

УДК 687.4

В.П. КОЖЕМ'ЯКО, А.Д. СЛОБОДЯНИК

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ В ОПТИЦІ НЕОДНОРІДНИХ СЕРЕДОВИЩ

*Вінницький національний технічний університет,  
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна,  
Тел.: +380 (432) 580019, E-mail: kvp@vstu.vimmica.ua*

**Анотація.** Проведено теоретичний розрахунок розв'язку задачі оптики неоднорідних середовищ та розробки автоматизованих систем, пристроїв і методів спектрофотометричних досліджень в цій галузі. Розглядається задача автоматизації в спектроенергетичних перетворювачах.

**Аннотация.** Осуществлен теоретический расчет решения задачи оптики неоднородных сред та разработки автоматизированных систем, устройств и методов спектрофотометрических исследований в этой отрасли. Рассматривается задача автоматизации в спектроенергетических преобразователях.

**Abstract.** The theoretical calculation of decision of task is carried out for transformation of energy of different ranges of power spectrum.

**Ключові слова:** оптика неоднорідних середовищ, оптичні частотні перетворювачі, інтегральний спектрофотометр.

### АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДАНОЇ РОБОТИ

Об'єкти на медичних зображеннях володіють великою складністю і багатofакторністю, що обумовлює високі вимоги до надійності, точності та достовірності результатів досліджень. Використання обчислювальної техніки та математичних методів в цій галузі дозволяє не тільки прискорити процес обробки матеріалу, а й підвищити точність результатів дослідження.

Розвиток електроніки та нових методів спектрофотометричних досліджень стимулюють підвищену увагу до цифрового аналізу рентгенівських, ультразвукових зображень і зображень ядерно-магнітного резонансу, головним досягненням якого можна вважати появу комп'ютерного томографа. Проте труднощі в отриманні точних спектрофотометричних параметрів неоднорідних середовищ та якісних зображень гістологічних об'єктів значно гальмують розвиток цієї галузі [1-2].

Автоматизація дослідження спектрофотометричних параметрів неоднорідних середовищ та аналізу гістологічних структур прискорює діагностику захворювання, дозволяє розширити межі наукових пошуків в медицині. Автоматичне вимірювання спектральних характеристик гістологічних об'єктів дає можливість уточнити лікування і керування терапевтичними процесами. Так, найбільш перспективним методом ранньої діагностики пухлинних захворювань в даний час є автоматизація спектрофотометричного аналізу спеціально приготовлених і забарвлених гістологічних препаратів і розподіл їх за принципом норма – патологія [3].

Однією з головних частин автоматизації вимірювання оптичних і геометричних параметрів є виділення об'єктів на гістологічних препаратах. Це завдання вирішується за допомогою методів і засобів цифрового аналізу зображень. Основною причиною відсутності автоматизації в гістології є висока варіабельність і слабка контрастність більшості гістологічних структур та невисока точність спектрофотометричних спектральних показників. Однак швидкий розвиток цифрової і аналогової техніки останнім часом відкриває нові можливості перед науковцями та винахідниками. Наприклад, збільшення швидкодії обчислювальної техніки дозволяє використовувати складні, критичні до часу алгоритми, а завдяки появі кольорових телевізійних датчиків високої роздільної здатності можна отримувати і обробляти кольорові зображення. Саме нові технічні можливості дозволяють значно розширити коло досліджень, відкривають нові шляхи вирішення завдань, що стосуються аналізу зображень та вимірювання спектральних параметрів неоднорідних середовищ. Дана робота присвячена одному з таких завдань – розробці автоматизованих систем, пристроїв та методів спектрофотометричних досліджень неоднорідних середовищ.

### СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА ОПТИЧНА СИСТЕМА

Запропонований комп'ютеризований спектрофотометр КСФ-46 призначений для виконання спектрофотометричних вимірювань в області довжин хвиль 190 – 1100 нм. З його допомогою можна вимірювати спектральні залежності коефіцієнтів пропускання, поглинання та відбивання, оптичної густини твердих і рідких речовин, швидкість зміни оптичної густини, визначати концентрацію розчину для випадку лінійної залежності оптичної густини від концентрації.

Блок-схема спектрофотометра представлена на рис. 1.

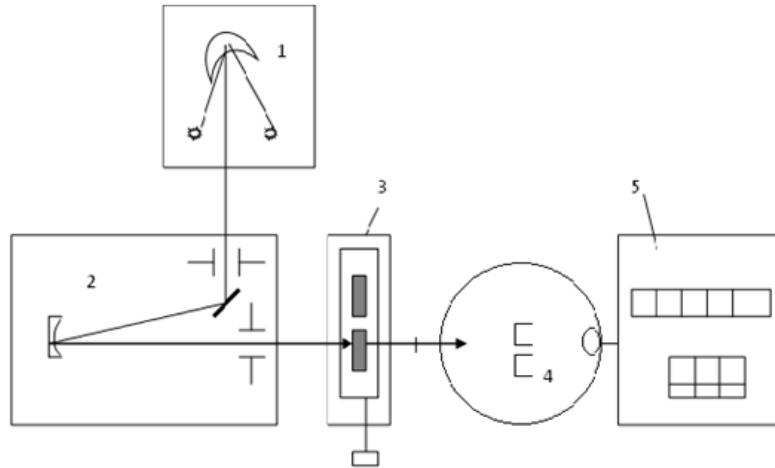


Рис. 1. Блок-схема комп'ютеризованого спектрофотометра КСФ-46:

1 – джерело світла; 2 – монохроматор; 3 – кюветне відділення; 4 - інтегральний фотометр з блоком фотоприймачів; 5 – адаптер зв'язку з ЕОМ

### ОПТИЧНА СХЕМА

Випромінювання від джерела 1 (рис.2) або 1' на плоске на дзеркальний конденсор 2, який направляє його на плоске обертове дзеркало 3 і дає зображення джерела випромінювання в площині лінзи 4, розміщеної поблизу вхідної щілини 5 монохроматора. Монохроматор побудований за вертикальною автоколімаційною схемою.

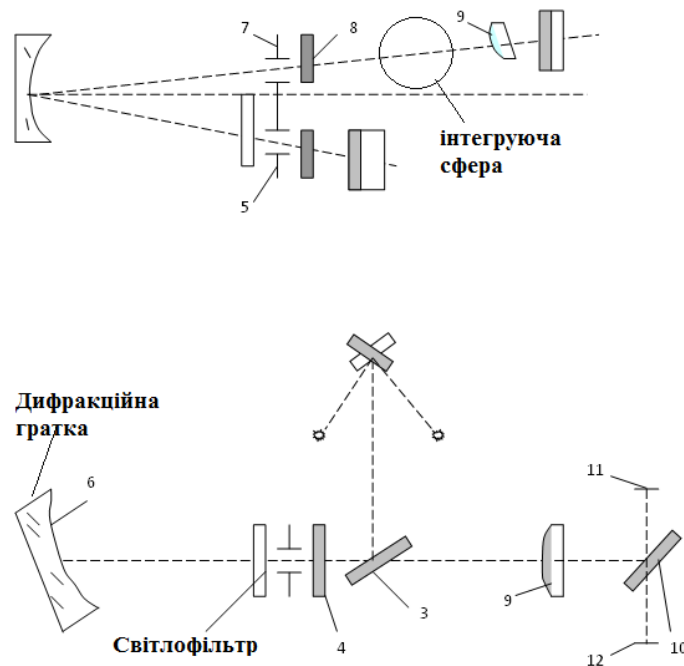


Рис. 2. Оптична схема комп'ютеризованого спектрофотометра КСФ-46

Випромінювання, яке пройшло через вхідну щілину падає на вгнуту дифракційну ґратку 6 із змінним кроком та криволінійним штрихом. Дифракційна ґратка, поруч з диспергуючими властивостями, має здатність фокусувати спектр.

Застосування змінного кроку та криволінійного штриха значно зменшує абераційні викривлення вгнutoї дифракційної ґратки і дозволяє отримати високу якість спектру в усьому робочому діапазоні.

Дифрагований пучок фокусується в площині вихідної щілини 7 монохроматора, розміщеної над вхідною щілиною 5. Сканування здійснюється обертанням дифракційної ґратки, при цьому монохроматичне випромінювання різних довжин хвиль проходить через вихідну щілину 7, лінзу 8, тоді потрапляє в інтегруючу сферу, в якій знаходиться еталонний або досліджуваний зразок, лінзу 9 і при допомозі обертового дзеркала 10 попадає на світлочутливий шар фотоелемента 11 і 12.

Для зменшення розсіяння світла і зрізання вищих порядків дифракції в спектрофотометрі використовують два світлофільтри: із скла ПС11 для роботи в області спектру 230-450 нм і із скла ОС14 для роботи в області спектру 600-1100 нм. Заміна світлофільтрів відбувається автоматично.

Лінзи виготовлені із кварцового скла з високим коефіцієнтом пропускання в ультрафіолетовій області спектру

Для забезпечення роботи спектрофотометра в широкому спектральному діапазоні використовуються два фотоелементи і два джерела випромінювання суцільного спектру. Сурм'яно-цезійовий фотоелемент з вікном із кварцового скла застосовують для вимірювань в області спектру від 190 до 700 нм, киснево-цезійовий фотоелемент – для вимірювання в області спектру від 600 до 1100 нм.

Дейтерієва лампа призначена для роботи в області спектру від 190 до 350 нм, лампа розжарення – для роботи в області спектру від 340 до 1100 нм. Для перевірки градування використовується ртутно-гелієва лампа ДРС-12.

### ІНТЕГРУЮЧИЙ ФОТОМЕТР

Інтегруючий фотометр (рис. 3) являє собою порожній замкнутий кульовий чи циліндричний обсяг, внутрішня поверхня якого покрита білою дифузно відбиваючою світло фарбою. У стінці кулі зроблено отвір, перекритий молочним склом (МС), за яким розміщений фотоелемент (ФЕ).

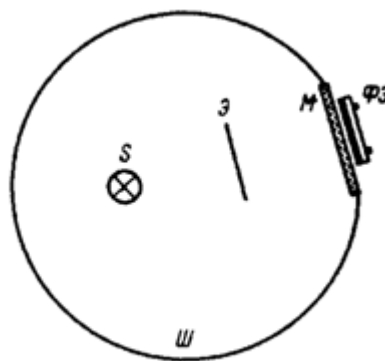


Рис. 3. Інтегруючий фотометр

При розміщенні у фотометрі джерела світла S, у кожній точці внутрішньої поверхні фотометра буде створюватися освітленість  $E_{\text{повн}}$ , створювана безпосередньо прямим світловим потоком, що йде від джерела світла  $\Phi_{\text{пр}}$  і світловим потоком, що утворився за рахунок багаторазових відображень світлового потоку джерела від стінок фотометра –  $\Phi_{\text{мко}}$ , тобто

$$E_{\text{повн}} = E_{\text{пр}} + E_{\text{мко}},$$

де  $E_{\text{пр}}$  – нормальна освітленість, яка створюється джерелом світла при безпосередньому падінні світла на поверхню кулі;  $E_{\text{мко}}$  – освітленість, створювана за рахунок багаторазових відображень світлового потоку від стінок фотометра.

Очевидно, що освітленість  $E_{\text{пр}} = I \cos \alpha / r^2$  не буде однакою у всіх точках поверхні фотометра, тому що вона залежить від розташування джерела S усередині кулі і від його кривої світлорозподілу.

Освітленість  $E_{\text{мко}} = \Phi_{\text{р}} / (1-\rho) 4\pi r^2$ , де  $r$  – радіус кулі,  $\rho$  – коефіцієнт відбиття матеріалу поверхні кулі.

Як бачимо, освітленість пропорційна світловому потоку джерела. Тому, якщо за допомогою малого непрозорого екрана захистити поверхню ФЕ від падіння прямого випромінювання, то освітленість на його поверхні

$$E = E_{\text{повн}} = E_{\text{мко}} = a\Phi. \quad (1)$$

де  $a$ - залежить тільки від властивостей кулі, тобто  $E$  буде пропорційна лише вимірюваному світловому потоку.

Якщо досліджуване джерело  $S$  з невідомим світловим потоком  $\Phi_x$  замінити у середині кулі на еталонне джерело зі світловим потоком  $\Phi_{\text{ет}}$ , то освітленість на поверхні кулі складатиме

$$E_{\text{ет}} = a\Phi_{\text{ет}} \quad (2)$$

чи розділивши співвідношення 1 на 2, одержимо

$$\Phi_x = \Phi_{\text{ет}} E / E_{\text{ет}}. \quad (3)$$

Для виміру досліджуваного потоку джерела –  $\Phi$ , фотоеlement замикають на гальванометр із досить малим опором і визначають струми  $i_x$  та  $i_{\text{ет}}$ , що виникають у ланцюзі ФЕ при освітленостях  $E_x$  и  $E_{\text{ет}}$  на молочному склі. Відношення  $i_x / i_{\text{ет}}$  та  $E / E_{\text{ет}}$  можна вважати рівними і тому обчислюємо світловий потік  $\Phi$  відповідно

$$\Phi_x = \Phi_{\text{ет}} i_x / i_{\text{ет}}. \quad (4)$$

Для визначення якісного та кількісного складу рідин та газів використовують, зокрема, оптично-абсорбційний метод. Оптично-абсорбційний метод полягає в здатності газів поглинати інфрачервоні промені в суворо визначених для кожного газу ділянках спектру завдяки наявності коливально-обертальних смуг поглинання [4].

Величина ослабленого потоку випромінювання  $\Phi_V$ , і є той параметр, який інформує про концентрацію газу  $C_x$ . Величина ослабленого потоку випромінювання  $\Phi_V$ , що пройшов через вимірювальну кювету з рідиною чи газом, що аналізується, може бути визначена за законом Бугера-Ламберта-Бера, який зв'язує інтенсивності світлових потоків до та після проходження середовища з об'ємом  $V$  та концентрацією досліджуваного газу  $C$  [5]:

$$\Phi_V = \Phi_0 e^{-\alpha CV}, \quad (5)$$

де  $\Phi_0$  - величина потоку випромінювання до проходження досліджуваного середовища кювети;  $\Phi_V$  - величина потоку випромінювання, що пройшов середовище вимірювальної кювети;  $C$  - концентрація рідини або газу у вимірювальній оптичній кюветі;  $V$  – об'єм поглинаючого шару, що рівний оптичному об'єму;  $\alpha$ - об'ємний коефіцієнт поглинання рідини або газу, який залежить від ступеня узгодження спектрів поглинання газу, спектральної характеристики джерела електромагнітного випромінювання і спектральної чутливості приймача випромінювання.

З формули (5) впливають одиниці вимірювання об'ємного коефіцієнта поглинання рідини або газу:

$$\alpha = \frac{\ln \frac{\Phi_0}{\Phi_V}}{CV}, \quad [\alpha] = \frac{1}{\cdot \text{м}^2}.$$

З рівняння (5) випливає, що вихідна потужність  $\Phi_V$ , при концентрації  $C$ , залежить від об'єму поглинаючого шару  $V$ . Тобто збільшуючи оптичний об'єм  $V$ , збільшується чутливість засобу вимірювання концентрації газу  $C$ . Зрозуміло, що існує обмеження збільшення  $V$ , виходячи з визначення мінімально допустимої енергії, яку в змозі фіксувати приймач оптичного випромінювання з заданою пороговою чутливістю та заданими параметрами оптичних вузлів перетворювача, такими як, втрати системи на визначеній довжині хвилі, концентрація досліджуваного газу, тощо. Збільшити оптичний об'єм  $V$  можливо, використовуючи видовження самої вимірювальної кювети; використовуючи різні форми дзеркал, причому дзеркал, що не впливають на характеристики оптичного випромінювання.

Формула (5) показує також, що при факторах, які призводять до змін величини потоку випромінювання  $\Phi_0$  та коефіцієнту поглинання газу  $\alpha$ , буде змінюватися вихідний сигнал, який і інформує про концентрацію газу  $C_x$ . Тобто, метрологічні характеристики перетворювача знижуються. Висока точність абсорбційного аналізатора може бути забезпечена, якщо стабілізувати світловий потік

випромінювача, а для цього потрібно стабілізувати напругу живлення випромінювача, стабілізувати параметри кювети, а також стабілізувати температуру, тиск проби, інтегральну чутливість фотоприймача, охолоджувати фотоприймач [6].

Процес вимірювання таких фізичних величин, як  $\Phi_0$  - величини потоку випромінювання до проходження досліджуваного середовища кювети;  $\Phi_V$  - величини потоку випромінювання, що пройшов середовище вимірювальної кювети;  $\alpha$  - об'ємний коефіцієнт поглинання рідини або газу відбувається в автоматичному режимі за розробленим алгоритмом та комп'ютерною програмою. Для цього вказані величини заносяться у сформований масив з дійсним типом даних у вигляді таблиці.

Для оптичного комп'ютеризованого спектрофотометра КСФ, в якому враховані усі спектрофотометричні коефіцієнти відбивання, поглинання та пропускання, тобто правильно розрахована передавальна функція цього приладу, спектральний об'ємний коефіцієнт поглинання  $\alpha$  вимірювальної кювети без рідини або газу виражається графічно так:

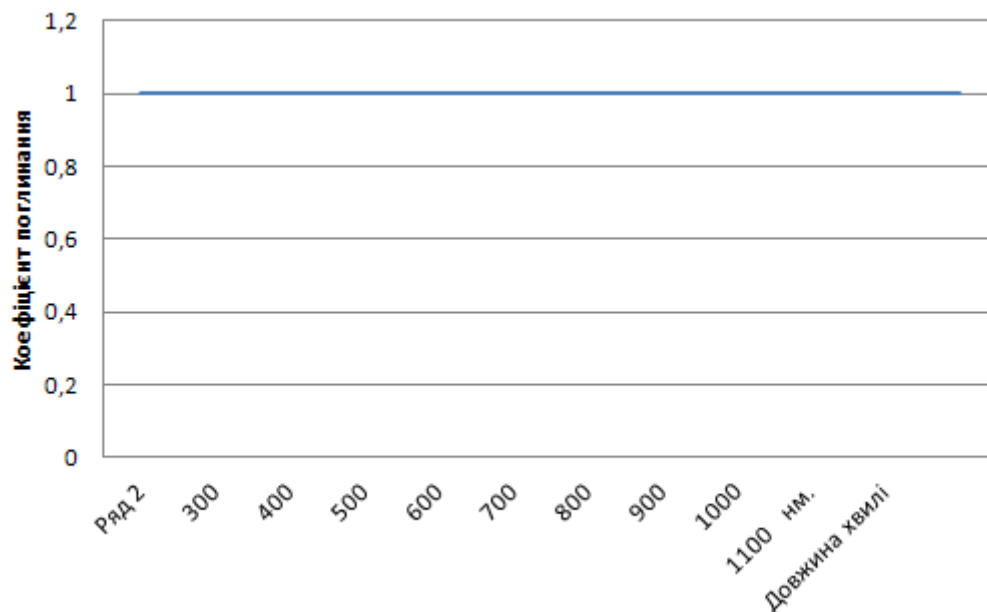


Рис.4. Спектральний об'ємний коефіцієнт поглинання  $\alpha$  вимірювальної кювети

Основна задача, яка повинна бути реалізована в будь-якому спектрофотометрі при визначенні спектральних коефіцієнтів – це врахування нерівномірності розподілу світлової енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла, зокрема будь-якої досліджуваної речовини. З квантової теорії випромінювання відомо, що енергія нерівномірно розподіляється за спектром. Розподіл енергії випромінювання  $\varepsilon(\nu, T)$ ,  $\frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$  за частотою  $\nu$  при різних температурах  $T$  представлено на рис.6.

Математично це виражається спектральною випромінювальною здатністю відповідно до формули Планка:

$$\varepsilon(\nu, T) = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (6)$$

де  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с - стала Планка;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К - стала Больцмана.

Відповідна схема автоматизованої роботи спектротрансформатора представлена в роботі [7-8].

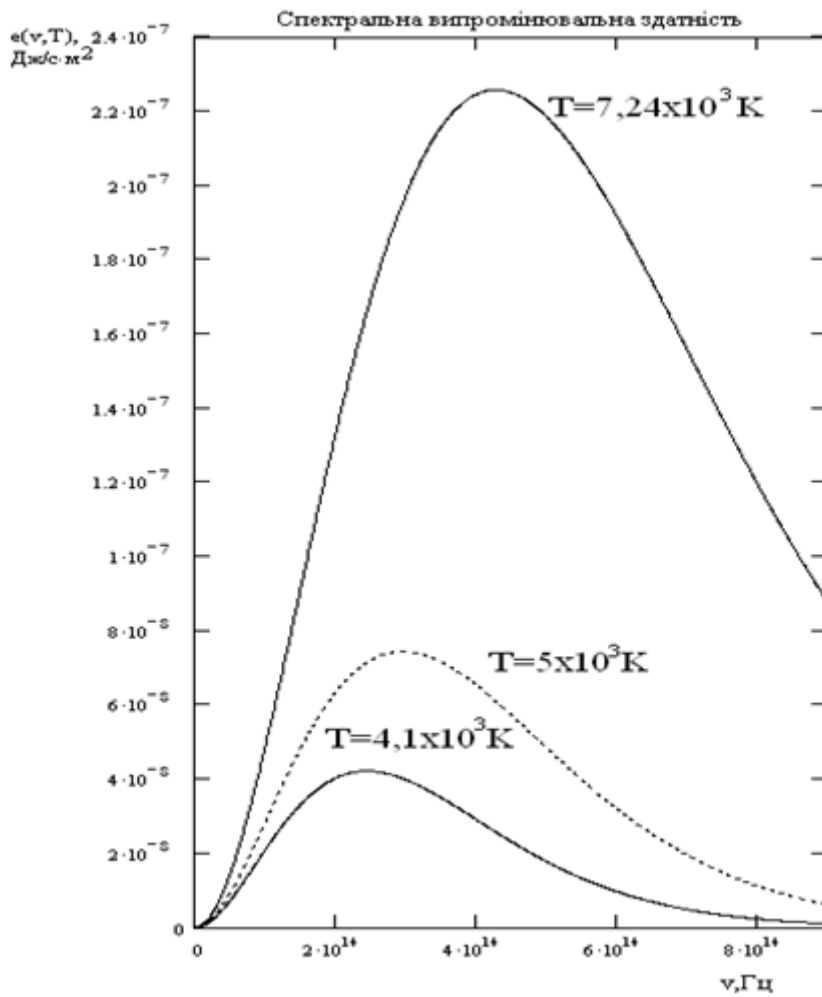


Рис.5. Розподіл енергії випромінювання  $\epsilon(\nu, T), \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$  за частотою  $\nu$  при різних температурах  $T$  для абсолютно чорного тіла

На рис.6 представлено блок-схему пристрою корпускулярно-хвильового спектротрансформатора, на якій реалізується спосіб спектроенергетичного перетворення частоти випромінювання.

Пристрій містить блок І - аналізатори на логічних елементах. Вхідними пристроями блоку І є оптичні коліматори, коливальні контури з чутливими антенами, детектори  $\gamma$ -випромінювання.

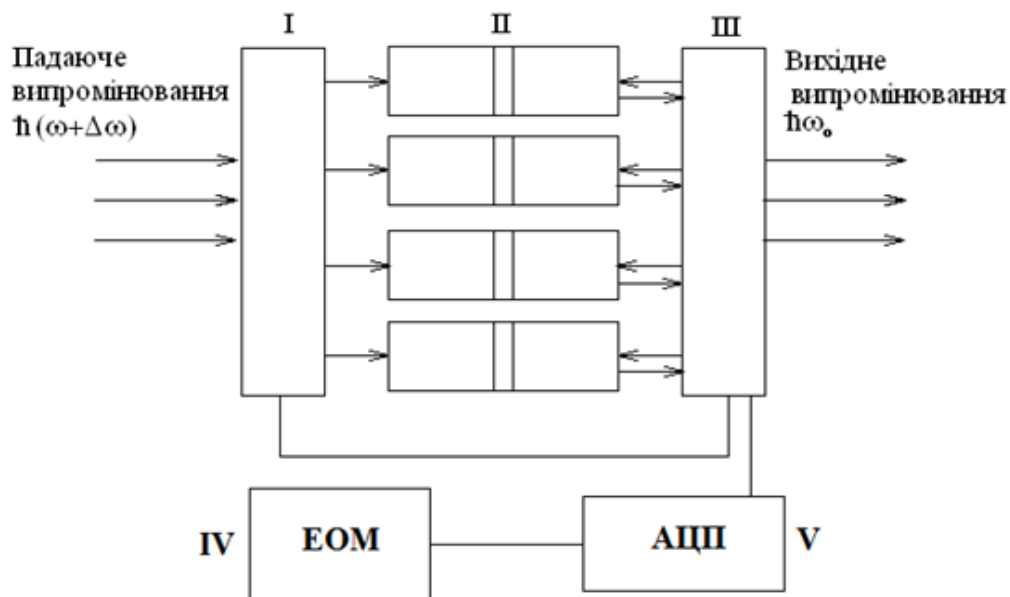


Рис.6. Блок-схема комп'ютеризованого автоматизованого пристрою корпускулярно-хвильового спекротрансформатора

Аналізатор включає в себе систему приймачів падаючого випромінювання і є керованою системою з зворотнім зв'язком. Керуючий інформаційно-енергетичний сигнал знімається з виходу такої системи при допомозі подільника і подається на блок II. Коло управління утворює замкнутий контур або коло зворотного зв'язку. Блок II - оптично активні середовища. Такі середовища містять в собі речовини, які є придатними для реалізації ефекту Комптона. Виділений сигнал з блоку II потрапляє на блок III. Блок III – набір приймачів випромінювання. Такі приймачі є досить чутливими в вузькій спектральній області. Блок приймачів утворює матрицю на основі об'єднувача для отримання одного енергетичного виходу із двох або більшої кількості просторово розділених енергетичних входів. Між блоком II і блоком приймачів випромінювання III існує зворотній зв'язок.

Сигнал з приймачів випромінювання III поступає на аналоговий цифровий перетворювач (АЦП) IV і через адаптер зв'язку на ЕОМ V.

Спосіб автоматизованого перетворення частоти випромінювання в спектрогенераторах здійснюється наступним чином. При допомозі аналізаторів випромінювання блоку I і пов'язаних з ними логічних елементів відбувається селекція падаючого випромінювання на окремі спектральні діапазони. Випромінювання деякої ширини спектру  $h(\omega+\Delta\omega)$  потрапляє на блок I, в якому відбувається аналіз (декодування) виду енергетичного спектру (оптичний, радіочастотний, рентгенівський,  $\gamma$ -випромінювання, космічні промені і т.д.). Виділений енергетичний сигнал відповідного спектрального діапазону потрапляє до блоку II. Оптично активне середовище, в якому відбувається розкладання складного за спектром випромінювання на окремі частоти  $\omega_0$ , працює на відомих фізичних закономірностях та явищах поглинання, резонансу, інтерференції, дифракції, дисперсії, фотоефекту, ефекту Комптона. Тоді моноскладові випромінювання потрапляють на блок приймачів випромінювання III. Між блоками II і III існує зворотній зв'язок. На виході з такої системи отримують сигнал заданої частоти  $\omega_0$ , що відповідає енергії  $h\omega_0$ . Спосіб дає можливість робити селекцію та взаємне перетворення вхідного сигналу за відповідними частотами, тобто за енергією в автоматичному режимі при допомозі ЕОМ V за розробленими відповідними комп'ютерними програмами.

## ВИСНОВКИ

Таким чином, в роботі представлені способи створення автоматизованих комп'ютерних оптичних систем на базі багатофункціональних спектрофотометрів та спектроенергетичних перетворювачів - корпускулярно-хвильового спекротрансформатора.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Воловик П.М. Фізика. Підручник для університетів.- К.; Ірпінь: Перун, 2005.-864 с.

2. Пат. України №33048, МПК F24J2/18. Спосіб уніфікованої трансформації довжин хвиль / Кожем'яко В.П., Шевченко О.В., Ярославський Я.І., Бойко О.А. // Бюл. №11, 2008.
3. Оптикоелектронний прилад для дослідження оптичних властивостей світлорозсіювальних матеріалів в умовах багатократного розсіяння. Автореф. дис...канд. техн. наук / А.Д.Слободяник; Нац.техн. ун-т України «Київ.політехн. ін-т».-К., 1998.-16 с.-укр.-рус.
4. Алексеев В. А. Опыт создания переносных многокомпонентных газоанализаторов с использованием оптического абсорбционного метода / В.А. Алексеев, В.А. Яценко // Радиотехника. -2006. -Вып 146-С. 192-197.
5. Бахшиев Н. Г. Введение в молекулярную спектроскопию: [учеб. пособие] / Бахшиев Николай Григорьевич, —Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. -216с.
6. Аналітичні екологічні прилади та системи. — Монографія. / В.А. Порев, О.А. Дашковський, Я.Л. Миндюк, В.П. Приміський / Під заг. ред. В. А. Порєва. — Вінниця: УНШЕРСУМ-Вінниця, 2009. -336 с.
7. Кожем'яко В.П., Зузяк П.М., Слободяник А.Д. Теоретичні начала інформаційно-енергетичного перетворення світлового спектру // Materialy II Miedzynarodney neukove-praktyeznej konferencji "Wyksztalcenie I nauka bez granic -2005"/ Tom 26.-2005.-S.8-11.
8. Кожем'яко В.П., Зузяк П.М., Ларюшкин Є.П., Слободяник А.Д. Теоретичні основи перетворення енергії світлового спектру // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.- Вінниця, 2006, №1(11).-С.97-101.

Надійшла до редакції 19.06.2014р.

**КОЖЕМ'ЯКО ВОЛОДИМИР ПРОКОПОВИЧ** – д.т.н., професор, академік АІНУ, завідувач кафедри лазерної і оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

**СЛОБОДЯНИК АНАТОЛІЙ ДМИТРОВИЧ** – к.т.н., доцент кафедри загальної фізики та фотоніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.