

УДК 532.783

З.М. МИКИТЮК, А.В. ФЕЧАН, О.Є. СУШИНСЬКИЙ, В.І. КОЦУН, О.Й. ЯСИНОВСЬКА

ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗСІЮВАННЯ ІНДУКОВАНИХ ХОЛЕСТЕРИКІВ З ДОМІШКАМИ НАНОЧАСТИНОК

*Національний університет "Львівська політехніка"**м. Львів, вул. С. Бандери 12, 79013,**E-mail: zmykytyuk@polinet.lviv.ua*

Анотація. Експериментально досліджено вплив наночастинок на характеристики розсіювання індукованих холестериків на основі нематичної матриці РК 1289 з добавкою закручуючої домішки СВ15. Виявлено вплив наночастинок на характер індикатрисы розсіювання та проаналізовано вклад дифракційної та дифузної складових розсіювання.

Аннотация. Экспериментально исследовано влияние наночастиц на характеристики рассеяния индуцированных холестериков на основе нематической матрицы ЖК 1289 с добавкой закручивающей примеси СВ15. Вывявлено влияние наночастиц на характер индикатрисы рассеяния, а также проанализировано вклад дифракционной и диффузной составляющих рассеяния.

Annotation. The experimental investigations of influence of nanoparticles on the scattering characteristics of induced cholesterics, based on nematic matrix LC 1289 with addition of twisted dopands СВ15 are carry out. The influence of nanoparticles on the scattering indicatrix of liquid-crystal materials is shown. The contribution of diffraction and diffuse scattering components is analyzed.

Ключові слова: холестеричний рідкий кристал, індикатриса розсіювання, наночастинок, хірально домішка, дифракційна картина.

ВСТУП

Сучасні пристрої відображення та обробки інформації широко застосовують у якості оптично активних середовищ рідкокристалічні матеріали (РК). Це пояснюється високою чутливістю таких матеріалів до різних зовнішніх впливів і можливістю керування їхніми оптичними властивостями за допомогою зовнішніх електричних і магнітних полів. Модифікація властивостей РК для застосування як оптично активних середовищ здійснюється переважно за рахунок створення багатокомпонентних сумішей. Проте цей шлях вирішення проблеми практично вичерпав себе. Перспективним є введення в анізотропному середовище об'єктів, розміри яких сумірні з радіусом дії міжмолекулярних сил, що забезпечує значні зміни всіх фізичних параметрів цього класу композитних матеріалів [1-9].

Важливим параметром, який визначає ефективність застосування рідкокристалічних матеріалів у пристроях відображення інформації, є величина індикатрисы розсіювання. Тому мета наших досліджень - вивчення впливу наночастинок на характеристики розсіювання холестеричних рідких кристалів.

ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Базовою речовиною для отримання дослідних немато-холестеричних сумішей (НХС) було обрано нематичну матрицю РК 1289 на основі ціанофенільних сполук з такими параметрами: $\Delta\epsilon = 9,8$ (при 288 К); $T_{nl} = 253$ К; $T_{np} = 355$ К.

Для отримання спіральної структури в нематичну матрицю вводили хіральну домішку (СВ15) у відповідній ваговій концентрації. Для оцінювання впливу нанорозмірних частинок на характеристики розсіювання індукованих холестеринів у отриману суміш вводили 0,25 % наночастинок різних розмірів та форми: AlN – широкозонний напівпровідник з середньою довжиною частинки $l = 10,2$ нм; Ag-120 – металеві наночастинок срібла сферичної форми з середнім діаметром $D = 8,6$ нм; C_{60} - фулерени з зовнішнім діаметром частинки $D = 1,018$ нм.

У результаті були отримані такі суміші: РК 1289+2%СВ15, РК 1289+2%СВ15+0,25% AlN, РК 1289+2%СВ15+0,25% Ag, РК 1289+2%СВ15+0,25% C_{60} .

Приготування композитних матеріалів здійснювалося згідно з методикою, описаною в роботі [2].

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Для дослідження характеристик розсіювання індукованих холестериків використовувалась

комірка типу "сендвіч". Товщина міжелектродного проміжку становила 50 мкм і задавалася за допомогою діелектричних прокладок. Електричне поле до рідкого кристала прикладалося за допомогою прозорих електродів SnO₂, нанесених на внутрішні сторони скляних підкладок.

Заповнення комірки РК сумішшю здійснювалося згідно з [10, 11]. Краплю РК наносили на один з отворів комірки, після чого під дією капілярних сил вона втягувалася в міжелектродний простір, витісняючи повітря через протилежний отвір. Після цього комірка оброблялася у вакуумній камері для видалення залишків повітря під дією різниці тисків. Така методика дає змогу значно підвищити якість заповнення експериментальних зразків у лабораторних умовах.

Слід зауважити, що саме ця методика створює можливість тривалого багаторазового використання однієї експериментальної комірки.

Дослідження індикатрисы розсіювання проводилося згідно з методикою, описаною в роботі [13].

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Рідкі кристали відносяться до категорії мутних середовищ, у яких розсіювання світла може мати як молекулярну природу, так і відбуватися на доменній структурі. Крім цього можна спостерігати селективне розсіювання світла на холестеричній спіралі. Цей механізм обумовлений властивостями конфокальної текстури холестеричної фази, в якій осі спіралей розташовані хаотично.

Розглянемо розсіювання світла на доменній структурі, яку представимо сукупністю розсіюючих центрів. Насамперед, необхідно буде визначити структуру центрів розсіювання світла, їхні розміри, залежність останніх від величини прикладеного поля, побудувати фізичну модель зразка індукованого холестерика після накладання електричного поля та дослідити характер зміни зі зростанням поля аж до критичного значення, що відповідає переходу холестеричної структури в нематичну.

Основним методом для вирішення проблеми вибрано метод кутової залежності інтенсивності розсіяного світла за фіксованої довжини хвилі.

Отже, основним параметром, що визначає індикатрису розсіювання та прозорість системи, є величина:

$$\rho = \frac{2\pi R}{\lambda}$$

де R - радіус розсіювальної частинки.

Характер розсіювання буде визначатися співвідношенням величини ρ та довжини хвилі λ або лінійних розмірів розсіювальних частинок R та довжини хвилі λ . Наближення Релея-Ганса застосовується тоді, коли відносний показник заломлення рідкого кристала близький до 1, а розміри розсіювальних частинок перебувають у межах довжини хвилі.

Для визначення ефективного розміру розсіювальних центрів пропонується використовувати монодисперсне наближення, тобто для пояснення експериментальних залежностей розсіювальне середовище інтерпретується як монодисперсне.

Для розрахунку кутового розподілу інтенсивності розсіяного світла в наближенні Релея – Ганса використовувався вираз:

$$I(\beta, R) = I_0 \alpha^2 \frac{16\pi^4}{\lambda^4} v^2 \frac{1 + \cos^2 \beta}{2} f^2(q)$$

де $I(\beta, R)$ – інтенсивність світла, розсіяного під кутом β до напрямку падаючого світла, I_0 – інтенсивність падаючого випромінювання, v – об'єм розсіювальної частинки,

$$\alpha = \frac{3}{4} \pi \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}; \quad f(q) = \frac{3}{q^3} (\sin q - q \cos q); \quad q = 2\rho \sin \frac{\beta}{2}$$

Під час розгляду оптичних властивостей немато-холестеричних сумішей з індукованою спіральною структурою в ході перетворень під дією поля бреггівські відбивання падаючого під кутом світла набувають важливого значення.

Кожна з хаотично розташованих областей являє собою дифракційну ґратку фазового типу. Світло, яке падає на таку ґратку, розсіюється за рахунок бреггівської дифракції, причому дифракція буде максимальною, якщо виконується умова

$$\lambda = nP,$$

де λ – довжина хвилі.

Розглянемо переорієнтацію конфокальних доменів під час холестерико-нематичного переходу. Після прикладенні до зразка зовнішнього електричного поля відбувається руйнування початкової планарної текстури зразка та утворення конфокальних доменів. На початковій стадії утворення конфокальних доменів осі холестеричних спіралей орієнтовані хаотично, що приводить до розсіювання світла, яке пройшло крізь таку структуру (рис.1.), причому одночасно присутні два основні механізми розсіювання. Перший полягає в розсіюванні світла на оптичних неоднорідностях, які виникають на межі розділу конфокальних доменів. Ширина індикатриси розсіювання в цьому разі визначається кількістю та розмірами конфокальних доменів в об'ємі зразка. Другий механізм розсіювання викликаний наявністю спіральної надмолекулярної структури всередині домена, тобто домен являє собою область із періодично змінною величиною показника заломлення. Це приводить до дифракції випромінювання, яке пройшло крізь конфокальний домен. Подальше збільшення напруженості електричного поля приводить до переорієнтації осей спіралей у площину, перпендикулярну до напрямку прикладеного електричного поля, зі збереженням доменної структури (рис.2.).

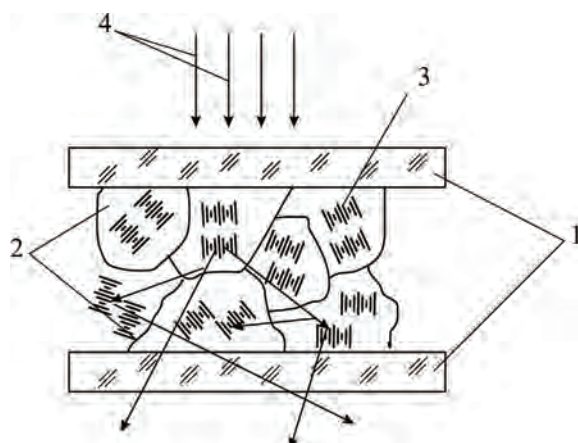


Рис.1. Проходження світла крізь мозаїчний холестерик: 1 – скляні підкладки, 2 – конфокальні домени, 3 – холестерична спіраль, 4 – випромінювання

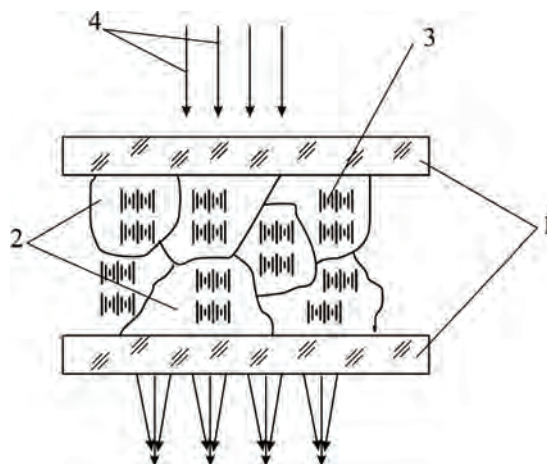


Рис.2. Положення спіралі в конфокальних доменах мозаїчного холестерика в зовнішньому електричному полі: 1 – скляні підкладки, 2 – конфокальні домени, 3 – холестерична спіраль, 4 – випромінювання

У цьому разі зразок являє собою систему дифракційних решіток фазового типу, хаотично розташованих у площині зразка з періодом, рівним кроку спіралі.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Першим етапом досліджень було дослідження індикатриси розсіювання індукованих холестериків. В результаті проведених вимірювань, відповідно до методики, описаної в роботі [13], нами було отримано експериментальні результати, які подані на рис.3.

Як бачимо з рисунка, крива 1 характеризує індикатрису розсіювання зразка немато-холестеричної суміші РК 1289+2%СВ15. Після внесення в досліджувану немато-холестеричну суміш (РК 1289+2%СВ15) наночастинок різного роду спостерігаємо зміну індикатриси розсіювання. В цьому випадку внесення наночастинок C_{60} (фулеренів), приводить до зростання інтенсивності розсіюваного

зразком світла (крива 3), яке попадає на комірку, що є позитивним результатом. Своєю чергою, внесення наночастинок Ag та AlN приводить до зменшення інтенсивності розсіяного зразком світла, що відображено кривими 2 та 4.

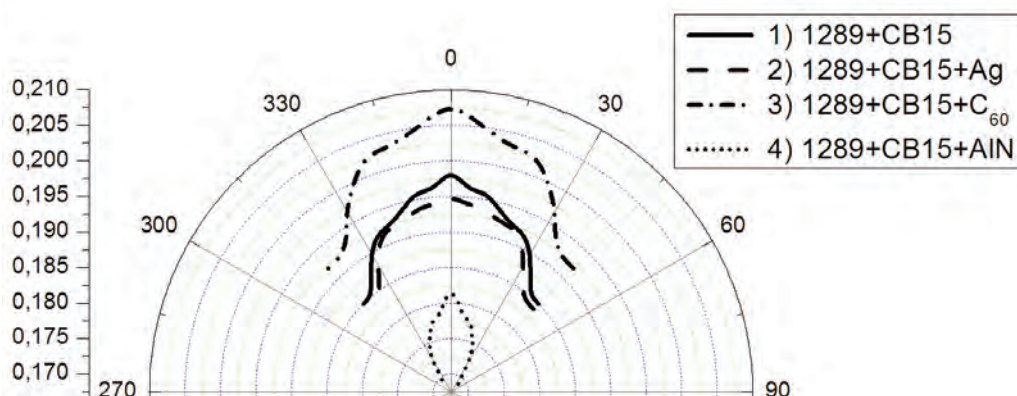


Рис.3. Індикатриси розсіювання дослідних зразків

Важливими факторами, які визначали вплив наночастинок на індикатрису розсіювання дослідних зразків, були розмір та форма внесених частинок. З отриманої залежності видно, що наночастинок сферичної форми, а саме, C_{60} та Ag, по різному впливають на характер зміни індикатриси розсіювання. Розмір наночастинок C_{60} у 8 разів менший за розмір наночастинок Ag, отже, можна зробити висновок, що чим менша сферична наночастинка, тим менше вона впливає на впорядкування системи (макропараметр), а впливаючи на взаємодію між молекулами РК (мікропараметр).

Наночастинок AlN мають циліндричну форму, що дає їм можливість додатково впорядковувати шари РК, а це приводить до падіння інтенсивності розсіяного зразком світла.

На рис.4 та 5 зображені дифракційні картини, отримані для немато-холестеричних сумішей за різних значень прикладеного електричного поля. На рис.6 зображені розподіли інтенсивності дифракційних картин. Як видно з дифракційних картин рис.4, в діапазоні існування конфокальної текстури холестерика збільшення величини прикладеного поля приводить до збільшення кроку надмолекулярної спіральної структури на фоні зменшення розмірів конфокальних доменів, аж до повного зникнення конфокальної текстури холестерика та утворення гомеотропної текстури нематика. Про такий характер змін свідчать, відповідно зменшення діаметра дифракційних кілець та зменшення різкості дифракційної картини. Останнє дає нам інформацію про кількість періодів дифракційної решітки (в цьому випадку кроків спіралі) розташованих у межах одного конфокального домену.

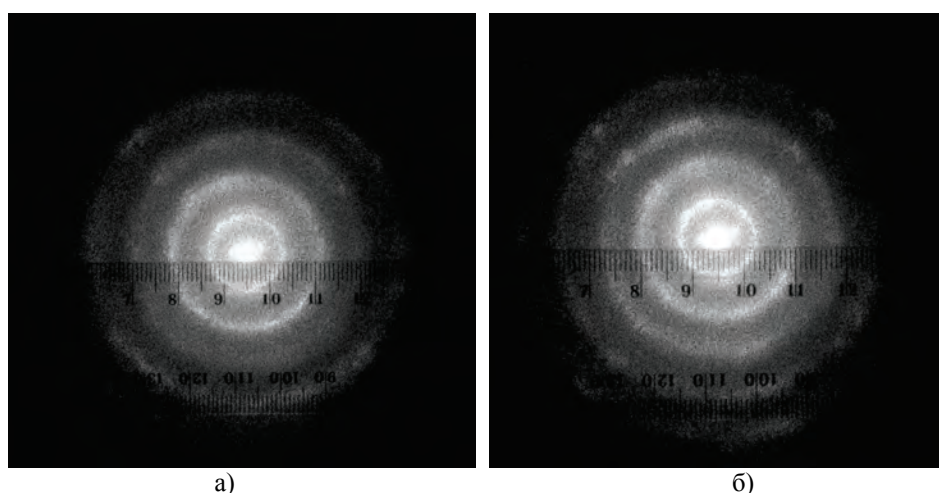


Рис.4. Дифракційні картини: а) РК 1289+2% CB15 U=3.44В б) РК 1289+2% CB15 U=4.63В

Внесення наночастинок приводить до зміни коноскопічної картини. На розподілах інтенсивності, представлених на рис.6, видно, що діаметри дифракційних кілець після внесення наночастинок AlN зростають, що свідчить про зменшення періоду дифракційної ґратки, тобто кроку надмолекулярної спіральної структури. Зменшення кроку викликане зменшенням констант пружності

Франка після внесення наночастинок AlN.

Також спостерігається зменшення ширини максимумів дифракційних кілець, що може свідчити про збільшення розмірів конфокальних доменів, що, своєю чергою, викликає звуження індикатриси розсіювання.

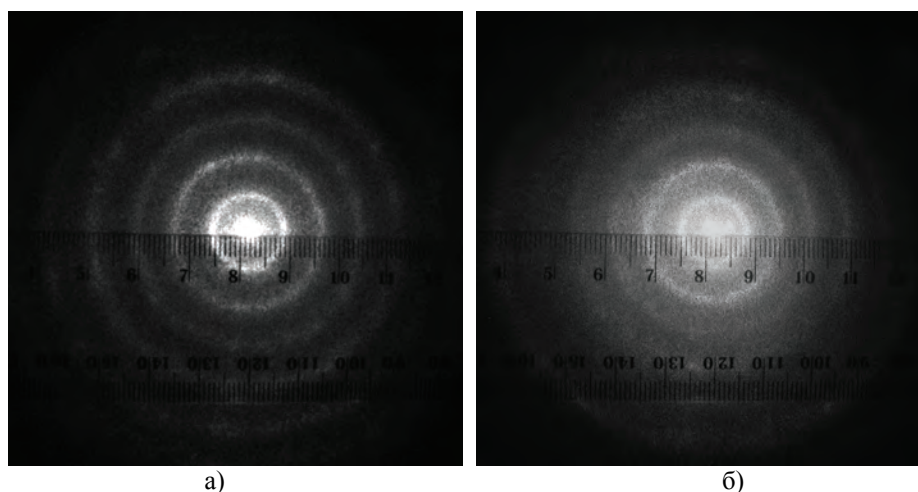


Рис.5. Дифракційні картини: а) РК 1289+2% CB15+AlN U=3.44В
б) РК 1289+2% CB15+AlN U=4.63В

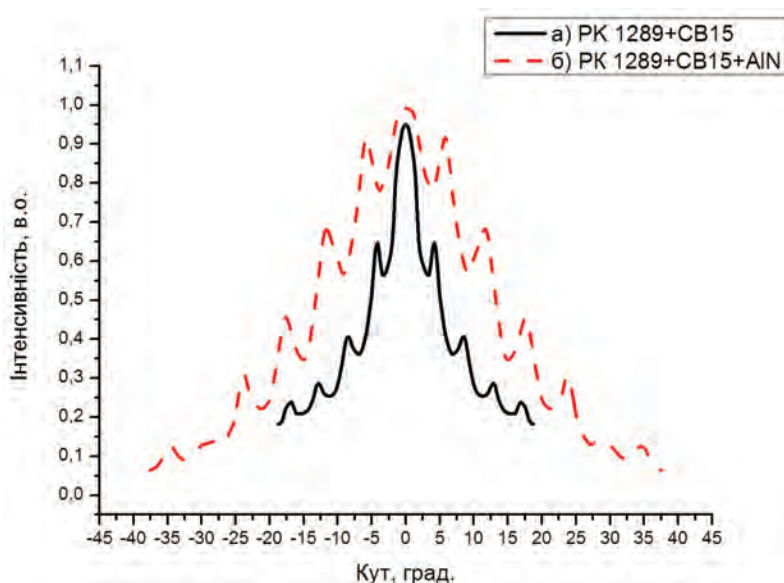


Рис.6. Розподіл інтенсивності дифракційної картини для сумішей: а) РК 1289+2% CB15 при U=3.44В б) РК 1289+2% CB15+ AlN при U=3.44В

ВИСНОВКИ

Отримані результати показали, що ширина індикатриси розсіювання конфокальної текстури холестерика в електричному полі визначається орієнтацією осей холестеричних спіралей конфокальних доменів у шарі РК. Максимальна ширина індикатриси розсіювання досягається у разі орієнтації осей спіралі перпендикулярно до падаючого випромінювання, що пояснюється ростом вкладу дифракційної складової.

Внесення наночастинок в РК матеріал дозволяє в широких межах змінювати індикатрису розсіювання конфокальної текстури індукованого холестерика. Природа нанодомішки та її лінійні розміри суттєво впливають на розмір конфокальних доменів та крок спіралі індукованого холестерика, що приводить до зміни співвідношення між дифракційною та дифузною складовими процесу розсіювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Frequency modulation response of a liquid-crystal electro-optic device doped with nanoparticles / Shiraishi Y., Maeda K., Yoshikawa H., Xu J., Toshima N. and Kobayashi S. // Appl. Phys. Lett. -2002. -81(15). - 2845-2847.
2. Рідкокристалічні матеріали з наночастинками як активне середовище дисплеїв / З. М. Микитюк, А. В. Фечан, О. Є. Сушинський, В. І. Коцун, А. В. Вараниця // Міжнародний Науково-Технічний Журнал "Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології", 2009/2(18), с.135-140.
3. Kobayashi S. Nanoparticles and LCDs: It's a Surprising Word / Kobayashi S., Toshima N. // Information Display. – 2007. – Vol.23, Number 9. – p. 26 – 32.
4. Вплив металічних наночастинок Ag на електрооптичні властивості рідкокристалічних матеріалів З.М. Микитюк, А.В. Фечан, О.Є. Сушинський, О.Й. Ясиновська, В.І. Коцун, В.В. Левенець, О.С. Заїченко, О.М. Шевчук // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Електроніка”. – 2010. – №1. – с. 78-86.
5. Application possibilities of nanoparticles for modification of parameters of liquid crystal materials / Z. Notra, Z. Mykytyuk, A. Fechan, O. Sushynskyy, O. Yasynovska, V. Kotsun, V. Levenets // Elektronika. – 2010. – V.8. – P.125-128.
6. Frequency modulation response of a liquid-crystal electro-optic device doped with nanoparticles / Yukihide Shiraishi, Naoki Toshima, Kenji Maeda, Hiroaki Yoshikawa, Jun Xu, and Shunsuke Kobayashi // Applied Physics Letters. – 2002. – Vol.81.
7. Каманина Н.В. Исследование динамических характеристик полимердиспергированных жидкокристаллических композиций: перспективы применения комплексов фуллерен – нанокристалл фталоцианина в оптоэлектронике / Н.В. Каманина, И.Ю. Денисюк // Письма в ЖТФ. – 2004. – Том 30, №1. – с. 78-86.
8. Каманина Н.В. Фуллеренсодержащие диспергированные нематические жидкокристаллические структуры: динамические характеристики и процессы самоорганизации / Н.В. Каманина // Успехи физических наук. – 2005. – Том 175, №4. с. 445-454.
9. Ракчеева Л.П. Перспективы использования фуллеренов для оптимизации жидкокристаллических композиций / Л.П. Ракчеева, Н.В. Каманина // Письма в ЖТФ. – 2002. – Том 28, №11. – с. 28-34.
10. П. Ж. Де Жен. Физические свойства жидкокристаллических веществ / Пьер Жиль де Жен; пер. с англ. А. А. Веденова. – Москва: Мир, 1982. – 152 с.
11. Эффект оптического ограничения в системе холестерический жидкий кристалл-фуллерен / Данилов В.В., Калинин А.Г., Каманина Н.В., Тульский С.А. // Письма в ЖТФ. – 1998. – Том 24, №9. – с. 66-69.
12. Гринис Й.Ю. Об одном способе управления матричным преобразователем на жидком кристалле с памятью: Применение жидких кристаллов в вычислительной технике. Сборник научных трудов / Й.Ю. Гринис, С.И. Ионкус. – К.: Наукова думка, 1980. – С.117-122.
13. Light scattering in confocal domains in induced-cholesteric liquid crystals / Z. Mykytyuk, A. Fechan, O.Sushynskyy, M. Shymchyshyn, V. Levenets // Molecular Crystals and Liquid Crystals. 2008. – Vol. 496. – P. 230- 238.

Надійшла до редакції 08.10.2010р.

МИКИТЮК ЗІНОВІЙ МАТВІЙОВИЧ – д.ф.-м.н., професор кафедри електронних приладів Національного університету “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

ФЕЧАН АНДРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ – к.ф.-м.н., докторант кафедри електронних приладів Національного університету “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

СУШИНСЬКИЙ ОРЕСТ ЄВГЕНОВИЧ - к.ф.-м.н., доцент кафедри електронних приладів Національного університету “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

КОЦУН ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ – аспірант кафедри електронних приладів Національного університету “Львівська політехніка”, Львів, Україна.

ЯСИНОВСЬКА ОЛЬГА ЙОСИФІВНА – асистент кафедри електронних приладів Національного університету “Львівська політехніка”, Львів, Україна.