“Засіб генерації та контролю концентрації озону”

доповідач: **Драч Роман Петрович**
науковий керівник: **к.т.н., ст. викл. Дудадтьєв І.А.**

- **Актуальність теми**. Однією з основних проблем, що перешкоджають застосуванню систем і технології озонування в промисловості є відсутність на ринку, надійних, простих, економічних, безпечних, високопродуктивних, а головне дешевих озонаторов. Ринкова ціна генераторів озону, як правило, десятки, а то і сотні тисяч гривень, маючи при цьому продуктивність максимум до 100 г/год. Неможливість їх універсального використання в різних технологічних процесах знижує комерційну привабливість використання озону в промисловості. Тому питання розробки засобу генерації та контролю концентрації озону, що забезпечує високу продуктивність і при цьому малу вартість, є актуальним.
- **Мета дослідження**. Метою роботи є підвищення точності при необхідній швидкодії процесу контролю концентрації озону у атмосфері за рахунок оцінення та компенсації впливу впливаючих факторів на основі оптико-абсорбційного методу.
- Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені такі **задачі:**
- аналіз існуючих засобів та методів контролю концентрації озону;
- структурно-технічне обгрунтування реалізації засобу контролю концентрації озону;
- розробка функціональної залежності засобу для контролю концентрації озону;
- розробка структурної схеми засобу контролю озону;
- проведення експериментальних досліджень та підтвердження адекватності розробленого засобу контролю озону.
- *Об'єктом дослідження* в дисертаційній роботі є процес вимірювального контролю концентрації озону.
- *Предметом дослідження* є методи та засоби підвищення точності вимірювання при заданій швидкодії оптико-абсорбційного методу вимірювання концентрації озону.
- **Методи дослідження**. При вирішенні поставлених задач у роботі були використані методи теорії вимірювального контролю, теорії планування наукового експерименту в ході експериментальних досліджень, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, похибок вимірювань та технічного контролю.
- **Наукова новизна одержаних результатів**:
- Вдосконалено математичну модель фотоелектричного вимірювального перетворювача концентрації озону, яка враховує паразитні параметри складових елементів фотоприймача та пов'язує вихідну величину – значення вихідної напруги фотоприймача та вхідну – значення інтенсивності світового потоку, і, як наслідок, концентрацію озону, що дозволило підвищити точність вимірювання у 1,1-1,2 рази.
- Розроблена структурно-алгоритмічна організація системи контролю озону на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу.
- Вперше запропоновано зміну параметрів розряду в озонаторі, що дозволило підвищити ефективність синтезу озону, та застосування в якості електродів озонатора матеріалів з підвищеним електричним опором
- **Практичне значення одержаних результатів**. У роботі отримані такі практичні результати:
- 1. Розроблена структурно-алгоритмічна організація засобу контролю концентрації озону.
- 2. Розроблено структурну схему засобу контролю озону.
- 3. Розроблено функціональну схему трубчастого генератора озону.

Порівняння методів для контролю концентрації озону

Метод/ Параметр	Діапазон вимірювань	Швидкодія	Надійність	Багато-компонентність	Вибірковість	УЯКЕ
Термокондуктометричний	0.2	0.2	0.9	0.9	0.1	0.46
Термохіміч ний	0.3	0.2	0.8	0.8	0.3	0.48
Магнітний	0.4	0.4	0.9	0.9	0.9	0.7
Пневматичний	0.1	0.1	0.7	0.7	0.2	0.36
Пневмоакустичний	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.16
Оптико-абсорбційний інфрачервоний	1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.88
Хемілюмінесцентний	0.9	0.8	0.3	0.9	0.8	0.74
Флуоресцентний	0.9	0.8	0.3	0.9	0.8	0.74
Фотоколориметричний	0.8	0.8	0.2	0.8	0.8	0.68

Узагальнений якісний критерій ефективності

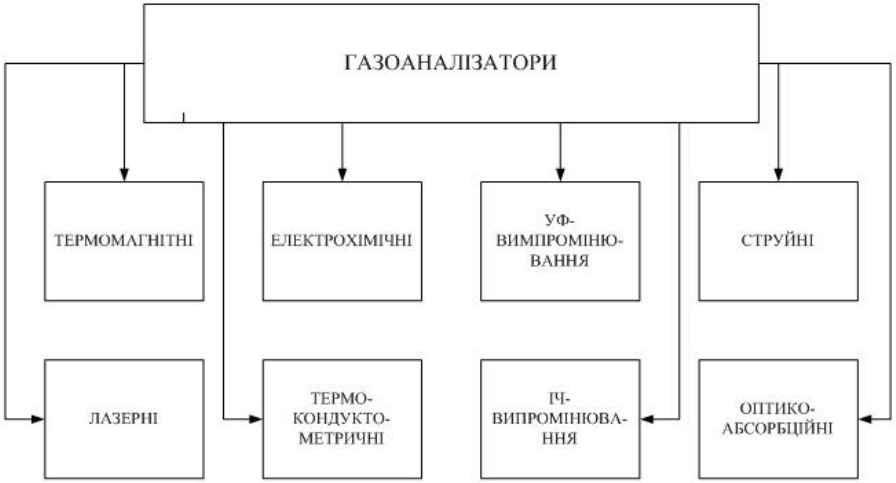
$$k = \sum_{i=1}^{n} \frac{ai}{n}$$

де – a_i вагові коефіцієнти; n – загальна кількість якісних критеріїв ефективності

$$E_i = \frac{k_i}{kopt}$$

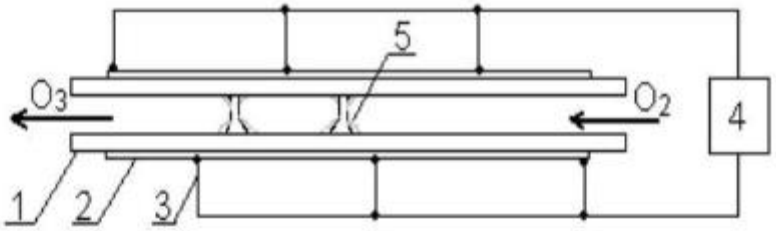
де – k_i узагальнений якісний критерій і-ого методу;
k_{opt} – потенційний (зразковий) метод контролю.

Систематизація газоаналізаторів



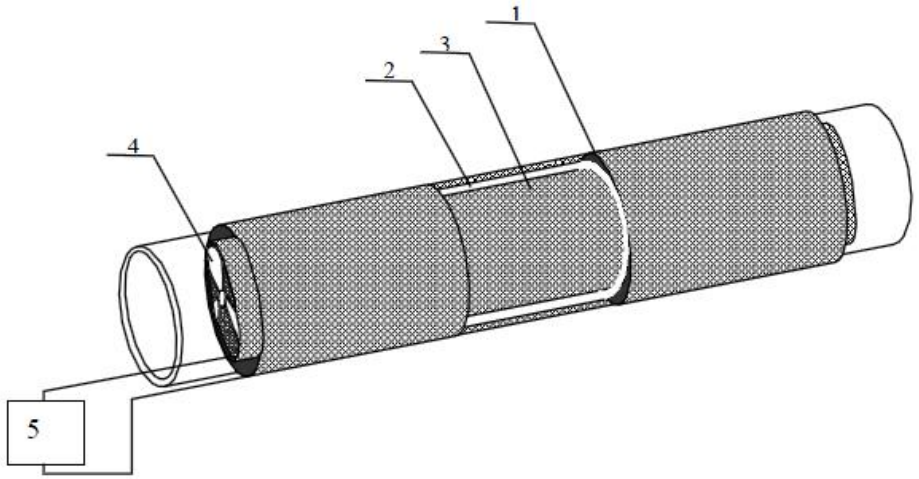
Сучасні засоби вимірювання концентрації компонентів газу (по каналу O_3)

Прилад	Діапазон температур, °С	Робочий тиск, кПА	Діапазон вимірюва-ння, %	Зона не чутли-вості, с	Похибка, % / Вірогідність контролю*	Дрейф, %
А-8М	до 50	35	0,01 до 99.9	< 10	±1 / 0.8	< ± 1
NDIR Gas sensor MH-410D	-20 - 60	5	20 до 100	30	5 / 0.85	< ± 1
ОПТОГАЗ -500.5	до 200	40	0-20	15	6/0.82	< ± 1
Ezo do CTH-37	до 400	40	0-50	10	5/0.94	< ± 1



Озонатор з високоомними електродами

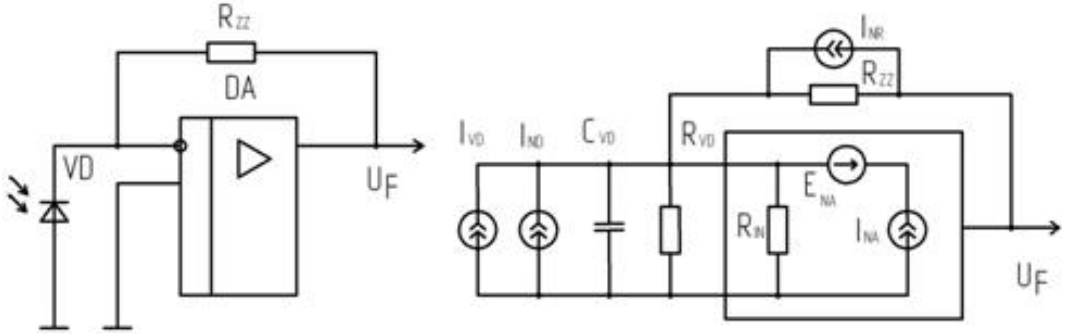
1-діелектричний бар'єр
2-високоомний електрод
3-струмопідведення
4-джерело високої змінної напруги
5-мікророзряди



Конструкція трубчастого генератора озону

1 і 3-провідні електроди
2-діелектрічної трубки
4-нерухомий лопатевий збуджував повітряного потоку
5-джерело змінного струму

Принципова та еквівалентна схеми фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач



$$I_{VD} = \frac{\Phi \cdot S_{I0}}{\sqrt{1+(\Omega \tau_{VD})}} - I_s \cdot (\exp(e_e \cdot U_{VD} / kT) - 1),$$

де I_{VD} – струм фотодіоду; Φ потік опромінення, S_{I0} інтегральна струмова чутливість фотодіоду при немодульованому опроміненні; I_s – темновий струм фотодіоду; U_{VD} – падіння напруги на фотодіоді; T – абсолютна температура; k – постійна Больцмана; e_e – заряд електрону; Ω – циклічна частота модуляції потоку опромінення; τ_{VD} – постійна часу фотодіоду, яка залежить від величин внутрішнього опору фотодіоду та паразитної ємності фотодіоду .

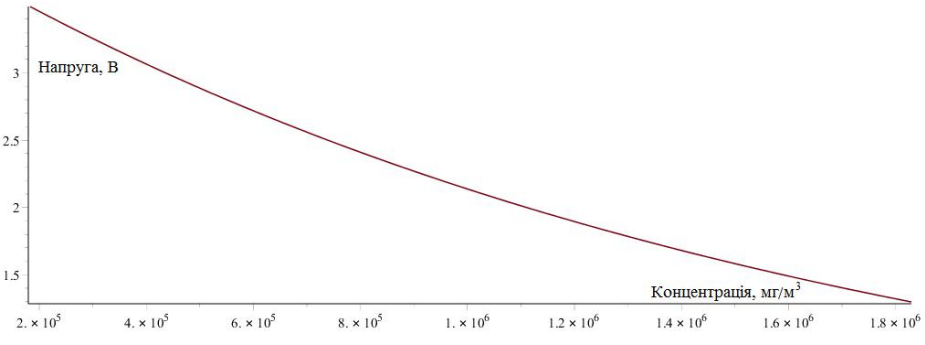
$$U_F = \frac{I_{VD} \cdot R_{ZZ}}{1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0 \cdot R_{IN}} + \frac{1}{K_0}} + \Delta I \cdot R_{ZZ} + U_{SM} + U_N,$$

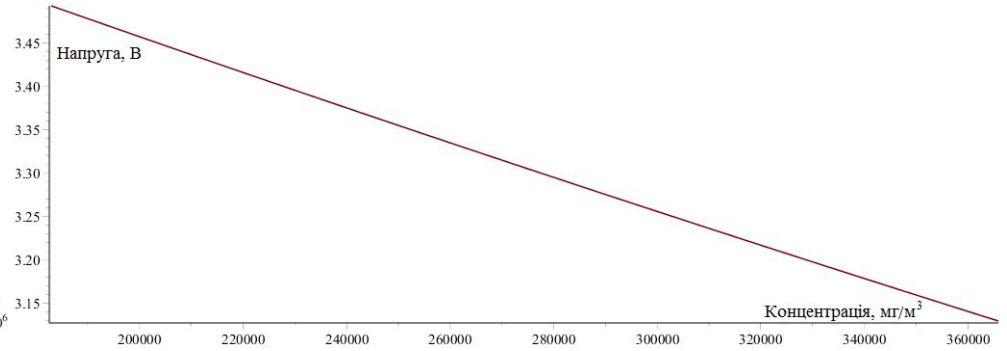
де K_0 - коефіцієнт передачі операційного підсилювача; R_{IN} - вхідний опір операційного підсилювача; U_{SM} - напруга зміщення нулю операційного підсилювача; ΔI - різниця вхідних струмів операційного підсилювача; R_{ZZ} - опір в колі зворотнього зв'язку операційного підсилювача; U_N - напруга шуму на виході фотоприймача, яка залежить від шумового струму резистора в колі зворотнього зв'язку, шумового струму фотодіоду , шумового струму операційного підсилювача та шумової напруги операційного підсилювача .

Вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач

$$U_F = \frac{I \cdot S \cdot S_{I0} \cdot R_{ZZ}}{(1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0 \cdot R_{IN}} + \frac{1}{K_0}) \cdot \sqrt{1 + (\Omega \tau_{VD})}} - \frac{I_S \cdot R_{ZZ} \cdot (\exp(e_e \cdot U_{VD} / kT) - 1)}{1 + \frac{R_{ZZ}}{K_0 \cdot R_{IN}} + \frac{1}{K_0}} + \Delta I \cdot R_{ZZ} + U_{SM} + U_N .$$

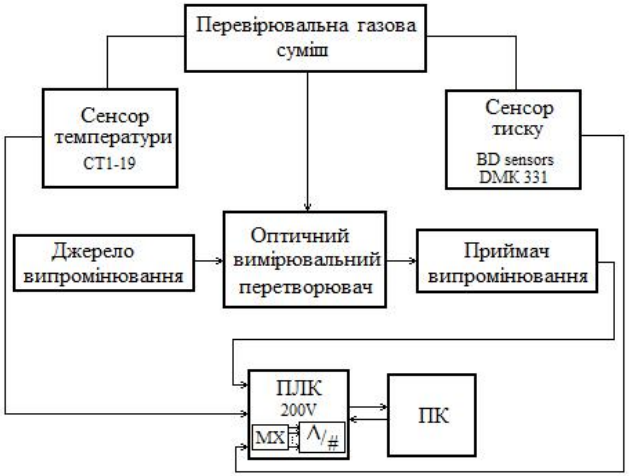
$$U_F = I_0 \cdot e^{\frac{\int_0^\infty k_s(\lambda) d\lambda}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + (\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i})^2} \frac{-0,0083 \cdot T}{P_0 \cdot e^{-\frac{M_M \cdot g \cdot h}{R \cdot T}} - P_{розр.}} \cdot \frac{C}{M} \cdot l} \cdot S_{I0} \cdot S \cdot R.$$



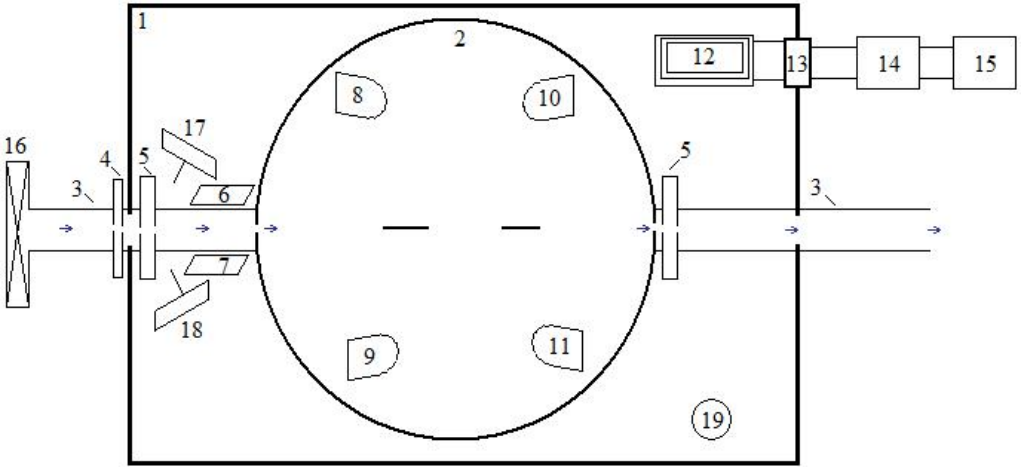


Моделювання залежності концентрації O_3 від напруги у робочому та повному діапазоні

Структурна схема засобу контролю концентрації озону



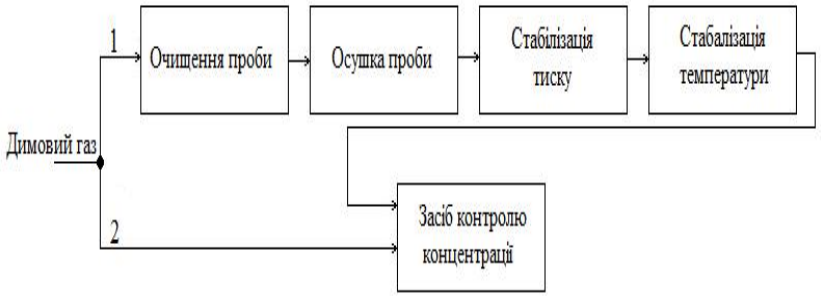
Збірне креслення засобу контролю концентрації озону



1 – корпус засобу контролю складу концентрації озону; 2 – корпус оптичного сенсору; 3 – газозабірний зонд шланг для закачування/відкачування пробу у/з засобу контролю; 4 – фільтр (від механічних домішок) ; 5 – вентилятори; 6 – сенсор тиску; 7 – сенсор температури; 8 – СВД робочого каналу; 9 – ФД робочого каналу; 10 – ФД опорного каналу; 11 – СВД опорного каналу; 12 – плата; 13 – гніздо для роз'ємів; 14 – ПЛК з вбудованим АЦП; 15 – ПК; 16 – перевірювальна газова суміш; 17 – нагрівач; 18 – охолоджувач;19 – сигналізація.

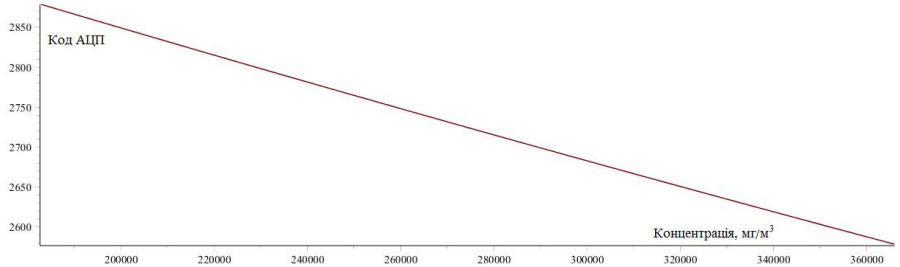
Оцінення основних метрологічних характеристик вимірювальних каналів засобу контролю концентрації озону

Шляхи подачі димового газу на ЗК, для його аналізу

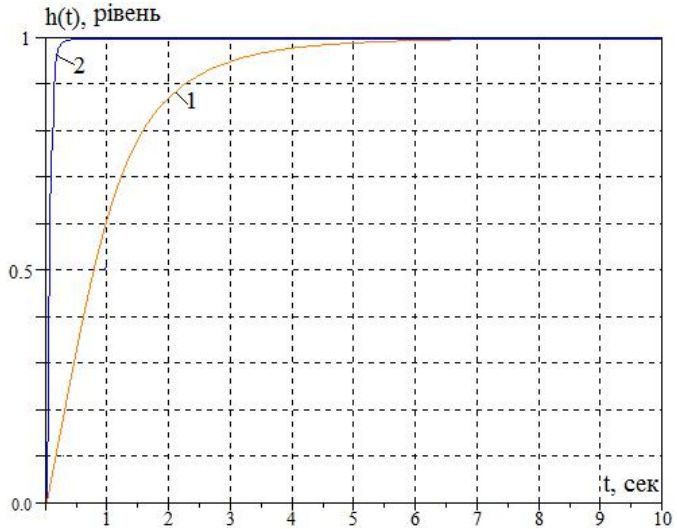


Рівняння перетворення вимірювального каналу

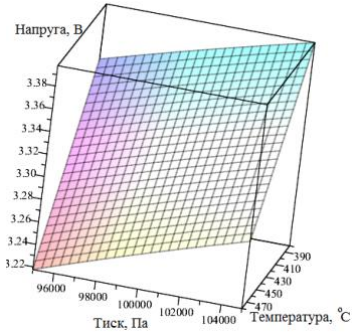
$$N_x = \frac{I_0 \cdot e^{\frac{\int_0^{\infty} k_s(\lambda)d\lambda}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2+(\frac{1}{\lambda}-\frac{1}{\lambda_i})^2} \cdot P_0 \cdot e^{\frac{-0,0083 \cdot T}{-\frac{M_M \cdot g \cdot h}{R \cdot T}} - P_{розр.}} \cdot \frac{C}{M} \cdot l} \cdot S_{I0} \cdot S \cdot R}{5.5} \cdot 2^{12}$$



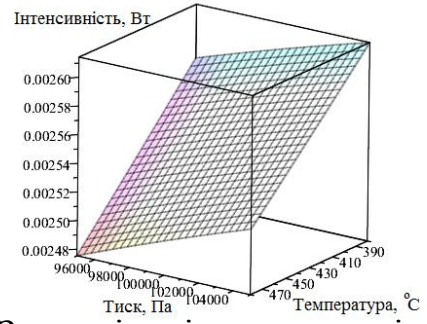
Графічне представлення рівняння вимірювального каналу концентрації озону



Перехідний процес у ВП з закритим – 1 (відкритим – 2) оптичним каналом



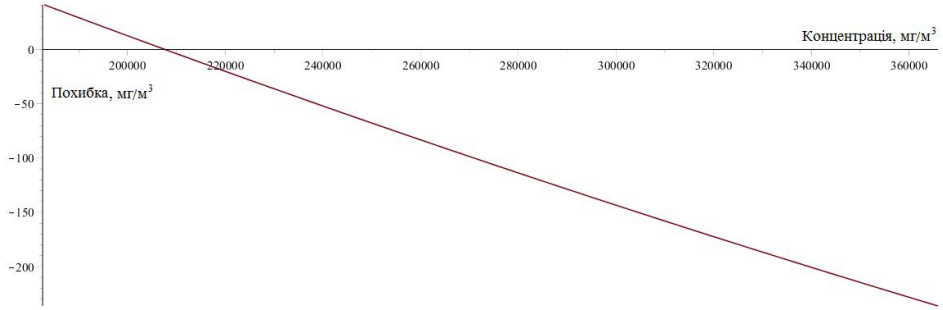
Залежність напруги на виході оптичного сенсора від тиску та температури представлено(при сталій концентрації)



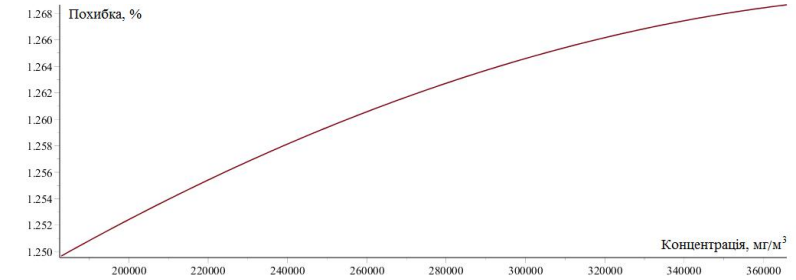
Залежність інтенсивності випромінювання від тиску та температури представлено(при сталій концентрації)

Представлення вимірювального перетворення

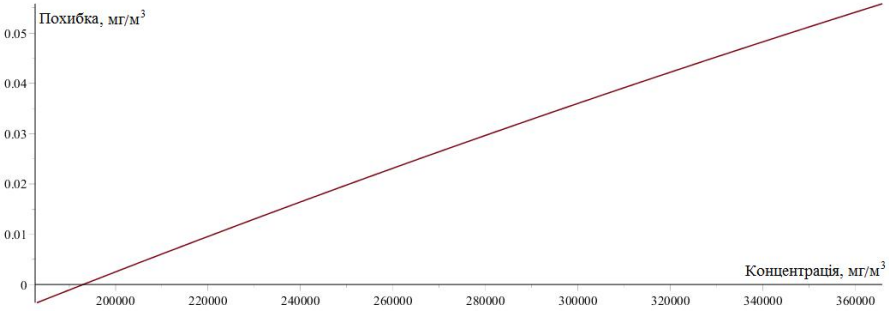
$$N_x = fun(C_n, T_n, P_n, S_{ion}, R_{zzn}) + \frac{\partial N}{\partial C}(C - C_n) + \frac{\partial N_x}{\partial T}(T - T_n) + \frac{\partial N_x}{\partial P}(P - P_n) +$$
$$+ \frac{\partial N_x}{\partial S_{io}}(S_{io} - S_{ion}) + \frac{\partial N_x}{\partial R_{zz}}(R_{zz} - R_{zz\,n}) +$$
$$+ \frac{1}{2}\cdot\left[\begin{array}{l} \frac{\partial^2 N_x}{\partial C^2}\cdot(C - C_n)^2 + 2\frac{\partial^2 N_x}{\partial C \partial T}(C - C_n)(T - T_n) + 2\frac{\partial^2 N_x}{\partial C \partial T}(C - C_n)(P - P_n) + \\ 2\frac{\partial^2 N_x}{\partial T^2}(T - T_n)^2 + \frac{\partial^2 N_x}{\partial T \partial P}(T - T_n)(P - P_n) + \frac{\partial^2 N_x}{\partial P^2}(P - P_n)^2 \end{array}\right] +$$
$$+ \frac{1}{2}\left[\frac{\partial^2 N_x}{\partial S^2{}_{io}}(S_{io} - S_{ion})^2 + \frac{\partial^2 N_x}{\partial R^2{}_{zz}}(R_{zz} - R_{zz\,n}) + 2\frac{\partial^2 N_x}{\partial S_{io}\partial R_{zz}}(S_{io} - S_{ion})(R_{zz} - R_{zz\,n})\right] +$$
$$+ \frac{\partial^2 N_x}{\partial C \partial S_{io}}(C - C_n)(S_{io} - S_{ion}) + \frac{\partial^2 N_x}{\partial C \partial R_{zz}}(C - C_n)(R_{zz} - R_{zzn}) +$$
$$+ \frac{\partial^2 N_x}{\partial C \partial S_{io}}(T - T_n)(S_{io} - S_{ion}) + \frac{\partial^2 N_x}{\partial T \partial R_{zz}}(T - T_n)(R_{zz} - R_{zzn})$$



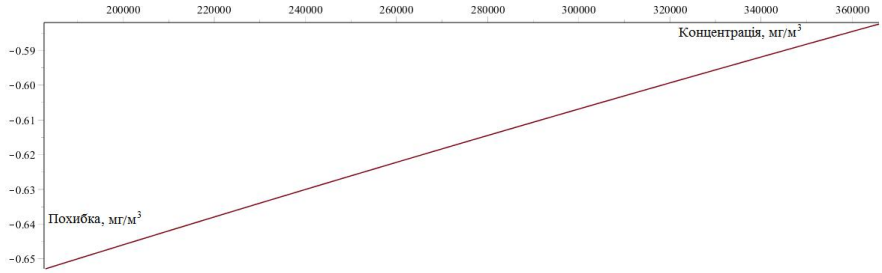
Представлення абсолютної похибки нелінійності



Представлення відносної похибки нелінійності номінальної функції перетворення



Характеристика зміни абсолютної мультиплікативної похибки



Характеристика зміни абсолютної адитивної похибки

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено засіб контролю концентрації озону на основі оптико-абсорбційного методу з покращеними метрологічними характеристиками. Основні наукові висновки та результати роботи полягають в такому:

1. Проведено аналіз існуючих систем та методів контролю концентрації озону. На основі аналізу відомих методів та засобів контролю концентрації озону встановлені їх основні недоліки та вибрано напрямок досліджень.
2. Одержав подальший розвиток метод вимірювального контролю концентрації озону в основній інфрачервоній області та розроблено структурну схему з відкритими вимірювальним та компенсаційним каналами
3. Вдосконалено математичну модель фотоелектричного вимірювального перетворювача інтенсивності світлового потоку, яка враховує паразитні параметри складових елементів фотоприймача, отримано рівняння перетворення, що однозначно пов'язує вихідну величину – значення вихідної напруги фотоприймача та вхідну – значення інтенсивності світового потоку, що дозволило підвищити достовірність контролю.
4. Проведено аналіз коефіцієнту передачі оптичного вимірювального перетворювача, коефіцієнт поглинання О3 у газах та досліджено вплив ширини спектру приймача ІЧ випромінювання на чутливість оптичного каналу газового сенсора.
5. Технічно обгрунтувано реалізацію засобу контролю озону. Розраховано статичні та динамічні характеристики засобу контролю концентрації озону на основі оптико-абсорбційного методу.
6. Розроблено структурну та функціональну схеми засобу контролю концентрації озону та представлене рівняння перетворення вимірювального каналу.
7. Оцінена адекватність розробленої математичної моделі та визначено точность вимірювань концентрації озону.

Апробація результатів дисертації

Апробація результатів роботи. Результати роботи обговорювалися на VI Міжнародній міжвузівській школі-семінар «Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі». (м. Івано-Франківськ 2018).

Публікації

Публікації. Результати роботи опубліковано науковій праці: Кучерук В.Ю., Дудатьєв І.А., Баранець В.В., Драч Р.П. Засіб контролю концентрації природних газів у атмосферних газоподібних середовищах на основі оптико-абсорбційного методу // // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, №2, 2018, с. 39-46.

Дякую за увагу!