



GLOBAL JOURNAL OF SCIENCE FRONTIER RESEARCH: B  
CHEMISTRY

Volume 23 Issue 2 Version 1.0 Year 2023

Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal

Publisher: Global Journals

Online ISSN: 2249-4626 & Print ISSN: 0975-5896

## Dispersion Devices using a Fourier Analyzer

By V. Kozubovskyi & Yu. Bilak

*Uzhhorod National University*

**Abstract-** The paper considers the possibility of optimizing the parameters of dispersion devices for gas analysis, which use correlation reception of the useful signal and are used for the analysis of gas mixtures in the visible and UV regions of the spectrum. The factors affecting the optimal filtering of the useful signal in the electronic path of the device are determined, and methods of eliminating this influence, including the background component of the signal, are proposed. As an example of the use of gas analysis devices with correlated selection of a useful signal in the electronic path of the analyzer, the structural diagram of the device for the analysis of SO<sub>2</sub> in the gases of thermal power plants is described.

**Keywords:** *gas analyzer; correlation signal selection; electronic channel.*

**GJSFR-B Classification:** *FOR Code: 030101*



*Strictly as per the compliance and regulations of:*



© 2023. V. Kozubovskyi & Yu. Bilak. This research/review article is distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0). You must give appropriate credit to authors and reference this article if parts of the article are reproduced in any manner. Applicable licensing terms are at <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

# Dispersion Devices using a Fourier Analyzer

## ДИСПЕРСІЙНІ ПРИЛАДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУР'Є АНАЛІЗАТОРА

V. Kozubovskyi <sup>α</sup> & Yu. Bllak <sup>σ</sup>

**Abstract-** The paper considers the possibility of optimizing the parameters of dispersion devices for gas analysis, which use correlation reception of the useful signal and are used for the analysis of gas mixtures in the visible and UV regions of the spectrum. The factors affecting the optimal filtering of the useful signal in the electronic path of the device are determined, and methods of eliminating this influence, including the background component of the signal, are proposed. As an example of the use of gas analysis devices with correlated selection of a useful signal in the electronic path of the analyzer, the structural diagram of the device for the analysis of SO<sub>2</sub> in the gases of thermal power plants is described.

**Keywords:** gas analyzer; correlation signal selection; electronic channel.

**Абстрактний:** В роботі розглянута можливість оптимізації параметрів дисперсійних приладів газового аналізу, які використовують кореляційний прийом корисного сигналу і застосовуються для аналізу газових сумішей у видимій та УФ областях спектру. Визначено фактори, які впливають на оптимальну фільтрацію корисного сигналу в електронному тракті приладу, запропоновано методи усунення цього впливу, в тому числі і фонові складові сигналу. Як приклад використання приладів газового аналізу з кореляційним виділенням корисного сигналу в електронному тракті аналізатора описана структурна схема приладу для аналізу SO<sub>2</sub> у газах теплових електростанцій.

### I. ВСТУП

Зазначеними даними по Україні основними забруднювачами атмосфери міст є пил і викиди автотранспорту — в основному важкі вуглеводні, формальдегід, бензопірен, діоксид азоту, а також важкі метали. Адже саме ці речовини, за словами лікарів, є одними з основних збудників онкологічних захворювань.

Серед інших причин забруднення повітря міст фахівці називають скорочення площі зелених насаджень. Забезпечення надійного та однозначного контролю викидів небезпечних речовин у навколишнє середовище є одним з найбільш актуальних завдань для екології.

Серед методів контролю викидів газоподібних речовин найбільш перспективними і широко вживаними методами є оптичні абсорбційні методи. Вони демонструють високу точність, надійність

метрологічних параметрів, хороші експлуатаційні характеристики.

Для підвищення селективності абсорбційних оптичних приладів часто використовуються методи кореляційного аналізу.

Останнім часом стали широко використовувати кореляційні типи приладів з виділенням корисного сигналу в електронному тракті. Вони основані на скануванні з великою частотою вузького спектрального діапазону (20-40) нм, у якому перебувають смуги поглинання досліджуваних газів, що мають характерну структуру і дозволяють ідентифікувати велику кількість газових компонентів, лінії поглинання яких лежать в межах області спектра, що сканується і мають характерну структуру внаслідок коливальних (для УФ області спектру) або обертальних (для ІЧ області) рухів молекули. Такі прилади, як правило, використовують для наукових досліджень при вивченні процесів, що швидко протікають [1]. Сканування спектру здійснюється швидким переміщенням дифракційної решітки, поворотного дзеркала монохроматора, плоскопаралельної пластини, встановленої на шляху його променів, вихідної щілини монохроматора [2]. При детектуванні спектру, що сканується за допомогою фотоприймача, періодичний електричний сигнал тієї або іншої форми в залежності від наявності газу, що визначається в атмосферному повітрі, надходить у систему реєстрації. Ідентифікація газових компонентів за характерними особливостями періодичного сигналу проходить найчастіше за рахунок формування синхроімпульсів, які поступають в систему реєстрації з визначеною частотою в залежності від періоду структури досліджуваного газового компонента [3,4,5]. Однак можливий і інший шлях - фільтрація корисного електричного сигналу в системі реєстрації за допомогою нечутливих до зміни форми сигналу фільтрів [6]. На цьому принципі були створені прилади для аналізу SO<sub>2</sub> в газоподібних викидах теплових електростанцій і NH<sub>3</sub> при технологічних процесах [7,8].

Електронні смуги поглинання, наприклад, SO<sub>2</sub> мають яскраво виражену характерну коливальну структуру (див.рис.1). Тому у вихідній площині поліхроматора, при наявності в робочій кюветі SO<sub>2</sub>, буде спостерігатися спектр SO<sub>2</sub> у вигляді "світлих" і "темних" смуг, що чергуються (в максимумах поглинання спектру випромінювання послаблюється, в мінімумах - залишається без істотних змін). При скануванні цього спектру з частотою  $\omega_p$  за

Author <sup>α</sup>: Doctor of technical sciences, professor of the department, Uzhhorod National University. e-mail: kozubvr@gmail.com

Author <sup>σ</sup>: Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Uzhgorod National University.

допомогою, наприклад, нарізаних на обертовому диску радіальних вихідних щілин (число щілин вибирається з умови, щоб у зоні сканування в кожний момент часу знаходилася тільки одна щілина), на виході фотоприймача (фотоелектронного помножувача - ФЕП) з'являється електричний сигнал з певною "резонансною" для  $\text{SO}_2$  частотою  $\omega_0$ . Амплітуда цього електричного сигналу пропорційна концентрації  $\text{SO}_2$ .

Частота  $\omega_0$  залежить від частоти сканування  $\omega_p$  і кількості  $n$  ліній поглинання на ділянці спектру аналізованого газу (див.рис.1).

Співвідношення цих частот  $\omega_0/\omega_p = n$ . В електронному тракті приладу здійснюється фільтрація отриманого сигналу. Як видно з рис.1, сигнал має складову з частотою  $\omega_p$ , пов'язану з наявністю інтегрального поглинання випромінювання, яке збільшується зі зменшенням довжини хвилі.

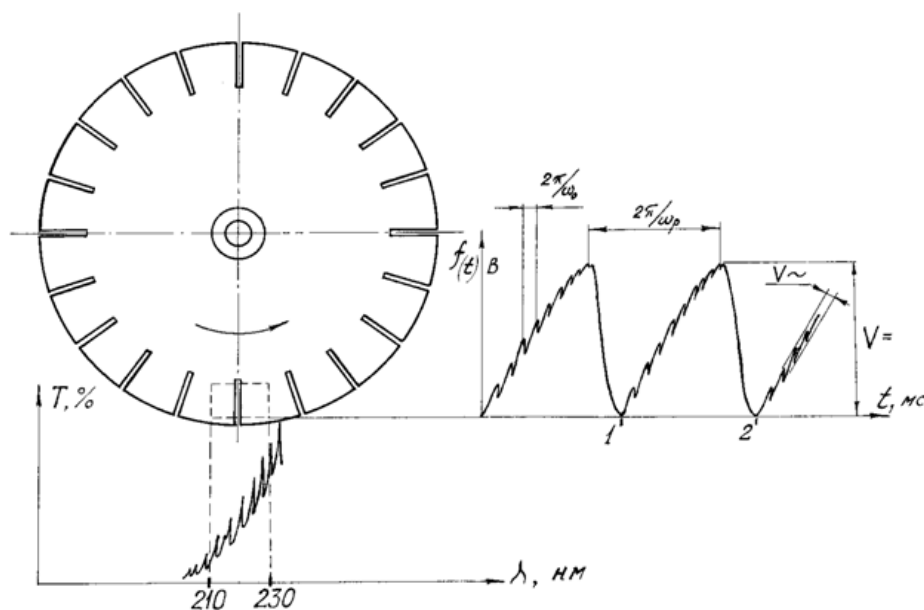


Рис. 1: Сканування спектру поглинання  $\text{SO}_2$  у вихідній площині спектрометра за допомогою вихідної щілини, що обертається

Тому корисний сигнал на частоті  $\omega_0$  спостерігається на фоні пилюноподібного сигналу з частотою  $\omega_p$ . Амплітуди  $I_{\omega_0}$ ,  $I_{\omega_p}$  обох частотних складових залежать від інтенсивності світлового потоку, що надходить на фотоприймач, від величини інтегрального поглинання аналізованим газом, неселективних втрат випромінювання. Амплітуда сигналу на частоті  $\omega_0$  залежить ще й від величини диференціального поглинання в ліній тонкої структури спектру. Таким чином, відношення амплітуд сигналів  $I_{\omega_0}/I_{\omega_p}$  визначається тільки диференціальним поглинанням випромінювання аналізованим газовим компонентом і не змінюється при варіаціях інтенсивності джерела випромінювання, неселективних втрат, зміні рівня інтегрального поглинання за рахунок наявності, наприклад, газових компонент, що заважають.

На рис.2 наведені ділянки спектрів  $\text{NO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$  в області 200-230 нм і  $\text{NO}_2$  в області 430-450 нм. Як бачимо, спектри мають характерну структуру. Ділянки спектрів  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  знаходяться на краю інтенсивних електронних смуг поглинання, тому інтегральне поглинання значно змінюється зі зменшенням довжини хвилі. Одержані в результаті

розрахунків гармонічні склади часових сигналів, що знімаються з фотоприймача при скануванні, наведені на рис.2.а, ділянки відповідних спектрів зображені на рис.2.б. Отримані розрахункові залежності перевірялися експериментально за допомогою скануючого з великою  $\omega_0$  ділянки (наприклад,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ) у спектрі електричного сигналу присутні дві основні гармоніки - перша відповідає частоті  $\omega_p$ , і друга ( $n$ -та) -  $\omega_0$ , де  $n$  - кількість ліній поглинання на сканованій ділянці спектру. Так, при скануванні ділянки спектру  $\text{NH}_3$  200-220 нм частота  $\omega_0$  відповідає п'ятій гармоніці, і дев'ятій гармоніці ( $n = 9$ ) при скануванні ділянки 210-225 нм  $\text{SO}_2$ . Якщо ж сканується не ціле число періодів структури спектру, наприклад  $n = 4,5$ , то інтенсивними є 4 і 5 гармоніки спектру електричного сигналу.

Для  $\text{NO}$  на спектральній ділянці 200-230 нм спостерігається всього 3 вузьких піки поглинання. Однак, оскільки лінії поглинання мають вигляд дельта-функцій, то окрім 3-ої гармоніки спостерігається ряд інтенсивних більш високих гармонік.

У разі ж  $\text{NO}_2$  на ділянці 433-450 нм знаходяться найбільш інтенсивні чотири лінії

поглинання, ширина і форма яких різні і тому поряд з гармонікою  $n = 4$  спостерігається ряд інтенсивних більш високих гармонік.

Отже, у разі аналізу газових компонентів з аперіодичною структурою спектра (наприклад,  $\text{NO}_2$ ),

або з ширинами ліній поглинання значно меншими періоду структури (лінії поглинання  $\text{NO}$  мають вигляд дельта-функцій) спектр електричного сигналу, що знімається з фотоприймача є досить складним і містить низку гармонік.

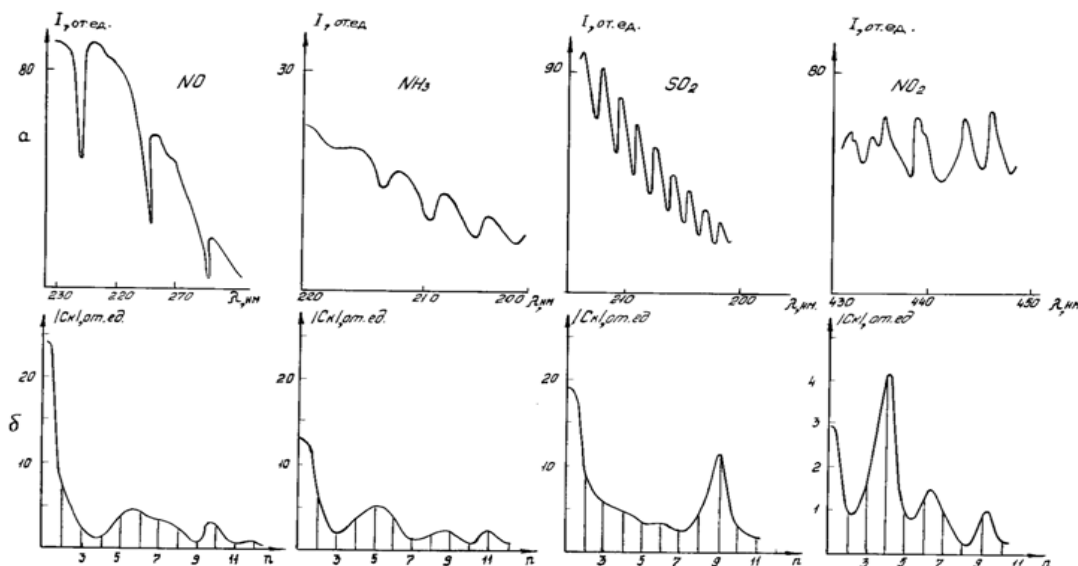


Рис. 2: Залежність світлового потоку від довжини хвилі у вихідній площині спектрометра для різних газів (а) та спектри електричних сигналів, що знімаються з фотоприймача спектрометра при скануванні вихідної щілини (б)

Якщо ж структура спектра має хорошу періодичність ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ), то спостерігається, в основному, тільки одна  $n$ -та гармоніка, амплітуда якої залежить від концентрації аналізованого компонента в газовій суміші.

*Вплив на спектр корисного сигналу параметрів скануючого спектрометра.*

Досліджувався вплив на гармонічний склад корисного сигналу зміни ширини щілин скануючого монохроматора, концентрації досліджуваного газу, зміщення в площині вихідної щілини спектру досліджуваного газу, вибору ширини ділянки спектру, що сканується. Як буде показано нижче, всі ці параметри мають істотний вплив на гармонічний склад і величину корисного сигналу.

Експериментальна установка складалася з освітлювача на основі дейтерієвої лампи ДДС-30 (оптичної лампи ОП8-9), кварцової кювети довжиною  $L = 100\text{мм}$ , монохроматора МДР-3 зі зворотною лінійною дисперсією  $1,3\text{ нм/мм}$  в області  $(0,2-0,6)\text{ мкм}$ , фотоприймача ФЕП-142 (ФЕП-86) підключеного до самописця через узгоджувальний підсилювач.

У кювету напускалися газові суміші  $\text{NH}_3$  в азоті різної концентрації.

*Зміна ширини вхідної і вихідної щілини монохроматора.* Ширина щілин змінювалась у межах від  $0,1$  до  $0,25\text{ мм}$ . Концентрація в кюветі дорівнювала  $1000\text{ млн}^{-1}$ . При цьому спектральна ширина щілин була значно менше періоду  $D$  структури спектру поглинання

$\text{NH}_3$ . У таких умовах знімався спектр поглинання  $\text{NH}_3$  в області від  $190$  до  $230\text{ нм}$ . Для розрахунків вибиралась ділянка спектру  $(200-220)\text{ нм}$  і визначався гармонічний склад корисного сигналу при послідовному скануванні цієї ділянки.

Результати розрахунків наведено на рис. 3. Як бачимо, при збільшенні ширини щілин величина корисного сигналу (6-ої гармоніки) збільшується. Збільшується і відношення амплітуд гармонік  $|C_6|/|C_1|$ , величина  $[|C_6| - (|C_5| + |C_7|)]/2 / |C_1|$ , тобто корисний сигнал з врахуванням фонові складової, віднесеної до основної гармоніки частоти сканування.

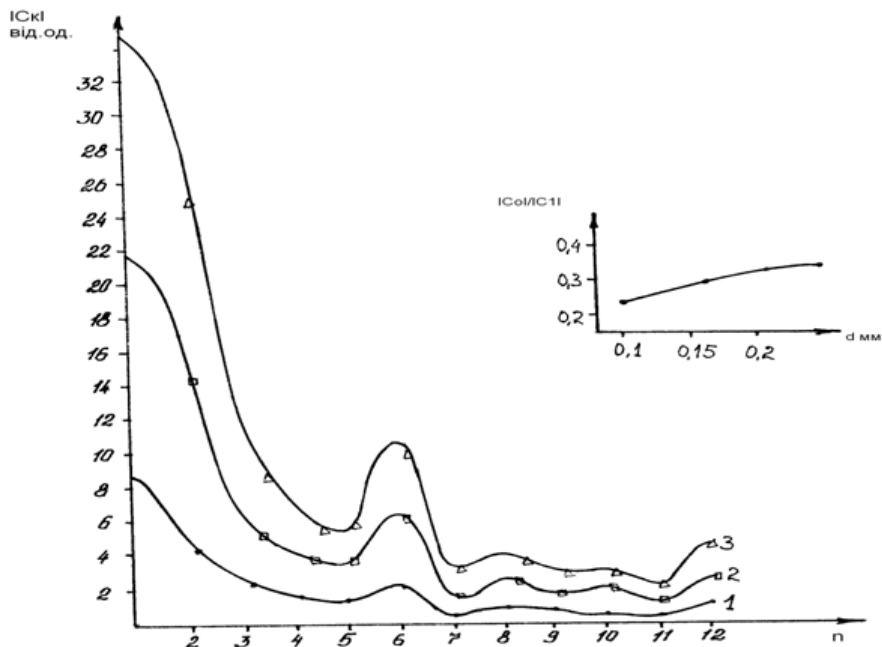


Рис. 3: Зміна амплітуд гармонік електричного сигналу при зміні ширини  $d$  вхідної і вихідної щілин скануючого спектрометра

До яких же меж необхідно збільшувати ширину щілин? Спектральна ширина щілин повинна бути:

$\Delta\lambda = 0,5D$  для досягнення максимальної величини сигналу;

{ (1)

$\Delta\lambda = 0,371D$  для отримання максимального відношення сигнал/шум (СШВ).

Підставляючи параметри спектру поглинання  $\text{NH}_3$  і монохроматора МДР-3 у вираз для спектральної ширини щілин [9]:

$$d\lambda = D_e \Delta x, \quad (2)$$

де  $D_e$  - зворотна лінійна дисперсія, і враховуючи (2), отримуємо оптимальне значення геометричної ширини щілин:

$$\Delta x_{\max} = 1.5 \text{ мм}; \quad \Delta x_{\text{сшв}} = 1.15 \text{ мм}.$$

Тобто збільшення до цих меж ширин вхідної і вихідної щілин буде приводити до зростання величини корисного сигналу (ширини вхідної і вихідної щілин зазвичай вибирають рівними).

Зміна гармонічного складу корисного сигналу при збільшенні концентрації досліджуваного газу. В газову кювету послідовно напускались концентрації  $\text{NH}_3$  рівні  $\chi_1 = 250 \text{ млн}^{-1}$ ,  $\chi_2 = 800 \text{ млн}^{-1}$ ,  $\chi_3 = 1600 \text{ млн}^{-1}$ . Для кожного значення концентрації знімався спектр у діапазоні довжин хвиль від 190 до 230 нм і за допомогою перетворення Фур'є визначався гармонічний склад корисного сигналу. Результати експерименту наведено на рис. 4. Як видно з рис. 4, зі збільшенням

концентрації досліджуваного газу максимум розподілу гармонік корисного сигналу зміщується в бік більш низькочастотних гармонік.

Це, мабуть, пов'язано з тим, що зі збільшенням концентрації досліджуваного газу лінії поглинання ширшають і структура спектру  $\text{NH}_3$  стає ближчою до синусоїдальної, що і призводить до зменшення вкладу високочастотних гармонік в корисний сигнал.

З наведеного експерименту випливає, що для вимірювання концентрації досліджуваного газу в широких межах необхідно детектувати корисний сигнал на декількох близьких гармоніках, пов'язаних з наявністю структури смуги поглинання досліджуваного газу.

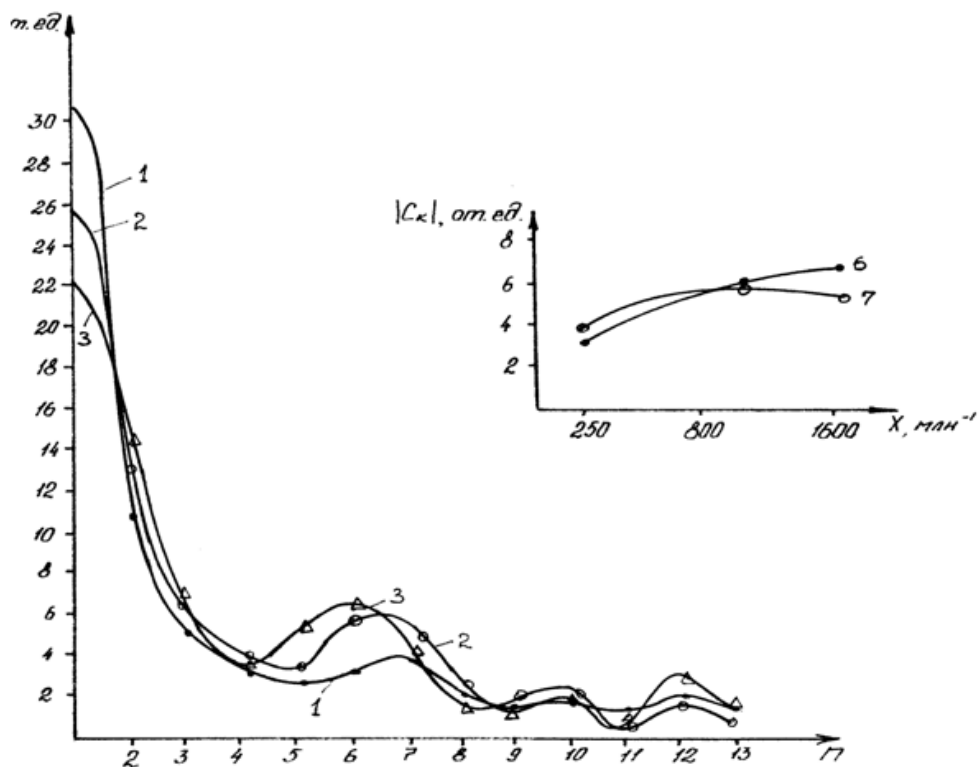


Рис. 4: Перерозподіл амплітуд гармонік корисного сигналу при збільшенні концентрації  $\chi \text{NH}_3$

Зсув ділянки спектру, що сканується. Дослідження проводилися при використанні концентрації  $\text{NH}_3$  або  $\text{NO}_2$  в кюветі рівній  $1000 \text{ млл}^{-1}$ . Знімався спектр поглинання  $\text{NH}_3$  в області (190-230) нм та  $\text{NO}_2$  в області (430-460) нм. З отриманих спектрів вибиралися зміщені один відносно одного більш вузькі ділянки спектра і проводилося обчислення їхніх Фур'є образів.

На рис.5 наведено перерозподіл амплітуд гармонік в разі зміщення спектру  $\text{NH}_3$  (а), структура якого квазіперіодична, і  $\text{NO}_2$  (б), що має значну аперіодичність структури. Як бачимо, зсув сканованої ділянки спектру призводить до значного перерозподілу амплітуд гармонік.

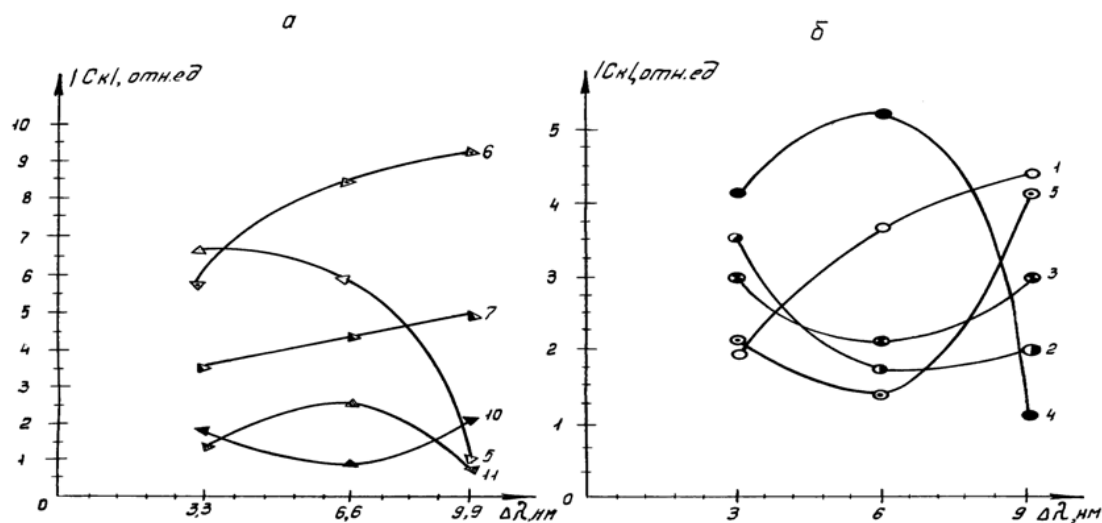


Рис. 5: Перерозподіл амплітуд гармонік корисного сигналу у випадку зміщення спектрів  $\text{NH}_3$  (а) та  $\text{NO}_2$  (б) у вихідній площині спектрометра

Причому у другому випадку амплітуди гармонік зазнають суттєвих змін вже починаючи з першої гармоніки, в першому - значно змінюються амплітуди тільки більш високих гармонік. З рис. 5 випливає, що при ретельному виборі ділянки спектру можна значно збільшити амплітуду гармоніки, пов'язану з наявністю досліджуваного газу в кюветі, а значить, і підвищити відношення сигнал/шум при вимірах корисного сигналу. Тому, вибору ділянки спектра і стабільності його положення в площині вихідної щілини монохроматора слід приділяти значну увагу.

*Вибір ширини ділянки спектра, що сканується.*

При середньоквадратичному детектуванні корисного сигналу, що зазвичай прийнято в газоаналітичних приладах, його величина визначається площею, що знаходиться під обвідною корисного сигналу. Причому ця площа залежить, при нецілому числі сканованих періодів  $D$  структури спектру смуги поглинання, від початкової фази (початкової довжини хвилі) сканування.

Дійсно, нехай, наприклад, сканується  $m = 4,5$  періодів  $D$  структури спектру  $\text{NH}_3$ . При незначних концентраціях  $\text{NH}_3$  в кюветі сканований спектр може

бути представлений у вигляді позитивних напівперіодів синусоїди. Тоді сигнал, що знімається з ФЕП, може бути записаний у вигляді:

$$I_0 \sin \pi t / \tau, \text{ при } 2n\tau < t < (2n+1)\tau \quad I(t) = \begin{cases} I_0 \sin \pi t / \tau, & \text{при } 2n\tau < t < (2n+1)\tau \\ -I_0 \sin \pi t / \tau, & \text{при } (2n+1)\tau < t < 2(n+1)\tau \end{cases} \quad (3)$$

де  $n = 0, 1, 2 \dots k$ ;  $\tau = D / \Delta \lambda f_0$  - період сигналу, що відповідає періоду структури, досліджуваного газу;  $f_0$  - частота сканування спектральної ділянки  $\Delta \lambda = mD$ .

Зазвичай досліджувана ділянка спектру виділяється діафрагмою, спектральна ширина якої дорівнює  $\Delta \lambda$  і розміщеної у площині вихідної щілини (в безпосередній її близькості). Тоді, у разі вимірювання положення спектру щодо діафрагми, можливий випадок, коли сканується 4 цілих періоди структури спектра і 0,5 періода, і коли сканується 4 цілих періоди і два по 0,25 періоди (див. рис.6). У першому випадку величина сигналу після детектування буде дорівнювати:

$$I_1 = 4I_0 \int_0^{\tau} \sin \pi t / \tau dt + I_0 \int_0^{\tau/2} \sin \pi t / \tau dt = 9 I_0 \tau / \pi \quad (4)$$

у другому:

$$I_2 = 4I_0 \int_0^{\tau} \sin \pi t / \tau dt + 2I_0 \int_0^{\tau/4} \sin \pi t / \tau dt = 8,6 I_0 \tau / \pi \quad (5)$$

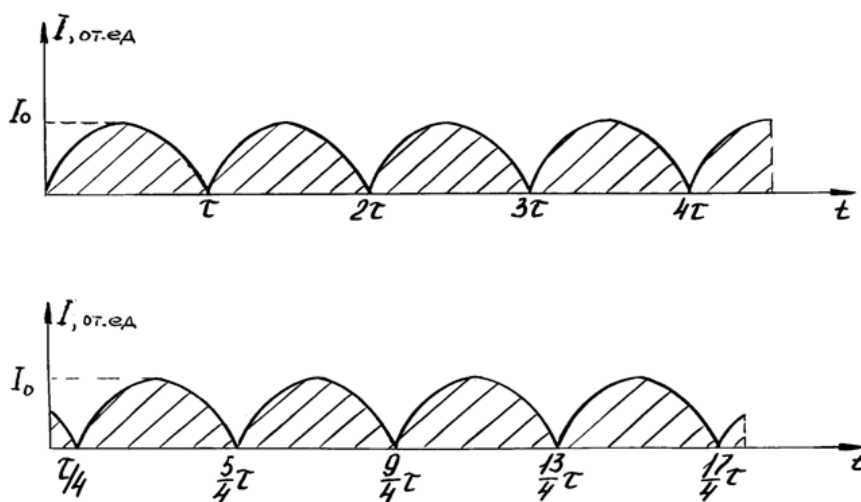


Рис. 6: Величина корисного сигналу при скануванні  $(4+0,5)$  періодів структури спектру аналізованого газу (а) та  $(4+2 \cdot 0,25)$  (б)

Таким чином, відносна зміна сигналу при зсуві спектру досліджуваного газу щодо діафрагми дорівнюватиме:

$$\Delta = (I_1 - I_2)/I_{cp}100\% = 4,5\%, \quad (6)$$

де  $I_{cp} = (I_1 + I_2)/2$ .

Такі коливання корисного сигналу призводять до значних похибок вимірювання. Так, якщо максимальна концентрація досліджуваного газу дає ослаблення сигналу на 30% (таке значення зазвичай вибирають для досягнення лінійності шкали

газоаналізатора), то інструментальна похибка приладу при зазначених коливаннях корисного сигналу не може бути краще 15%.

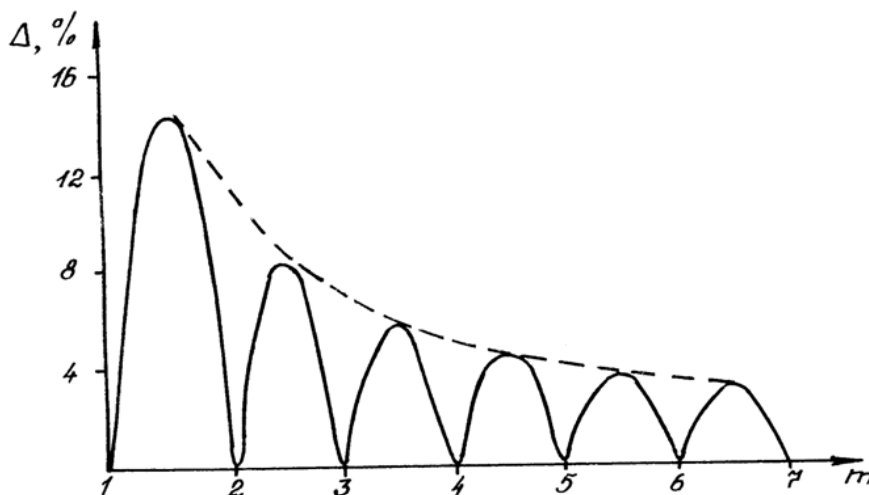


Рис. 7: Зміна величини корисного сигналу при зміщенні спектру аналізованого газу у вихідній площині спектрометру в залежності від кількості періодів спектру, що сканується

Легко бачити, що якщо  $m$  дорівнює цілому числу періодів структури спектру, наприклад  $m = 4$ , то при будь-якому положенні спектру щодо діафрагми величина детектованого сигналу буде одна й та ж:

$$I_1 = I_2 = 4I_0 \int_0^{\tau} \sin \pi t / \tau dt = 8 I_0 \tau / \pi \quad (7)$$

Тобто зміщення спектру досліджуваного газу щодо діафрагми, встановленої за вихідною щілиною і ділянкою спектру, рівне цілому числу періодів структури цього спектру, не призводить до появи додаткової похибки вимірювань.

Звичайно, зі збільшенням числа  $m$  відносний внесок нецілих частин  $\Delta$  зменшується. На рис. 7 показана теоретична залежність відносної зміни корисного сигналу при зсуві спектру досліджуваного газу в площині вихідної щілини в залежності від  $m$ . Як бачимо, зменшення  $\Delta$  при збільшенні  $m$  спочатку

відбувається досить швидко, а далі ця зміна насичується.

*Виділення корисного сигналу в електронному тракті приладу*

Отже, при вимірі концентрації аналізованого газу, що має хорошу періодичність структури спектру, за допомогою приладу на основі скануючого монохроматора необхідно відфільтрувати кілька гармонік корисного сигналу, близьких до  $\pi$ -ої, від інших гармонійних складових електричного сигналу, що знімається з фотоприймача. Для цієї мети може служити узгоджений з сигналом фільтр. Справді, кожен ділянку зображеного на рис. 1 електричного сигналу, можна розглядати як незалежний, окремий відрізок синусоїди з частотою  $\omega_0$ , обмеженою тривалістю і з випадковою фазою. Спектр цього сигналу можна знайти за допомогою перетворення Фур'є. Якщо відрізок синусоїди представити у вигляді:

$$\Omega(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < 0 \\ \sin \omega_0 t, & \text{при } 0 < t < 2\pi / \omega_0 \\ 0, & \text{при } t > 2\pi / \omega_0 \end{cases} \quad (8)$$

то його спектр буде мати вигляд:



то його спектр буде мати вигляд:

$$\Phi(\omega) = \int_0^{2n\pi/\omega_0} \sin \omega_0 t \exp(i\omega t) dt = 2i\omega_0 / (\omega_0^2 - \omega^2) (-1)^n \sin n\pi\omega/\omega_0 \quad (9)$$

Отриманий спектр зображений на рис 8. Він являє собою центральний максимум, в якому зосереджена основна частина енергії і ряд незначних бічних максимумів.

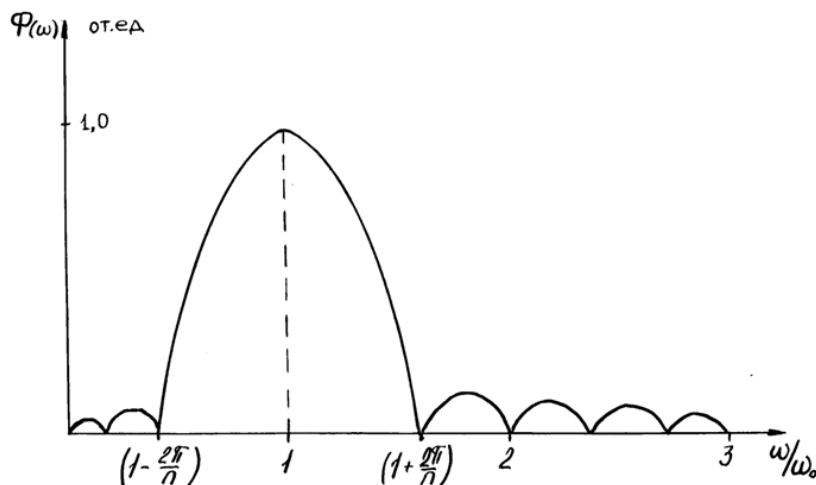


Рис. 8: Спектр електричного сигналу, що знімається з фотоприймача при скануванні  $n$  періодів синусоїдальної структури спектру аналізованого газу

Ширина основного максимуму звужується в міру збільшення кількості періодів синусоїди у пузі і може бути визначена з виразу (9) або, використовуючи відоме співвідношення:

$$\Delta\nu \cdot \Delta t = 1 \quad (10)$$

У даному випадку вона дорівнює:  $\Delta\omega/\omega_0 = 1/n$ .

Тобто, нам необхідно відфільтрувати отриманий спектр від спектру фонового сигналу, пов'язаного, наприклад, з наявністю компонентів, що заважають. У відповідності з теорією оптимальної фільтрації, в разі перешкод з рівномірним спектром передатна функція такого фільтру з точністю до постійного множника повинна бути комплексно спряженою функцією щодо спектра  $\Phi(\omega)$  аналізованого сигналу:

$$k(i\omega) = k \Phi^*(i\omega). \quad (11)$$

Тобто передатна функція повинна з точністю до постійного множника збігатися зі спектром сигналу, що виділяється. В цьому випадку їх кореляційна функція (відгук фільтру) дорівнює максимально можливій величині:

$$R(\omega)_{max} = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\omega') \Phi^*(\omega' - \omega) d\omega' \quad (12)$$

Таким чином виділення корисного сигналу в електронному тракті кореляційного аналізатора відбувається за рахунок кореляції спектру цього сигналу з еталонним, записаним в пам'ять приладу.

Експериментально вивчається спектр корисного сигналу при скануванні з частотою  $\omega_p = 1$  кГц ділянки смуги поглинання  $\text{SO}_2$  від 210 до 230 нм. Суміш  $\text{SO}_2$  в  $\text{N}_2$  концентрацією 200 млн<sup>-1</sup> напускалася у внутрішню кювету оптичного блоку приладу ФГ 01-1. З ФЕП-142 оптичного блоку знімався часовий сигнал, зображений на рис. 1. Цей сигнал подавався далі на селективний вольтметр В6-9 і з його допомогою вивчається спектральний склад корисного сигналу. Експериментально отриманий спектр сигналу зображений на рис. 9. Максимум на 10-ій гармоніці обумовлений наявністю  $\text{SO}_2$ .

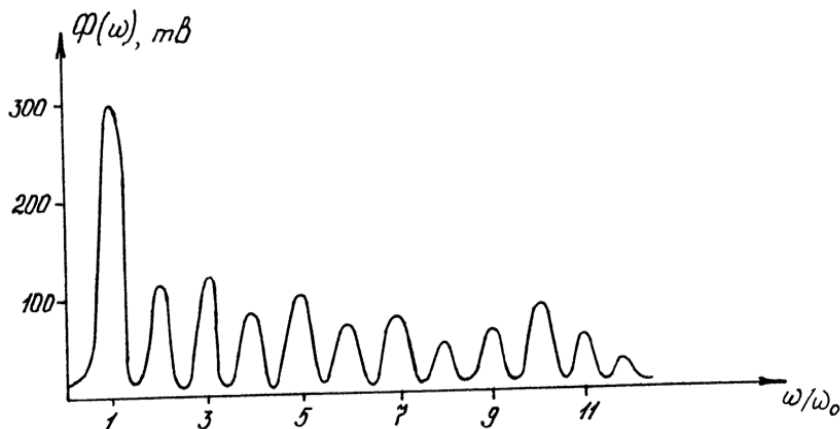


Рис. 9: Спектр електричного сигналу, що знімається з ФЕП 142 оптичного блоку приладу ФГ01-1 при концентрації  $\text{SO}_2$   $x=200\text{млн}^{-1}$

Як бачимо, непарні гармоніки мають більшу амплітуду ніж парні. Це пов'язано, можливо, з биттям диску сканованої вихідної щілини. Ширина гармонійних складових дорівнює  $\approx 200$  Гц.

## II. СТРУКТУРНА СХЕМА АНАЛІЗАТОРА ДИОКСИДУ СІРКИ

Структурна схема кореляційного аналізатора вибиралася, виходячи з таких передумов[1]:

- аналізатор  $\text{SO}_2$  повинен бути переносним приладом для інспекційного контролю викидів ТЕС;
- вимірювання повинні проводитися в газоході для виключення можливості втрат інформації в системі пробо підготовки;
- внаслідок сильної запиленості газів, що відходять, необхідний захист оптичних елементів від впливу пилу, сажі, золи, вологи.

Враховуючи ці вимоги, структурна схема приладу отримала вид, зображений на рис. 10. Потік випромінювання від дейтерієвої лампи 1 типу ДДС-30 формується за допомогою конденсора 2 і направляється в газохід. Оскільки коефіцієнт поглинання  $\text{SO}_2$  в УФ області досить великий, то довжина кювети для аналізу необхідних концентрацій  $\text{SO}_2$  повинна бути 45мм для діапазону 0-5,46 г / м<sup>3</sup> і 15мм для діапазону виміру 0-16 г / м<sup>3</sup>. У той же час вимірювання  $\text{SO}_2$  в газоході повинні проводитися на відстані не менше 300мм від внутрішньої стіни газоходу для виключення можливості перепадів концентрації по перерізу газоходу. У зв'язку з цим відкрита кювета, через яку проходить досліджувана речовина, утворена плоскопаралельною кварцевою пластиною 3 і призмою 4, встановленою на кінці зонда, який жорстко кріпиться до приладу і вводиться в газохід. Довжина зонду досягає 1м.

Газова проба надходить в кювету внаслідок наявності газового потоку в газоході і шляхом природної дифузії через металокерамічний кожух, у

який вона встановлюється. Відбившись від призми, потік випромінювання повторно проходить через кювету і повертається в аналізатор. За допомогою об'єктива 5 випромінювання фокусується на вхідну щілину 6 монохроматора і заповнює увігнуту дифракційну решітку 7, радіусом 250 мм і з кількістю штрихів на 1 мм рівною 2400. Дифракційна решітка розкладає по спектру падаюче випромінювання і фокусує його на вихідну рухливу щілину 8. Вихідні щілини 8 нарізані на диск діаметром 76 мм за його радіусом. Загальна кількість нарізаних щілин дорівнює 20. Диск встановлений на осі синхронного двигуна 9 типу ДС-12. Якщо у газоході присутній  $\text{SO}_2$ , то у фокальній площині решітки спостерігається його спектр поглинання. Діафрагма 10 обмежує величину сканованої ділянки спектру, рівної (210-230) нм (див.рис. 1). На цій ділянці спектра присутні 10 максимумів поглинання  $\text{SO}_2$ .

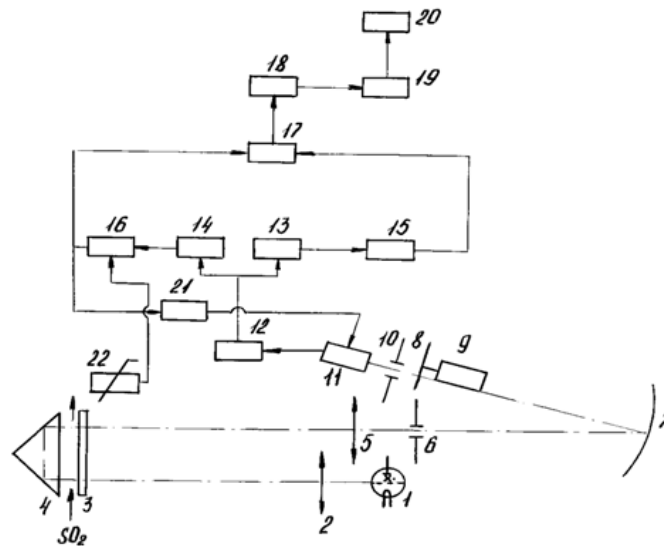


Рис.10: Структурна схема приладу для аналізу  $\text{SO}_2$

Щілини 8 на диску нарізані таким чином, щоб  $n$ -та щілина, закінчивши сканування спектру  $\text{SO}_2$ , вийшла за межі діафрагми 10, а  $(n+1)$ -ша увійшла. Таким чином, при обертанні диска відбувається безперервне сканування спектру  $\text{SO}_2$  в спектральному діапазоні (210-230) нм. Як приймач випромінювання 11 використовується сонячно-сліпий ФЕП 142. Сигнал з фотоприймача 11 надходить на попередній підсилювач 12. Оскільки тільки частина випромінювання поглинається  $\text{SO}_2$  в зазначеному діапазоні довжин хвиль, то з ФЕП знімається як змінна  $V_{\sim}$ , так і постійна  $V_{\equiv}$  складова сигналу.

Форма сигналу, що знімається з ФЕП після посилення в попередньому підсилювачі 12 зображена на рис. 1. Величина постійної складової  $V_{\equiv}$  залежить від концентрації в газозоді  $\text{SO}_2$  і інших поглинаючих випромінювання в цій області спектру компонентів, від параметрів джерела випромінювання та ФЕП. Тобто в ній міститься корисна інформація, яка може бути використана при обробці сигналів. Тому  $V_{\equiv}$ ,  $V_{\sim}$  посилюються відповідними підсилювачами 13, 14, детектуються детекторами 15, 16 і подаються на вхід АЦП 17. У АЦП величина  $V_{\equiv}$  використовується в якості опорної напруги, а  $V_{\sim}$  надходить на інформаційний вхід. Таким чином в АЦП відбувається перетворення аналогових сигналів в цифрову форму і одночасно береться відношення  $V_{\sim} / V_{\equiv}$ . Сигнал з АЦП поступає в постійно запам'ятовуючий пристрій (ПЗП) 18, де записана залежність концентрації аналізованого газу ( $\text{SO}_2$ ) від відношення сигналів робочого і опорного каналів і далі в блок виводу інформації 19. Блок виведення інформації розподіляє інформацію у відповідній формі між блоком індикації 20, виходом на цифро-друкуючий пристрій (ЦДП), виходом на самописець. У блоці індикації 20 здійснюється динамічна індикація результатів вимірювання на

трьохрозрядному світлодіодному індикаторі. Для врахування залежності показів аналізатора від його температури встановлений датчик температури 22 (термоопір), з'єднаний зі схемою компенсації нуля детектора. У залежності від температури аналізатора, змінюється величина корисного сигналу, що поступає на інформаційний вхід АЦП 17.

Оскільки на опорний канал АЦП має подаватися певне значення постійної напруги (10 В), величина постійної складової  $V_{\equiv}$ , що надходить на АЦП, підтримується на цьому рівні за рахунок регулювання підсилення ФЕП за допомогою ланцюга зворотного зв'язку, що включає блок живлення ФЕП 21. Таким чином, при зміні величини постійної складової сигналу  $V_{\equiv}$ , викликаному поглинанням  $\text{SO}_2$  в газозоді, запиленістю оптичних елементів, зростає напруга на ФЕП, не перевищуючи допустимого значення (2,2 кВ). Інші блоки живлення (лампи ДДС-30, електроніки) на рис. 10 не показані.

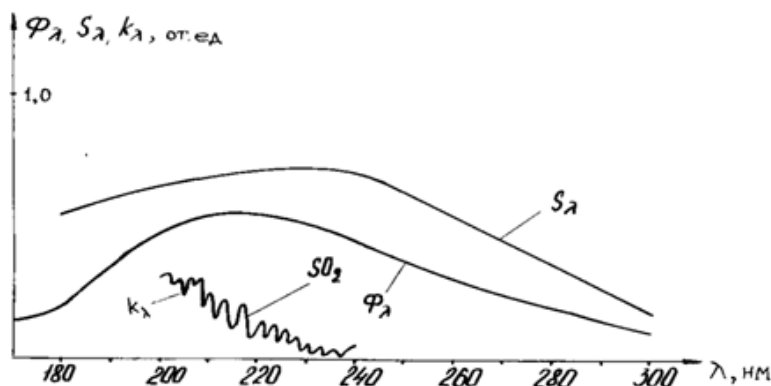


Рис. 11: Спектральні залежності чутливості фотокаатода  $S_{\lambda}$  ФЕП 142 світлового потоку  $\Phi_{\lambda}$  лампи ДДС-30 і коефіцієнта поглинання  $K_{\lambda}$   $SO_2$

Щодо вибору області аналізу  $SO_2$  - (210-230) нм, то вона обумовлена спектральними характеристиками обраної елементної бази (ФЕП-142, лампи ДДС-30), а також відносно невеликим інтегральним поглинанням  $SO_2$  в цій області.

#### ЛІТЕРАТУРА

- Moffat A.J., Robbins J.R., Barringer A.B. Electro-Optical sensing of Environmental pollutants. // Atmos. Environ.-1971.-V.5.-P.511-525.
- Inaba H., Kobayasi T. Laser-Raman Radar. // Optoelectronics.-1972.-V.4. N 4.-P.101-123.
- Platt U., Perner D. Measurement of Atmospheric Trace Gases by Long Path Differential UV / Visible Absorption Spectroscopy. /Opt. and Laser Remote Sensing. Springer Series in Optical Sciences.-Berlin. 1983.-P.97-105.
- Пат.4.084.906.США МКИ G01J 3/42. Multigas digital correlation spectrometer./R.S.Biberro (США) - N 824957; Заявлено 20.09.76;Опубл. 18.04.78 - 8 с., 2 л.ил.
- Разумов В.А., Звягинцев А.М. Неселективное ослабление света в атомно-абсорбционном и атомно-флуоресцентном анализе //ЖПС.-1979.-Т.31, N 3 - С.381-394.
- Новиков В.А., Свешников Г.Б., Слонов В.Г. Резонансно-дифференциальный метод детектирования молекулярного йода в атмосфере//ЖПС.-1986.-Т.44, N 3.-С.469-474.
- А.с. 1518732 СССР МКИ G01N 21/61. Корреляционный газоанализатор/В.Л.Голдовский, В.И.Стецович, А.Ю.Заяц (СССР)- N3864818/24-25;Заявлено 11.03.85; Опубл. 30.10.89. Бюл. N40 - 4 с., 1л.ил.
- Приборы для определения  $SO_2$  в отходящих газах ТЭС. /В.Л.Голдовский, А.Ю.Заяц, В. Р. Козубовский и др. // Приборы и системы управления.-1989.-N12.-С.21-22.
- Оптический измеритель концентрации газа / Ю.А.Борисов,И.А. Перевозский,В.К.Утенков и др.//Тр.ЦАО - 1979.- Вып. 138 - С.66-71.

*Оптимизация параметров сканирующего спектрометра для анализа газов*

В работе приведены результаты оптимизационного расчета параметров дисперсионных приборов газового анализа в УФ и видимой областях спектра, которые используют корреляционное выделение полезного сигнала в его электронном тракте. Предложены методы оптимального выбора этих параметров. Как пример использования этих типов приборов описана структурная схема газоанализатора  $SO_2$  в отходящих газах тепловых электростанций.

*Optimisation of parameters of a scanning spectrometer for the gas analysis*

In the article results of optimization calculation of parameters of scanning spectrometer for the gas analysis in UV and visible fields of a spectrum are considered. The correlation selection of the useful signal in its electronic path is used. The methods of optimum choice of these parameters are offered. The block-diagram of gas analyzer  $SO_2$  in exit gases of thermal power stations is described as an example of use of these types of devices.