

М.В. БАЧИНСЬКИЙ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Н.В. ТИТОВА

Національний транспортний університет

С.В. ТИМЧИК, А.Ю. КЛАПОУЩАК

Вінницький національний технічний університет

## ОПТОЕЛЕКТРОННІ ЗАСОБИ І ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВПЛИВУ НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ЛЮДИНИ

*Стаття присвячена оцінюванню сучасного стану оптоелектронної медичної апаратури для діагностики і корекції функціонального стану людини. Розглянуто принципи роботи низько інтенсивної апаратури для світлотерапії. Показано позитивні і негативні аспекти сучасної оптоелектронної медичної апаратури, починаючи з фотонних матриць «Барва» і закінчуючи сімейством оптоелектронних біомедичних комплексів, розроблених в Україні. Оцінено клінічну ефективність сучасної світлодіодної і галогенної медичної апаратури на прикладі апаратів БІОПТРОН і МЕДОЛАЙТ. У висновках відзначено, що потребує свого вирішення задач побудови низько інтенсивних, з нормованими параметрами, напівпровідникових джерел випромінювання та їх метрологічного забезпечення.*

*Ключові слова: оптоелектронні засоби, низькоінтенсивне випромінювання, світлодіод, фотонні матриці, діагностичний комплекс, електрореєстрація, поляризація, «БІОПТРОН», «Барва»*

M.V. BACHYNS'KYY

Ternopil Ivan Puluj national technical university

N.V. TITOVA

National Transport University

S.V. TYMCHYK, A.Yu. KLAPOUSHCHAK

Vinnytsia national technical university

### OPTOELECTRONIC MEANS AND DEVICES FOR IMPACT IN FUNCTIONAL STATE RIGHTS

*The article is devoted optoelectronic evaluation of the current state of medical equipment for the diagnosis and correction of the functional state of the person. The principles of low-intensive equipment for light therapy. Positive and negative aspects of modern medical equipment optoelectronic, photonic matrix since "Barva" and ending family optoelectronic biomedical systems developed in Ukraine. Reviewed clinical efficacy and halogen svetlodiodnoyi modern medical equipment for example BIOPTRON devices and MEDOLAYT. The conclusions noted that solving problems requires a low intensive construction, with normalized parameters of semiconductor radiation sources and their metrological support.*

*Keywords: optoelectronic products, low-emission, LED, photonic matrix diagnostic system, elektroreynohrafiya, polarization, "BIOPTRON", "Barva"*

### Вступ

При вирішенні питань профілактики, діагностики, лікування і реабілітації людини, метою яких є досягнення очікуемого і бажаного ефекту, часто використовують зовнішній вплив механічної, електричної, теплової природи. При цьому все більше виокремлюються енергетичний та інформаційний аспекти такого впливу, коли відсутність деструктивних змін у відповідному біооб'єкті (його нагрівання, зміна структури, характерної для виконання його типової функції тощо) стає характеристикою, так званої, інформаційної, або квантової медицини [1-3].

У медичній практиці для досягнення інформаційного впливу своє застосування знаходить опромінення біооб'єкта електромагнітними хвилями різної природи. Але його засадничий (інформаційний) аспект практично не носить системного характеру (у сенсі теорії систем). Засоби технічного забезпечення і медичного застосування не мають спільної теоретичної і прикладної бази. Наприклад, рівень інтенсивності опромінення радіохвилями та світлом традиційно визначаються різними метрологічними принципами (радіометрії та фотометрії).

В такій ситуації виникає низка запитань системного характеру, зокрема, стосовно залежності фізіологічних ефектів від рівня інтенсивності впливів визначених різними метрологічними нормами. Відповіді на ці запитання можливо дати лише при наявності спільної концептуальної основи розроблення апаратного та метрологічного забезпечення [4].

Зниження інтенсивності енергії опромінення при інформаційному аспекті його використання спричиняє «зсув» концептуальних засад формулювання задач дизайну (комп'ютерного розроблення) технічних засобів опромінення світлом у бік хвильових та квантових концепцій [5, 6]. Ефективними за критерієм складності керування інтенсивністю є напівпровідникові джерела випромінювання [6], які найбільше розвиваються для галузі світлотехніки. Але, для низьких і наднизьких рівнів інтенсивності випромінювання вони не призначені і досліджуються тільки у напрямку підвищення ефективності перетворення електроенергії у енергію випромінювання. Процеси випромінювання світла джерелом його поширення до біооб'єкту через середовище та взаємодію з цим середовищем описуються відповідними математичними виразами.

# Основний текст статті

**Практична сторона проблеми** передбачає використання при проведенні біомедичних досліджень дескриптивного представлення параметрів опромінення, але в той же час, не надає методик та засобів для проведення вимірювань хвильових та квантових величин [7] і проектування відповідної медичної апаратури.

**Одним із шляхів розв'язання проблеми** можна вважати застосування низькорівневої світлотерапії (LLLT), що використовує червоне світло з наближенням до інфрачервоної області, при побудові такої апаратури. LLLT будемо визначати як використання спрямованого, малопотужного і щільного пучка енергії моно або квазіхроматичного світла, що випромінюють світлодіоди (LED) в червоному та інфрачервоному діапазоні (600-1100 нм) для модуляції біологічної функції клітини та індукції терапевтичного ефекту у неруйнівний і нетепловий спосіб. Ефект LLLT виявляє перетворення світлової енергії в метаболічну з наступною модуляцією біологічної функції клітин, що дозволяє визначати LLLT як біофотомодулятор. Використання діапазону довжин хвиль від червоного ближнього до інфрачервоного зумовлено високою проникністю даного діапазону.

Поява надяскравих потужних світлодіодів з властивостями, що розглянуті вище, ініціювала розвиток нового напрямку біомедичної терапевтичної і діагностичної апаратури, а саме – появу фототерапевтичних приладів і систем. Одним із потужних науковців і розробників такої апаратури в Україні є професор Коробов Анатолій Михайлович, науковий керівник і директор корпорації «Лазер і здоров'я», що є складовою НДІ лазерної біології і лазерної медицини Харківського національного університету імені В.А.Каразіна. Заснована ним серія приладів під загальним брендом «Барва» включає в себе фотонні матриці, масажери, зонди та інші засоби індивідуального впливу на організм людини з лікувальною метою.

Одними з найбільш універсальних персональних медичних апаратів для фототерапії, вироблених корпорацією «Лазер і Здоров'я», є фотонні матриці Коробова «Барва-Флекс» [8].

Відмінною особливістю фотонних матриць є те, що вони мають гнучку підставу. Це дозволяє матрицями повторювати форму тієї частини тіла людини, до якої вони прикладаються і забезпечує максимально ефективну передачу випромінювання світлодіодів, без втрат на відбиття, на межі «повітря - шкіра людини».

Базовий варіант матриці, схематично зображений на рис. 1, містить 24 світлодіода, розташованих еквідистантно в 4 ряди по 6 світлодіодів в кожному ряду. Спеціальні матриці мають розташування світлодіодів 3x8 (для освітлювання протяжних ділянок) і 2x12 (для освітлювання хребта і паравертебральних зон).

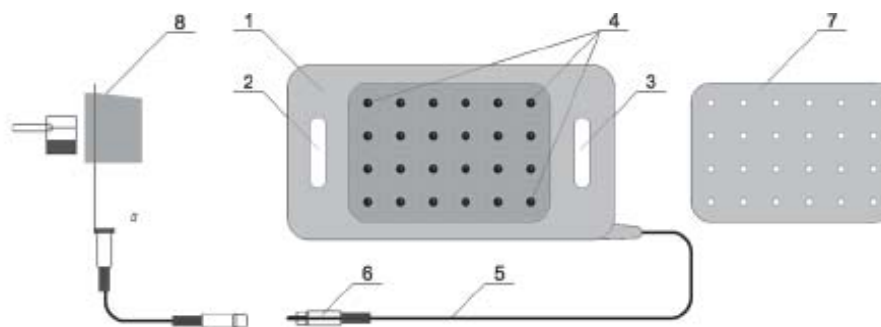


Рис. 1 Схема фотонної і магнітної матриць Коробова «Барва-Флекс» [8]

Фотонні матриці «Барва-Флекс» мають пластину 1 з двома вухами 2 і 3, призначеними для кріплення еластичного ремінця, що дозволяють фіксувати матрицю на тілі пацієнта.

Матриця виготовляється з гіпоалергенної медичної гуми і не викликає роздратування шкірних покривів. Електроживлення світлодіодів здійснюється від електромережі (220 В, 50 Гц) через адаптер 8, до якого матриця підключається за допомогою кабеля 5 з роз'ємом 6. При необхідності одночасного впливу електромагнітного випромінювання інфрачервоної і видимої частин спектра з постійним магнітним полем на фотонну матрицю встановлюється магнітна матриця «Барва-Флекс / Маг» 7 [8].

Основні технічні дані фотонної матриці «Барва-Флекс» і магнітної матриці «Барва-Флекс / Маг» наведені в табл. 1 [8].

Таблиця 1

## Технічні дані фотонної і магнітної матриць Коробова «Барва-Флекс» [8]

Найменування параметру	Од. вим.	Значення
Кількість світлодіодів в фотонній матриці	шт	24
Потужність випромінювання кожного світлодіода	мВт	5
Напруга живлення	В	14
Габаритні розміри базового варіанту фотонної матриці «Барва-Флекс», не більше	мм	190x98x15
Кількість кільцевих магнітів в магнітній матриці	шт	24
Напруженість магнітного поля кожного магніту	мТл	10
Габаритні розміри магнітної матриці «Барва-Флекс / Маг», не більше	мм	120x80x7

Більш потужними, з функціональної точки зору, слід вважати модулі, які отримали загальну назву мікропроцесорні блоки імпульсного біоуправління (МП БІУ), і які відрізнялися між собою значеннями максимального вихідного струму і відносною потужністю випромінювання [8].

Для проведення об'єктивного дослідження зору, детального аналізу функціональної активності сітківки, її апаратів, стану, виявлення вродженої патології очей призначено комп'ютерний електроретинограф «Нейро-ЕРГ» [9], особливістю якого є унікальний міні-ганцфельд-стимулятор і ретинографічні електроди (рис.2).

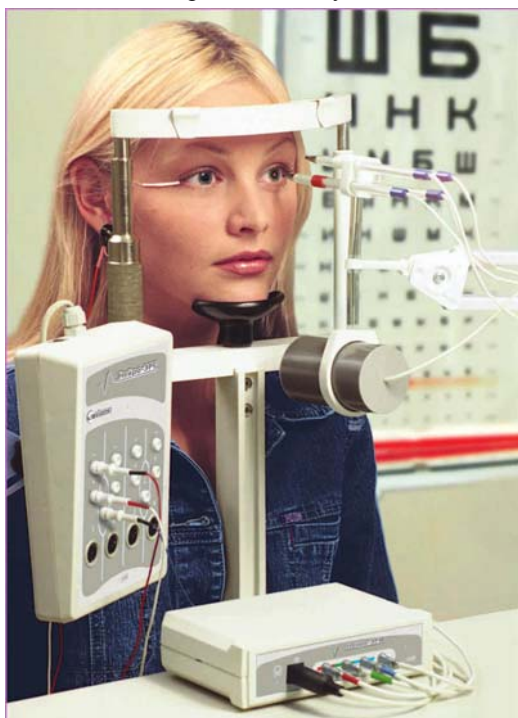


Рис. 2 Електроретинограф Нейро-ЕРГ [9]

Оптоелектронний діагностичний комплекс (рис.3) призначений для визначення порушень мікроциркуляції серцево - судинної системи шляхом реєстрації, оброблення та збереження фотоплетизмограм кровеносних судин за допомогою апаратних засобів [10]. Оптичний метод діагностики мікроциркуляції судин характеризується достатньо широким діапазоном можливостей реєстрації найрізноманітніших фізіологічних функцій тканин, органів і систем організму. Також відмінною рисою параметрів є їхня висока вибірність і точність. Оптичний метод дозволяє використовувати поряд з лазерними та оптико-електронними датчиками гнучкі скловолоконні світловоди для дослідження мікроциркуляції.

Комплекс дозволяє [10]: реєструвати фотоплетизмограму (ФПГ) одночасно по двох каналах на периферійних артеріях; виконувати апаратну і програмну фільтрацію завад; вимірювати амплітудно-часові характеристики ФПГ; виконувати розрахунок параметрів ФПГ у відносних одиницях; виконувати

роботу з базою даних пацієнтів.

За рахунок використання оптоелектронних сенсорів реєстрації біомедичних сигналів, які працюють в інфрачервоному та червоному діапазонах, забезпечуються абсолютно безпечно та комфортне діагностування різних вікових груп і фізичного стану населення (включаючи дуже важких хворих, наприклад, після аварії, опіків і т.і.), безпечні умови праці обслуговуючого персоналу та підвищується якість медичного обслуговування.

ФПГ порівняно з іншими методами діагностики біологічного об'єкту (БО) за оптичними показниками, наприклад з фотоакустичним методом, дозволяє підвищити достовірність реєстрації гемодинамічних показників



Рис. 3 Оптоелектронний діагностичний комплекс [10]

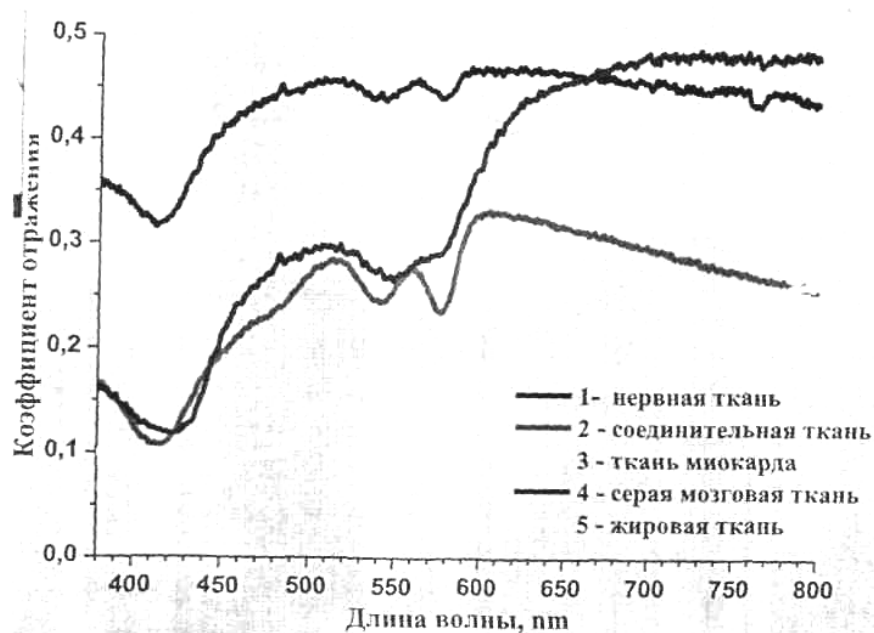
кровонаповнення, а за рахунок елементів світловолоконної техніки і джерел з різноманітними довжинами хвиль зондуючого випромінювання дозволяє достатньо точно вирішувати задачі фотодинамічних досліджень, дистанційних вимірів тих або інших гемодинамічних показників БО [10].

Оптико-електронний діагностичний комплекс визначення структурних змін мікроциркуляції кон'юнктиви ока (рис.4) забезпечує виконання таких функціональних задач: динамічне спостереження за станом мікроциркуляції в процесі діагностики і лікування патологічних змін, аналіз структурно-функціональних особливостей мікрогемодинаміки, визначення ступеню насичення крові киснем [11].



Рис. 4 Оптико-електронний діагностичний комплекс визначення структурних змін мікроциркуляції кон'юнктиви ока [11]

Для оцінювання кон'юнктивального індексу вибираються такі показники: співвідношення діаметрів артеріол і відповідних венул; нерівномірність калібру; меандрична звивистість; мікроаневризми; клубочки; сітководна структура судин; зміна кількості функціонуючих капілярів; артеріоло-венулярні анастомози; крововиливи; периваскулярні набряки; сладж-феномен; мікротромби, які характеризують такі порушення як: зміни судин; позасудинні зміни; внутрішньо-судинні зміни [11].



а)



б)

Рис. 6 Спектральні СД джерела для хірургії і діагностики [12]



Для покращення ідентифікації тканин різної морфологічної структури, в т.ч. таких, що відповідають нормі або патології, в деяких російських клініках використовують для діагностики і хірургії спектральні СД джерела, що мають функцію зміни діапазону випромінювання [12] і відповідають таким умовам: біле світло має високі індекси  $R1-R14 \rightarrow 100$ ; забезпечено можливість динамічної зміни спектру (кольору) випромінювання в широкому діапазоні [12]. Особливістю такого підходу є те, що враховуючи індивідуальні спектральні характеристики біологічних тканин і змінюючи світло, що падає, можна висвітлити необхідні об'єкти і затемнити фонові (рис. 6, а, б).

Основні види фізіотерапевтичних апаратів (СТА) розрізняються як способом створення світлового потоку - лазерні, галогенові, світлодіодні, так і потужністю та властивостями світлового потоку (моно- і поліхроматичний, поляризований і неполяризований, що визначає відповідні конструктивні особливості. Однак зростаючі потреби фізіотерапії визначають необхідність їх подальшого вдосконалення [13]. Апарати БЮПТРОН внесли прогресивний внесок в розвиток світлотерапії за рахунок поєднання клінічно значущих властивостей світла - поляризації і поліхроматичності [13]. Апарат МЕДОЛАЙТ відноситься до гілки світлотерапії, заснованої на доведеному багатьма клінічними спостереженнями ефективності червоно-інфрачервоної частини сонячного спектра. Він оснащений 54 світлодіодами (СД), які випромінюють червоне світло з довжиною хвилі 640 нм і 54 інфрачервоними діодами, що дають випромінювання з довжиною хвилі 880 нм. СД розташовані концентровано, щільність світлового потоку складає 26 мВт / см<sup>2</sup>, а щільність дози -1,6 Дж / см<sup>2</sup>. Світловий потік може бути доставлений до тканин в декількох режимах: рівне, переривчасте з частотами 10; 600; 3000; 8000 Гц. Апарат має розміри 130 x 71 x 42 мм, масу 230 г. Корпус СТА виготовлений з дотриманням останніх досягнень ергономіки і відповідає міді-ко-технічним вимогам Директиви ЄЕС 93/42 / ЄЕС, стандартів EN 60601-1 і EN 60601-1 -2. Результати експериментальних досліджень СТА МЕДО-ЛАЙТ наведені окремо (Гуляр і співавт., см. наст, зб.) [13].

Клінічна ефективність сучасної СД-апаратури, яка випромінює неполяризоване світло, може бути істотно підвищена шляхом додання їй світлу властивостей поляризованого. Це досягається застосуванням різних поляризуючих пристроїв, адаптованих для діодних джерел світла. Поляризований світ завдяки своїм просторовим властивостям більш ефективно взаємодіє з біологічними структурами. Завдання створення світлотерапевтичного пристрою на поляризованому випромінюванні вирішено шляхом оснащення апарату МЕДОЛАЙТ додатковими елементами поляризації з можливістю управління розміром світлової плями [13].

Поляризація світла може бути досягнута трьома шляхами. Перший шлях. полягає в тому, що застосовується укладена в дві прозорі плоскопаралельні пластини поляризаційна плівка з відомою орієнтацією площини поляризації. Другий передбачає індивідуальний для кожного СД поляризатор з фіксованою орієнтацією площини поляризації. І, нарешті, в третій модифікації, поляризаційний елемент виконаний у вигляді комплексу двопробових поляризаторів, кожен з яких оптично пов'язаний з відповідним СД, і фіксованою орієнтацією осі поляризації [13].

При цьому вирішується ряд конкретних завдань. По-перше, поляризуємо монохроматичне світло забезпечує відомі біологічні і лікувальні ефекти з їх фізіотерапевтичними перевагами. У разі впливу на точки акупунктури шляхом відключення надлишкових джерел світла забезпечується оптимальний розмір світлової плями, що запобігає комбінованому впливу на точки з різною біологічною специфікацією. По-друге, набір оптично-узгоджених з джерелами світла поляризаторів з фіксованою орієнтацією площини поляризації, дозволяє створити оптимальну мозаїку поляризованих потоків світла. По-третє, використання двопробових поляризаторів дозволяє підсилити поляризаційні властивості СТА і максимально використовувати світловий потік [13].

### Висновки

Проведений аналіз підходів та оптоелектронних засобів для світлотерапії дозволяє зробити такі висновки:

Потребує свого вирішення задача побудови низькоінтенсивних, з нормованими параметрами, напівпровідникових джерел випромінювання та їх метрологічного забезпечення.

Необхідно створити теоретичне і практичне підґрунтя для побудови нового класу біотехнічних приладів і систем – біотехнічних систем і комплексів для низькоінтенсивної світлової стимуляції і корекції функціонального стану людини.

### Література

1. Пресман А.С., Электромагнитные поля и живая природа/ А.С. Пресман – М.: Наука, 1968. – 288 с.
2. Rojas J.C. Low-level light therapy of the eye and brain/ J.C. Rojas., F. Gonzalez-Lima // Eye and Brain. – 2011. – № 3. – С. 49-67.
3. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов/ Ю. А. Скрипник, А. Ф. Яненко, В. Ф. Манойлов и др. Под редакцией Ю. А. Скрипник. – Житомир.: Изд-во «Волянь», 2003. – 408 с.
4. Бачинський М.В. Забезпечення низької інтенсивності опромінення для стимулювання профілактичних, терапевтичних та реабілітаційних процедур / М. В. Бачинський // Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (РТПСАС–2015): матеріали міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 16-22 березня 2015р. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 220-222.

5. Yavorsky B.I., Device for excitation of eye retina for photon electroretinography/ B.I. Yavorsky, R.A. Tkachuk // In Proc. 20th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2010), Sevastopol, 13-17 September 2010. – Sevastopol, 2010. – P.1 127-1128. – ISBN 978-966-335-330-2.
6. Dragan Y. Scientific Paradigms for Computer Aided Signal Design / Y. Dragan, B. Yavorsky // CAD Systems in Microelectronics, 2007 (CADSM '07): In Proc. 9th International Conference, Lviv, 20-24 February 2007. – Lviv, 2007. – P. 156-158. – ISBN 978-966-553-587 4
7. Photometry, radiometry and 'the candela': evolution in the classical and quantum world / Zwinkels J. C., Ikonen E., Fox N.P. and others // Metrologia. – 2010. – Vol. 47, № 5. – P.15-32.
8. . Коробов А. М. Фототерапевтические аппараты Коробова серии «Барва»: техн. характеристики и метод. рекомендации / А. М. Коробов, В. А. Коробов, Т. А. Лесная. – Харьков: Контраст. – 2008. – 176 с. – ISBN 966-88553-1-3.
9. Електроретинограф Нейро-ЭРГ [Електронний ресурс] // Нейрософт. – Режим доступа: <http://neurosoft.com/ru/catalog/view/id/124>. – Дата обращения: 10.03.2016.
10. Проспект на оптоелектронний діагностичний комплекс. – ВНТУ. – 2012.
11. Проспект на оптоелектронний діагностичний комплекс визначення структурних змін сітківки ока. – ВНТУ. – 2014.
12. Фундаментальные проблемы создания AlInGaN (250-540 nm) высокоэффективных светодиодов и новые технологии освещения [Електронний ресурс] / А. Л. Закреим. – Режим доступа: [http://fks2015.pnpi.spb.ru/uploads/attachment/14/Закреим\\_ФКС\\_2015.pdf](http://fks2015.pnpi.spb.ru/uploads/attachment/14/Закреим_ФКС_2015.pdf). – Дата обращения: 10.03.2016.
13. Gulyar S.A. Monochromatic medlight device and its modifications for polarization light therapy/ Gulyar S.A., Koztechin I.A., Mulic V. // Применение лазеров в медицине и биологии: Материалы XXIII Международной научно-практической конференции, г. Николаев, 25-28 мая 2005 г. – Николаев, 2005. – С. 110-112.

#### References

1. Presman A.S., Elektromagnitnyie polya i zhivaya priroda/ A.S. Presman – М.: Nauka, 1968. – 288 s.
2. Rojas J.C. Low-level light therapy of the eye and brain/ J.C. Rojas., F. Gonzalez-Lima // Eye and Brain. – 2011. – № 3. – С. 49-67.
3. Mikrovolnovaya radiometriya fizicheskikh i biologicheskikh ob'ektov/ Yu. A. Skripnik, A. F. Yanenko, V. F. Manoylov i dr. Pod redaktsiei Yu. A. Skripnik. – Zhitomir.: Izd-vo «Volyin», 2003. – 408 s.
4. Bachyn's'kyi M.V. Zabezpechennya nyz'koyi intensyvnosti oprominennya dlya stymulyuvannya profilaktychnykh, terapevtychnykh ta reabilitatsiynykh protsedur / M. V. Bachyn's'kyi // Radiotekhnichni polya, sygnaly, aparaty ta systemy (RTPSAS–2015): materialy mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi, m. Kyiv, 16-22 bereznya 2015r. – К.: NTUU «KPI», 2015. – S. 220-222.
5. Yavorsky B.I., Device for excitation of eye retina for photon electroretinography/ B. I. Yavorsky, R. A. Tkachuk // In Proc. 20th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2010), Sevastopol, 13-17 September 2010. – Sevastopol, 2010. – P.1 127-1128. – ISBN 978-966-335-330-2.
6. Dragan Y. Scientific Paradigms for Computer Aided Signal Design / Y. Dragan, B. Yavorsky // CAD Systems in Microelectronics, 2007 (CADSM '07): In Proc. 9th International Conference, Lviv, 20-24 February 2007. – Lviv, 2007. – P. 156-158. – ISBN 978-966-553-587 4
7. Photometry, radiometry and 'the candela': evolution in the classical and quantum world / Zwinkels J. C., Ikonen E., Fox N.P. and others // Metrologia. – 2010. – Vol. 47, № 5. – P.15-32.
8. Korobov A. M. Fototerapevticheskie apparaty Korobova serii «Barva»: tehn. harakteristiki i metod. rekomendatsii / A. M. Korobov, V. A. Korobov, T. A. Lesnaya. – Harkov: Kontrast. – 2008. – 176 s. – ISBN 966-88553-1-3.
9. Електроретинограф Нейро-ERG [Електронний ресурс] // Нейрософт. – Режим доступа: <http://neurosoft.com/ru/catalog/view/id/124>. – Дата обращения: 10.03.2016.
10. Проспект на оптоелектронний діагностичний комплекс. – ВНТУ. – 2012.
11. Проспект на оптоелектронний діагностичний комплекс визначення структурних змін сітківки ока. – ВНТУ. – 2014.
12. Fundamentalnyie problemyi sozdaniya AlInGaN (250-540 nm) vyisokoeffektivnyih svetodiodov i novyie tehnologii osvescheniya [Електронний ресурс] / А. Л. Закреим. – Режим доступа: [http://fks2015.pnpi.spb.ru/uploads/attachment/14/Zakgeym\\_FKS\\_2015.pdf](http://fks2015.pnpi.spb.ru/uploads/attachment/14/Zakgeym_FKS_2015.pdf). – Дата обращения: 10.03.2016.
13. Gulyar S.A. Monochromatic medlight device and its modifications for polarization light therapy/ Gulyar S.A., Koztechin I.A., Mulic V. // Primenenie lazerov v meditsine i biologii: Materialy XXIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, g. Nikolaev, 25-28 maya 2005 g. – Nikolaev, 2005. – S. 110-112.

Рецензія/Peer review : 21.6.2016 р.

Надрукована/Printed :27.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією