнт посилення зворотного зв'язку, що визначається за формулою (5.4).

Підставивши в формулу (5.3) відповідні значення, отримаємо

$$\begin{aligned} \gamma_U &= \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}} = \frac{\Delta U_{\text{БР}}}{U_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}} \cdot \frac{1}{\beta} \cdot 100 = \frac{\Delta U_{\text{БР}}}{U_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}} \cdot \frac{1}{\frac{R_i}{R_1 + R_i}} \cdot 100 = \\ &= \frac{0,6 \cdot 10^{-6}}{10} \cdot \frac{1}{\frac{200}{2000 + 200}} \cdot 100 \approx 0,0001 \%. \end{aligned}$$

Наведену похибка $\gamma_I, \%$, внесену параметром $\Delta I_{\text{БР}}$ можна визначити за формулою

$$\gamma_I = \frac{\Delta I_{\text{БР}}}{I_{\text{ВХ}}^{\text{MAX}}} \cdot 100, \quad (5.5)$$

де $I_{\text{ВХ}}^{\text{MAX}}$ - максимальне значення струму на вході підсилювача, мА.

Підставивши в формулу (5.5) відповідні значення, отримаємо

$$\gamma_I = \frac{\Delta I_{\text{БР}}}{I_{\text{ВХ}}^{\text{MAX}}} \cdot 100 = \frac{35 \cdot 10^{-6}}{5} \cdot 100 = 0,0007 \%.$$

Похибка через тимчасове дрейфу ОП $\gamma_{\text{др}}$ дорівнює сумі складових γ_U і

γ_I

$$\gamma_{\text{ДР}} = \gamma_{\text{У}} + \gamma_{\text{І}} = 0,0001 + 0,0007 = 0,0008 \, \%.$$

Її математичне очікування і СКО дорівнюватимуть

$$M[\gamma_{\text{ДР}}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{\text{ДР}}] = \frac{\gamma_{\text{ДР}}}{3} = \frac{0,0008}{3} \approx 0,0003 \, \%.$$

5.4 Похибки, що вносяться АЦП

Похибка квантування $\gamma_{\text{КВ}}$ є адитивною випадковою з симетричним рівномірним законом розподілу.

Похибка $\gamma_{\text{КВ}}, \%$, визначається за формулою

$$\gamma_{\text{КВ}} = \frac{1}{2^n} \cdot 100, \quad (5.6)$$

де n - розрядність АЦП.

В системі використовується вісім розрядів АЦП. Підставивши відповідні значення в формулу (5.6), отримаємо

$$\gamma_{\text{КВ}} = \frac{1}{2^n} \cdot 100 = \frac{1}{2^8} \cdot 100 \approx 0,4 \, \%.$$

Математичне сподівання і СКО для похибки рівні

$$M[\gamma_{\text{КВ}}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{\text{КВ}}] = \frac{\gamma_{\text{КВ}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3}} \approx 0,23 \, \%.$$

Похибка від диференціальної нелінійності $\gamma_{\text{ДН}}$ є адитивною випадковою з симетричним рівномірним законом розподілу.

Для використовуваного АЦП типу К1113ПВ1 похибка $\gamma_{\text{ДН}}$ дорівнює одному молодшому значуваному розряду (МЗР), що віднесений до межі діапазону перетворення.

$$\gamma_{\text{ДН}} = \frac{1}{N_{\text{Н}}} \cdot 100 = \frac{1}{2^n} \cdot 100 = \frac{1}{2^8} \cdot 100 \approx 0,4 \, \%,$$

де $N_{\text{Н}}$ - нормоване значення коду на виході АЦП (граничне значення).

Математичне сподівання і СКО для похибки $\gamma_{\text{ДН}}$ рівні

$$M[\gamma_{\text{дн}}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{\text{дн}}] = \frac{\gamma_{\text{дн}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3}} \approx 0,23 \, \%.$$

Похибка від тимчасового дрейфу АЦП $\gamma_{\text{др}}$ є адитивною випадковою з симетричним рівномірним законом розподілу і по абсолютній величині дорівнює одному МЗР. Тоді наведене значення цієї похибки дорівнює

$$\gamma_{\text{др}} = \frac{1}{N_{\text{н}}} \cdot 100 = \frac{1}{2^n} \cdot 100 = \frac{1}{2^8} \cdot 100 \approx 0,4 \, \%.$$

Математичне сподівання і СКО похибки $\gamma_{\text{др}}$ тоді будуть рівні

$$M[\gamma_{\text{др}}] = 0, \quad \sigma[\gamma_{\text{др}}] = \frac{\gamma_{\text{др}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3}} \approx 0,23 \, \%.$$

5.5 Підсумовування похибок

Таблиця 5.1.

Підсумовування похибок при вимірюванні концентрації NO

Блок	Джерело похибок	Позначення	Вид похибки	Характер похибки	Закон розподілу	Значення, %
Газовий канал	Розчинення оксидів азоту у воді	$\gamma_{\text{ГК}}$	адит.	вип.	рівном.	0,01
Газоаналізатор		$\gamma_{\text{ГА}}$	мульт.	вип.	норм.	5 при NO 7 при NO _x

Підсилювач	1 Нестабільність коефіцієнта підсилення	$\gamma_{\text{КУ}}$	мульт.	вип.	норм.	$5,5 \cdot 10^{-4}$
	2 Неточність резистора	$\gamma_{\text{НР}}$	мульт.	вип.	норм.	0,2
	3 Часовий дрейф ОП	$\gamma_{\text{Д}}$	адит.	вип.	норм.	$8 \cdot 10^{-4}$
Аналого-цифровий перетворювач	1 Квантування	$\gamma_{\text{КВ}}$	адит.	вип.	рівном.	0,4
	2 Диференційна нелінійність	$\gamma_{\text{ДН}}$	адит.	вип.	рівном.	0,4
	3 Часовий дрейф АЦП	$\gamma_{\text{ДР}}$	адит.	вип.	рівном.	0,4

Для більш коректного визначення сумарної похибки складові похибки поділяються на:

- адитивні і мультиплікативні, підсумовують їх окремо;
- систематичні і випадкові, підсумовують їх також окремо.

1) Підсумовування адитивних похибок

Підсумовування випадкових похибок можна спростити, якщо знехтувати похибками, що мають малі значення. Похибки, якими можна знехтувати, визначаються за критерієм незначною похибки. Критерій незначною похибки можна сформулювати так: якщо виконується умова

$$\sqrt{\sum_i \sigma^2[\gamma_i]} \leq 0,3 \cdot \sigma[\gamma_{\text{MAX}}], \quad (5.7)$$

де $\sigma[\gamma_i]$ - СКО похибок, які ми хочемо відкинути;

$\sigma[\gamma_{\text{MAX}}]$ - СКО найбільшої похибки,

то малі похибки γ_i можна відкинути до підсумовування.

Самою велике значення має похибка квантування γ_{KB} , а відкинути можна було б похибка газового каналу і похибка від тимчасового дрейфу ОП γ_D . Перевіримо це припущення.

Сумарне СКО малих похибок σ_{MIN} дорівнює

$$\sigma_{MIN} = \sqrt{\sum_i \sigma^2[\gamma_i]} = \sqrt{\sigma^2[\gamma_{ГК}] + \sigma^2[\gamma_D]} = \sqrt{0,006^2 + (3 \cdot 10^{-4})^2} \approx 0,006 \, \%.$$

СКО похибки γ_{KB} дорівнює $\sigma[\gamma_{KB}] = 0,23 \, \%$, а 0,3 частина від нього - 0,07%. Нерівність (5.7) виконується, отже, похибки $\gamma_{ГК}$ і γ_D можна не враховувати при підсумовуванні.

Підсумовування проводиться окремо для систематичних і випадкових похибок.

Сумарна систематична похибка дорівнює сумі систематичних похибок блоків системи і математичних очікувань випадкових похибок. Систематичні похибки в системі відсутні, а математичні очікування випадкових похибок, які не відкинутих за критерієм незначною похибки, дорівнюють нулю, отже систематична складова випадкової похибки дорівнює нулю.

Для сумарної випадкової похибки $\sigma[\gamma_{СУМ}]$ визначається СКО підсумовуванням СКО випадкових похибок блоків системи $\sigma[\gamma_i]$ по формулі

$$\sigma[\gamma_{СУМ}] = \sqrt{\sum_i \sigma^2[\gamma_i]}. \quad (5.8)$$

Підставивши в формулу (5.8) відповідні значення отримаємо

$$\sigma[\gamma_{СУМ}^{АДД}] = \sqrt{\sum_i \sigma^2[\gamma_i]} = \sqrt{\sigma^2[\gamma_{KB}] + \sigma^2[\gamma_{ДН}] + \sigma^2[\gamma_{ДР}]} = \sqrt{0,23^2 + 0,23^2 + 0,23^2} \approx 0,4 \, \%.$$

Межі довірчого інтервалу сумарної похибки визначаються за формулою

$$\begin{aligned} \gamma_L &= \gamma_{СИС} - k \cdot \sigma[\gamma_{СУМ}], \\ \gamma_H &= \gamma_{СИС} + k \cdot \sigma[\gamma_{СУМ}], \end{aligned} \quad (5.9)$$

де γ_L - нижня межа;

γ_H - верхня межа;

$\gamma_{\text{сис}}$ - сумарна систематична похибка;

- $k - \alpha/2$ -ний квант закону розподілу сумарної похибки;

- $(100 - \alpha / 2)\%$ -ний квант закону розподілу сумарної похибки;

$$\alpha = 1 - P$$

де P - ймовірність попадання в довірчий інтервал.

Так як сумарна систематична похибка дорівнює нулю, то нижня і верхня довірчі кордону рівні по модулю

$$\gamma_{H,L} = \pm k \cdot \sigma[\gamma_{\text{сум}}]. \quad (5.10)$$

Для визначення меж довірчого інтервалу необхідно визначити закон розподілу сумарної похибки.

Є три складові сумарної адитивної похибки $\gamma_{\text{кв}}$, $\gamma_{\text{дн}}$ і $\gamma_{\text{др}}$ з однаковими симетричними рівномірними законами розподілу (рисунок 5.1). Для знаходження закону розподілу сумарної похибки визначимо спочатку композицію двох перших рівномірних законів розподілу, а потім композицію результату з третьому рівномірним законом розподілу.

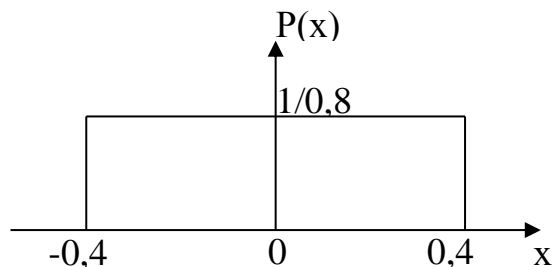


Рис. 5.1 Симетричний рівномірний закон розподілу похибок $\gamma_{\text{кв}}$, $\gamma_{\text{дн}}$ і $\gamma_{\text{др}}$

Композиція двох однакових рівномірних розподілів є рівномірний розподіл (рис. 5.2).

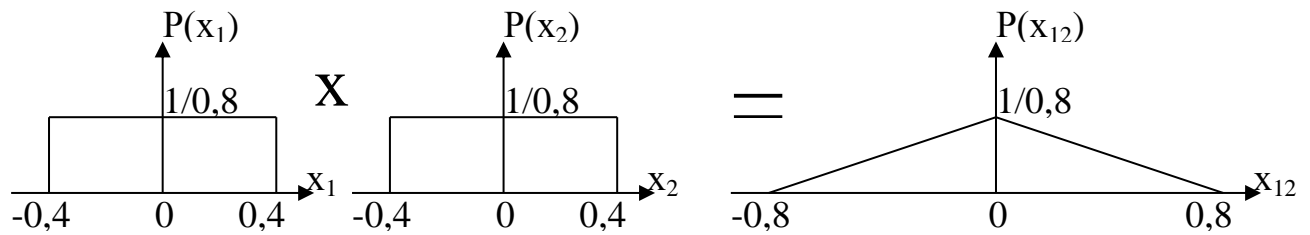


Рис. 5.2 Композиція двох рівномірних законів розподілу

Композицію законів $P(x_{12})$ і $P(x_3)$ знайдемо за допомогою методу перебору варіантів (метод дискретної згортки). Для цього розіб'ємо область існування кожної похибки на 10 інтервалів (рис. 5.3), знайдемо середини інтервалів α і ймовірності попадання в кожен інтервал P . Для рівномірного закону ця ймовірність буде однакова і дорівнює 0,1%, для закону Сімпсона необхідно обчислювати площі між межами інтервалів. Для цього використовується вираз (5.11).

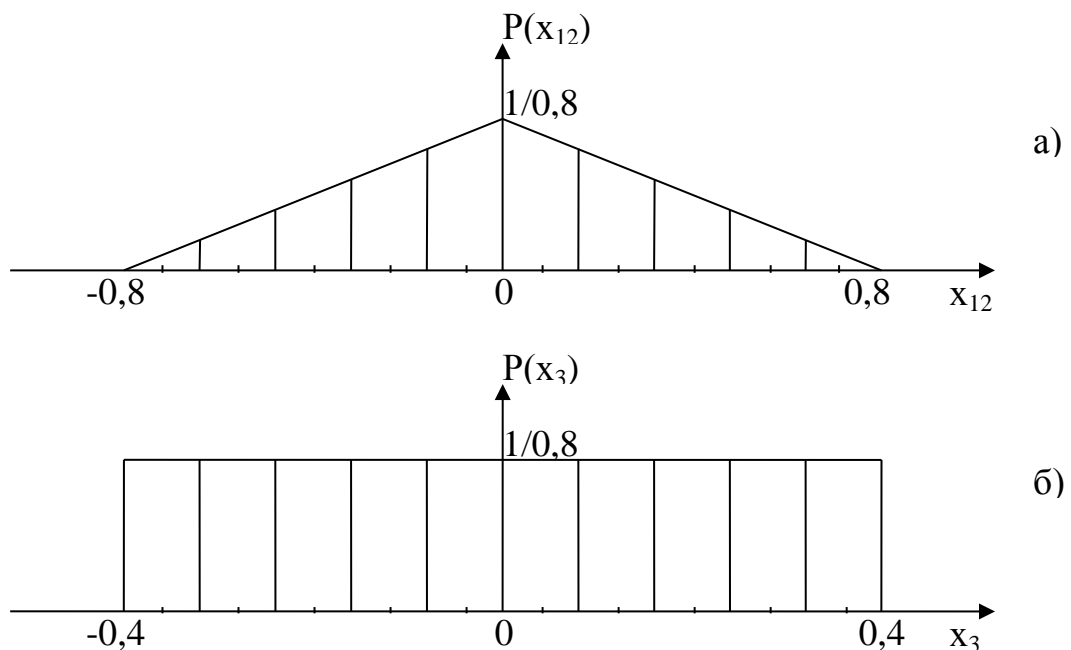


Рис. 5.2 Область існування кожної похибки

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } -\infty < x < -0,8, \\ \frac{2 \cdot (x + 0,8)^2}{1,6^2} & \text{при } -0,8 \leq x < 0, \\ 1 - \frac{2 \cdot (0,8 - x)^2}{1,6^2} & \text{при } 0 \leq x < 0,8, \\ 0 & \text{при } 0,8 < x < \infty, \end{cases} \quad (5.11)$$

де $F(x)$ - функція розподілу ймовірності (інтегральна функція).

Після обчислення таблиця значень для гістограми підсумування похибок має вигляд:

Таблиця 5.2

Підсумування значень похибок

α_{1i}	—	—	—	—	—	0,04	0,12	0,20	0,28	0,36
P_{1i}	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$\alpha_{2j} \%$	—	—	—	—	—	0,08	0,24	0,40	0,56	0,72
P_{2j}	0,02	0,06	0,10	0,14	0,18	0,18	0,14	0,10	0,06	0,02

Для обчислення значень і ймовірностей сумарного розподілу беремо значення $\alpha_{11} = -0,36$ і по черзі додаємо його до всіх значень α_{2j} (-0,72; -0,56; і т.д.). Ймовірності перемножуються. Отримуємо 10 значень сумарного розподілу і 10 значень ймовірностей. Після цього беремо значення $\alpha_{12} = 0,38$ і по черзі додаємо його до всіх значень α_{2j} . Ймовірності перемножуються. Отримуємо ще 10 значень сумарного розподілу і 10 значень ймовірностей. Всього маємо отримати 100 значень. Так як підсумовувані закони розподілу симетричні, то ми повинні отримати 50 негативних значень і 50 позитивних (сумарний закон розподілу буде теж симетричним). Для зменшення обсягу обчислень залишимо тільки 50 негативних значень. Значення сумарного розподілу наведені в таблиці 5.3

Таблиця 5.3

Значення сумарного розподілу

α_c	- 1,08	- 0,92	- 0,76	- 0,60	- 0,44	- 0,28	- 0,12
P_c	0,002	0,006	0,010	0,014	0,018	0,018	0,014
α_c	- 1,00	- 0,84	- 0,68	- 0,52	- 0,36	- 0,20	- 0,04
P_c	0,002	0,006	0,010	0,014	0,018	0,018	0,014
α_c	- 0,92	- 0,76	- 0,60	- 0,44	- 0,28	- 0,12	
P_c	0,002	0,006	0,010	0,014	0,018	0,018	
α_c	- 0,84	- 0,68	- 0,52	- 0,36	- 0,20	- 0,04	
P_c	0,002	0,006	0,010	0,014	0,018	- 0,12	
α_c	- 0,76	- 0,60	- 0,44	- 0,28	- 0,12		
P_c	0,002	0,006	0,010	0,014	0,018		
α_c	- 0,68	- 0,52	- 0,36	- 0,20	- 0,04		
P_c	0,002	0,006	0,010	0,014	0,018		
α_c	- 0,60	- 0,44	- 0,28	- 0,12			
P_c	0,002	0,006	0,010	0,014			
α_c	- 0,52	- 0,36	- 0,20	- 0,04			
P_c	0,002	0,006	0,010	0,014			
α_c	- 0,44	- 0,28	- 0,12				
P_c	0,002	0,006	0,010				
α_c	- 0,36	- 0,20	- 0,04				
P_c	0,002	0,006	0,010				

Для побудови гістограми сумарного закону розподілу всю область існування сумарного розподілу розділимо на інтервали. Ширина інтервалу в даному випадку приймається рівною 0,1%. Число інтервалів в області негативних значень дорівнює 11. Визначаємо ймовірність попадання в інтервал і заносимо результат в таблицю 5.4

Таблиця 5.4

Ймовірність попадання в інтервал

Границі інтервалу,	Ймовірність попадання в інтервал
$-1,1 \div -1,0$	0,002
$-1,0 \div -0,9$	0,010
$-0,9 \div -0,8$	0,008
$-0,8 \div -0,7$	0,018
$-0,7 \div -0,6$	0,018
$-0,6 \div -0,5$	0,064
$-0,5 \div -0,4$	0,050
$-0,4 \div -0,3$	0,050
$-0,3 \div -0,2$	0,066
$-0,2 \div -0,1$	0,154
$-0,1 \div 0$	0,060

Координати ступінчастою кривої виходять за допомогою підсумовування ймовірностей.

Таблиця 5.5

Ймовірність попадання в розширений інтервал

Границі інтервалу, %	Ймовірність попадання в інтервал	Границі інтервалу, %	Ймовірність попадання в інтервал
$-\infty \div -1,1$	0	$-\infty \div 0,1$	0,560
$-\infty \div -1,0$	0,002	$-\infty \div 0,2$	0,714
$-\infty \div -0,9$	0,012	$-\infty \div 0,3$	0,780
$-\infty \div -0,8$	0,020	$-\infty \div 0,4$	0,830
$-\infty \div -0,7$	0,038	$-\infty \div 0,5$	0,880
$-\infty \div -0,6$	0,056	$-\infty \div 0,6$	0,944
$-\infty \div -0,5$	0,120	$-\infty \div 0,7$	0,962
$-\infty \div -0,4$	0,170	$-\infty \div 0,8$	0,980
$-\infty \div -0,3$	0,220	$-\infty \div 0,9$	0,988
$-\infty \div -0,2$	0,286	$-\infty \div 1,0$	0,998
$-\infty \div -0,1$	0,440	$-\infty \div 1,1$	1,000
$-\infty \div 0$	0,500		

Для визначення довірчого інтервалу задамося ймовірністю $P = 0,95$. Щоб визначити межі довірчого інтервалу, потрібно за ступеневою кривою знайти квантілі $\alpha / 2$ і $1 - \alpha / 2$, де $\alpha = 1 - P = 0,05$. Квантіль $\alpha / 2$ являє собою абсциссу точки на ступінчастою кривою, у якій ордината $\alpha / 2 = 0,025$. Так як значення по осі абсцис не нормовано, тобто не розділені на СКО, то абсциса з ординатою $\alpha / 2$ буде нижньою межею довірчого інтервалу. З ви-

користанням лінійної інтерполяції за ступеневою кривою отримуємо, що нижня межа довірчого інтервалу адитивної похибки

$$\gamma_L^{АДД} = -0,99.$$

Верхня межа буде відповідати ординаті $1 - \alpha / 2 = 0,975$.

$$\gamma_H^{АДД} = 0,99.$$

Таким чином, межі довірчого інтервалу сумарної адитивної похибки при вимірюванні концентрації окису азоту

$$-1 \leq \gamma^{АДД} \leq 1 \quad (P = 0,95).$$

2) Підсумовування мультиплікативний похибок

Для спрощення підсумовування як і в випадку адитивних похибок можна знехтувати малими похибками.

Найбільше значення має похибка газоаналізатора $\gamma_{ГА}$. Всі інші мультиплікативні похибки мають малі значення ($\gamma_{КУ}$ - похибка від нестабільності коефіцієнта посилення ОП, $\gamma_{НР}$ - похибка обумовлена неточністю резисторів в підсилювачі). Перевіримо за критерієм незначною похибки можна ними нехтувати (формула 5.6).

Сумарне СКО σ_{MIN} похибок $\gamma_{КУ}$ і $\gamma_{НР}$ дорівнює

$$\sigma_{MIN} = \sqrt{\sum_i \sigma^2[\gamma_i]} = \sqrt{\sigma^2[\gamma_{КУ}] + \sigma^2[\gamma_{НР}]} = \sqrt{(2,8 \cdot 10^{-4})^2 + 0,07^2} \approx 0,07 \, \%.$$

СКО похибки газоаналізатора дорівнює $\sigma[\gamma_{ГА}] = 1,7 \, \%$, а 0,3 частина від нього - 0,51%. Нерівність (5.6) виконується, отже, похибками $\gamma_{КУ}$ і $\gamma_{НР}$ при підсумовуванні можна знехтувати. Залишається одна похибка газоаналізатора $\gamma_{ГА}$, тобто сумарна мультиплікативна похибка при вимірюванні концентрації суми оксидів азоту визначається похибкою газоаналізатора

$$\gamma^M = \gamma_{ГА} = \pm 5 \, \%.$$

Вираз для сумарної відносної похибки при наявності адитивної і мультиплікативної складових має вигляд:

$$\gamma = \gamma^M + \frac{X_H}{X} \cdot \gamma^{АДД} \quad (5.11)$$

Де γ^M - межа мультипликативної похибки;

$\gamma^{АДД}$ - межа адитивної похибки;

X_H - нормируюче значення.

Тоді сумарна приведена похибка дорівнює

$$\gamma^{PP} = \gamma^M + \gamma^{АДД}. \quad (5.12)$$

Підставивши відповідні значення в формулу (5.12), отримаємо

$$\gamma^{PP} = \gamma^M + \gamma^{АДД} = 5 + 1 = \pm 6 \, \%.$$

Межі основної зведеної похибки вийшли рівними $\pm 6\%$, що відповідає вимогам, зазначеним у технічному завданні.

Підсумовування похибок при вимірюванні концентрації NO_x

1) Підсумовування адитивних похибок

При вимірі концентрації NO_x сумарна адитивна похибка має такі ж складові з такими ж значеннями як і при вимірюванні концентрації NO , отже, межі довірчого інтервалу сумарної адитивної похибки при вимірюванні концентрації окису азоту

$$-1 \leq \gamma^{АДД} \leq 1 \quad (P = 0,95).$$

2) Підсумовування мультипликативний похибок

При вимірі концентрації NO_x присутні такі ж вади як і при вимірюванні концентрації NO і єдина відмінність полягає в величині похибки газоаналізатора $\gamma_{ГА}$ - вона має більше значення. Тому, якщо при вимірюванні концентрації NO сумарна мультипликативна похибка визначалася похибкою газоаналізатора, то при вимірюванні концентрації NO_x сумарна мультипликативна похибка дорівнює $\gamma_{ГА}$

$$\gamma^M = \gamma_{ГА} = \pm 7 \, \%.$$

Сумарна приведена похибка при наявності мультипликативної і адитивної складових визначається за формулою (5.12). Підставивши в формулу відповідні значення, отримаємо

$$\gamma^{\text{ПР}} = \gamma^{\text{М}} + \gamma^{\text{АДЦ}} = 7 + 1 = \pm 8 \, \%.$$

Найближче стандартне значення зверху 10. Таким чином, остаточне значення меж допустимої основної зведеної похибки

$$\gamma^{\text{ПР}} = \pm 10 \, \%.$$

Це значення задовольняє вимогам, зазначеним у технічному завданні.

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

6.1 Опис ідеї проекту

Суть проекту: використання системи моніторингу якості повітря, що забезпечить постійне систематичне вимірювання стану забрудненості атмосферного повітря. Відбір, транспортування та підготовка проби повітря здійснюється одночасно з восьми точок, що дозволяє вимірювати рівень об'ємної концентрації і дози окису азоту (NO) і суми оксидів азоту (NO_x).

Таблиця 6.1

Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Покращити якість повітря та інформування про надмірний рівень забрудненості атмосфери	<ol style="list-style-type: none"> 1. Дистанційне керування 2. Моніторинг якості повітря 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Спостереження за рівнем забрудненості атмосфери 2. Висока точність вимірювання даних

Висновки: як видно із наведеного, ідея проекту є актуальною, оскільки має ряд переваг перед проектами-першопрохідцями. Також, загальні напрямки застосування- це дистанційне керування (або спостереження за рівнем забрудненості атмосфери), постійний моніторинг та інформування про зміни.

Таблиця 6.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко- економічні характери- стики ідеї	(потенційні) това- ри/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейт- ральна сторо- на)	S (сильна сторо- на)
	Мій проект	КП ЦКБ «Арсе- нал»	ДП ВО «Київ- рилад»			
Діапа- зон зміни вхідного ініфікова- ного сигнала струму	від 0 до 5мА.	від 0 до 2мА.	від 0 до 3 мА.			+
Діапа- зон зміни вихідної напруги.	від 0 до 10В	від 0 до 10В	від 0 до 10В		+	
Діапа- зон вимі- рювання об'ємних концентра- цій оксиду азоту	0 - 21_ррт	0 - 23_ррт	0 -15 ррт			+

Діапа- зон вимі- рювання об'ємних концентра- цій	0 – 2500 ppm	<u>0 –</u> <u>2800</u> <u>ppm</u>	<u>0 –</u> <u>2600 ppm</u>		+	
Діапа- зон робочих температур	від 10 до 45°C	від 20 до 55°C	від 5 до 55°C			+
Прибу- тки	Пр иб.	Пр иб.	Приб.		+	

Висновки: після аналізу характеристик ідеї проекту було визначено, що сильними сторонами ідеї проекту є такі техніко-економічні характеристики як Діапазон зміни вхідного ініфікованого сигналу струму, діапазон вимірювання об'ємних концентрацій оксиду азоту та діапазон робочих температур, в той час, коли у конкурентів дані парметри гірші. Нейтральною стороною є діапазон вимірювання об'ємних концентрацій та прибутки.

6.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 6.3

Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
Покращити якість повітря за допомогою системи	<p>-проектування схеми системи моніторингу якості повітря;</p> <p>-вибір необхідних вимірювальних перетворювачів;</p> <p>-обчислення значень що підтверджують працездатність системи;</p> <p>-проведення аналізу та робота над зменшенням похибок;</p>	Наявні	Доступні

Висновки: обраною технологією реалізації проекту є проектування схеми системи моніторингу якості повітря, вибір необхідних вимірювальних перетворювачів; обчислення значень, що підтверджують працездатність системи та проведення аналізу та роботи над зменшенням похибок, тому, що ці технології практично є стандартом. Більшість технологій реалізуються за допомогою комп'ютера.

6.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 6.4

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
Кількість головних гравців, од	9
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	800,36 млн дол
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	18

Висновки: аналіз попередньої характеристики потенційного ринку стартап- проекту показав, що ринок є привабливим для входження, чому сприяють відсутність обмежень для входу та специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації, а також позитивна динаміка ринку. Коефіцієнт рентабельності не являється високою, проте ринок являється перспективним так, як потребує нових розробок та рішень.

Таблиця 6.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>

1. Отримання результатів вимірювання концентрації NO та NO _x	1. Науково-виробничі підприємства 2. екологія 3. охорона навколишнього середовища	1. Доставка у будь-яку країну 2. Інструкція по експлуатації	-до продукції (надійність, обґрунтована ціна, якість, компактність) - до компанії-постачальника (підтримка 24/7, дійсні технічні характеристики)
---	---	--	---

Висновки: аналіз характеристик клієнтів показав, що цільовою аудиторією є компанії, які розвиваються у сфері екології займаються охороною навколишнього середовища. Різницею у поведінці є доставка у будь-яку країну та інструкція по експлуатації. Для всіх аудиторій важлива цілодобова підтримка, якість продукції та технічні характеристики.

Таблиця 6.6

Фактори загроз

<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
Велика конкуренція	Наявність аналогів на ринку	Реалізувати нове технічне рішення Сучасний дизайн
Велика кількість браку	Неналагодженість виробництва деталей та комплектуючих	Випуск невеликими партіями Банкротство
Чорний піар	Зниження клієнтської бази	Реклама Спростування

Висновки: аналіз ринкового середовища, а саме факторів загроз, показав, що однією з найбільших загроз для компанії є брак деталей та збій по-

ставок. Проте існують можливі реакції компанії, наприклад, випускати продукцію невеликими партіями та мати декілька постачальників, щоб уникнути збій в процесі роботи компанії.

Таблиця 6.7

Фактори можливостей

<i>n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливо- сті</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Відсутність вітчизняних виробників на внутрішньому ринку.	Вільний ринок	Можливість швидкого розвитку
	Забезпечені майже всіма матеріалами для виробництва.	Швидка компоновка	Збільшення випуску продукції
	Нові технології дистанційного моніторингу	Покращення характеристик компонентів, що використовуються у приладі	Використання сучасного обладнання
	Розробка універсального програмного забезпечення	Швидкодія	Збільшення випуску продукції

Висновки: аналіз ринкового середовища, а саме факторів можливості, показав, що на внутрішньому ринку є можливість швидкого розвитку, також є можливість збільшити випуски продукції, використовувати більш сучасне

обладнання та використовувати нові методи розробки універсального програмного забезпечення

Таблиця 6.8

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Олігополістична конкуренція	Галузь в основному є конкурентною, проте існує декілька явних лідерів	Важко вийти на міжнародний рівень
Глобальний рівень конкурентної боротьби	Конкуренти з різних країн світу	Конкуренти з різних країн світу
Внутрішньогалузева Конкуренція	Конкуренція спостерігається лише в галузі ДЗЗ	Розробка однонаправленої продукції (яка вирішує одну але добре проблему)
Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між товарами одного виду	Створення кращої і якіснішої продукції
Ціновий характер	Продукція дуже дорога	Зменшити вартість
Марочний характер	Для споживачів має значення «бренд»	Створення добре відомої марки.
Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)

Висновки: ступеневий аналіз конкуренції на ринку показав, що не дивлячись конкуренцію лідерів, у запропонованого проекту є можливість розвитку на українських підприємствах з виходом на ринок. Можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною, це створення добре відомої марки та зменшення ціни на продукцію.

Таблиця 6.9

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	КБ «Луч» ДАКХ «Артем»	Наявність товарних знаків, доступ до ресурсів	Значення розміру поставок для постачальників	Торговельні знаки, система інформації	Ціна, лояльність споживачів
Висновки:	Конкурентна боротьба неінтенсивна так, як прямі конкуренти більше спеціалізуються на іншому типі обладнання	Є можливість входу на ринок за рахунок гнучкості цін; потенціальної конкуренції є серед існуючих компаній	Зазвичай постачальники не диктують умови співпраці	Умови клієнтів в залежності від ситуації постійно змінюються	Товари-замінники обмежують ціну товару

Висновки: аналіз конкуренції в галузі за М. Портером показав, що можлива робота на ринку України так, як конкурентна боротьба неінтенсивна і

прямі конкуренти більше спеціалізуються на іншому типі обладнання, також проект повинен відповідати умовам споживачів, які в залежності від ситуації можуть змінюватись.

Таблиця 6.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
Потреби споживачів	Потреби споживачів обумовлюють необхідність розробки проекту
Продуктивність	Завжди досягається кінцевий результат
Ціна та собівартість продукції	Не завищена, конкурентна ціна
Технічне обслуговування	Міжнародна технічна допомога

Висновки: в результаті обґрунтування факторів конкурентоспроможності стало видно, що фактор потреби споживачів, продуктивності, технічного обслуговування, ціни та собівартості є основними факторами *конкурентоспроможності*

Таблиця 6.11

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Система моніторингу якості повітря»

<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Бали 1-20</i>	<i>Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з КБ «Луч»</i>						
		<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Потреби споживачів	10							
Продуктивність	15							
Ціна та собівартість продукції	17							
Технічне обслуговування	16							

Висновки: порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Системи моніторингу якості повітря» показав, що результативність і маркетинговий потенціал, а також ціна та собівартість продукції, технічне обслуговування є сильними факторами конкурентоспроможності у порівнянні з КБ «Луч»

Таблиця 6.12

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: - Цілодобова підтримка; - інструкція по експлуатації;	Слабкі сторони: - Низька репутація підприємства на початку впровадження проекту в
--	---

- якість продукту; -продукт відповідає потребам споживачів; -міжнародна доставка	життя; - досить велика кількість браку
Можливості: - Вихід на міжнародний ринок; -продуктивність; - розробка універсального програмного забезпечення -використання нових методів кодування систем RGB.	Загрози: - Зниження доходів потенційних клієнтів; - зменшення імпорту комплектуючих.

Висновки: SWOT- аналіз стартап-проекту вказав на сильні сторони, якими є цілодобова підтримка, інструкція по експлуатації, якість продукту, відповідність потребам споживачів та міжнародна доставка. А слабкими сторонами є низька репутація підприємства на початку впровадження проекту в життя та велика кількість браку.

Таблиця 6.13

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1.	Проведення конференції для закордонних користувачів	50%	3-6 міс.

Висновки: на основі SWOT- аналізу проекту було розроблено альтернативи ринкової поведінки стартап- проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конку-

рентів, що можуть бути виведені на ринок. Як альтернативою було обрано проведення конференції для закордонних користувачів.

6.4. Розробка ринкової стратегії проекту

Таблиця 6.14

Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>n/n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
	Екологія	Готові	Високий попит	Невелика конкуренція	Нескладність входу
	Науково-виробничі підприємства	50%	Середній попит	Немає конкурентів	Можливість входу на 40%
	Дослідницькі інститути	40%	Середній попит	Немає конкурентів	Можливість входу на 25%
Які цільові групи обрано: Екологія					

Висновки: в якості цільових груп потенційних споживачів було обрано науково-виробничі підприємства та екологія. Обидві групи готові прийняти продукт. Інтенсивність конкуренції в першому сегменті невелика в Україні та вхід є легким, через високий попит на внутрішній ринок.

Таблиця 6.15

Визначення базової стратегії розвитку

<i>Обрана альтернатива розвитку проек- ту</i>	<i>Страте- гія охоплення ринку</i>	<i>Ключові кон- курентоспроможні позиції відповідно до обраної альтер- нативи</i>	<i>Базова стратегія роз- витку*</i>
приватна	Ексклю- зивний розпо- діл (Надання пристрою ха- рактеристик, властивостей та дизайну ві- дмінних від існуючих ана- логів)	<ul style="list-style-type: none"> - Універсаль- ність - Компактність - Функціона- льність - Зручність - Невисока ці- на - Довіра до бренду 	Ціна- якість Стратегія лідерства по ви- тратах

Висновки: для обраної альтернативи розвитку проекту було обрано ексклюзивний розподіл, а стратегію лідерства по витратах, як базову стратегію розвитку. Тому що, така стратегія передбачає, що компанія за рахунок чинників може забезпечити більшу, ніж у конкурентів маржу між собівартістю товару і середньоринковою ціною.

Таблиця 6.16

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шу- кати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копію- вати основні характеристики товару конкуре- нта, і які?</i>	<i>Стратегія кон- курентної поведінки*</i>
Проект не є першопрохідцем	Компа- нія буде за- бирати існу- ючих спожи- вачів у кон- курентів і шукати но- вих	Основні ха- рактеристики товару будуть схожими	Стратегія пози- ціювання

Висновки: при визначенні базової стратегії конкурентної поведінки к даному проекту, який не є першопрохідцем, було обрано стратегію- стратегію позиціювання. Компанія показує чим відрізняється продукт від конку- рентів, чим корисний, які є переваги над конкурентами, таким чином відбу- вається позиціювання на особливостях, які важливі споживачу.

Таблиця 6.17

Визначення стратегії позиціонування

<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
Точність	На основі проведених досліджень	1. Похибка при зміні концентрації NO не більше 0,33%. 2. Похибка при зміні концентрації NO _x не більше 1%.	Працюю на одному пристрої
Швидкодія	На основі проведених досліджень	За менший час краща продуктивність, за рахунок потужнішого мікроконтролера	Будь швидким, проведи характеристики швидше свого колеги
Простота у використанні	На основі специфічних характеристик	Можлива робота пристрою як при низьких так і високих температурах, стійкість до вологості та до пониженого атмосферного тиску	Економ свій та наш час

Ціна, якість	Знизити ціни на продукцію та створити якісний товар	Відповідна ціна, довіра до бренду.	Надійність та якість – основа для розвитку
--------------	---	------------------------------------	--

Висновки: при визначенні стратегії позиціювання були обрані вимоги до товару цільової аудиторії такі, як ціна та якість, простота у використанні, швидкодія, точність. Обрано базову стратегію розвитку – знизити ціни на продукцію та створити якісний товар; асоціації було обрано на базі вимог цільової аудиторії, які формують комплексну позицію проекту-надійність, якість – основа для розвитку.

6.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 6.18

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1.	Підтримка	Своєчасна підтримка	Відповідна ціна, довіра до бренду
2.	Простота в керуванні	Доступність новим користувачам, зрозумілий інтерфейс	Не потребує додаткового навчання, наявність інструкції

Висновки: при визначенні ключових переваг концепції потенційного товару було обрано вигоду, яку пропонує товар – своєчасну підтримку, ключовими перевагами перед конкурентами є відповідна ціна та довіра до бренду.

ду, також ще одна вигода- це доступність новим користувачам, ключовими перевагами якого є наявність інструкції по експлуатації продукту.

Таблиця 6.19

Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>
I. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції), її основної функціональної вигоди
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. концентрація NO
	2. концентрації NOx
	3.діапазон робочих температур
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування
III. Товар із підкріпленням	Пакування у пінопласт, коробку
	Марка: «BITW»
	До продажу: потребує ознайомлення з роботою товару
	Після продажу: підтримка клієнтів, гарантія + кешбек (до 20 %)
<p>За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання:</p> <p>Після кінцевого формування маркетингової моделі товару проект буде захищено від копіювання. Безпосередньо захист буде організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексного поєднання властивостей та характеристик розроблювального пристрою</p>	

Висновки: За задумом проект забезпечує природну передачу кольору зображення об'єктів спостереження та виключає з бортової апаратури близький інфрачервоний канал, покращує зображення. До продажу клієнти мають

ознайомитися з роботою проекту, а після продажу буде цілодобова технічна підтримка. За рахунок патенту та комерційної таємниці товар буде захищено від копіювання.

Таблиця 6.20

Визначення меж встановлення ціни

<i>№ п/п</i>	<i>Рівень цін на то- вари- замінники</i>	<i>Рівень цін на то- вари- аналоги</i>	<i>Рівень дохо- дів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1	1800\$	3100- 3400\$	6000\$	2000-2700\$

Висновки: аналізуючи рівень цін на товари- замінники (близько 1800\$), товари- аналоги (близько 3100-3400\$) та рівень доходів цільової групи споживачів (близько 6000\$), мною було встановлено нижню 2000\$ та верхню 2700\$ межі встановлення ціни на товар, що дає перевагу над конкурентами.

Таблиця 6.21

Формування системи збуту

<i>Специфіка закупівельної поведінки цільо- вих клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати пос- тачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптималь- на система збуту</i>
Клієнти ку- пують товар безпосередньо у компанії- розробника	1.Встановлення контакту зі спожива- чами та їх підтримка 2.Інформування 3.Надання додат-	Канал нульового рі- вня (виробник безпосередньо продає товар	- сайт ро- зробника - реклама - знижка - додаткові

	ково інформації 4.Продаж окре- мих додаткових дета- лей 5.Маркетинг то- вару	клієнту)	Послуги
--	---	----------	---------

Висновки: при зазначеної специфіки закупівельної поведінки цільових клієнтів, що клієнти купують продукт безпосередньо у компанії-розробника, було обрано оптимальну систему збуту- через сайт виробника так, як це найпростіший спосіб закупівлі для цільових клієнтів.

<i>Специфі- ка поведінки цільових кліє- нтів</i>	<i>Кана- ли комуні- кацій, якими ко- ристу- ються ці- льові кліє- нти</i>	<i>Ключові позиції, об- рані для по- зиціонування</i>	<i>Завдання рекламного по- відомлення</i>	<i>Концепція ре- кламного звернен- ня</i>
Клієнти дізнаються про нові това- ри з реклами в інтернеті, со- ціальних ме- реж або ж по рекомендаціям інших людей	- електрон- на пошта - публікації - інтернет	-якість - зручність - функціона- льність	1. Поши- рення знань про продукт 2. Значи- мість пристрою для галузі	-Контент- маркетинг -перелік ос- новних даних про продукт

Таблиця 6.22

Концепція маркетингових комунікацій

Висновки: аналізувавши специфіку поведінки цільових клієнтів, було обрано концепцію рекламного звернення:

1. перелік основних правдивих даних про продукт
2. контент-маркетинг.

Реклама буде поширюватись через інтернет та соціальні мережі. Завданням рекламного повідомлення є зацікавлення та поширення знань про продукт новим клієнтам, та поширення інформації про випробування товару.

Висновки

Виконавши загальний аналіз здійснення ідеї стартап- проекту можна зробити загальний висновок.

Попит на продукцію є, що підтверджується позитивною динамікою ринку та потребі споживачів.

Конкуренція на ринку України в цій області не є значною, що обумовлює легкий вхід на український ринок.

Цільовою аудиторією є компанії, що займаються моніторингом якості повітря та охороною навколишнього середовища.

В якості альтернативи впровадження проекту доцільно провести додаткові до продукції конференції для закордонних користувачів, оскільки ця пропозиція є і буде актуальною та цікавою для потенційних клієнтів.

Перевагою запропонованого проекту є те, що продукт відповідає потребам споживачів таких, як моніторинг природних ресурсів, агротехнічного стану сільськогосподарських культур, розвиток інфраструктури міст та інших об'єктів і процесів, які розвиваються під впливом природних і антропогенних чинників.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації проведено розробку системи моніторингу якості повітря. Метою являється створення системи відбіру, транспортування і підготовки проби повітря, вимірювання об'ємної концентрації і дози оксиду азоту (NO) і суми оксидів азоту (NO_x), звукової і світлової сигналізації у випадку перевищення оксиду азоту певного рівня.

В процесі розробки конструкторської документації було вибрано оптимальний варіант конструктивного виконання. Був проведений аналіз та вибір елементної бази та матеріалів, що входять до складу виробу. Проведенні розрахунки, що підтверджують працездатність приладу при заданих умовах експлуатації.

В розділі “стартап-проект ” були оцінені та проаналізовані такі складові як актуальність, слабкі, сильні та нейтральні характеристики ідеї проекту, його технологічна здійсненість, фактори загроз, можливостей та конкурентоспроможності , які загалом надають основну перевагу: відповідають потребам споживачів.

На основі даних, одержаних в процесі виконання даної магістерської дисертації, можна зробити висновки, що конструкція системи моніторингу якості повітря повністю задовольняє вимоги технічного завдання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Аналогові та цифрові інтегральні мікросхеми: С. В. Якубовський, Н. А. Барканов, Л. І. Нісельсон та ін.; Під ред. С. В. Якубовського. — 2-е вид., перероб. і доп. — М.: Радіо і зв'язок, 1984. — 432 с.
- 2 Аналізатори газів та рідин. Пер. з чеш. Під ред. О. С. Арутюнова. — М.: Енергія, 1970. — 552 с.
- 3 Гутніков В.С. Інтегральна електроніка в вимірювальних пристроях. — 2-е вид., перероб. і доп. — Л.: Енергоатом, 1988. — 304 с.
- 4 Денисенко Г. Ф. Охорона праці: Навчальна літер. для інж.-екон. спец. вузів. — М.: Вищ. шк., 1985. — 319 с.
- 5 Долін П. А. Довідник по техніці безпеки— 6-е вид., перероб. і доп. — М.: Енергоатом, 1984. — 824.
- 6 Вироби народногосподарського призначення на 1991–1992 р. — М., 1991. — 154 с.
- 7 Номенклатурний каталог (збірник) по закордонним і відчизняним приборам, засобам автоматизації і технологічному обладнанню. — М.: Інформприбор, 1995. — 23 с.
- 8 Пацюра І. В., Корнийчук В. І., Довбиш Л. В. Надійність електричних схем. — К.: Світ, 1997 — 128 с.
- 9 Напівпровідникові пристрої: Справ. радіолюбителя / Р. М. Терещук, К. М. Терещук, С. А. Седов. — 3-е вид., перероб. і доп. — К.: Наук. думка, 1987. — 800 с.
- 10 Прибори, що розробленні підприємствами НПО "Хімавтоматика": Номенклатурний каталог. — Черкаси: НИИТЭХИМ, 1990. — 152 с.
- 11 Застосування прецизійних аналогових мікросхем / А. Г. Алексеенко, Е. А. Коломбет, Г. И. Стародуб. — 2-е вид., перероб. і доп.

— М.: Радіо і зв'язок, 1985. — 304 с.

12 Самофалов К. Г., Вікторов О. В. Мікропроцесори. — Б-ка інженера. — 2-е вид., перероб. і доп. — К.: Техніка, 1989. — 312 с.

13 Довідкове керівництво по кресленню / В. Н. Богданов, І. Ф. Малежик, А. П. Верхола та ін. — М.: Машинобудування, 1989. — 864 с.

14 Технічні засоби контролю параметрів навколишнього середовища: Номенклатурний каталог. — М.: Інформприбор, 1993. — 174 с.

15 Технічні засоби охорони: Довідник. — Черкаси, 1991. — 28 с.

16 Ткачук Н. П., Слонченко А. В., Степанов А. Г., Сабарно Р. В. Охорона в приладобудуванні: Навч. довідник для вузів. — К.: Вища школа, 1980. — 192 с.

17 Тхоржевский В. П. Автоматичний аналіз газів та рідин на хімічних підприємствах. — М.: Хімія, 1976. — 272 с.

18 Встановлення параметрів і критеріїв методик повірки: Методичні вказівки. — К.: КПІ, 1998 — 35с.

19 Франко Р. Г., Кадук Б. Г., Кравченко А. А. Газоаналітичні прилади та системи. — М.: Машинобудування, 1983. — 128 с.

20 Електротехнічні вироби промислового користування до 1000 В. Част. 1: Довідник-каталог/ Під ред. В. Д. Козлова— М., 1995. — 136 с.

21 Елементи формування газових потоків: Каталог. Том 1, — 1990. — 168 с.

22 Елементи формування газових потоків: Каталог. Том 2, — 1990. — 252 с.