

ISSN 1681-7893

**ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ  
ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ  
ТЕХНОЛОГІЇ**



**OPTOELECTRONIC  
INFORMATION-POWER  
TECHNOLOGIES**

**№2 (10), 2005**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Академія інженерних наук України  
Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України  
Ужгородський національний університет  
Грузинський технічний університет  
Люблінський технічний університет  
Карпатський державний центр інформаційних засобів і технологій НАН України  
Українське відділення SPIE – Міжнародне товариство оптичної техніки



# Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Заснований у 2001 році  
Виходить 2 рази на рік

**№2 (10), 2005**

Передплатний індекс 91673

Зареєстрований Державним комітетом інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України. Свідоцтво про реєстрацію – КВ № 4975 від 23.03.2001 р.

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ВНТУ, протокол №6 від 29 грудня 2005 р.

Міжнародний науково-технічний журнал "Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології" є науковим виданням, публікації в якому визнаються при захисті дисертаційних робіт з технічних наук (постанова Президії ВАК України №1-05/6 від 12 червня 2002 року)

© Вінницький національний технічний університет, оформлення, верстка, 2005

---

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:**  
Україна, 21021, м. Вінниця,  
вул. Хмельницьке шосе, 95.

Тел.: +380 (432) 59-81-25; 59-80-19  
Факс: +380 (432) 46-57-72  
<http://www.vstu.vinnica.ua/~oeipt/>  
E-mail: [oeipt@vstu.vinnica.ua](mailto:oeipt@vstu.vinnica.ua)

---

---

---

**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ  
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

**ЗМІСТ**

---

---

**ПРИНЦИПОВІ КОНЦЕПЦІЇ ТА СТРУКТУРУВАННЯ РІЗНИХ РІВНІВ ОСВІТИ  
З ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ**

**Біскало О.В., Бурденюк І.І.**  
Характеристика і формальна оцінка переваг дистанційної форми навчання ..... 5

**МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ  
ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ**

**Полякова М.В., Крылов В.Н.**  
Повышение точности контурной сегментации изображений путем использования релакварного вейвлет-преобразования ..... 13

**Тимченко Л. І., Шевченко О. В., Кокряцкая Н.І., Шевченко С.А., Поплавський О.А.**  
Моделювання модифікованих алгоритмів визначення координат зображень плям лазерних пучків  
**Васюра А.С., Кулик А.Я., Кириченко О.В.**  
Аналіз швидких алгоритмів обчислення дискретного перетворення Крестенсона-Леві ..... 31

**Мартинюк Т.Б., Мохамед Салем Нассер, Власійчук В.В., Наконечний О.М.**  
Аналіз можливостей одиничного кодування числової інформації ..... 39

**Дудикевич А.Т., Кардаш А.І., Левицька С.М.**  
Ефективний спосіб розв'язання плоскої різницевої задачі Діріхле на семиточковому шаблоні для рівняння Пуассона ..... 45

**СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА  
РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ**

**Kozhemiako V.P., Timchenko L.I., Yarovyu A.A.**  
Parallel-hierarchical networks as structural-functional basis for construction of pattern computer models ..... 49

**Дубовой В.М., Ковалюк О.О.**  
Прогнозування станів транспортних потоків міста ..... 55

**Кожем'яко В.П., Клімкіна Д.І.**  
Класифікація зображень з незакономірним контуром при око-процесорному розпізнаванні ..... 61

**Квятковський О.Є., Дерев'яно О.І.**  
Виділення контурів на скейлінгових растрових зображеннях ..... 68

**Войцеховська О.О.**  
Проектування мікроелектронних фазі-контролерів ..... 73

**ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ**

**Кожем'яко В.П., Лисенко Г.Л., Цирульник С.М.**  
Організація оперативної пам'яті багатифункціонального паралельного процесора ..... 80

**Filiuyuk N., Kuzemko A., M. M. Saleh Jourban**  
Development microwave active devices based on optically-controlled impedance element ..... 87

**Филинук Н.А., Швейкина С.Е.**  
Исследование внутреннего инвариантного коэффициента устойчивости транзисторного оптоэлектронного ..... 91

**Мартинюк Т.Б., Кожем'яко А.В., Фофанова Н.В., Наконечний О.М.**  
Адаптивний суматор для системи керування роботом ..... 96

**Заболотна Н.І., Шолота В.В., Дмитрук В.В.**  
Оптоелектронні пристрої для обчислення паралельного добутку трьох матриць ..... 102

---

---

**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ  
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

**ЗМІСТ**

---

---

<b>Водотовка В.І., Рєпа Ф.М.</b> Система автоматичного підстроювання частоти генератора НВЧ на резонансне навантаження .....	110
<b>Поморова О.В., Чайковський Д.Ю.</b> Розподілена мультіагентна система діагностування комп'ютерних пристроїв .....	114
<b>Медзятий Д.М.</b> Мікропроцесорні пристрої та системи як об'єкти прогнозування .....	119
<b>Семенов А.О.</b> Генератор гармонічних коливань НВЧ діапазону на основі транзисторної структури з від'ємним опором .....	124

**БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ**

<b>Довгалець С.М., Гончарук О.В., Томків В.В.</b> Використання методів реконструкції цифрових голограм в ендоскопії .....	132
--	-----

**ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ**

<b>Осадчук В.С., Осадчук О.В., Проколова М.О.</b> Дослідження частотного перетворювача концентрації газу на основі біполярного та МДН транзисторів .....	137
<b>Осинский В. И., Раков А. В.</b> Мультиспектральные диодные источники света .....	143
<b>Петрук В.Г., Васильківський І.В., Кватернюк С.М.</b> Автоматизований контроль домішок у водно-дисперсних середовищах .....	164
<b>Даниленко О.О., Кравченко Ю.С., Осадчук В.С.</b> Оптичний емісійно-спектральний контроль процесів травлення в низькотемпературній плазмі ....	173
<b>Шабатура Ю.В., Овчинников К.В.</b> Моделювання вимірювального перетворювача для визначення характеристик обертальних рухів	181
<b>Мокін В.Б., Крижанівський Є.М., Коновалюк Ю.М.</b> Автоматизована ідентифікація геоінформаційних моделей об'єктів моніторингу поверхневих вод області .....	187
<b>Козуля Т.В.</b> Теоретичні аспекти створення корпоративної системи екологічного управління .....	193
<b>Білинський Й.Й., Городецька О.С.</b> Роль поверхневих явищ в різних процесах та оптичні засоби визначення поверхневого натягу .....	198
<b>Гненний В.О.</b> Контроль грубих помилок при вимірюванні координат у навігаційних системах на базі GPS приймачів .....	204

**ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ (INTERNET, INTRANET ТОЩО) ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖАХ**

<b>Лисенко Г.Л., Тютюнник І.І.</b> Пристрій моніторингу оптичного волокна .....	208
<b>Білан С.М., Шварц І.М.</b> Проблеми обміну даних в реалізації корпоративних мереж .....	213
<b>Ткаченко О.М., Феферман О.Д., Хрущак С.В.</b> Розробка кодових книг для вокодера на основі LSP .....	219

УДК 535.361

В.Г. ПЕТРУК, І.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, С.М. КВАТЕРНЮК

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ДОМІШОК У ВОДНО-ДИСПЕРСНИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

*Вінницький національний технічний університет  
95, Хмельницьке шосе, м. Вінниця, 21021, Україна  
Тел: +38 (0432) 580-250, +38 (0432) 580-495  
Факс (0432) 46-57-72, E-mail: Petruk@vstu.vinnica.ua*

**Анотація.** В роботі приведені основні оптичні характеристики дистильованої води, як нормованого засобу контролю, розчинених у воді природних органічних речовин та завислих часток, а також представлені результати експериментальних досліджень домішок у модельних і природних водно-дисперсних середовищах.

**Анотация.** В работе приведенные основные оптические характеристики дистиллированной воды, как нормированного средства контроля, растворенных в воде естественных органических веществ и взвешенных частиц, а также представлены результаты экспериментальных исследований примесей в модельных и естественных водно-дисперсных средах.

**The summary.** In work the given basic optical characteristics distilled of water, as normalized means of the control natural organic substances, dissolved of water, and hanged particles, and also are submitted results of experimental researches of impurity in modelling and natural water-dispersion environments.

**ВСТУП**

При падінні кванта світла частоти  $\nu$  на водне середовище останнє може поглинути його, прийнявши тим самим додаткову енергію  $h\nu$ . Оскільки енергетичний спектр водної системи суцільний, то можливе поглинання фотонів будь-якої частоти  $\nu$ . Щоправда, ймовірність переходу системи з одного енергетичного стану в інший за рахунок поглинання фотонів різні. Тому і спектр поглинання світла водою хоч і є суцільним, але не стаціонарним. Різні ділянки спектра сонячного випромінювання поглинаються водою і компонентами, що містяться в ній, по-різному [1-3].

В залежності від співвідношення між довжиною хвилі світла  $\lambda$  і лінійними розмірами оптичної неоднорідності  $d$  інтенсивність розсіювання може бути різною. Природа оптичних неоднорідностей різноманітна. В одних випадках неоднорідності виникають за рахунок сторонніх тіл, що є в середовищі (частки, пухирці повітря у воді). В інших випадках – середовище може не містити сторонніх включень, однак внаслідок флуктуації густини речовини й орієнтації молекул у ній створюються "згустки" і "розрідження" діелектричної проникності (або показника заломлення  $n$ ). Виникаюче на таких неоднорідностях розсіювання є молекулярним. Оскільки коливання молекул існують при будь-яких температурах, то молекулярне розсіювання має місце в абсолютно чистій воді. Наявність у воді розчинених речовин породжує флуктуації їхньої концентрації в різних ділянках простору, що також викликає додаткове молекулярне розсіювання. Власне, вода і її компоненти (солі, розчинені органічні речовини, суспензії) відіграють різну роль у загальних процесах поглинання і розсіювання. Тому доцільно з'ясувати значення первинних гідрооптичних характеристик самої води й окремих її складових.

**ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСТИЛЬОВАНОЇ ВОДИ, ЯК НОРМОВАНОГО ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ**

Розглядаючи явище розсіювання в гранично чистій (бідистильованій) воді, приведемо формулу для показника розсіювання в напрямку  $\gamma$  при опроміненні елементарного об'єму води природним світлом:

$$m_{\sigma}(\gamma) = \frac{3\pi(n^2 - 1)^2 \eta k T}{\lambda^4} \times \frac{1 + \Delta}{6 - 7\Delta} \left( 1 + \frac{1 - \Delta}{1 + \Delta} \cos^2 \gamma \right), \quad (1)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі світла в повітрі, нм;  $\eta = 45,7 \cdot 10^{-12}$  бар<sup>-1</sup> – ізотермічна стисненість води;  $k$  – стала Больцмана;  $T$  – абсолютна температура;  $\Delta$  – поляризаційний дефект. Для  $T = 290^\circ\text{K}$  і  $\lambda = 436$  нм,  $\Delta = 0,088$ ;  $n$  – показник заломлення води. У табл. 1 приведені значення показника заломлення для бідистильованої води, одержаної за відомими методиками, що вимірювався з допомогою рефрактометра РФ-23.

Таблиця 1.

Спектральна залежність показника заломлення для бідистильованої води при  $t = 20^\circ\text{C}$

Довжина хвилі, нм	Показник заломлення	Довжина хвилі, нм	Показник заломлення
359	1,3480	486	1,3371
400	1,3433	589	1,3330
434	1,3404	768	1,3289

Практично у видимій області спектра можна приймати середнє значення показника заломлення  $n = 1,33$ . У цьому випадку для  $T = 293^\circ\text{K}$  формула (1) записується в такий спосіб:

$$m_{\sigma}(\gamma) = \frac{8,87 \cdot 10^{-5}}{\lambda^4} (1 + 0,835 \cos^2 \gamma), \quad (2)$$

де  $m_{\sigma}(\gamma)$  визначається в м<sup>-1</sup>. З формули (2) видно, що кутовий розподіл світла, розсіяного “вперед” та “назад”, симетричний. Максимальна інтенсивність спостерігається при  $\gamma$ , рівних 0 і 180°, мінімальна – при 90 і 270°. Цей розподіл близький до релеевського на дуже малих ізотропних частках, рис. 1, де заштрихована область враховує Релеївську поляризацію [1].

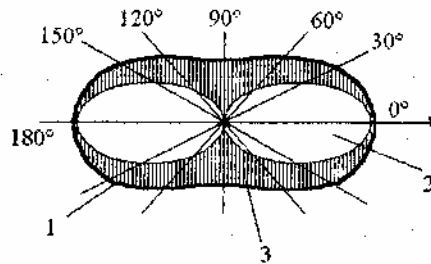


Рис. 1. Релеївський розподіл випромінювання: 1 – розсіяний потік випромінювання; 2 – неполяризована компонента розсіяного потоку; 3 – поляризована компонента розсіяного потоку випромінювання

В останньому випадку

$$m_{\sigma}(\gamma) \approx \frac{1 + \cos^2 \gamma}{\lambda^4}. \quad (3)$$

Отже, показник розсіювання в будь-якому напрямку із збільшенням довжини хвилі світла зменшується пропорційно  $\lambda^4$ . Крім того, з рис. 1 видно, що ступінь поляризації максимальна при  $\gamma = 90^\circ$  (270°), але дорівнює не 1, а 0,835 одиниць інтенсивності випромінювання, відкладеній на ординаті в площині референції.

Перейдемо до розгляду загального молекулярного коефіцієнта розсіювання  $\sigma$  дистильованої води. Використовуючи (1) і з огляду на те, що

$$\sigma = 2\pi \int_0^{\pi} \sigma^*(\gamma) \sin \gamma d\gamma, \quad (4)$$

та з таблиці 2 випливає, що поглинання розчину можна розглядати як суму двох частин: перша залежить від солей, друга – від чистого розчинника. Зіставляючи ці дані з даними для дистильованої води, можна з'ясувати поглинальну здатність сольового складу [1-3]. У сольовому розчині можливо додаткове молекулярне розсіювання, засноване на флуктуаціях концентрації солей. Однак, його величина незначна.

Можна вважати, що введення неорганічних солей у воду не суттєво змінює розсіювальну здатність останньої.

Таблиця 2.

Значення оптичних характеристик води

$\lambda$ , нм	Дистильована вода			Вода с розчиненими неорганічними солями*	
	$m_{\sigma} \cdot 10^{-3}$ , м <sup>-1</sup>	$\epsilon \cdot 10^{-3}$ , м <sup>-1</sup>	$\Delta$	$E \cdot 10^{-3}$ , м <sup>-1</sup>	$\Delta$
350	8,7	268	0,03	405	0,01
400	5,0	160	0,03	212	0,02
420	4,1	85	0,05	116	0,04
440	3,4	12	0,28	20	0,19
460	2,8	12	0,23	17	0,18
480	2,3	12	0,19	16	0,15
500	2,0	17	0,12	21	0,12
520	1,7	23	0,07	27	0,07
540	1,4	30	0,05	34	0,04
560	1,2	45	0,03	49	0,02
580	1,1	78	0,01	87	0,01
600	0,9	170	0,01	174	0,01
650	0,7	264	0,00	267	0,00
700	0,5	500	0,00	503	0,00

\*Нами змодельована солона вода, де в 1 л дистильованої води розчинено відповідно: 26,4 г NaCl, 0,75 г KCl, 3,15 г MgCl<sub>2</sub>, 2,07 г MgSO<sub>4</sub>, 1,33 г CaSO<sub>4</sub> та 1 г Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

З урахуванням (1) знаходимо наближений показник розсіяння розчину

$$m_{\sigma} \cong \frac{8\pi^3 (n^2 - 1)^2 \eta \kappa T}{\lambda^4} \cdot \frac{2 + \Delta}{6 - 7\Delta}, \quad (5)$$

звідки для видимої області спектра можна для нього записати спрощений вираз:

$$m_{\sigma} \cong \frac{1,42 \cdot 10^4}{\lambda^4}, \quad (6)$$

де  $m_{\sigma}$  визначається в м<sup>-1</sup>, а  $\lambda$  в мкм. Звідси знаходимо показник поглинання розчину, в значенні якого найбільшу роль відіграють розчинені речовини:

$$m_{\alpha} = \epsilon - m_{\sigma}. \quad (7)$$

Дані результати із таблиці 2 свідчать, що зазначені неорганічні розчинні солі майже не змінюють поглинання водного розчину у видимій області спектра. Показник поглинання можна також визначити, вимірюючи коефіцієнт пропускання  $T$  стовпа води  $h$ :

$$T = e^{-\epsilon h} = e^{-(m_{\sigma} + m_{\alpha})h}, \quad (8)$$

звідки  $\epsilon = m_{\alpha} + m_{\sigma} = -\frac{1}{h} \ln T$ .

В деяких літературних джерелах [1,2] приводяться, нажаль, не зовсім коректні дані стосовно коефіцієнту пропускання дистильованої води у видимому діапазоні, що подекуди досягає навіть 100%. Проте відомо, і нами експериментально підтверджено, рис.2, що максимальний  $T(H_2O) = 96 + 97\%$ . Це пояснюється незначним дзеркальним відбиванням від поверхні води та її молекулярним поглинанням. В якості розчинника для поліхлорвінілового (ПХВ) латекса, природного фітолатексу „Rewultex” та каніфольного молока використовувався ректифікований етиловий спирт (марки о.ч.)

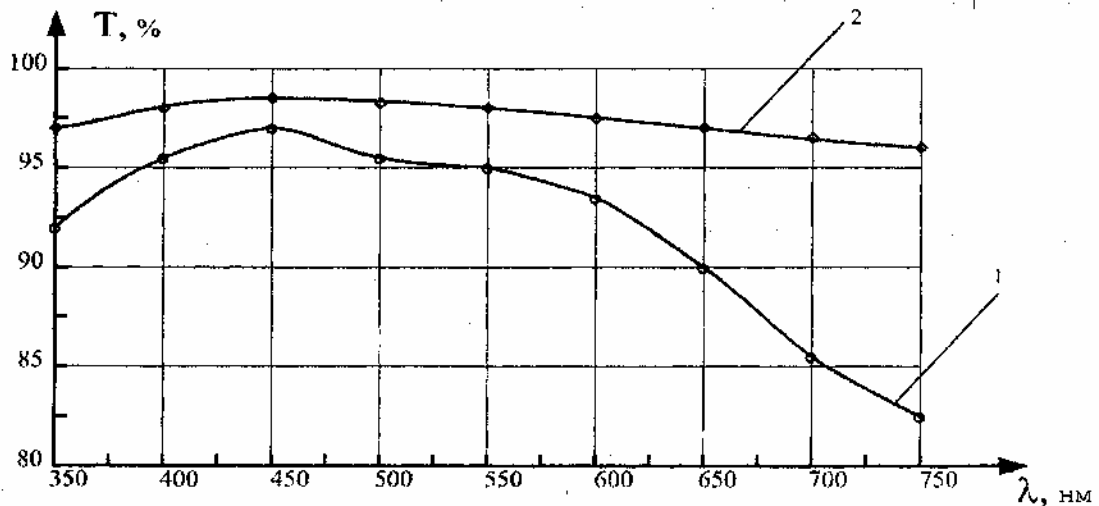


Рис. 2. Спектральний коефіцієнт пропускання:  
1 – дистильованої води; 2 – ректифікованого етилового спирту

Однак, із рис. 2 видно, що знайдений коефіцієнт пропускання  $T$  для  $C_2H_5OH$  значно вищий від  $T$  бідистильованої води, а це означає, що показник розсіювання  $m_s$  спирту менший, ніж у води, що цілком підтверджується даними [1,4] про те, що показник розсіювання однорідного середовища пропорційний його густині.

Оскільки в теорії розсіювання світла використовується параметр  $\Lambda$  – імовірність виживання фотона, то його значення приведені в четвертому стовпці табл. 2. Максимальні значення  $\Lambda$  (не перевищуючі 0,19), як бачимо, реалізуються в синьо-зеленій області спектра. Отже, ознаки розсіяння реалізуються саме у видимому інтервалі довжин хвиль 380-760 нм. Поза цією областю частка розсіяного світла для дистильованої води надзвичайно мала.

Це свідчить про те, що методи оптики світлорозсіювання для даних експериментальних досліджень є найбільш доцільними та інформативними.

### ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗЧИНЕНИХ У ВОДІ ПРИРОДНИХ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

У масовому відношенні розчинені органічні речовини складають меншу частку, ніж неорганічні солі, але поглинальна здатність у них може бути значна. Сукупність природних органічних речовин іноді називають "жовтою речовиною". За хімічним складом жовта речовина являє собою гумінові кислоти – продукти розкладання планктонних організмів. За результатами спостережень різних водно-дисперсних середовищ (рис.3) встановлено, що за рахунок підвищення інтенсивності біологічних процесів та збільшення кількості розчинених органічних речовин "жовтої речовини" відбувається незначне збільшення  $\tau_{сер}$  у теплий період року, яке носить тимчасовий характер. З ростом довжини хвилі випромінювання величина показника поглинання жовтої речовини зменшується за експоненціальним законом. Деякі органічні компоненти мають виражені смуги поглинання навіть в ультрафіолетовій області спектру. Показник поглинання пропорційний концентрації розчинених органічних речовин. На рис. 4 представлені отримані нами криві пропускання прісних і морських вод.

Якщо у воді їх мало, то по спектральній кривій поглинання у видимій області жовту речовину виявити складно. Проте зі збільшенням їх концентрації починає зростати  $m_s$ , особливо в короткохвильовій області спектра. Тому вода здобуває жовтуватого забарвлення. При  $\lambda_1 = 380$  нм, показник послаблення дорівнює  $\varepsilon_1 = \varepsilon_1^s + \varepsilon_1^u + \varepsilon_1^{жк}$ , де  $\varepsilon_1^s$  і  $\varepsilon_1^u$  – показники послаблення соляного розчину і часток, що містяться у воді, а  $\varepsilon_1^{жк}$  – показник послаблення жовтої речовини, який потрібно визначити.



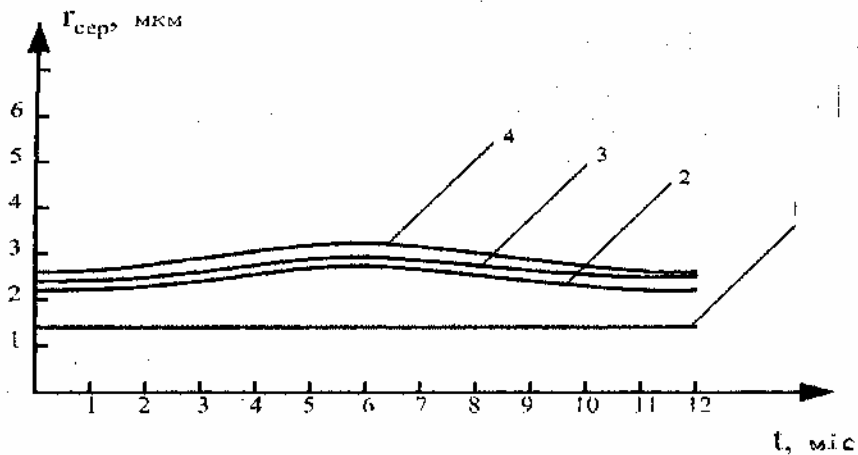


Рис. 3. Сезонні зміни  $\Gamma_{\text{сер}}$  для різних водно-дисперсних середовищ:  
1 – водопровідна вода; 2 – річкова вода; 3 – озерна (ставкова) вода; 4 – болотна вода

У червоній області спектра, наприклад при  $\lambda_2 = 655 \text{ нм}$ , де жовта речовина майже не поглинає світло,  $\varepsilon_2 = \varepsilon_2^g + \varepsilon_2^y$ . Із двох записаних співвідношень випливає, що

$$\varepsilon_1^{\text{оч}} = \varepsilon_1 - \varepsilon_1^g - \varepsilon_1^y = (\varepsilon - \varepsilon^g)_1 - \gamma(\varepsilon - \varepsilon^g)_2, \quad (9)$$

де  $\gamma = \frac{\varepsilon_1^y}{\varepsilon_2^y}$ . Показники послаблення  $\varepsilon_1$  і  $\varepsilon_2$  знаходяться експериментально, значення  $\varepsilon_1^g$  і  $\varepsilon_2^g$  беруться,

наприклад, з табл. 2. Крім того, потрібно мати дані про коефіцієнт  $\gamma$ , що залежить від функції розподілу часток за розмірами. Якщо ефективний розмір розподілу набагато більший  $\lambda = 655 \text{ нм}$ , то за теорією розсіювання  $\gamma = 1$ .

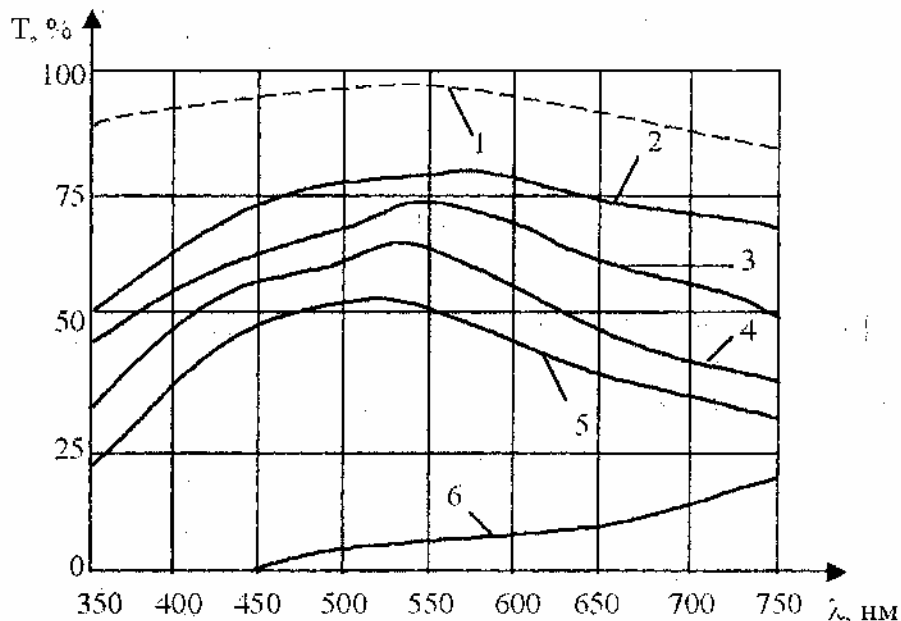


Рис. 4. Спектральні коефіцієнти пропускання вод з різним вмістом жовтої речовини і неорганічних сполук: 1 – дистильована вода; 2 – водопровідна вода; 3 – вода з Південного Бугу в районі м.Вінниці; 4 – вода із Вишньовського озера, в районі с.Пирогово; 5 – вода з Чорного моря в районі м.Одеси; 6 – болотна вода із с.Багринівці Літинського району Вінницької області

Отже, органічні компоненти води в більшій мірі впливають на оптичні характеристики природної води у видимому діапазоні спектра, ніж розчинені неорганічні солі.

## ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАВИСЛИХ ЧАСТОК

Якщо частки набагато менші довжини хвилі і не поглинають світло, то показник розсіювання одиниці об'єму середовища, зумовлений тільки сторонніми вкрапленнями, набуде вигляду:

$$m_{\sigma_4} = \varepsilon_4 = \frac{24\pi^3}{\lambda^4} V^2 \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 N, \quad (10)$$

де  $N$  – число часток в одиниці об'єму, а  $V$  – об'єм однієї частинки.

Звідси видно, що величина потоку розсіяної радіації теж пропорційна  $\lambda^{-4}$ . Отже, індикатриса розсіювання на релєївських частках фактично аналогічна рис. 1 і є симетричною. З ростом розміру часток, а точніше, параметра дифракції  $\rho = 2\pi r/\lambda$ , де  $r$  – радіус частки, показник розсіювання спочатку монотонно зростає до своєї максимальної величини, а потім залежність  $m_{\sigma_4}(\rho)$  здобуває осцилюючого характеру. При  $\rho \rightarrow \infty$  показник розсіювання  $m_{\sigma_4} \rightarrow 2\pi^2 N$ , тобто в значній мірі буде залежати не тільки від радіуса часток, але і їх кількості в одиниці об'єму дисперсного середовища. Індикатриса розсіювання при цьому буде видовжуватись по мірі росту  $r$  і  $N$ . Оскільки у воді присутні частки різних розмірів, то практично в залежності  $m_{\sigma_4} = f(\rho_{cp})$  ( $\rho_{cp}$  – середній параметр дифракції для даного розподілу часток за розмірами) можна очікувати тільки перший максимум і потім асимптотичне наближення до величини  $2\pi^2 N$ .

Розглянемо розподіл диспергованих часток за розмірами у вигляді гамма-розподілу:

$$f(r) = Ar^\mu e^{-\mu/r_0}, \quad (11)$$

де  $A$  – нормований множник;  $\mu$  – параметр, що характеризує відносну напівширину функції розподілу (як правило,  $f(r)=0,5f(r_0)$ );  $r_0$  – найбільш ймовірний (модальний) радіус часток. Відтак, напівширина цієї функції розподілу буде дорівнювати:

$$B = 2.48r_0 / \sqrt{\mu}. \quad (12)$$

Тоді середній розмір часток у полідисперсній системі характеризується відношенням третього моменту функції розподілу до другого [1,4]:

$$r_{32} = \frac{\int_0^{\infty} r^3 f(r) dr}{\int_0^{\infty} r^2 f(r) dr}. \quad (13)$$

Легко показати, що для гамма-розподілу

$$r_{32} = r_0(1 + 3/\mu). \quad (14)$$

З врахуванням останніх виразів середній параметр дифракції, що відповідає  $r_{32}$ , дорівнює:

$$\rho_{32} = \frac{2\pi r_{32}}{\lambda} = \frac{2\pi r_0}{\lambda} (1 + 3/\mu) = \rho_0(1 + 3/\mu), \quad (15)$$

де  $\rho_0$  – модальний (чи найбільш ймовірний) параметр дифракції для системи часток.

Визначений таким чином параметр дифракції ( $\mu$ ) дозволяє знайти показник послаблення для полідисперсного середовища, мікроструктура якого описується функцією розподілу часток за розмірами  $f(r)$ :

$$\varepsilon_4 = N \int_0^{\infty} \pi r^2 \varepsilon^*(r, \lambda, n, \chi) f(r) dr, \quad (16)$$

де  $\varepsilon^*$  – фактор послаблення світла часткою;  $\chi = m_{\alpha}^* \lambda / 4\pi$  ( $m_{\alpha}^*$  – показник поглинання речовиною однієї частки (елементарного об'єму)).

На практиці часто відомо не число часток в одиниці об'єму, а масову (об'ємну) концентрацію диспергованої речовини. Тому доцільно перейти до об'ємної концентрації часток, що розсіюють,  $c_v$ . Тоді

$$\varepsilon_q = \frac{3}{4} c_v \frac{\int_0^2 \varepsilon^* r^2 f(r) dr}{\int_0^2 r^3 f(r) dr} \quad (17)$$

Неважно показати, що коли в середовищі містяться непоглинаючі частки розміром набагато менші  $\lambda$ , то показники розсіювання й послаблення приблизно однакові і не залежать від виду  $f(r)$ . Якщо частки великі, тобто  $r \gg \lambda$  то можна вважати:

$$\varepsilon_q = \frac{3}{4} c_v \frac{2}{r_0 + 3/\mu} \quad (18)$$

або з врахуванням (15)

$$\varepsilon_q = \frac{3}{4} c_v \frac{2}{r_{32}} = \frac{3}{4} c_v \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{2}{\rho_{32}} \quad (19)$$

З (19) випливає, що показник послаблення для системи великих часток не залежить від модального розміру і параметра напівширини окремо, а однозначно визначається величиною середнього параметра дифракції.

Відомо, що у видимій області спектра для часток з  $n=1,33$  показник ступеня в  $\lambda$  при зміні діаметра частки має наступну залежність таблиця 3:

Таблиця 3.

показник ступеня при $\lambda$	4	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5
діаметр часток, мкм	$\leq 0,07$	0,1	0,15	0,23	0,3	0,35

Коли розміри часток  $r \gg \lambda$  довжини хвилі, то залежність показника розсіювання від  $\lambda$  зникає. Знаючи  $c_v$ ,  $\mu$  та  $\varepsilon_q$  знаходимо найбільш ймовірний розмір часток:

$$r_0 = \frac{3(c_v \mu - 2\varepsilon_q)}{2(\varepsilon_q - \mu)} \quad (20)$$

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОМІШОК У ВОДНО-ДИСПЕРСНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Для підтвердження вище наведених теоретичних розрахунків нами здійснено ряд експериментів з допомогою автоматизованої системи контролю [5] з метою отримання тіл яскравості дисперсних середовищ із різним розміром часток дисперсної фази. В експерименті були задіяні як природні, так і модельні штучні середовища.

У зв'язку з поставленою задачею під час досліджень дисперсних середовищ використовувалися мутні середовища (молочне, каніфольне і мильне), у яких коефіцієнт поглинання мізерно малий у порівнянні з коефіцієнтом розсіювання, та модельних дисперсних середовищ штучного (поліхлорвініловий латекс – ПХВ) і природного (фітолатекс типу „Rewultex” – „R”) походження із наступними розмірами часток: 0,0087 мкм, 0,0875 мкм, 0,55 мкм, 0,875 мкм і 5,255 мкм.

Молочне середовище готувалось змішуванням відповідної кількості натурального молока з водою. При цьому застосовувалися концентрації розчину від 0,05 до 5% такі, щоб найбільш ефективно реалізовувалися умови глибинного режиму. Для одержання каніфольного середовища готували насичений розчин каніфолі в спирті. Дві частини цього розчину змішували з однією частиною спирту, а потім розбавляли дистильованою водою. Отримане каніфольне “молоко” змішували в потрібній кількості

з водопровідною водою. Такий спосіб готування запобігав коагуляції каніфолі. При розгляданні каніфольного середовища під мікроскопом спостерігалася велика кількість брунівських часток, а також часток неправильної форми, діаметри яких різні.

Мильне середовище, що відноситься до колоїдних середовищ, готували розчиненням мила в гарячій дистильованій воді. Отриманий розчин розбавляли теплою бідистильованою водою до потрібної концентрації, після чого середовище охолоджували до температури повітря. Після цього в резервуар наливали бідистильовану воду, а потім вливали досліджуване середовище, розмішували і здійснювали вимірювання. ПВХ-латекс та фітолтекс типу „Rewultex” готувалися згідно методик розроблених в Державному науково-дослідному інституті “Еластик” НАН України.

Опромінення здійснювали на найбільш характерних для видимого діапазону довжин хвиль: 450, 550 та 650 нм. Отримані експериментальні тіла яскравості для довжини хвилі 550 нм представлені на рис.8. Для довжин хвиль зонduючого опромінення 450нм та 650нм отримані практично аналогічні тіла яскравості, однак з менш вираженими інтерференційно-дифракційними екстремумами в області кутів 30°, 60°, 100° і 135° та менших розмірів, що пояснюється значно меншим показником розсіяння середовища для вказаних довжин хвиль (див. рис.4).

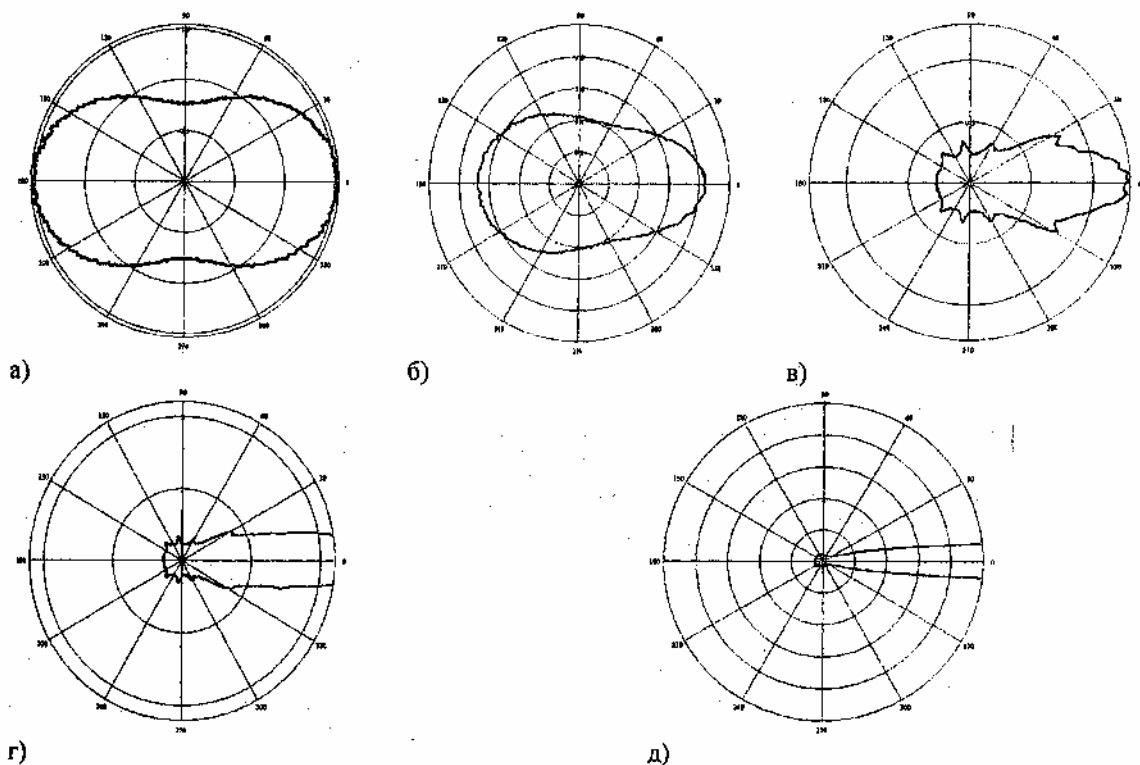


Рис. 8.Тіла яскравості (індикатриси розсіяння) дисперсних (мутних) середовищ на основі ПВХ-латексу з різними розмірами диспергованих часток  $r$ , де: а)  $r_1=0,0087$  мкм ( $\rho=0,1$ ), б)  $r_2=0,0875$  мкм ( $\rho=1$ ), в)  $r_3=0,55$  мкм ( $\rho=6,28$ ), г)  $r_4=0,875$  мкм ( $\rho=10$ ) д)  $r_5=5,255$  мкм ( $\rho=60$ )

Як випливає з рис.8, по мірі збільшення розміру часток тіло яскравості поступово зміщується та видовжується в напрямку поширення зонduючого потоку випромінювання. Крім того, для випадку однаковості розмірів часток та довжин хвиль падаючого світла спостерігаються різко виражені дифракційно-інтерференційні екстремуми, зокрема в околі кутів 30°, 60°, 100° і 135°, що співпадає з теоретично передбачуваними математичними моделями [6].

На основі досліджених з допомогою автоматизованої контрольно-вимірювальної системи індикатрис вибраних модельних середовищ доведено, що закономірності розповсюдження випромінювання у модельних середовищах в значній мірі адекватні реальним природним об'єктам, таким як вода озерних та морських басейнів і т.д.(рис.9).

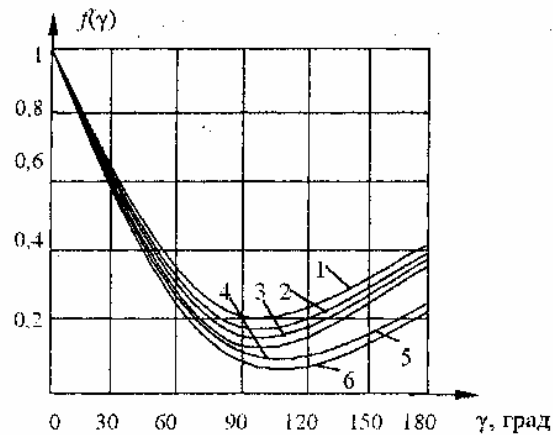


Рис. 9 Індикатриси розсіяння дисперсних середовищ: 1 – морської води; 2 – річкової води; 3 – мильної води; 4 – каніфольного молока; 5 – фітоллатексу типу „Rewultex”; 6 – водний розчин натурального молока

### ВИСНОВКИ

Оптичні методи виявлення і дослідження диспергованих домішок є досить зручними і за рахунок своєї експресності достатньо ефективними. Вони не вносять спотворень в досліджуване водно-дисперсне середовище. Крім того, оптичні характеристики є основою для розрахунку світлових полів і світлового режиму в різних умовах, що дає можливість вирішення багатьох зворотних задач теорії переносу випромінювання, а саме визначення ряду інших характеристик середовища за оптичними даними. Це дає можливість розраховувати температурний режим водоймища, перенесення донних осадів, виявляти і контролювати процеси забруднення, що має важливе значення у екологічному моніторингу для виявлення різного роду забруднювачів, оцінки умов фотосинтезу у цих середовищах тощо.

Робота виконана за сприяння Державного фонду фундаментальних досліджень Міністерства освіти та науки України.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Иванов А.П. Физические основы гидрооптики. – Мн.: Наука і техніка, 1975. – 503 с.
2. Тимофеева В.А. Сложное рассеяние света в мутных средах // Труды морского гидрофиз. инс-та. – 1953. – Т.3. – С.35-81.
3. Шифрин К.С. Рассеивание света в мутной среде. – М.: Гостехиздат, 1957. – 276 с.
4. Петрук В.Г. Спектрофотометрія світлорозсіювальних середовищ (теорія і практика оптичного вимірювального контролю) Монографія (ч.ІІ). – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2000. – 207 с.
5. Патент №67209А Україна, МПК<sub>7</sub> G01N 15/02. Спосіб для визначення середнього розміру диспергованих часток та пристрій для його реалізації / Петрук В.Г., Васильківський І.В., Петрук Г.Д. // Бюл. №6 "Промислова власність" Держпатенту України. – 2004. – 16 с.
6. Петрук В.Г., Васильківський І.В., Гаркушевський В.С. Математична модель трансформації випромінювання дисперсним середовищем в умовах глибинного режиму // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – Вінниця: ВДТУ, 2002, №2. – С.98-103.

Надійшла до редакції 24.10.2005 р.

**ПЕТРУК В. Г.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри хімії та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

**ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ І.В.** – старший викладач кафедри хімії та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

**КВАТЕРНЮК С. М.** – молодший науковий співробітник кафедри хімії та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.