

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУЗЬ ВАСИЛЬ ІВАНОВИЧ

УДК 621.384.4:615.8

ДИСЕРТАЦІЯ
МЕТОД ТА СИСТЕМА ДИНАМІЧНОГО УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ФІЗІОТЕРАПІЇ

05.11.17 – біологічні та медичні прилади та системи
технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В.І. Кузь

Науковий керівник: Андрійчук Володимир Андрійович, доктор технічних наук,
професор

Тернопіль - 2019

АНОТАЦІЯ

Кузь В.І. Метод та система динамічного ультрафіолетового випромінювання для фізіотерапії. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 „Біологічні та медичні прилади і системи”. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, МОН України, Тернопіль. - Вінницький національний технічний університет, МОН України, Вінниця, 2019.

У дисертаційній роботі викладені результати дослідження щодо розробки методу та системи динамічного ультрафіолетового випромінювання для фізіотерапії. Сучасна терапія шкірних захворювань включає інструментальні методи, які дозволяють безконтактно діяти на уражені (змінені) ділянки шкіри пацієнтів. Серед пріоритетних напрямків розвитку наукових досліджень і науково-технічних розробок в Україні на період до 2020 року (Закон України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки») важливе місце займають науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань, зокрема дослідження проблеми впливу на людський організм випромінювання різних частотних діапазонів. Для фізіотерапії дерматозів (псоріаз, контактний і атопічний дерматити, екземи, лишай, акне й інших) застосовують методи лікування ураженої ділянки ультрафіолетовим опроміненням (УФО), зокрема селективну (поєднання UVA та UVB), вузькохвильову (UVB або UVA-1) та фотохіміотерапію (PUVA).

Джерелами випромінювання великої кількості поширених в Україні засобів УФО є ртутні газорозрядні лампи низького тиску. Такі засоби впливу мають низку недоліків: небезпека і складність експлуатації, невеликий термін служби випромінювача, габарити, токсичність при утилізації ртутних ламп. Ефективність лікування також обмежується неможливістю дотримання ряду сучасних вимог для таких систем: стабільність випромінювання, керованість

характеристиками випромінювача (направленість і структурованість світлового потоку, експозиція, модуляція характеристик) і синхронізація з функціями індивідуального організму. Лампові прилади УФО не здатні здійснювати адаптивну просторово-енергетичну корекцію параметрів світлового потоку в процесі лікування. Отже, відомі системи опромінення не забезпечують автоматизованого керування параметрами світловим потоком УФ-опромінення із можливістю змін під час лікування. Разом з тим, саме адаптація засобів УФО до індивідуальних особливостей пацієнтів дозволить підвищити прогнозовану ефективність лікування і комфортність відповідної процедури фізіотерапії. Гостро постає проблема побудови єдиної системи, яка би поєднувала процедуру УФ фізіотерапії з контролем та корекцією параметрів впливу під час проведення локального випромінювання хворої ділянки випромінювання.

Тому тема даної дисертаційної роботи, що спрямована на розширення функціональних можливостей пристроїв фізіотерапії шляхом розробки методу та системи динамічного ультрафіолетового випромінювання, є актуальною науково-практичною задачею.

Дослідження базуються на комплексному використанні методів теорії переносу УФО, оптики, світлорозсіювання та взаємодії електромагнітного випромінювання з біооб'єктом для розробки методу автоматизованого динамічного опромінення та побудови функціональної схеми; припущення та результати теорій; комп'ютерне моделювання - для визначення параметрів математичної моделі; методи біофізики та математичного аналізу - для дослідження густини розподілу потоку, потужності джерела випромінювання; теорія біотехнічних систем, інформаційно-структурне моделювання - для побудови моделі функціонування та розроблення структурної та функціональної схем оптико-електронних пристроїв та системи контролю дози опромінення.

Отримані результати мають важливе наукове і практичне значення при визначенні терапевтичних УФ доз впливу в локальній та загальній фізіотерапії. Отримано такі основні наукові результати:

- Набуло подальшого розвитку моделювання динамічного ультрафіолетового опромінення шляхом врахування локальності впливу, селективності довжини хвилі на відміну від статичного інтегрального опромінення, що дало змогу забезпечити якість УФО хворої ділянки шкіри.

- Вперше запропоновано метод контролю енергії динамічного УФО шкіри шляхом введення корекції випромінювання, яка на відміну від існуючих відрізняється просторово-частотною модуляцією впливу, що дало змогу скоротити час випромінювання під час фізіотерапевтичної процедури.

- Вперше побудовано структурно-функціональну організацію системи динамічного УФО шляхом встановлення зміни характеристик та параметрів впливу, що дало змогу автоматизувати процес опромінення вибраної ділянки шкіри.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що запропонована система динамічного ультрафіолетового випромінювання забезпечує необхідні медико-технічні, інформативні, енергетичні та просторово-модуляційні параметри процесу фізіотерапії, шляхом застосування автоматизації та використанням напівпровідникових джерел випромінювання (матриці світлодіодів).

Практичні результати, які отримано в дисертації, дозволили:

- Створити медико-технічні вимоги до автоматизованої системи динамічного ультрафіолетового випромінювання з введеним зворотнім зв'язком за фізіологічним станом шкіри людини, що на відміну від існуючих систем, дало змогу здійснювати безперервний моніторинг характеристик стану шкіри в процесі опромінення.

- Розробити режими керування напівпровідниковою ультрафіолетовою матрицею для модуляції потоків випромінювання, формуванням просторового розподілу опромінення, що оптимізує тривалість процедури фізіотерапії;

- Створити структурну схему системи та алгоритми динамічного УФО зі зворотнім зв'язком, контролем та корекцією параметрів процесу опромінення, що дає змогу розширити клінічне застосування.

На основі проведених теоретичних та практичних досліджень розроблено та впроваджено наступне:

Отримано збільшення одиничної потужності випромінювання та застосування в пристроях принципів модуляції енергетичних потоків, завдяки напівпровідниковим УФ СВД, що дало змогу рівномірно опромінювати уражену ділянку та фотостимуляції.

Розроблено методику розрахунку розподілу випромінювання запропонованої автоматизованої системи на основі УФ світлодіодів з урахуванням технічних параметрів ДВ, що дозволила зробити розрахунок необхідної кількості СВД і розташування їх у випромінювачі при заданій інтенсивності впливу.

Розроблено автоматизований метод та систему впливу УФО на біооб'єкт, що дало змогу виявити критерії ефективності у фізіотерапії. Дослідження запропонованого методу випромінювання дозволили скоротити тривалість проведення процедури фізіотерапії на 15-25%.

Проведено імітаційне моделювання процесу розсіювання енергії у випадково-неоднорідному біологічному середовищі, що дозволило побудувати пошаровий розподіл поглинутої енергії і виявити, що коефіцієнт послаблення енергії між роговим шаром та нижнім шаром епідермису складає 5,3 рази.

Створено структурну схему та алгоритм роботи фізичної моделі-пристрою для фізіотерапії, що дозволило автоматизовано керувати характеристиками та параметрами опромінення. Розроблено дослідний зразок автоматизованої УФ системи для фізіотерапії, з можливістю зміни просторової та енергетичної модуляції потоку опромінення, що дало змогу провести верифікацію досліджень.

Розроблено та проведено дослідження *in vitro* дослідного зразка автоматизованої УФ системи для фізіотерапії, показано, що дана система може бути використана, з високою ефективністю, як медичними установами для проведення локальної і загальної фізіотерапії, так і науково-дослідними установами для подальшого розвитку і вдосконалення методик фізіотерапії.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у нижченаведені організації із підтвердженням відповідними актами про впровадження:

- ПП «Клініка мікрохірургії Медікус», м. Тернопіль (акт від 30 березня 2018 року) з метою вивчення можливості застосування методу та системи динамічного випромінювання у розробках нових методик лікування. Результати реалізовано у формі алгоритмів та програм для розрахунку оптимальних режимів опромінення у фізіотерапії;
- Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя, у навчальному процесі кафедри «Біотехнічних систем» (акт від 5 червня 2018 року) з метою побудови систем та пристроїв динамічного ультрафіолетового випромінювання з автоматизованими та інтерактивними режимами для фізіотерапії, при створенні алгоритмів функціонування із контролем режимів в процесі динамічного впливу на біологічні об'єкти і прогнозом впливу змін параметрів різних типів шкіри при лікуванні псоріазу;
- Районній комунальній міській лікарні м. Бучач (акт від 13 березня 2018 року) з метою розширення наукових досліджень побудови системи та створення методу динамічного ультрафіолетового випромінювання у фізіотерапії, що дасть змогу покращити оцінювання якості лікувальних засобів та прогнозу патологічних змін шкіри при таких захворюваннях , як псоріаз, лишай, вітіліго, акне;
- Науково-виробничому експериментальному спільному малому підприємстві «МЕДАП» м. Тернопіль (акт від 17 травня 2018 року) з метою розширення наукових досліджень для побудови комп'ютерної системи з автоматизованими та інтерактивними режимами регулювання динамічного опромінювання ультрафіолетом з оцінюванням якості процедур при лікуванні псоріазу.

Ключові слова: ультрафіолетова світлодіодна матриця, динамічне опромінення біооб'єкту, просторово-енергетична модуляція, зворотній зв'язок, доза ультрафіолетового випромінювання.

ANNOTATION

Kuz V.I. Method and system of dynamic ultraviolet radiation for physiotherapy.
- Qualifying scientific work as a manuscript.

The dissertation for the degree of a candidate of technical sciences on the specialty 05.11.17 „Biological and Medical Devices and Systems”. - Ternopil Ivan Puluj National Technical University MES of Ukraine, Ternopil. - Vinnytsia National Technical University, MES of Ukraine, Vinnytsya, 2019.

The dissertation presents the results of the research on the development of the method and system of dynamic ultraviolet radiation for physiotherapy. Modern treatment of skin diseases includes instrumental methods that allow for contactless action on the affected (altered) skin areas of patients. Among the priority areas for the development of research and technological development in Ukraine for the period up to 2020 (Law of Ukraine "On Priority Areas of Science and Technology"), life sciences, new technologies for the prevention and treatment of the most common diseases, including the study of the impact problem on the human body radiation of different frequency ranges. For physiotherapy of dermatoses (psoriasis, contact and atopocrine dermatitis, eczema, lichen, acne and others), the methods of treatment of the affected area by UV irradiation (UFO), in particular selective (combination of UVA and UVB), UV and UV waves, are used. PUVA).

The sources of radiation from a large number of UFOs distributed in Ukraine are low pressure mercury discharge lamps. Such means of exposure have a number of disadvantages: danger and complexity of operation, short life of the radiator, dimensions, toxicity when disposing of mercury lamps. The effectiveness of treatment is also limited by the inability to meet a number of modern requirements for the following systems: radiation stability, controllability of the radiator characteristics (directionality and structure of light flux, exposure, modulation of characteristics) and synchronization with the functions of the individual organism. UV lamps are not capable of adaptive space-energy correction of light flux parameters during treatment. Therefore, the known irradiation systems do not provide

automated control of the parameters of the light flux of UV radiation with the possibility of changes during treatment. At the same time, it is the adaptation of UFOs to the individual characteristics of patients that will improve the predicted effectiveness of treatment and comfort of the appropriate physiotherapy procedure. The problem of constructing a single system that would combine the procedure of UV physiotherapy with the control and correction of the parameters of influence during the local radiation of a diseased area of radiation is acute.

Therefore, the topic of this dissertation is aimed at expansion functional capabilities of physiotherapy devices by developing a method and system of dynamic ultraviolet radiation is an urgent scientific and practical task.

The research is based on the integrated use of the methods of UFO transfer theory, optics, light scattering and interaction of electromagnetic radiation with a biological object for the development of a method of automated dynamic irradiation and construction of a functional circuit; assumptions and results of theories; computer modeling - to determine the parameters of a mathematical model; methods of biophysics and mathematical analysis - to study the density of the flow distribution, the power of the radiation source; theory of biotechnical systems, information-structural modeling - to build a model of functioning and development of structural and functional circuits of optical-electronic devices and radiation dose control system.

The results obtained are of significant scientific and practical importance in determining therapeutic UV doses of exposure in local and general physiotherapy. The following main scientific results were obtained:

- The further development of modeling of dynamic ultraviolet radiation by taking into account the locality of influence, the selectivity of the wavelength, in contrast to the static integral radiation, which allowed to ensure the quality of the UVR of the diseased skin.
- For the first time, a method of controlling the energy of dynamic UVR of the skin by introducing radiation correction, which differs from the existing spatial-

frequency modulation of the influence, which made it possible to reduce the radiation time during the physiotherapy procedure, was first proposed.

- For the first time, a structural and functional organization of the dynamic UFO system was established by establishing changes in the characteristics and parameters of the impact, which made it possible to automate the process of irradiation of the selected area of skin.

The practical value of the obtained results is that the proposed system of dynamic ultraviolet radiation provides the necessary medical, technical, informative, energy and space-modulation parameters of the physiotherapy process, through the use of automation and the use of semiconductor radiation sources (matrices).

The practical results obtained in the dissertation allowed:

- To create medical and technical requirements for an automated system of dynamic ultraviolet radiation with introduced feedback on the physiological condition of human skin, which, unlike the existing systems, made it possible to continuously monitor the characteristics of the skin in the irradiation process.

- Develop control modes for a semiconductor ultraviolet matrix to modulate radiation fluxes, forming a spatial distribution of radiation that optimizes the duration of the physiotherapy procedure;

- Design a system outline and dynamic UFO algorithms with feedback, control, and correction of irradiation process parameters to extend clinical applications.

Based on theoretical and practical research, the following has been developed and implemented:

An increase in the unit radiation power and the application in the devices of the principles of modulation of energy fluxes, thanks to the semiconductor UV LED, which allowed to irradiate the affected area and photostimulation evenly.

A method for calculating the radiation distribution of the proposed automated system based on UV LEDs was developed, taking into account the technical parameters of the DV, which made it possible to calculate the required number of LEDs and their location in the emitter at a given intensity of influence.

An automated method and system for the influence of UFOs on a biological object was developed, which allowed us to identify the criteria of effectiveness in physiotherapy. Studies of the proposed method of radiation have reduced the duration of the procedure of physiotherapy by 15-25%.

A simulation of energy dissipation in a randomly inhomogeneous biological environment was performed, which allowed us to construct a layer-by-layer distribution of absorbed energy and to find that the energy attenuation coefficient between the stratum corneum and the inferior epidermal layer is 5.3 times.

Structural diagram and algorithm of work of physical model-device for physiotherapy were created, which allowed to automatically control the characteristics and parameters of radiation. An experimental model of an automated UV system for physiotherapy was developed, with the possibility of changing the spatial and energy modulation of the irradiation flux, which made it possible to carry out the verification of studies.

An in vitro study of an experimental sample of an automated UV system for physiotherapy has been developed and conducted, it is shown that this system can be used, with high efficiency, both by medical institutions for conducting local and general physiotherapy, and by research institutions for the further development and improvement of physiotherapy techniques .

The results of the dissertation have been implemented in the following organizations with confirmation of the relevant implementing acts:

- PE "Clinic of Microsurgery Medicus", Ternopil (act of March 30, 2018) in order to study the possibility of applying the method and system of dynamic radiation in the development of new therapies. The results are implemented in the form of algorithms and programs for the calculation of optimal radiation regimes in physiotherapy;

- Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, in the educational process of the Department of Biotechnical Systems (Act of June 5, 2018) with the purpose of constructing systems and devices of dynamic ultraviolet radiation with automated and interactive modes for physiotherapy, while creating algorythmic

regimens the process of dynamic impact on biological objects and the prediction of the effect of changes in the parameters of different skin types in the treatment of psoriasis;

- Buchach Municipal Hospital (Act of March 13, 2018) with the purpose of expanding the scientific research of system construction and creation of the method of dynamic ultraviolet radiation in physiotherapy, which will allow to improve the estimation of the quality of medicines and prognosis of pathological changes of skin psoriasis, lichen, vitiligo, acne;

- MEDAP Scientific and Production Joint-Stock Small Enterprise Ternopil (Act of May 17, 2018) to expand scientific research to build a computer system with automated and interactive modes for the regulation of dynamic UV irradiation with treatment quality assessment.

Keywords: ultraviolet LED matrix, dynamic irradiation of biological object, space-energy modulation, feedback, UV radiation dose.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

[1] В. Кузь, Р. Ткачук, та М. Івах, "Моделювання динамічного опромінення для фотомедичних технологій при неперервності контролю параметрів процесу", *Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки*, № 2, с. 98-105, 2013.

[2] V. Kuz, and R. Tkachuk, "Study of effect of modeling biophysical light scattering in biological media", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №2 (51), с. 121-125, 2015.

[3] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Робулова, "Опромінення шкіри людини із безперервним контролем та регулюванням параметрів процесу", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 1 (46), с.145-148, 2014.

[4] В. Кузь, Р. Ткачук, и Б. Яворский, "Повышение информативности автоматизированных электроретинографических систем", *Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки*, № 3, с. 108-113, 2013.

[5] В. Кузь та Р. Ткачук, "Дослідження можливостей виявлення рівня нейротоксикації людини методом фотонної електроретинографії", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №4 (45), с. 124-127, 2013.

[6] V. Kuz, O. Yanenko, K. Shevchenko, and R. Tkachuk, "Phototherapy device with determination of absorbed energy dose", *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, № 3 (83), с. 154-158, 2016.

[7] V. Kuz, O. Yanenko, V. Adamenko, and K. Shevchenko, "Automated system for irradiation of biologically active points of the human body", *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, № 2 (86), с. 83-89, 2017.

[8] В. Кузь та О. Яненко, "Дослідження рівня опромінення пристроєм світлотерапії", *Вісник Національного технічного університету України*

«Київський політехнічний інститут». Серія приладобудування, № 53(1), с. 109-113, 2017.

[9] В. Кузь "Дослідження біофізичного ефекту оптичного діапазону *Науковий Журнал «Молодий вчений» серія «Технічні науки», № 9 (36), с. 98-100, 2016.*

[10] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Робулова, "Моделювання динамічного опромінення ультрафіолетом при комплексному лікуванні псоріазу", *Тернопільський осередок Наукового товариства ім. Шевченка, т. 9, с. 176-184, 2014.*

[11] О. П. Яненко, К.Л. Шевченко, В.І. Кузь, та Р.А. Ткачук, "Пристрій для світлотерапії", *МПК (2016.01) A61B 5/00 A61B 18/18, №113732, Лют. 10, 2017.*

[12] О. П. Яненко, В.О. Адаменко, В.І. Кузь, та К.Л. Шевченко, "Автоматизована система для опромінення біологічно активних точок людського організму", *МПК A61T 5/067, G01J 5/58, №122458, Січ. 10, 2018.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

[13] O. Yanenko, V. Kuz, R. Tkachuk, and K. Shevchenko "Light therapy by low-intensity optical signals", at *International research and practice conference Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical science*, Radom, Republic of Poland, 2017, pp. 71-75.

[14] В. Андрійчук, та В. Кузь "Дослідження взаємодії оптичного випромінювання з неоднорідним біологічним середовищем", на *V Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів Актуальні задачі сучасних технологій*, Тернопіль, 2016, с. 141-142.

[15] В. Кузь, та Р. Ткачук, "Моделювання динамічного імпульсного опромінення шкірних патологій із контролем параметрів процесу", на *XIII міжнародній науково-технічній конференції Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах* /, Одеса, 2014, с. 137-138.

[16] В. Кузь "Створення моделі світлотехнічного пристрою для фотомедичних технологій динамічного опромінення із зворотнім зв'язком", на *VI-та Всеукраїнській студентській науково - технічній конференції Природничі та гуманітарні науки, актуальні питання*, Тернопіль, 2013, с. 198.

[17] В. Кузь, "Застосування методу Монте-Карло при дослідженні оптичних параметрів біологічного середовища", на *III Міжнародній науково-практичній конференції Актуальні проблеми гуманітарних та природничих наук*, Київ, 2016, с. 82-83.

[18] В. Кузь, О. Яненко, К. Шевченко, та Р. Ткачук, "Оптична система для фототерапії з контролем поглинутої енергії", на *Міжнародній науково-практичній конференції Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання*, Івано-Франківськ, 2017, с. 57-60.

[19] В. Кузь, "Модель динамічного імпульсного опромінення і контролю параметрів процесу фотофотолізу", на *Международной науч.-тех. конф. Современные тенденции развития светотехники*, Харків, 2013, с. 45-47.

[20] В. Кузь, "Устройство фотобиологического воздействия на основе светодиодных источников света", на *XIII Всеросс. научно-техн. конф. с Международным участием Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики*, Саранск, 2017, с. 3-7.

[21] О. Яненко, В. Кузь, та В. Чухов, "Моделювання опромінення світлодіодної матриці у пристроях медичного призначення", на *II Міжнародній науково-технічній конференції Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення - 2017*, Житомир, 2017, с. 185-186.

[22] О. Yanenko, V. Adamenko, K. Shevchenko, R. Tkachuk, and V. Kuz, "The device for determining the absorption capacity modulated light beams irradiation bar", на *VI Міжнародній наук.-техн. конф. Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування*, Вінниця, 2017, с. 120-122.

[23] В. Кузь, Р. Ткачук, та О. Яненко, "Екологічний контроль системи ультрафіолетового випромінювання у фототерапії", на *VI Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю*, Вінниця, 2017, с. 115-116.

[24] В. Андрійчук, та В. Кузь, "Опромінювальний пристрій медичного призначення", на *VI Міжнародній науково-технічній конференції Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи*, Тернопіль – Яремче, 2018, с. 106-107.

[25] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Яворський, "Світлотехнічні пристрої для динамічного опромінення при комбінованому лікуванні псоріазу", на *V Міжнародній науково-технічній конференції Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи*, Тернопіль - Яремче, 2015, с. 37-38.

[26] Б. Робулова, В. Кузь, та Р. Ткачук, "Удосконалення технічних систем для фотомедичних технологій при лікуванні псоріазу", на *Всеукраїнській конференції Актуальні проблеми та перспективи біомедичної інженерії*, Київ, 2014, с. 136-137.

[27] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Яворський, "Studies frequency deviation and modulation of the UV radiation power from a given value", *VIII міжнародна конференція Оптиелектронні інформаційні технології «Фотоніка-ODS 2018»*, Вінниця, 2018, с.141-142.

[28] О. Krushets, V. Kuz and O. Yanenko, "Automated system for light therapy with frequency scanning irradiated areas", на *Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління*, Івано-Франківськ, 2018, с. 199-202.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	19
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОПРОМІНЕННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ НОВИХ ПРИСТРОЇВ ФІЗІОТЕРАПІЇ.....	28
1.1 Аналіз і класифікація існуючих пристроїв опромінення шкіри у фізіотерапії.....	28
1.2 Аналіз випромінювачів в пристроях ультрафіолетової фізіотерапії...	33
1.3 Спектральні особливості ультрафіолетової селективної фізіотерапії.....	38
1.4 Аналіз оптичних параметрів шкіри людини.....	40
1.5 Аналіз механізмів дії ультрафіолетового випромінювання на шкіру у фізіотерапії.....	49
1.6 Висновки до першого розділу	54
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДИНАМІЧНОГО УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ОПРОМІНЕННЯ.....	57
2.1 Розробка методу та розрахунок системи опромінювання на основі УФ світлодіодів.....	57
2.2 Вибір математичної моделі для розподілу опромінення від системи динамічного ультрафіолетового впливу.....	61
2.3 Методика розрахунку параметрів випромінювача СВД матриці для ультрафіолетової фізіотерапії.....	70
2.4 Методика визначення біодози для системи динамічного УФ випромінювання на основі матриці світлодіодів.....	75
2.5 Моделювання енергетичних характеристик ультрафіолетового випромінювання на шкіру.....	78

2.6	Моделювання кривих ізольокс для матриці ультрафіолетових світлодіодів.....	82
2.7	Висновки до другого розділу.....	89
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВПЛИВУ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ОПРОМІНЕННЯ НА БІООБ'ЄКТ.....		91
3.1	Імітаційне моделювання дії системи динамічного УФ випромінювання на шкіру людини.....	91
3.2	Створення структурної схеми та алгоритму роботи автоматизованої системи динамічного опромінення шкіри.....	101
3.3	Проектування системи динамічного ультрафіолетового випромінювання на основі випромінювальних діодів.....	105
3.4	Автоматизована фізіотерапевтична система динамічного опромінення шкіри людини.....	111
3.5	Висновки до третього розділу	117
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ФІЗІОТЕРАПІЇ.....		120
4.1	Застосування та призначення системи динамічного ультрафіолетового випромінювання для фізіотерапії.....	120
4.2	Принцип дії системи динамічного ультрафіолетового випромінювання для фізіотерапії.....	123
4.3	Дослідження системи динамічного ультрафіолетового випромінювання для фізіотерапії.....	128
4.4	Дослідження частоти модуляції та потужності випромінювання від заданого значення.....	131
4.5	Визначення ефективності системи динамічного ультрафіолетового випромінювання.....	133

4.6 Висновки до четвертого розділу	138
ВИСНОВКИ	141
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	143
ДОДАТКИ.....	161
Додаток А Список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	162
Додаток Б Довідки про впровадження результатів досліджень	166
Додаток В Оптичні коефіцієнти шкіри людини	171
Додаток Г Структурна схема та режими модуляції системи	173
Додаток Д Лістинг роботи програми.....	177
Додаток Е Медико-технічні вимоги побудови системи динамічного ультрафіолетового випромінювання для фізіотерапії	191

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. В Україні та у світі спостерігається висока поширеність шкірних захворювань. Одним з найбільш поширених (близько 3% за даними IFPA – Міжнародної федерації асоціацій псоріазу) у світі захворювань шкіри є псоріаз, для лікування якого в Україні діє Державна цільова програма фізіотерапії хворих на псоріаз.

Сучасна терапія шкірних захворювань включає інструментальні методи, які дозволяють безконтактно діяти на уражені (змінені) ділянки шкіри пацієнтів. Серед пріоритетних напрямків розвитку наукових досліджень і науково-технічних розробок в Україні на період до 2020 року (Закон України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки») важливе місце займають науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань, зокрема дослідження проблеми впливу на людський організм випромінювання різних частотних діапазонів.

Для фізіотерапії дерматозів (псоріаз, контактний і атопічний дерматити, екземи, лишай, акне й інших) застосовують методи лікування ураженої ділянки ультрафіолетовим опроміненням (УФО), зокрема селективну (поєднання UVA та UVB), вузькохвильову (UVB або UVA-1) та фотохіміотерапію (PUVA).

Джерелами випромінювання великої кількості поширених в Україні засобів УФО є ртутні газорозрядні лампи низького тиску з потоком енергії 10-200 мВт/см² та довжинами хвиль в діапазоні 280-400 нм. Такі засоби мають низку недоліків: небезпека і складність експлуатації, невеликий термін служби випромінювача, габарити, токсичність при утилізації ртутних ламп. Ефективність лікування також обмежується неможливістю дотримання ряду сучасних вимог для таких систем: стабільність випромінювання, керованість характеристиками випромінювача (направленість і структурованість світлового потоку, експозиція, модуляція характеристик) і синхронізація з функціями індивідуального організму. Лампові прилади УФО не здатні здійснювати

адаптивну просторово-енергетичну корекцію параметрів світлового потоку в процесі лікування.

Для зменшення недоліків експлуатації джерел УФО при дослідженнях параметрів біотканин, профілактиці, фізіотерапії та реабілітації перспективним є застосування світлодіодної техніки. Значний внесок у теоретичні дослідження та розвиток фотомедицини внесли такі відомі вчені, як F. Vasefi, N. Kollias, G. Stamatas, Allan C. Halpern (спектроскопія шкіри), В.В. Тучин (оптика біотканин), С.В. Павлов (лікувально-діагностичні фотомедичні системи), В.П. Кожем'яко (функціональні засоби оптоелектроніки у медицині), С.М. Злепко (медичні інформаційні системи), А.М. Коробов (фізіотерапевтичні фотонні пристрої та системи), В.Г. Петрук (спектрофотометрія біотканин), а також Є.І. Сокол, О.І. Білий, А.Е. Пушкарева та інші.

Отже, відомі системи опромінення не забезпечують автоматизованого керування параметрами світловим потоком УФ-опромінення із можливістю змін під час лікування. Разом з тим, саме адаптація засобів УФО до індивідуальних особливостей пацієнтів дозволить підвищити прогнозовану ефективність лікування і комфортність відповідної процедури фізіотерапії.

Таким чином, удосконалення методів і засобів УФО для лікування захворювань шкіри шляхом введення автоматизованого адаптивного керування характеристиками світлового пучка в процесі опромінення дозволять вирішити актуальне для галузі фізіотерапевтичного приладобудування завдання збільшення прогнозованої ефективності лікування, зокрема псоріазу.

Зв'язок із науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи пов'язана із розв'язанням задач у галузі науки та техніки, що викладені у Законі України за № 2519-VI від 9.09.2010 р. «Про внесення змін до Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки»» на період до 2020 року та Міжгалузевої комплексної програми "Здоров'я нації" (постанова Кабінету Міністрів України № 14 від 01.01.2002 р.), Указу №70/2010 від 27.01.2010 "Про додаткові заходи щодо реформування системи охорони здоров'я населення". Робота виконувалася відповідно до плану наукових

досліджень Тернопільського національного технічного університету Міністерства освіти і науки України на кафедрах біотехнічних систем, світлотехніки та електротехніки, ПП "Клініка мікрохірургії ока Медікус", в рамках держбюджетних тем: «Дослідження когнітивних властивостей однорідних обчислювальних середовищ та їх синтезу у високопродуктивні інформаційні технології» (номер держреєстрації 0117U002242); «Удосконалення інформаційного комплексу та модернізація пункту прийому інформації» (номер держреєстрації 0118u004721); «Удосконалення комплексу спостереження за об'єктами та модернізація про-грамно технічних засобів (номер держреєстрації 0118u004720); «Удосконалення методу виявлення об'єкту» (номер держреєстрації 0118u001483);

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розширення функціональних можливостей фізіотерапії шляхом розробки методу та системи динамічного ультрафіолетового опромінювання. Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі:

- Проаналізувати відомі методи та засоби ультрафіолетового опромінювання та обґрунтувати необхідність автоматизованого керування параметрами та характеристиками опромінення при застосуванні світлодіодних випромінювачів для фізіотерапії;
- Обґрунтувати вибір математичної моделі взаємодії УФО з біотканиною для побудови системи динамічного опромінення ультрафіолетом з контролем параметрів та характеристик впливу на біооб'єкт;
- Розробити імітаційну модель впливу системи динамічного УФО на шкіру людини.
- Розробити структуру та алгоритми функціонування системи опромінення з автоматичною зміною: параметрів інтенсивності потоку, модуляції випромінювання, врахуванням форми ураженої поверхні, експозиції;
- Побудувати фізичну модель системи динамічного опромінення для верифікації результатів дослідження.

- Провести верифікацію отриманих результатів функціонування системи опромінення біологічних об'єктів.

Об'єктом дослідження є процес динамічного ультрафіолетового опромінення шкіри при псоріазі.

Предметом дослідження є метод, модель і система динамічного ультрафіолетового випромінювання для фізіотерапії

Методи досліджень. При виконанні дисертаційної роботи використані: для розробки методу автоматизованого динамічного опромінення та побудови функціональної схеми - припущення та результати теорій переносу УФО, оптики, світлорозсіювання та взаємодії електромагнітного випромінювання з біооб'єктом; комп'ютерне моделювання - для визначення параметрів математичної моделі; методи біофізики та математичного аналізу - для визначення та дослідження густини розподілу потоку потужності випромінювання; теорія біотехнічних систем, інформаційно-структурне моделювання - для побудови моделі функціонування та розроблення структурної та функціональної схем оптико-електронних пристроїв та системи контролю дози опромінення.

Наукова новизна отриманих результатів.

- Набуло подальшого розвитку моделювання динамічного ультрафіолетового опромінення шляхом врахування локальності впливу, селективності довжини хвилі на відміну від статичного інтегрального опромінення, що дало змогу забезпечити якість УФО хворої ділянки шкіри.

- Вперше запропоновано метод контролю енергії динамічного УФО шкіри шляхом введення корекції випромінювання, яка на відміну від існуючих відрізняється просторово-частотною модуляцією впливу, що дало змогу скоротити час випромінювання під час фізіотерапевтичної процедури.

- Вперше побудовано структурно-функціональну організацію системи динамічного УФО шляхом встановлення зміни характеристик та параметрів впливу, що дало змогу автоматизувати процес опромінення хворої ділянки шкіри з врахуванням впливу попереднього сеансу.

- Запропоновано імітаційну модель процесу розсіювання енергії у випадково-неоднорідному біологічному середовищі при дії УФ випромінювання, що дозволило, на відміну від існуючих моделей, отримати пошаровий розподіл енергії, яка поглинається даним середовищем і визначати на його основі коефіцієнти послаблення потужності випромінювання при його проходженні через роговий шар і нижній шар епідермісу.

Практичне значення отриманих результатів:

- Розроблено проект медико-технічних вимог (МТВ) на «Систему динамічного ультрафіолетового випромінювання для фізіотерапії», який створює необхідні та достатні передумови для потенційного серійного виробництва зазначеної системи.

- Розроблено режими керування напівпровідниковою ультрафіолетовою матрицею для модуляції потоків випромінювання з формуванням просторового розподілу опромінення для оптимізації параметрів процедури фізіотерапії;

- Створено структурну схему системи та алгоритми динамічного УФО зі зворотнім зв'язком, контролем та корекцією параметрів процесу опромінення, що дає змогу суттєво розширити її клінічне застосування.

Отримані в дисертаційній роботі результати наукових досліджень впроваджено в ПП «Клініка мікрохірургії Медікус», м. Тернопіль (акт від 30 березня 2018 року) з метою вивчення можливості застосування методу та системи динамічного випромінювання у розробках нових методик лікування.

Результати дослідження впроваджено також у навчальному процесі кафедри «Біотехнічних систем» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (акт від 5 червня 2018 року) з метою побудови систем та пристроїв динамічного ультрафіолетового випромінювання з автоматизованими та інтерактивними режимами для фізіотерапії;

Отримані результати досліджень впроваджено у Науково-виробничому експериментальному спільному малому підприємстві «МЕДАП» м. Тернопіль (акт від 17 травня 2018 року) та у районній комунальній міській лікарні м. Бучач (акт від 13 березня 2018 року з метою розширення наукових

досліджень для побудови комп'ютерної системи з автоматизованими та інтерактивними режимами регулювання динамічного опромінювання ультрафіолетом з оцінюванням якості процедур при лікуванні псоріазу.

Особистий внесок здобувача. Отримані автором особисто. В працях, опублікованих в співавторстві, здобувачеві належать: [1] - метод та засоби програмного керування динамічними стимуляційними режимами із контролем параметрів процесу опромінення; [2] - спосіб аналізу розподілу енергії в багат шаровій системі біологічного об'єкту шляхом застосування методу Монте-Карло та імітаційного моделювання випромінювання; [3] - система для керування динамікою програмованих амплітудних, просторових і спектральних характеристик випромінювання, для забезпечення роботи в імпульсних режимах; [4] - методика оцінювання інформативності індикації для медперсоналу при зміні експозиції та параметрів опромінення; [5] - схеми для побудови автоматизованих систем з підвищенням рівня ефективності опромінення; [6] - алгоритм та пристрій перетворення параметрів світлового потоку; [7] - система для забезпечення контролю дози поглинутої енергії опромінення в діапазоні частот модуляції; [8] - методика розрахунку для створення рівномірного розподілу опромінення на поверхні біологічного середовища та рекомендації, щодо отримання оптимального енергетичного поля для пристроїв фізіотерапії та системи контролю; [10] - моделювання динамічного опромінення з використанням світлодіодних випромінювачів у вигляді матриці; [11], [12] - формула патенту на корисну модель; [13], [15] - схемотехнічні рішення та алгоритм роботи пристрою фізіотерапії; [14], [18] - контроль поглинутої енергії у біологічному середовищі; [21], [22] - математична модель процесу динамічного імпульсного опромінювання поверхні біооб'єкту; [23] - забезпечення екологічного ефекту та можливості регулювання параметрами процесу опромінення у фізіотерапії; [24], [25] - система для забезпечення контролю дози поглинутої енергії; [26] – контроль опромінення біологічного об'єкту в імпульсному режимі; [27], [28] –

автоматизація процесу з частотною модуляцією та скануванням ділянки опромінювання.

Апробація матеріалів дисертації. Результати досліджень доповідались на 13-ох наукових конференціях: 5-ій Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів 17-18 листопада 2016 в ТНТУ (м. Тернопіль, 2016 р.); 3-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми гуманітарних та природничих наук» (м. Київ, 2016 р.); 8-ій Міжнародній науково-технічній конференції «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (м. Одеса, 2014 р.); Всеукраїнській конференції «Актуальні проблеми та перспективи біомедичної інженерії» (м. Київ, 2014 р.); 5-ій Міжнародній науково-технічній конференції «Современные тенденции развития светотехники» (Харків, 15-16.05.2013 р.); 5-ій міжнародній науково-технічній конференції «Світлотехніка й електроенергетика, історія проблеми, перспективи» (Тернопіль – Яремче, 23-27 лютого 2015 р.), XIII-ой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» в рамках IV светотехнического форума с международным участием (15-16 березня 2017, м. Саранськ); Міжнародній науково-практичній конференції ІТКМ-2017 (15-20 травня 2017 року (Івано-Франківськ - Яремче); II Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення, (м. Житомир 17-19 жовтня 2017 р.); Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування», (м. Вінниця, 28-30 вересня 2017 р.); Матеріали конференції VI Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю, (м. Вінниця 21-22 вересня 2017 р.); International research and practice conference «Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences» Radom, Republic of Poland, (December 27-28, 2017); VI Міжнародної науково-технічної конференції «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи», (30 січня 2 лютого, м. Тернопіль - м. Яремче – 2018 р.)

Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Computer science, information technologies and management systems», (28-30 листопада 2018 року, м. Івано-Франківськ).

В цілому результати дисертації доповідалися на спільному семінарі кафедр світлотехніки та електротехніки і біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, та на семінарах кафедри біомедичної інженерії Вінницького національного технічного університету.

Публікації. Результати дисертації опубліковані в 28-и наукових працях; у тому числі: в 10-и статтях (з яких 7 - у фахових наукових виданнях ([1], [3] - [8]), 6 робіт індексуються у міжнародних наукометричних базах даних), 2-ох патентах на корисну модель ([11], [12]) та 16-и матеріалах і тезах конференцій та семінарів ([13] - [28]).

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 168-и найменувань, 5 - додатків. Загальний обсяг роботи 197 сторінок, у тому числі 123 сторінки основного тексту, 41 рисунку і 6 таблиць.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В. М. Боголюбов, и Г. Н. Пономаренко, *Общая физиотерапия*, Москва, РФ: Медицина, 1999.
- [2] С. В. Москвин, и В. И. Ульянов, "Лазерная терапия: вчера и сегодня", *Кремлёвская медицина*, №4, с. 70-73, 1999.
- [3] В. И. Карандашев., Е. Б. Петухов В. С. Зродников и Н. Р. Палеева, *Квантовая терапия*, Москва, РФ, 2004.
- [4] Г. Н. Пономаренко, *Электромагнитотерапия и светолечение*, Санкт-Петербург, РФ, 1995.
- [5] Соколова, Т. В. и Н. Г. Соколова, *Физиотерапия*, Ростов на Дону, РФ, Феникс, 2004.
- [6] В. С. Улащик и И. В. Лукомский, *Общая физиотерапия*, Минск, Беларусь, Интерпрессервис, 2003.
- [7] А. Н. Башкатов, Э. А. Генина, и В. И. Кочубей, "Оптические свойства подкожной жировой ткани в спектральном диапазоне 400-2500 нм" *Оптика и спектроскопия*, т. 99, № 5, с. 868-874, 2005.
- [8] И. Л. Якименко, "Роль системы антиоксидантной защиты в реализации биологических эффектов низкоинтенсивного лазерного излучения" *Фотобіологія і фотомедицина*, т. III, № 3, 4. с. 65-70, 2000.
- [9] I. Yoon, J.Z. Li, and Y.K. Shim "Advance in photosensitizers and light delivery for photodynamic therapy", *Clin Endosc*, № 46, pp.7–23, 2013.
- [10] R. R. Allison, and K. Moghissi, "Oncologic photodynamic therapy: clinical strategies that modulate mechanisms of action" *Photodiagnosis Photodyn. Ther*, vol. 10, no 4, pp. 331–341, 2006.
- [11] Т. П. Тетерина, Глаз и мозг. Основа цветотерапии, Калуга, РФ: ГУП «Облиздат», 2001.
- [12] В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов, та М. Г. Тарновський. Оптоелектронна схемотехніка, Вінниця: ВНТУ, 2008.
- [13] В. Є. Доброва, та В. О. Тіманюк. Біофізика та медична апаратура:– Київ,

Україна: «Професіонал», 2006.

- [14] А. В. Кипенский, "Классификация фототерапевтических аппаратов, реализованных на излучающих диодах" *XXX Международная научно-практическая конференция*, Ялта, 2008, с. 158-164.
- [15] В. М. Боголюбова, Техника и методики физиотерапевтических процедур, Тверь: Губернская медицина, 2002.
- [16] А. В. Кипенский "Обеспечение качества изделий медицинской техники средствами микропроцессорного импульсного управления", *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тем. вип. «Автоматика та приладобудування»*, Харків: НТУ «ХПІ», № 38, с. 59-63, 2005.
- [17] Е. И. Сокол, А. В. Кипенский, и Е. И. Король, "Микропроцессорная система импульсного управления универсальным фотонным гинекологическим зондом «БАРВА-ГИН»", *Применение лазеров в медицине и биологии: материалы XXIV Международной научно-практической конференции*, Ялта, с. 172-174, 2005.
- [18] М.А. Коробов, В. А. Коробов, и Т. А. Лесная, "Фототерапевтические аппараты серии «Барва»", Харьков: ИПП «Контраст», 2006.
- [19] Н. Паньямента, Цветопунктура для детей Санкт-Петербург, РФ: Питер Паблишинг, 1998.
- [20] В. Д. Попов, и В. В. Холин "Лазерная терапевтическая аппаратура и периферические устройства", *Фотобіологія і фотомедицина*. т. II, № 1, с. 83-89, 1999.
- [21] Е. И. Сокол, А. В. Кипенский, и Е. И. Король, Микропроцессорные блоки импульсного управления фотонными излучателями терапевтического назначения *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Силова електроніка та енергоефективність*. Київ: ІЕД НАНУ, ч. 4, с. 113-118, 2005.
- [22] А. В. Кипенский, Е. И. Сокол, и Е. И. Король, Четырехканальные микропроцессорные блоки импульсного управления МПБ-4/250 и МПБ-4/750 *Применение лазеров в медицине и биологии: материалы XXVII*

- Международной научно-практической конференции*, Харьков, 2007, с. 151-154.
- [23] А. В. Кипенский, Е. И. Сокол, и Е. И. Король, Трехканальный микропроцессорный блок импульсного управления МПБ-3С/500, *Применение лазеров в медицине и биологии: материалы XXVII Международной научно-практической конференции*, Харьков, 2007, с. 147-150.
- [24] В. В. Куличенко, и А. И. Чурсина, "Концепция метода комплексной фототерапии и предложения по его аппаратному обеспечению", *Применение лазеров в медицине и биологии: материалы XXXI Международной научно-практической конференции*, Харьков 2009, с. 168-171.
- [25] В. Кларк, Р. Ньюман, и Х. Валтер Олсон, Медицинские приборы: Разработка и применение, Київ.: Медторг, 2004.
- [26] В. Д. Попов, и В. В. Холин, "Лазерная терапевтическая аппаратура и периферические устройства" *Фотобіологія і фотомедицина*. 1999, т. II, № 1, с. 83-89.
- [27] A. Thomson , A. Skinner, and J. Piersy Thomson, Tidy's Physiotherapy, London: Butterworth-Heinemann Ltd., 1991.
- [28] С.Г. Абрамович и А.В. Щербакова, "Особенности реактивности кожи к ультрафиолетовому излучению у здоровых и больных гипертонической болезнью" *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*, № 3, с. 17–20, 2004.
- [29] В.М. Боголюбов, "Ультрафиолет: польза и вред", *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*, № 5, с. 3–8. 2003.
- [30] В.А. Волнухин, Современные подходы к фотохимиотерапии болезней кожи, *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*, № 3, с. 43–46, 2003.
- [31] В.А., Волнухин, М.Б. Жилова , М.А. Кочетков, и Е.Е. Царегородцева, "Методика определения минимальной фототоксической дозы длинноволнового ультрафиолетового излучения при фотохимиотерапии с

- применением препарата «Аммифурин», *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*, № 3, с. 35–37, 2002.
- [32] В. В. Близнюк, и С. М. Гвоздев, Квантовые источники излучения Москва: «ВИГМА», 2006.
- [33] Ю. Б. Айзенберга, Справочная книга по светотехнике, Москва: Знак, 2006.
- [34] К.Б. Петров, С.Н. Коренева, О.В. Кузьменко, и Б.А. Наливайко, "Светодиодная офтальмостимуляция как средство повышения адаптивных возможностей организма спортсменов" *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*, № 6. с. 35–38, 2006.
- [35] H. Barr , N. Krasner , P. Boulos, and P Chatlani, Photodynamic therapy for colorectal cancer: a quantitative pilot study, vol. 77, no 1, pp. 93–96, 1990.
- [36] R.W. Boyle, and D. Dolphin, Structure and biodistribution relationships of photodynamic sensitizers, *Photochem. Photobiol*, vol. 64, no 3, pp. 469–485. 1996.
- [37] Р.А. Ткачук, Б.М. Робулова, та В.І. Кузь, "Моделювання динамічного опромінення ультрафіолетом при комплексному лікуванні псоріазу", *Сучасні проблеми техніки і технології, Тернопільський осередок Наукового товариства ім. Шевченка, Електроніка та системи управління*. т.9, с. 176-184, 2014.
- [38] В.М. Боголюбов, Зависимость цвета кожи человека в различных регионах земли от солнечного ультрафиолет, *Вопросы курортологии, физиотерапии и ЛФК*, № 2, с. 37–38, 2000.
- [39] С. В. Павлов, Т. І. Козловська, та В. Б. Василенко, Оптико-електронні засоби діагностування патологій людини, пов'язаних із периферичним кровообігом, Вінниця : ВНТУ, 2014.
- [40] Л.П. Круковская, Ультрафиолетовое излучение - его биологическая воздействие, СПб.: СПбТПУ, 2009.
- [41] В. В. Барун, и А. П. Иванов, Спектры действия внешнего излучения на хромофоры кожного покрова человека, *Альманах клинической медицины*:

- III Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине», Москва.: МОНИКИ, 2008, т. XVII, Часть 1, с. 24-27.*
- [42] В. В. Барун, А. П. Иванов, и А. В. Волотовская, Моделирование глубины проникновения света и спектров поглощения нормальной и патологически измененной кожи, *Проблемы оптической физики: Материалы X Междунар. Молодежной научн. Школы по оптике, лазерной физике и биофизике.* – Саратов: Изд-во «Новый ветер», 2007, с. 248.
- [43] В. В. Барун, и А. П. Иванов, Спектры действия внешнего излучения на хромофоры кожного покрова человека, *Альманах клинической медицины: III Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине», Москва.: МОНИКИ, 2008, т. XVII, Часть 1, с. 24-27.*
- [44] А. П. Иванов, В. В. Барун, и В. Г. Петрук, Спектральный коэффициент диффузного отражения света как средство неинвазивной диагностики структурных и биофизических параметров кожи, *Проблемы оптической физики: Материалы 10 – ой Междунар. Молодежной научн. Школы по оптике, лазерной физике и биофизике.* Саратов: Изд-во «Новый ветер», 2007, с. 248.
- [45] С. Ф. Корндорф, К. В. Подмастерьев, и А. В. Дунаев, Метод контроля поглощенной внутренними тканями дозы с учетом поглощаемой в эпидермисе мощности излучения при низкоинтенсивной лазерной терапии, *Лазерная медицина*, т.7, № 2, с. 7-11, 2003.
- [46] С. В. Павлов, Т. І. Козловська, та В. П. Думенко, "Аналіз методів розповсюдження випромінювання в біологічних середовищах на основі застосування методу Монте-Карло", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №2(16), с.139-144, 2008.
- [47] В. Л. Шабаров, В. Н. Жогун, и А. П. Иванов, "Рассеяние оптического излучения биологическими тканями" т.47, № 5, с. 825–829, 1987.
- [48] В.В. Трембач, Световые приборы, *Светотехника и источники света*, Москва: Высш. шк. 1990.

- [49] С. М. Зубкова, "Физиологические основы регуляции иммунной активности при лазеротерапии" *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*, № 2, с. 3-10, 2006.
- [50] J.Tuner, and L.Hode, Low laser therapy. Clinical practice and scientific background, Grangsborg: Prima Books, 2002.
- [51] С. М. Зубкова, и В. М. Боголюбов, "Биофизические и физиологические механизмы лечебного действия электромагнитных излучений" *Физиотерапия, бальнеология и реабилитации*, № 4. с. 3-9, 2003.
- [52] К.М. Гираев, Н. А. Ашурбеков, и Р. Т. Меджидов, "Стационарная спектроскопия биотканей in vivo: флуоресцентные исследования некоторых патологических состояний" *Оптика и спектроскопия*, т. 95, № 5. с. 874–879, 2003.
- [53] А. Е. Пушкарева, Методы математического моделирования в оптике биоткани, СПб: СПбГУ ИТМО, 2008.
- [54] К. Миллер, и И. Оно, "Измерение параметров светотехнических изделий со светодиодами", *Светотехника* № 6, с. 40-42, 2007.
- [55] Г. Заутер, М. Линдемманн, и А. Шперлинг, "Фотометрия светодиодов" *Светотехника*, № 3, с. 5-11, 2004.
- [56] Л.В. Абрамова, и Ю.А. Цюпак, "О конструктивных особенностях использования светодиодов в различных классах световых приборов" *Наука и инновации в Республике Мордовия : материалы VI респ. науч.-практ. конф.*, Саранск, 2007, с. 443-449.
- [57] Ю.Б. Айзенберг, Справочная книга по светотехнике, Москва: Знак. 2006.
- [58] И. М. Соболев, Численные методы Монте-Карло.- Москва: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973.
- [59] С. В. Павлов, В. П. Думенко, та Т. І. Козловська, "Аналіз методів розповсюдження випромінювання в біологічних середовищах на основі застосування методу Монте-Карло", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2(16), с. 139–144, 2008.
- [60] С. В. Павлов, Т. І. Козловська, В. П. Думенко, "Застосування методу

- Монте-Карло для аналізу оптичних характеристик біологічного середовища" *Применение лазеров в медицине и биологии. VIII Васильевские чтения*, Харьков, 2009. с. 145–147.
- [61] С. В. Павлов, С. Є. Тужанський, Т. І. Козловська, та А. М. Козак, "Імітаційна модель розповсюдження оптичного випромінювання в біотканинах", *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3. с. 191–195, 2011.
- [62] С. В. Павлов, В. П. Думенко, та Т. І. Козловська "Аналіз методів розповсюдження випромінювання в біологічних середовищах на основі застосування методу Монте-Карло", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. № 2(16), с. 139–144, 2008.
- [63] Г. В. Пономарев, А. В. Решетников, А. В. Иванов, "Оценка биологической активности новых фотосенсибилизаторов для клинического использования – комплекса хлорина еб (Фотодитозина)" *Фотодинамическая терапия*, Москва, 1999 с. 133–141.
- [64] С.В. Павлов, С. Є. Тужанський, та О. М. Чепурна, "Дослідження та розробка нових методів проведення фотодинамічної терапії із використанням лазерного випромінювання" *Фотобіологія та фотомедицина*, №2. с. 99–104, 2014.
- [65] Д.Р. Агафонов, П.П. Аникин, и С.Г. Никифоров, "Вопросы конструирования и производства светоизлучающих диодов и систем на их основе", *Светотехника*, № 6, с. 6-11, 2002.
- [66] С.Г. Ашурков, и А.А. Барцев, "Метод расчёта фотометрического тела излучателей со светодиодами разной пространственной ориентации" *Светотехника*, № 1, с. 43-44, 2007.
- [67] В. Кларк, Р. Ньюман, и В. Олсон, "Медицинские приборы: Разработка и применение" Київ: Медторг, 2004.
- [68] Ю.Б. Айзенберг, Основы конструирования световых приборов, Москва: Энергоатомиздат, 1996.
- [69] [Електронний ресурс] Доступно: <https://www.lambdares.com/>

- [70] В. Кузь, Р. Ткачук, та М. Івах, "Моделювання динамічного опромінення для фотомедичних технологій при неперервності контролю параметрів процесу" *Вісник СумДУ. Серія "Технічні науки"*, № 2, с. 98-105, 2013.
- [71] V. Kuz, and R. Tkachuk, "Study of effect of modeling biophysical light scattering in biological media" *Measuring and Computing Technology, Biomedical Measurements and Technology*, no. 2, pp. 121-125, 2015.
- [72] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Робулова, "Опромінення шкіри людини із безперервним контролем та регулюванням параметрів процесу", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Біомедичні вимірювання і технології*, № 1, с.145-148, 2014.
- [73] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Яворський, "Підвищення інформативності автоматизованих електрографічних систем" *Вісник СумДУ. Серія "Технічні науки"*, № 3, с. 108-113, 2013.
- [74] В. Кузь та Р. Ткачук, "Дослідження можливостей виявлення нейротоксикації людини методом фотонної електроретинографії" *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Біомедичні вимірювання і технології*, №4, с. 124-127, 2013.
- [75] V. Kuz, O. Yanenko, K. Shevchenko, and R. Tkachuk, "Phototherapy device with determination of absorbed energy dose", *Scientific journal of TNTU Series «Instrumentation and information-measuring systems*, № 3 (83), с. 154-158, 2016.
- [76] V. Kuz, O. Yanenko, K. Shevchenko, and R. Tkachuk, "Automated system for irradiation of biologically active points of the human body" *Scientific journal of TNTU Series «Instrumentation and information-measuring systems*, № 2 (86), с. 83-89, 2017.
- [77] В. Кузь та О. Яненко, "Дослідження рівня опромінення пристрою світлотерапії" *Вісник НТУУ "КПІ". Серія Приладобудування, Прилади і системи біомедичних технологій*, № 53(1), с. 109-113, 2017.
- [78] В. Кузь "Дослідження біофізичного ефекту оптичного діапазону *Журнал «Молодий вчений» серія «Технічні науки»*, № 9 (36), с. 98-101, 2016.

- [79] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Робулова, "Моделювання динамічного опромінення ультрафіолетом при комплексному лікуванні псоріазу", *Сучасні проблеми техніки і технології, Тернопільський осередок Наукового товариства ім. Шевченка, Електроніка та системи управління*, т.9, с.176-184, 2014.
- [80] О. П. Яненко, К.Л. Шевченко, В.І. Кузь, та Р.А. Ткачук, "Пристрій для світлотерапії" №113732 A61B 5/00 № u201608572, Лют. 10, 2017.
- [81] О. П. Яненко, В.О. Адаменко, В.І. Кузь, та К.Л. Шевченко, "Автоматизована система для опромінення біологічно активних точок людського організму" №122458 A61N 5/067 № u201707321, Січ.10, 2018.
- [82] V. Kuz, R. Tkachuk, and K. Shevchenko "Light therapy by low-intensity optical signals", *International research and practice conference modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical science Electrical engineering Radom*, Republic of Poland, 2017, pp. 71-76.
- [83] В. Андрійчук, та В. Кузь "Дослідження взаємодії оптичного випромінювання з неоднорідним біологічним середовищем" *Актуальні задачі сучасних технологій: V-ої Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів*, Тернопіль, 2016, с. 141-142.
- [84] В. Кузь, та Р. Ткачук, "Моделювання динамічного імпульсного опромінення шкірних патологій із контролем параметрів процесу", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах / XIII міжнародної науково-технічна конференція*, Одеса, 2014, с. 137-138.
- [85] В. Кузь "Створення моделі світлотехнічного пристрою для фотомедичних технологій динамічного опромінення із зворотнім зв'язком", *VI-та Всеукраїнська студентська науково - технічна конференція "Природничі та гуманітарні науки, актуальні питання" ТНТУ ім.. І. Пулюя*, Тернопіль, 2013, с. 198.
- [86] В. Кузь, "Застосування методу Монте-Карло при дослідженні оптичних параметрів біологічного середовища", *Матеріали 3 міжнародної науково-*

практичної конференції «Актуальні проблеми гуманітарних та природничих наук», Київ, 2016, с. 82-84.

- [87] В. Кузь, О. Яненко, К. Шевченко, та Р. Ткачук, "Оптична система для фототерапії з контролем поглинутої енергії", *Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання»*, Івано-Франківськ – Яремча, 2017, с. 57-60.
- [88] В. Кузь, "Модель динамічного імпульсного опромінення і контролю параметрів процесу фотоферезу", *Современные тенденции развития светотехники, Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції*, Харків, 2013, с. 45-47.
- [89] В. Кузь, "Устройство фотобиологического воздействия на основе светодиодных источников света" *XIII-та научно-техническая конференция с международным участием «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики»*, Саранск, 2017 с. 3-7.
- [90] В. Кузь, "Моделювання опромінення світлодіодної матриці у пристроях медичного призначення", *II Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення»*, Житомир, 2017, с. 185-186.
- [91] В. Кузь, "The device for determining the absorption capacity modulated light beams irradiation bar", *Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування*, Вінниця, 2017, с. 120-122.
- [92] В. Кузь, "Екологічний контроль системи ультрафіолетового випромінювання у фототерапії", *Матеріали конференції VI Всеукраїнського з'їзду екологів*, Вінниця, 2017, с. 115-116.
- [93] В. Кузь, "Оптоміювальний пристрій медичного призначення", *VI Міжнародна науково-технічна конференція «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи»*, Тернопіль – Яремче, 2018, с. 106-107.

- [94] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Яворський, "Світлотехнічні пристрої для динамічного опромінення при комбінованому лікуванні псоріазу", *V Міжнародна науково-технічна конференція «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи»*, Тернопіль - Яремче, 2015, с. 37-38.
- [95] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Робулова, "Удосконалення технічних систем для фотомедичних технологій при лікуванні псоріазу", *Всеукраїнська конференція «Актуальні проблеми та перспективи біомедичної інженерії»*", Київ, 2014, с. 136-137.
- [96] В. Кузь, Р. Ткачук, та Б. Яворський, "Studies frequency deviation and modulation of the UV radiation power from a given value", *VIII міжнародна конференції «Фотоніка-ODS 2018» пам'яті професора В.П. Кожем'яко*, Вінниця, 2018, с.141-142.
- [97] Ф.П. Говоров, и В.С. Чернец, "Учет биомедицинского фактора при проектировании установок декоративно-художественного освещения", *матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «SWYATLO 2006»*, Варшава, 2006, с. 32-38.
- [98] А. В. Кипенский, В. В. Куличенко, и А. И. Чурсина, "Режимы биосинхронизации в аппарате для комплексной фототерапии" *Применение лазеров в медицине и биологии: материалы XXXI Международной научно-практической конференции*, Харьков, 2009, с. 168-171.
- [99] К. М. Гираев, Н. А. Ашурбеков, и О. В. Кобзев, "Оптические исследования биотканей: определение показателей поглощения и рассеяния" *Письма в ЖТФ*, т. 29, № 21, с. 48–54, 2003.
- [100] S. V. Pavlov, T. I. Koslovskaya, and R. H. Rovira, "Design and Automation of a Videopolarimetry System for the analyzing of the Polarization Properties of a Biological Sample" *Measuring and computing technology in technological processes*, № 4 (49), с. 158–161, 2014.

- [101] N. I. Zabolotnaya, S. V. Pavlov, R. H. Rovira, and B. P. Oliynichenko "Computer Diagnostics of Optical and Anisotropic Structure of Blood Plasma on the Basis of Fuzzy Sets", *Measuring and Computing in Technological Processes: Proceedings of the XIV International Scientific and Technical Conference*, Одеса –Хмельницький: ХНУ, 2015, с.159.
- [102] Р. В.Єгоров, О. М. Чепурна, та М. О. Денисов, "Можливість використання світловода із оргскла для опромінення паталогічної зони при фотодинамічній терапії", *Внедрение современных инновационных технологий при малоинвазивных лазерных вмешательствах : клинические, экономические и технические аспекты: материалы научно-практической конференции*, Черкассы : Вертикаль, 2014, с. 152–155.
- [103] L. Taranec, O. Chepurna, V. Cholin, and N. Gamaleia, "Photodynamic therapy of tumors with controlled delivery of photosensitizer hematoporphyrin" *Translational oncology: old and new paradigms: abstracts of The Second Ukrainian-Swedish Workshop*, Kyiv, № 35 (2), pp. 148–149. 2013.
- [104] О. В. Стефанова, Доклінічне дослідження лікарських засобів, *Методичні рекомендації*, Київ : Авіцена, 2001.
- [105] В.М. Вакуленко, и Л. П. Иванов, Источники питания лазеров, Москва, 1980.
- [106] В. П. Грибовский, Полупроводниковые лазеры, *Радиофизика и электроника*, Москва, 1988.
- [107] А. В. Евстифеев, "Микроконтроллеры AVR семейства Mega" *Руководство пользователя*, Москва, 2007.
- [108] А. Б. Иванов, Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения, Москва, 1999.
- [109] А. Н. Игнатов Оптоэлектронные приборы и устройства, Москва: Эко-Трендз, 2006.
- [110] К.М. Голанта, Основы оптоэлектроники, Москва: Мир, 1988.
- [111] М.Ф. Стельмах, Приборы квантовой электроники, 1985.

- [112] В. Д. Попов, Современные аспекты квантовой терапии в клинической медицине, Киев, 1996.
- [113] В. Л. Шевченко, Основы рационального применения терапевтических лазеров, Киев: НПО «Профессор», 2003.
- [114] H. A. Isakau, T. Trukhacheva, A. I. Zhebentyaev, and P. T. Petrov, "HPLC study of chlorin and its molecular complex with polyvinylpyrrolidone, *Biomedical chromatography*,. № 21, pp. 318–325, 2007.
- [115] P. Petrov, T. Trukhacheva, G. Isakov, M. Gavrilov, V. Turyn, and E. Kravchenko, "Photolon an agent for photodynamic diagnosis and therapy: non-clinical and clinical experience" *Acta Biooptic Inform. Med.*, №10, pp.6–7, 2004.
- [116] B. Ramaswamy, V. Manivasager, W. W. L.Chin, K. C. Soo, and M. Olivo "Photodynamic diagnosis of a human nasopharyngeal carcinoma xenograft model using the novel Chlorin e6 photosensitizer Fotolon (R)", №26, pp.1501–1506, 2005.
- [117] T. V. Trukhacheva, S.V. Shlyakhtin, G. A. Isakov, "Photolon, a new tool for photodynamic therapy. Review of the results of pharmaceutical, pharmacological and clinical trials", Minsk: RUE Belmedpreparaty, pp. 64, 2009.
- [118] P.T. Petrov, "Composition for photodynamic therapy of malignant neoplasms Photolon" *Patent of Republic of Belarus*. no. 5651, Aug. 04. 1999.
- [119] С. В. Павлов, В. П. Кожем'яко, В. Г. Петрук, П.Ф. Колісник, та С. М. Марков, "Біомедичні оптико-електронні інформаційні системи і апарати", *Біотехнічні та медичні апарати*, Вінниця : ВНТУ, 2003.
- [120] В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов, та К. І. Станчук, "Оптико-електронні методи і засоби для обробки та аналізу біомедичних зображень", Вінниця : ВНТУ, 2006.
- [121] N. Ghosh, "Depolarization of light in a multiply scattering medium: effect of the refractive index of a scatterer" *Physical Review*, vol. 70, no. 6, pp. 600-607, 2004.

- [122] C. R. Simpson, M. Kohl, M. Essenpreis, and M. Cope "Near-infrared optical properties of ex vivo human skin and subcutaneous tissues measured using the Monte Carlo inversion technique", *Physics in Medicine & Biology*, vol. 43, pp. 2465–2478, 1998.
- [123] P. Taroni, A. Pifferi, and A. Torricelli, "In vivo absorption and scattering spectroscopy of biological" *Photochem. Photobiol. Sci.*, vol. 2, pp. 124–129, 2003.
- [124] D. Maberley, H. Chew, and P. Ma "Comparison of photodynamic therapy and transpupillary thermotherapy for subfoveal choroidal neovascularization due to age-related macular degeneration" *Ophthalmol.* no 40, pp. 378–383, 2005.
- [125] Adolf Friedrich Fercher, "Optische Kohärenz-Tomographie – Entwicklung, Grundlagen, Anwendungen", *Zeitschrift für Medizinische Physik*, vol. 20, Issue 4 – pp. 251–276, 2010.
- [126] S. C. Huynh, X. Y. Wang, E. Ročtichina, and P. Mitchell, "Distribution of macular thickness by optical coherence tomography: findings from a population-based study of 6-year-old children", *Invest Ophthalmol*, vol. 47, pp. 2351–2357, 2006.
- [127] Р. Гонсалес, Р. Вудс, "Цифровая обработка изображений", Москва : Техносфера, 2005.
- [128] У. Прэтт, "Цифровая обработка изображений", Москва: Мир, 1982.
- [129] A. N. Bashkatov, "Optical properties of human skin, subcutaneous and mucous tissues in the wavelength range from 400 to 2000 nm" *Journal of Physics D: Applied Physics*. t. 38, № 15, pp. 2543, 2005.
- [130] K. P. Nielsen, "The optics of human skin: Aspects important for human health", *Norw. Acad. Sci. Lett.*, pp. 35–46, 2008.
- [131] В. И. Конов, В. В. Осико, и И. А. Щербаков, "Фундаментальные достижения оптики и лазерной физики для медицины", *Вестник РАН*, т. 74, № 2, с. 99–113, 2004.

- [132] Ю. Г. Северин, "Влияние денатурации белка на размеры зоны термического поражения биоткани при ее лазерной обработке", «Сборник трудов VI Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых», № 2, с. 58–63, 2009.
- [133] G. W. Yoon, "Absorption and scattering of laser light in biological media mathematical modeling and methods for determining the optical properties" *PhD thesis, University of Texas at Austin, USA*, 1988.
- [134] Y Fukui, Y. Ajichi, E. Okada, "Monte Carlo prediction of near-infrared light propagation in realistic adult and neonatal head models" *Applied optics*. t. 42, № 16. pp. 2881–2887, 2003.
- [135] T. Hayashi, Y. Kashio, E. Okada "Hybrid Monte Carlo-diffusion method for light propagation in tissue with a low-scattering region", *Applied optics*. t. 42, № 16, pp. 2888–2896, 2003.
- [136] A. N. Bashkatov, "Optical properties of human skin, subcutaneous and mucous tissues in the wavelength range from 400 to 2000 nm", *Journal of Physics D: Applied Physics*. t. 38, №. 15, pp. 2543, 2005.
- [137] Nielsen K. P. "The optics of human skin: Aspects important for human health" *Norw. Acad. Sci. Letter*, 2008, pp. 35–46.
- [138] Eadic Formacion y consultoría [Электронный ресурс] Доступно: <http://www.eadic.com/author/admin/page/9/>
- [139] T.I. Karu, L.V. Pyatibrat, and G.S. Kalendo, "Effects of Monochromatic Low-Intensity Light and Laser Irradiation on Adhesion of HeLa Cells in vitro" *Lasers in Surgery and Medicine*, vol. 18, pp. 171-177, 1996.
- [140] V.Srinivasan "Melatonin, biological rhythm disorders and phototherapy" *Indian J Physiol Pharmacol*, vol.41, №4, pp. 309-328, 1997.
- [141] В. В. Барун, А. П. Иванов, "Спектры действия внешнего излучения на хромофоры кожного покрова человека", Альманах клинической медицины: III Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине»" Москва: МОНИКИ, 2008, т. XVII, с. 24-27.

- [142] D. E. Dolmans, D. Fukumura, and R. K. Jain, "Photodynamic therapy for cancer" *Nat Rev Cancer*, № 3, pp. 380 – 387, 2003.
- [143] T. H. Foster, S. L. Gibson, L. Gao, and R. Hilf, "Analysis of photochemical oxygen consumption effects in photodynamic therapy" *Proc. SPIE* , vol. 1645, pp. 104-114, 1992.
- [144] J. G. Levy, and M. Obochi, "New applications in photodynamic therapy" *Photochem. Photobiol.* vol. 64, № 5, pp. 737–739, 1996.
- [145] E. S. Voropay, "Photodynamic laser therapy in the transparency region of biotissues using tricarbo-cyanine dyes as photosensitizers" *Proceedings SPIE*, vol. 4749, pp. 221–227, 2002.
- [146] А. Н. Солдатов, и В. И. Соломонов, Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов, Новосибирск : Наука, 1985.
- [147] L.D. Spikes, "Chlorins as photosensitizers in biology and medicine", *Photochem. Photobiol*, vol. 6, pp. 259–274, 1990.
- [148] V. N. Zalessky, and B. A. Bobrov "Porphyrin like compounds mediated laser photodynamic plaque effect" vol. 19, pp. 1341–1342, 1990.
- [149] A. Kessel, "Photosensitization with derivatives of chlorophyll", *Photochem. and photobiology*, vol. 49, pp. 157–160, 1987.
- [150] C. Sulet, G. Moreno, and F. Ricchelli "Effects of Photofrin photodynamic action on mitochondrial respiration and superoxide radical generation, *Free Radic. Res.* vol. 26, pp. 201–208, 1997.
- [151] V. B. Loschenov, A. A. Stratonnikov, "Evaluation of blood oxygen saturation in vivo from diffuse reflectance spectra" *Journal Biomed*, № 6(4), pp. 457–467, 2001.
- [152] T. M. Scalea "Central venous oxygen saturation: a useful clinical tool in trauma patients" *Journal Trauma*, №30, pp. 1539 – 1543, 1990.
- [153] S. Takatani, C. Davies , N. Sakakibara, "Experimental and clinical evaluation of a noninvasive reflectance pulse oximeter sensor" *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, № 8(4), pp. 257–266, 1992.

- [154] P. D. Mannheim, "Wavelength Selection for Low-Saturation Pulse Oximetry", *IEEE transactions on biomedical engineering*, № 44(3), pp. 148–158, 1997.
- [155] I. Yoon, J.Z. Li, and Y.K. Shim, "Advance in photosensitizers and light delivery for photodynamic therapy" *Clin Endoscopy*, № 46, pp.7–23, 2013.
- [156] K. Orth, D. Russ, R. Steiner, and H.G. Beger, "Fluorescence detection of small gastrointestinal tumors: principles, techique, fist clinical experience", *Langenbecks Arch. Sung*, vol. 385, pp.488–494, 2000.
- [157] Н.І. Заболотна, "Поляризаційне картографування багатошарових біологічних тканин. Оптично товсті шари", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №3, с. 106–110, 2012.
- [158] Н.І. Заболотна, О.Г. Ігнатенко, К.О. Радченко, та А.К. Краснощока, "Аналіз оптичних і поляризаційно-кореляційних приладів і систем для діагностики фазово-неоднорідної структури шарів біологічних тканин і рідин", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №2(24), с. 95-107, 2012.
- [159] O.P. Mintser, N.I. Zabolotna; B.P. Oliinychenko, P. Komada, "Differential phase analysis of laser images of a polycrystalline component of blood plasma in diagnostics of pathological changes in mammary gland, *Proc. SPIE*, 2012.
- [160] Н.І Заболотна, "Архітектура і алгоритми функціонування та аналізу даних двовимірних систем лазерної поляриметрії біологічних тканин", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №1(25), с. 54-65, 2013.
- [161] Masahiro Yamanari, Masahiro Miura, and Shuichi Makita, "Birefringence measurement of retinal nerve fiber layer using polarization-sensitive spectral domain optical coherence tomography with Jonesmatrix based analysis", *Proceedings of SPIE*, vol. 6429, pp. 496–505, 2007.
- [162] J.F. de Boer, T.E. Milner and J.S. Nelson, Determination of the depth-resolved Stokes parameters of light backscattered from turbid media by use of polarization-sensitive optical oherence tomography, *Optics Letters*,– v.24, pp. 300–302, 1999.

- [163] Sanaz Alalia, Alex Vitkin "Polarized light imaging in biomedicine: emerging Mueller matrix methodologies for bulk tissue assessment", *Journal of Biomedical Optics*, vol. 20(6), 2015.
- [164] С.Є. Тужанський, та Г.Л. Лисенко, Системи лазерної відеополяриметрії для автоматизованого контролю параметрів неоднорідних біотканин, Вінниця: ВНТУ, 2011.
- [165] Тужанський, С.М. Савенков, та О.С. Клімов, "Визначення параметрів анізотропії зразка біотканин на основі аналізу головного мінора 3×3 матриці", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №1(15), с.144-153, 2008.
- [166] Н.І. Заболотна, С.В. Павлов., В.В. Шолота, та С.Є. Тужанський, "Система орієнтаційної мюллер-матричної томографії полікристалічних мереж біологічних кристалів", *Фотобіологія та фотомедицина*, №2, с. 100-106, 2011.
- [167] В.П. Кожем'яко, С.В. Павлов, та К.І. Станчук, "Оптико-електронні методи і засоби для обробки та аналізу біомедичних зображень", Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006.
- [168] S.N. Savenkov, R.S. Muttiah, Inverse polarimetry and light scattering from leaves, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, Academic Publishers, 2004.