



## Оптоелектронні медичні системи



Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Вінницький національний технічний університет

**ОПТОЕЛЕКТРОННІ  
МЕДИЧНІ СИСТЕМИ**

Вінниця  
ВНТУ  
2011

УДК [535+681.7]:615.47  
ББК 22.34:5  
048

Автори:

**С. В. Павлов, Г. С. Тимчик, В. П. Кожем'яко, З. Ю. Готра,  
П. Ф. Колісник, Т. І. Козловська**

Рекомендовано до друку Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Оптехніка». Лист № 1/11-10712 від 23 листопада 2010 р.

Рецензенти:

**І. І. Хаїмзон**, доктор технічних наук, професор  
**В. І. Осінський**, доктор технічних наук, професор  
**З. М. Микитюк**, доктор фізико-математичних наук, професор

**048** **Оптоелектронні медичні системи : навчальний посібник** / С. В. Павлов, Г. С. Тимчик, В. П. Кожем'яко та ін. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 156 с.

ISBN 978-966-641-433-8

У навчальному посібнику проаналізовано фізичні основи біомедичної оптики та застосування її у біології і медицині для контролю, ідентифікації, дослідження біологічних об'єктів, а також для вивчення природи фізичних процесів, що відбуваються в них.

Навчальний посібник розрахований на науковців, аспірантів, студентів спеціальностей «Лазерна та оптоелектронна техніка», «Біотехнічні та медичні апарати та системи».

УДК [535+681.7]:615.47  
ББК 22.34:5

**ISBN 978-966-641-433-8**

© С. Павлов, Г. Тимчик, В. Кожем'яко,  
З. Готра, П. Колісник, Т. Козловська, 2011

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ</b> .....	5
<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>1 АНАЛІЗ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ І БІОМЕДИЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУР БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ</b> .....	8
1.1 Характеристики випромінювання, взаємодіючого з біотканинами....	8
1.2 Аналіз методів взаємодії оптичного випромінювання з біологічними тканинами.....	11
1.3 Аналіз оптичних методів дослідження структур біологічних об'єктів.....	19
1.4 Основні принципи розвитку оптичних технологій для оксигеметрії.....	27
1.5 Принципи оптичної оксигеметрії у системах екстракорпорального кровообігу.....	29
<b>КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ</b> .....	32
<b>2 МАТЕМАТИЧНІ І ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ</b> ....	33
2.1 Фізичні і математичні моделі для аналізу взаємодії оптичного випромінювання з біотканинами.....	33
2.2 Аналіз аналітичних і числових методів оцінювання розповсюдження світла в біологічних середовищах.....	47
<b>КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ</b> .....	51
<b>3 ОПТОЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИ І ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПЕРИФЕРІЙНОГО КРОВООБІГУ</b> .....	52
3.1 Фізичні основи фотоплетизмографічних методів.....	52
3.2 Системне оцінювання гемодинамічних показників за параметрами пульсової хвилі.....	55
3.3 Аналіз фотоплетизмографічних методів та технологій.....	57
<b>КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ</b> .....	60
<b>4 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ОПТОЕЛЕКТРОННИХ МЕДИЧНИХ СИСТЕМ</b> .....	61
4.1 Основні рекомендації щодо вибору елементної бази при побудові оптоелектронних медичних систем.....	61
4.2 Базові компоненти оптоелектронної медичної апаратури.....	64
4.3 Програмно-алгоритмічна реалізація оптоелектронного способу діагностики периферійних судин у ХРС.....	72
4.4 Особливості використання принципу взаємодії лазерного випромінювання з біотканиною під час діагностики уражень судин у хворих на системний червоний вовчак.....	79

4.5 Методика та результати досліджень.....	80
4.6 Оптиелектронний діагностичний комплекс аналізу мікроциркуляторних порушень в запальних процесах щелепно-лицьової ділянки.....	82
4.7 Практична реалізація програмно-алгоритмічного забезпечення для оброблення фотоплетизмографічних сигналів.....	87
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	95
<b>5 ОПТИЕЛЕКТРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ НАСИЩЕННЯ ГЕМОГЛОБІНУ КРОВІ КИСНЕМ.....</b>	<b>96</b>
5.1 Спектрофотометрична оксиметрія .....	96
5.2 Особливості побудови пульсооксиметрів .....	103
5.3 Клінічне використання пульсооксиметрії .....	111
5.4 Можливі джерела похибок при пульсооксиметрії.....	117
5.5 Моніторинг напруги кисню в крові .....	120
5.6 Методика і апаратура капнометрії .....	122
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	135
Додаток А. Довідник медичних термінів, що були використані в роботі	136
Додаток Б. Оптиелектронний комплекс для аналізу мікроциркуляції серцево-судинної системи.....	137
Додаток В. Оптиелектронна діагностична система для визначення патологій в хребетно-рухомих сегментах.....	140
Додаток Г. Апарат лазерний терапевтичний «QUANTRON-LASER»....	142
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>144</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП	–	аналого-цифровий перетворювач
БД	–	база даних
БІ	–	біомедична інформація
БО "	–	біологічний об'єкт
ЕОМ	–	електронна обчислювальна машина
ІЧ	–	інфрачервоний
МІС	–	метод інтегровальної схеми
МП	–	мікропроцесор
ОЗП	–	оперативний запам'ятовувальний пристрій
ПЗ	–	програмне забезпечення
ПК	–	персональний комп'ютер
ПХ	–	пульсова хвиля
РПВ	–	рівняння перенесення випромінювання
РПР	–	рівняння промислої рівноваги
ССС	–	серцево-судинна система
СЧВ	–	системний червоний вовчак
ФПГ	–	фотоплетизмограма
ФВП	–	фотоплетизмографічний вимірювальний перетворювач
ФПМ	–	фотоплетизмографічний метод

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Поширення серцево-судинних захворювань обумовлює створення сучасних приладів діагностики і моніторингу, що спрямовані на підвищення ефективності методів реєстрації та оброблення біомедичних показників, а також розвиток медичних засобів діагностики. Розвиток новітніх медичних технологій спрямований на підвищення ефективності діагностики і лікування і, таким чином, покращення здоров'я нації [6, 8, 9, 16, 23, 24].

У кінці 70-х років інтенсивно почали розвиватися оптичні методи діагностування біотканин, зокрема, у цьому напрямку активно працював Ф. Джабсіс, що досліджував властивості розповсюдження світлового потоку у інфрачервоній області.

Дослідження в області відбивної пульсометрії довели необхідність виробництва серійних приладів з універсальними оптичними датчиками. Головна перевага таких приладів – можливість проводити вимірювання практично у будь-якій точці поверхні тіла, що дозволяє використовувати різні їх модифікації для вирішення цілого ряду спеціальних задач, пов'язаних з дослідженням показників локального кровотоку (визначення гемодинамічних показників кровотоку, діагностики порушень мікроциркуляції в хребетно-рухомих сегментах, визначення порушень рівня мікроциркуляції в щелепно-лицьовій області і т. ін.). Крім того, у залежності від особливостей методу вимірювання, що реалізується, можуть бути оцінені такі біомедичні показники, як загальна концентрація гемоглобіну, відносне кровонаповнення тканини, яка досліджується, загальна сатурація крові (ступінь насичення крові киснем), загальна концентрація білірубину [1, 2, 5].

Сучасний рівень розвитку електроніки та оптоелектроніки дозволяє будувати малогабаритні, мобільні системи діагностики, з малим споживанням енергії. А сучасні мікропроцесори дозволяють відмовитись від персональних комп'ютерів для оброблення даних і візуалізації, а розміщуючи їх безпосередньо у пристрої, досягають тим самим мобільності, зменшення собівартості та підвищення надійності.

Нові можливості для визначення показників крові дає застосування оптико-електронних датчиків. Так стає можливим безманжетне вимірювання артеріального та венозного тисків, швидке визначення рівня сатурації крові, швидкості розповсюдження крові та частоти пульсу, при цьому

сенсори досить прості у використанні та безпечні, оскільки не містять струмоведаччих контактів [3, 4].

Сьогодні значна кількість провідних науково-дослідних і промислових організацій займаються розробленням та виробництвом медичної техніки в даному напрямку. Найбільш відомі з них: Philips, MEDIC (Medizinische Messtechnik GmbH), Nonin, Cas Medical System, Radiometer, Micromed, Criticare, Ютас (Україна) та ін.

Зародженню та розвитку наукового напрямку оптичних методів діагностики та вимірювання неоднорідних біологічних середовищ, зокрема, створення оптоелектронних систем діагностики біологічних об'єктів, потрібно завдячити, насамперед, видатним науковцям, які залишили світові неоціненний скарб своїх наукових розробок і праць. Це відомі вітчизняні та зарубіжні школи: П. Бугера, Г. В. Розенберга, А. П. Іванова, С. Чандарасекара, Ж. Ж. Стокса, В. А. Амбарцумяна, В. П. Рвачова, А. Х. Тейлора, С. О. Майорова, В. П. Кожем'яка, М. М. Гуревича, В. В. Тучина, М. Ю. Сахновського, а також В. Д. Ціделка, З. Ю. Готри, В. Г. Петрука, Г. С. Тимчика, А. Я. Хайрулліної, С. П. Власової та ін.

Сучасні концепції вдосконалення біомедичної техніки призводять до значного її ускладнення задля певних діагностичних та функціональних переваг, що суттєво впливає на вартість та доступність нових апаратів і обмеження їх у масовому використанні, особливо для самоконтролю хворих. Для біомедичних апаратів чи не найважливішими характеристиками на сучасному етапі розвитку науки, є безболісність, неруйнівність, неінвазивність вимірювань у процесі діагностики. Серед методів, що можуть це забезпечити, чільне місце займають оптичні. Оптичним методам притаманні і ряд інших переваг, а саме: неінвазивність діагностування, індиферентність оптичного сигналу до електромагнітних завад, потенційна багатоканальність. Вони дозволяють досить точно визначати кількісні і якісні показники біологічних об'єктів [6, 8, 24, 185].

У цьому аспекті перспективними є роботи, що проводяться на кафедрах загальної фізики та фотоніки, лазерної й оптоелектронної техніки ВНТУ зі створення біомедичних оптоелектронних систем "око-процесорного" типу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Біомедичні оптикоелектронні інформаційні системи і апарати / [Кожем'яко В. П., Готра З. Ю., Микитюк З. М. та ін.]. – Ч.3 – Лазерні біомедичні системи : навч. посіб. – Вінниця, ВДТУ, 2000. – 143 с.
2. Биотехнические системы : теория и проектирование / [Б. М. Ахутин, А. Г. Немирко, Н. Н. Першин и др.]. – Л. : ЛГУ, 1981. – 220 с.
3. Пушкарева А. Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани : учеб. пособ. / Пушкарева А. Е. – СПб : СПбГУ ИТМО, 2005. – 103 с.
4. Паралельно-ієрархічне перетворення і Q-обробка інформації для систем реального часу / [М. О. Ковзель, Л. І. Тимченко, Ю. Ф. Кутаєв та ін.]. – К. : КУЕТТ, 2006. – 492 с.
5. Квантові перетворювачі на оптоелектронних логіко-часових середовищах для око-процесорної обробки зображень / [В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, О. І. Суприган, Д. І. Клімкіна]. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 126 с.
6. Фотоплетизмографічні технології контролю серцево-судинної системи / [С. В. Павлов, В. П. Кожем'яко, В. Г. Петрук, П. Ф. Колісник]. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 254 с.
7. Tuchin V. Handbook of Optical Biomedical Diagnostics / V. Tuchin. – Bellingham. : SPIE, 2002. – 1093 p.
8. Кожем'яко В. П. Оптико-електронні методи і засоби для обробки та аналізу біомедичних зображень / Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Станчук К. І. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 203 с.
9. Володарский Е. Т. Планирование и организация измерительного эксперимента / Володарский Е. Т., Малиновский Б. Н., Туз Ю. М. – К. : Вища школа, 1987. – 280 с.
10. Тимчик Г. С. Про дифракцію світлової хвилі на впродовжньо-асиметричній щілині / Григорій Семенович Тимчик. – Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, 2001. – № 2. – С. 129–134.

11. Чутники електромагнітного випромінювання для біотехнічних досліджень / [Тимчик Г. С., Скицюк В. І., Вайнтрауб М. А., Клочко Т. Р.]. – К. : МП Леся, 2004. – 64 с.
12. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. / [Вуйцік В. С., Готра З. Ю., Готра О. З. та ін.] : за ред. З. Ю. Готри. – Т. 3, кн. 2. – Львів : Ліга-Перес, 2007. – 367 с.
13. Кузовик В. Д. Процедура побудови математичної моделі процесу експлуатації та ремонту медичного обладнання / В. Д. Кузовик, О. Б. Іванець С. Ю. Шабанова // Електроніка та системи управління. – 2005. – № 4. – С. 105–110.
14. Азаров О. Д. Високолінійні порозрядні АЦП з ваговою надлишковістю для систем реєстрації та оброблення сигналів / Азаров О. Д., Архипчук О. А., Захарченко С. М. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 125 с.
15. Хаїмзон І. І. Розробка та дослідження ефективності нових інформаційних технологій ведення, обробки та обліку медичної документації в умовах відділення стаціонару : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.13.02 / І. І. Хаїмзон. – НАН України. – К., 1995. – 30 с.
16. Основи метрології та вимірювальної техніки. Основи метрології. Т. 1 : підруч. / [Дорожець М., Мотало В., Стадник Б. та ін.] за ред. Б. Стадника. – Львів : Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”, 2005. – 532 с.
17. Прикладная лазерная медицина : учеб. и справоч. пособ. / [под ред. Х. П. Берльена, Г. Й. Мюллера]. – М. : Интерэксперт, 1997.
18. Биологическая и медицинская кибернетика : справочник / [Минцер О. П., Молотков В. Н. и др.]. – К. : Наукова думка, 1986. – 374 с.
19. Кожем'яко В. П. Оптичний метод діагностики мікроциркуляторних порушень в хребтно-рухомих сегментах / В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов, П. Ф. Колісник [та ін.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – №3. – С. 131-136.
20. Павлов С. В. Анализ оптических методов оценки физиологических свойств кожи / С. В. Павлов, Рами Хамди, П. Ф. Колесник [и др.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – №3. – С.137-141.

21. Кожем'яко В. П. Оптичні методи оцінки мікроциркуляції в щелепно-лицьовій області / В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов, Я. О. Гальченко, О. С. Барило // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – №3. – С.56–60.

22. Павлов С. В. Лазерний діагностичний комплекс аналізу мікроциркуляторних порушень при запальних процесах щелепно-лицьової ділянки / С. В. Павлов, О. С. Барило, Я. О. Гальченко [та ін.] // Український журнал медичної техніки та технології. – 2000. – № 1–2. – С. 37–39.

23. Кожем'яко В. П. Застосування KVP-перетворень в засобах представлення інформації / В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов, О. І. Понура, К. В. Кожем'яко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – №1. – С. 101–106.

24. Кожем'яко В. П. Аналіз зображень вторинної флюоресценції при діагностиці захворювань рогівки / В. П. Кожем'яко, Й. Р. Салдан, С. В. Павлов [та ін.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – №3. – С. 147–149.

25. Kozhemyako V. P. Method of Cardio-Vascular System State Estimation by Level of Eye Conjunctiva Microcirculation / V. P. Kozhemyako, S. V. Pavlov, S. V. Chermnyuk // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2000. – Т.2, №4. – С. 57–61.

26. Павлов С. В. Ефективність застосування лазерних технологій в медичній практиці / С. В. Павлов, Т. Т. Ошовська, С. Є. Тужанський [та ін.] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2001. – № 2. – С. 120–123.

27. Салдан Й. Р. Застосування оптико-електронних інформаційних систем для аналізу мікроциркуляції кон'юнктиви ока / Й. Р. Салдан, С. В. Павлов, П. Ф. Колісник [та ін.] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2001. – № 2. – С. 124–128.

28. Годованюк В. Н. Состояние и перспективы микрофото-электронного комплекса в Черновицком регионе Украины / В. Н. Годованюк, Ю. Г. Добровольский, С. Э. Остапов [и др.] // Прикладная физика, 2003. – № 3. – С. 72–83.

29. Сахновский М. Ю. : Дисс. канд. физ.-мат. наук: спец. 05.11.07 / Сахновский М. Ю. – Л. : ГОИ, 1965. – 154 с.

30. Приезжев А. В. Лазерная диагностика в биологии и медицине / Приезжев А. В., Тучин В. В., Шубочкин Л. П. – Г. : Наука, 1989. – 238 с.

31. Павлов С. В. Методи обробки біосигналів із застосуванням фільтрації / С. В. Павлов, К. І. Станчук, Мохамед Ель-Хатіб, О. М. Семенець // Вимірювальна обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – №2. – С. 96–100.

32. Павлов С. В. Метрологічний аналіз інформаційно-вимірювального каналу оптико-електронної системи для дослідження мікроциркуляції / С. В. Павлов, Мохамед Ель-Хатіб, М. В. Матохнюк, О. М. Семенець // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 3. – С.36–39.

33. Кожем'яко В. П. Оптикоелектронний метод вивчення судинних і мікроциркуляторних порушень у хреботно-рухомих сегментах за коефіцієнтом асиметрії / В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов, П. Ф. Колісник [та ін.] // Український журнал медичної техніки і технології. – 2001. – №1. – С. 27–32.

34. Володарський Є. Т. Статистична обробка даних / Є. Т. Володарський, Л. О. Кошева. – К. : НАУ, 2008. – 308 с.

35. Ротштейн О. П. Спосіб оцінки стану серцево-судинної системи методом нечітких множин / О. П. Ротштейн, С. В. Павлов, П. Ф. Колісник [и др.] // Применение лазеров в медицине и биологии : XXV междунар. науч.-практ. конф., Луцк, 24-28 мая 2006 г. : тезисы докл. – Харьков, 2006. – С. 127–128.

36. Ситько С. П. Аппаратное обеспечение современных технологий квантовой медицины / Ситько С. П., Скрипник Ю. А., Яненко А. Ф. – "Федос Лтд." – К. : 1999. – 199 с.

37. Шарпан О. Б. Оцінка впливу неоднорідності біотканини на чутливість частотного розподілу комплексного електричного імпедансу / О. Б. Шарпан, Д. В. Безякіна // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2005. – № 6. – С. 14–18.

38. Рибін О. І. Аналіз пульсограм на базі процедури нормалізації ортогональних перетворень REX / О. І. Рибін, Т. В. Сакалош, О. Б. Шарпан // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2005. – № 4. – С. 29–33.

39. Рыбин А. И. Коэффициенты преобразования нормализованных ортогональных преобразований и диагностика пульсограмм / А. И. Рыбин, О. Б. Шарпан, Е. Г. Григоренко, Т. В. Сакалош // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. приладобудування. – 2005. – Вип. 30. – С. 148–156.

40. Гусева О. В. Оцінка чутливості вимірювань потенціалів при багатоканальній імпедансній томографії / О. В. Гусева, В. І. Найдено,

О. Б. Шарпан // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – 2006. – № 1. – С.12–18.

41. Шарпан О. Б. Аналіз характеру залежності між пульсовим тиском в артерії та амплітудою неінвазивно зареєстрованого пульсового сигналу / О. Б. Шарпан, О. П. Мітров // Вісник НТУУ „КПІ”. Сер. радіотехніки і радіоапаробудування. – 2006. – № 33. – С. 136–141.

42. Акаев А. А. Оптические методы обработки информации / А. А. Акаев, С. А. Майоров. – М. : Высшая школа., 1988. – 214 с.

43. Циделко В. Д. Метрологическое обеспечение ЭВМ / В. Д. Циделко, Н. Д. Яремчук. – К. : УМК ВО, 1988. – 100 с.

44. Кожем'яко В. П. Оптико-електронні біотелеметричні системи для підтримки прийняття рішень / В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов, П. Ф. Колесник, І. І. Бурденюк // Internet. Education. Science. Proceedings of Fifth International Conference “New Information and Computer Technologies in Education and Science “IES-2006”. – Vinnytsia, 2006. – V.2. – P. 621–623.

45. Барияк А. Я. Ефективність застосування лазерних технологій в стоматології / А. Я. Барияк, С. В. Павлов, О. С. Барило, І. В. Шевчук // Применение лазеров в медицине и биологии : XXVI междунар. науч.-практ. конф., Ялта, 11-14 октября 2006 г. : тезисы докл. – Харьков, 2006. – С. 14–15.

46. Павлов С. В. Оптоэлектронная информационно-измерительная система анализа гемодинамики сердечно-сосудистой системы / С. В. Павлов, И. В. Мысловский, Н. В. Ганыш // Применение лазеров в медицине и биологии : XXVI междунар. науч.-практ. конф., Ялта, 11-14 окт. 2006 г. : тезисы докл. – Харьков, 2006. – С. 161–162.

47. Павлов С. В. Оптоэлектронні технології аналізу мікроциркуляції в щелепно-лицьовій області / С. В. Павлов, О. С. Барило, Ахмед Авад // Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікації та приладобудування (СПМРТПІ-2006) : II міжнар. наук.-техн. конф., Вінниця, 16-19 лист. 2006 р. : тези доп. – Вінниця, 2006 – С. 153–154.

48. Коробов А. М. Перспективність застосування фотонних технологій в біомедичній практиці / А. М. Коробов, С. В. Павлов, А. С. Васюра [та ін.] // Применение лазеров в медицине и биологии. Шестые Васильевские чтения : XXVII междунар. науч.-практ. конф., Харьков, 18-21 апр. 2007 г. : тезисы докл. – Харьков, 2007. – С. 28–29.

49. Кожем'яко В. П. Багатофункціональний прилад віддаленого діагностування / В. П. Кожем'яко., С. В. Павлов, О. В. Шевченко //

Применение лазеров в медицине и биологии. II Шахбазовские чтения : XXVIII междунар. науч.-практ. конф., Ялта, 21-24 окт. 2007 г. : тезисы докл. – Харьков, 2007. – С. 130–132.

50. Павлов С. В. Фотоплетизмографічні технології при аналізі периферійної мікроциркуляції у щелепно-лицьовій області / С. В. Павлов, В. Б. Василенко, О. С. Барило // Применение лазеров в медицине и биологии. II Шахбазовские чтения : XXVIII междунар. науч.-практ. конф., Ялта, 21-24 окт. 2007 г. : тезисы докл. – Харьков, 2007. – С. 132–134.

51. Петрук В. Г. Дослідження інтерактивного поляризаційного спектро-екстинкциметра / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, В. І. Солоненко, С. В. Павлов // Применение лазеров в медицине и биологии. II Шахбазовские чтения : XXVIII междунар. науч.-практ. конф., Ялта, 21-24 окт. 2007 г. : тези доп. – Харьков, 2007. – С. 134–135.

52. Kubelka P. Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche / P. Kubelka, F. Munk / Zeits. für techn. Physik. – 1931. – Vol. 12. – P. 593–601.

53. Захаров И. П. Теория неопределенности в измерениях : учеб. пособ. / И. П. Захаров, В. Д. Кукуш. – Харьков : Консум, 2002. – 256 с.

54. Богачук В. В. Оцінка комбінованої стандартної невизначеності вимірювань вологості сипучих матеріалів / В. В. Богачук, В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацив, І. К. Говор // Вісник ВПІ. – 2007. – №3. – С. 59–66.

55. Утц С. Р. Применение неинвазивных методов диагностики в экспериментальной дерматологии / Утц С. Р., Кнушке П., Синичкин Ю. П. : Вестник дерматологии. – 1997. – № 1. – С. 13–16.

56. Продеус А. Н. Экспертные системы в медицине / А. Н. Продеус, Е. Н. Захрабова. – К. : БЕК, 1998. – 320 с.

57. Кирчик В. С. Качественная оценка эффективности систем диагностирования. Повышение качества и надежности промышленных изделий. / Кирчик В. С., Красников В. С., Толасов В. А. – Л., 1978.

58. Павлов С. В. Разработка и исследование оптоэлектронной информационно-измерительной системы преобразования биомедицинской информации / Дисс. ...кандидата техн. наук : 05.11.17 / Павлов Сергей Владимирович. – Винница, 1995. – С. 114.

59. Назаренко Л. А. Оптимизация конструкции диффузной интегрирующей сферы и способа измерения спектральных коэффициентов отражения / Л. А. Назаренко, В. И. Полевой, А. Д. Купко [и др.] // Український метрологічний журнал. – 2000. – № 2. – С. 40–44.

60. Петрук В. Г. Аналіз спектрів дифузного відбивання інтактної і травмованої біотканини / В. Г. Петрук, М. А. Томчук, О. І. Моканюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – №2. – С. 149–151.

61. Петрук В. Г. Аналіз трансформації світлового поля у інтегрувальному резонаторі / В. Г. Петрук, М. А. Томчук, В. С. Гаркушевський // Вісник ВПІ. – 1997. – №1. – С. 88–93.

62. Петрук В. Г. Розробка та аналіз математичної моделі трансформації випромінювання біотканиною / В. Г. Петрук, М. А. Томчук, Г. О. Черноволик, Ю. А. Бозняк // Вісник ВПІ. – 2000. – № 2. – С.18–22.

63. Ротштейн А. П. Прогнозирование футбольных матчей на основе нечеткой модели с генетико-нейронной настройкой / А. П. Ротштейн, М. Познер, А. Б. Ракитянская // Кибернетика и системный анализ. – 2005. – № 4. – С. 171–183.

64. Петрук В. Г. Компьютерно-измерительная система диагностики онкопатологий / В. Г. Петрук, В. А. Поджаренко, В. В. Кухарчук [та ін.] // Матер. НТК с междунар. участ. : Приборостроение-92. – Винница–Керчь, 1992. – С. 74.

65. Кожем'яко В. П. Аналіз кореляційних методів обробки зображень / В. П. Кожем'яко, К. І. Станчук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – №3. – С. 150-154.

66. Власова С. П. Фотоплетизмограмма в оценке ремоделирования и реактивности артерий у больных с гипертонической болезнью / С. П. Власова, П. А. Лебедев, Л. И. Калакутский // Фундаментальные исследования и прогресс в кардиологии : Конгресс ассоциации кардиологов стран СНГ. – Санкт-Петербург, 2003. – С.164.

67. Полішко С. П. Точність засобів вимірювань : [пер. з рос. Клімченко В. В.] / С. П. Полішко, О. Д. Трубенюк. – К. : Вища школа, 1992. – 173 с.

68. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат, 1985. – 247 с.

69. Поджаренко В. А. Метрологические основы компьютерно-измерительной техники : учебн. пособ. / В. А. Поджаренко, В. В. Кухарчук. – К. : УМК ВО, 1989. – 216 с.

70. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии : учебн. пособ. / С. Уэлстид. – М. : Триумф, 2003 – 320 с.

71. Багаев С. Н. Спектрометр светового рассеивания для задач медицинской диагностики / С. Н. Багаев, В. А. Орлов, С. В. Панов // Медицинская диагностика. – 1995. – № 3. – С. 8–10.

72. Гайбуллаев Б. А. Об использовании волоконно-оптических устройств при транскутанной диагностике / Б. А. Гайбуллаев, В. Д. Козлов, А. Я. Хайрулина // ЖПС. – Т. 59, № 5–6. – 1993. – С. 588-590.

73. Хайруллина А. Я. О возможности оптической диагностики одно- и многослойных структур, моделирующих органы человека / А. Я. Хайруллина, Т. В. Олейник, И. Л. Кацев // Оптика и спектроскопия. – 1993. – Т. 75, вып. 1. – С. 130–137.

74. Дерябин Е. І. Застосування фотоплетизмографії для дослідження локального кровотоку щелепно-лицьової області / Е. І. Дерябин., Е. Е. Двiнянінова, В. Г. Ваганова [та ін.] // Лазерна медицина. – № 3 (2). – 1999. – С. 72–26.

75. Шабаров В. Л. Рассеяние оптического излучения биологическими тканями / В. Л. Шабаров, В. Н. Жогун, А. П. Иванов [и др.] // ЖПС. – Т.47, № 5. – 1987. – С. 825–829.

76. Петрук В. Г. Метод біомедичної експрес-діагностики за спектрами дифузного відбивання з застосуванням виносного інтегруючого зонда / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, М. А. Томчук, В. В. Погорілий // Матер. НК з міжнар. участю. – Хмельницький : ТУП. – 1995. – С. 237.

77. Утц С. Р. Флюоросцентная спектроскопия кожи / С. Р. Утц, Й. Барт, П. Кнушке // Вестник дерматовенерологии. – 1989. – № 6. – С. 20-23.

78. Кравченко В. И. Неинвазивный оптический метод определения коэффициентов раасеяния и удельного объема крови в биологической ткани in vivo / В. И. Кравченко, С. А. Мамилов, Ю. С. Плаксий [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2005. – Т. 72, № 1. – С. 119–123.

79. Дубова Г. С. Спектры миллимолярных показателей поглощения метгемоглобинов цельной крови в диапазоне длин волн 660–1000 нм / Г. С. Дубова, Э. А. Мишуков, А. Я. Хайруллина // ЖПС. – Т.44, 1986. – №3. – С. 446–449.

80. Дубова Г. С. Определение спектров поглощения гемоглобина методами светорассеяния / Г. С. Дубова, А. Я. Хайруллина, С. Ф. Шумилина // ЖПС. – Т. 27, № 5. – 1977. – С. 871–878.

81. Kourganoff V. Basic methods in transfer problems / V. Kourganoff, J. W. Busbridge // Clarendon Univ. Press. – Oxford, 1952. – P. 282.

82. Хайруллина А. Я. Исследование биоклеток методами светорассеяния : Распространение света в дисперсной среде. / Хайруллина А. Я. – Минск. : Наука і техніка, 1982. – С. 275–292.

83. Будяк В. Н. Метод и прибор с микропроцессорной обработкой информации для неинвазивного определения гемоглобина в тканях человека / В. Н. Будяк, В. М. Корсунский, А. А. Снегур [и др.] // Український журнал медичної техніки і технології. – 1998. – №4. – С. 50–56.

84. Медико-технические требования на безманжетный анализатор гемодинамики сердечно-сосудистой системы / В. П. Кожемяко, С. В. Павлов [и др.] / утв. Президией Комитета по новой медицинской технике Украины 29. 06. 94. – К. : 1994. – 11 с.

85. Хайруллина А. Я. Банк данных по оптическим и биофизическим свойствам крови, биотканей и биожидкостей в видимой и ближней ИК-области спектра / А. Я. Хайруллина, Т. В. Олейник, Л. М. Буй // Оптический журнал. – 1997. – Т. 64, № 3. – С. 91–97.

86. Приезжев А. В. Лазерная диагностика в биологии и медицине / Приезжев А. В., Тучин В. В., Шубочкин Л. П. – Г. : Наука, 1989. – 238 с.

87. Хайруллина А. Я. О закономерностях направленного и диффузного пропускания монослоев частиц с различной плотностью упаковки и оптическими свойствами / А. Я. Хайруллина // Оптика и спектроскопия. – 1982. – Т. 53, № 6. – С. 1043–1048.

88. Петрук В. Г. Неінвазивна експрес-діагностика "КРАШ"-синдрому на основі вимірювального контролю спектрів дифузного відбивання біотканин / В. Г. Петрук, М. А. Томчук, В. В. Столяр, В. В. Мельник // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький : ТУП. – Вип. № 3. – 1999. – С. 147–151.

89. Думенко В. П. Спектрофотометричні методи для аналізу показників крові / В. П. Думенко, С. В. Павлов, Н. В. Мазур // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. // 2006. – №1 (11). – С. 156–159.

90. Думенко В. П. Інформаційні технології перетворення фотоплетизмографічних сигналів / В. П. Думенко, О. Д. Азаров,

С. В. Павлов, В. П. Мисловський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – №1 (13). – С. 128–133.

91. Думенко В. П. Інформаційні технології для оброблення фотоплетизмографічної інформації / В. П. Думенко, С. В. Павлов, В. І. Солоненко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – №2 (14). – С. 193–197.

92. Думенко В. П. Аналіз методів взаємодії оптичного випромінювання з біотканинами і шляхи їх удосконалення / В. П. Думенко, С. В. Павлов, Т. І. Козловська, С. М. Марков // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : розділ «Біомедичні вимірювання і технології» – 2008. – №2. – С. 129–135.

93. Думенко В. П. Застосування методу Монте-Карло для аналізу оптичних характеристик біологічного середовища / В. П. Думенко, С. В. Павлов, Т. І. Козловська // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – №2 (16). – С. 139–144.

94. Думенко В. П. Оптикоелектронна інформаційна система для дослідження мікроциркуляції периферійних судин / В. П. Думенко, М. В. Матохнюк, І. Я. Островський, А. І. Лученко // Photonics-ODS'01 : міжнар. наук.-техн. конф., 27-28 квіт. 2001 р. : тези доп. – Вінниця, 2001. – С. 47.

95. Думенко В. П. Перспективність оптико-електронних методів при діагностиці уражень судин у хворих на СВЧ / В. П. Думенко, М. А. Станіславчук, С. В. Павлов, С. В. Шевчук // Photonics-ODS'02 : міжнар. наук.-техн. конф., 27-28 квіт. 2002 р. : тези доп. – Вінниця. – 2002. – С. 55.

96. Думенко В. П. Аналіз лазерних систем для біомедичних досліджень / В. П. Думенко, П. Г. Прудіус, А. С. Чернуха // Photonics-ODS'2005 : III міжнар. наук.-техн. конф. з оптикоелектронних інформаційних технологій, 27-28 квіт. 2005 р. : тези доп. – Вінниця, 2005. – С. 157–158.

97. Думенко В. П. Оптичні методи визначення гемодинамічних показників серцево-судинної системи / В. П. Думенко, Н. В. Мазур // Photonics-ODS'2005 : III міжнар. наук.-техн. конф. з оптикоелектронних інформаційних технологій, 27-28 квіт. 2005 р. : тези доп. – Вінниця, 2005. – С. 165–166.

98. Думенко В. П. Аналіз біофізичного механізму дії лазерного випромінювання на тканину / В. П. Думенко, З. Ю. Готра, Н. В. Ганиш [та

- ін.] // Применение лазеров в медицине и биологии : XXV междунар. науч.-практ. конф., 24-28 трав. 2006 р. : тези доп. – Луцк, 2006. – С. 100.
99. Думенко В. П. Биосенсоры на основе эффекта поверхностного плазменного резонансу / В. П. Думенко, А. О. Калініна // Применение лазеров в медицине и биологии : XXV междунар. науч.-практ. конф., 24-28 трав. 2006 р. : тези доп. – Луцк, 2006. – С. 101.
100. Думенко В. П. Оптический метод диагностики stanu периферійних судин / В. П. Думенко, П. Ф. Колісник, І. В. Мисловський, В. В. Хомовський // Применение лазеров в медицине и биологии : XXV междунар. науч.-практ. конф., 24-28 трав. 2006. : тези доп. – Луцк, 2006. – С. 69 – 70.
101. Пат. 19123 UA, МКВ А 61 В 10/00. Спосіб виявлення позитивних чутливих точок у хворих на фіброміалгію / Хоменко В. М., Павлов С. В., Станіславчук М. А., Думенко В. П.; заявл. 16. 02. 2006 – Бюл. № 12. – 3 с.
102. Думенко В. П. Нейронные системы на квантрон-автоматах / В. П. Думенко, В. П. Кожемяко, Л. А. Волонтырь, А. А. Штельмах // междунар. науч.-молодеж. шк., 28 сентября – 3 октября 2009 р. : тезисы докл. – Донецк, 2009. – С. 9–11.
103. Хайруллина А. Я. Определение оптических констант гемоглобина в эритроцитах методами светорассеяния : Механизмы регуляции в системе крови. Ч. II. – Красноярск, 1978. – С.135–136.
104. Khairullina A Ja. Multi wavelength pulse oximetry in the measurement of hemoglobin fractions. SPIE, 1996. – Vol. 2676. – P. 332.
105. Kourganoff V. Basic methods in transfer problems / V. Kourganoff, J. W. Busbridge // Clarendon Univ. Press. – Oxford, 1952. – P. 282.
106. Делоне Н. Б. Атом в сильном поле лазерного излучения / Делоне Н. Б. – М. : ФИЗМАТДИТ, 2002. – 64 с.
107. Зеге Э. П. Отражение и пропускание света рассеивающим слоем с отражающими границами / Э. П. Зеге, И. Л. Кацев // ЖПС. – 1979. – Т.31, № 2. – С. 327–333.
108. Будяк В. Н. Метод и прибор с микропроцессорной обработкой информации для неинвазивного определения гемоглобина в тканях человека / В. Н. Будяк, В. М. Корсунский, А. А. Снегур [и др.] // Український журнал медичної техніки і технології. – 1998. – № 4. – С. 50-56.
1. Медико-технические требования на безманжетный анализатор гемодинамики сердечно-сосудистой системы / В. П. Кожемяко, С. В. Павлов : утв. Президией Комитета по новой медицинской технике Украины 29. 06. 94. – К., 1994. – 11 с.
2. Хайруллина А. Я. Банк данных по оптическим и биофизическим свойствам крови, биотканей и биожидкостей в видимой и ближней ИК-области спектра / А. Я. Хайруллина, Т. В. Олейник, Л. М. Буй // Оптический журнал. – 1997. – Т.64, № 3. – С. 91–97.
3. Петрук В. Г. Неінвазивна експрес-діагностика "КРАШ"-синдрому на основі вимірювального контролю спектрів дифузного відбивання біотканин / В. Г. Петрук, М. А. Томчук, В. В. Столяр, В. В. Мельник // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький : ТУП. – Вип. № 3. – 1999. – С.147–151.
4. Павлов С. В. Оптикоелектронні інформаційні технології для дослідження трофічного комплексу тканин / С. В. Павлов, П. Ф. Колісник, В. П. Думенко, Т. І. Козловська // Применение лазеров в медицине и биологии : XXXII междунар. науч.-практ. конф., 7-10 октября 2009 г. : тезисы докл. – Гурзуф, 2009. – С. 198–200.
5. Злепко С. М. Апаратно-програмний комплекс для оцінювання функціонального стану людини / С. М. Злепко, Л. Г. Коваль, С. Тимчик, В. П. Думенко // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : міжнар. наук.-техн. конф., Ч. 2, 8-10 жовт. 2009 р. : тези доп. – Вінниця, 2009. – С. 41-42.
6. Павлов С. В. Оптико-електронна система діагностики периферійного кровообігу / С. В. Павлов, Т. І. Козловська, В. П. Думенко // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : IV міжнар. наук.-техн. конф., Ч. 2, 8-10 жовт. 2009 р. : тези доп. – Вінниця, 2009. – С. 48.
7. Перов С. Н. Принципы оптической оксигеметрии в системах экстракорпорального кровообращения / С. Н. Перов, Н. П. Коротков, В. В. Куземко [та ін.] // Мед. Техника, 1992. – №5. – С. 18–21.
8. Исмару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах : в 2 т. / Исмару А. – М. Мир, 1981 – Т. 1. – 1981. – 280 с.

Навчальне видання

**Сергій Володимирович Павлов**

**Григорій Семенович Тимчик**

**Володимир Прокопович Кожем'яко**

**Зенон Юрійович Готра**

**Петро Федорович Колісник,**

**Тетяна Іванівна Козловська**

## **ОПТОЕЛЕКТРОННІ МЕДИЧНІ СИСТЕМИ**

Навчальний посібник

Редактор О. Скалоцька

Оригінал-макет підготовлено Т. Козловською

Підписано до друку 17.10.2011 р.

Формат 29,7×41¼. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 10,2

Наклад 300 (1-й запуск 1-50) прим. Зам. № 2011-160

Вінницький національний технічний університет,

навчально-методичний відділ ВНТУ.

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 59-85-32.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті

в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 59-87-38.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.