

Министерство образования и науки Украины
Винницкий национальный технический университет

На правах рукописи

РОВИРА ХУРАДО РОНАЛЬД УМБЭРТО

УДК 615.471.03:616.073

**МЕТОД И СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЙ ПОЛЯРИМЕТРИИ ДЛЯ
ОЦЕНИВАНИЯ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ
ТКАНЕЙ**

Специальность 05.11.17 - Биологические и медицинские приборы и системы

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Павлов Сергей Владимирович,
доктор технических наук, профессор

Винница – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ БИОТКАНЕЙ	14
1.1. Анализ и классификация методов диагностики биотканей	14
1.1.1. Инструментальные методы диагностики онкологических заболеваний	14
1.1.2. Методы диагностики патологических изменений кожной ткани	19
1.2. Методы анализа состояния поляризации света при взаимодействии с биотканями	22
1.3. Анализ и классификация методов и устройств лазерной поляриметрии биотканей	30
1.4. Требования к системе автоматизированной лазерной поляриметрии для оценивания патологических изменений биотканей	39
1.5. Выводы к разделу 1	41
РАЗДЕЛ 2. МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА С БИОТКАНЯМИ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИХ АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ	43
2.1. Модель взаимодействия поляризованного оптического излучения с рассеивающими биотканями	43
2.2. Имитационное моделирование процессов миграции фотонов в человеческой коже	50
2.3. Имитационное моделирование процессов преобразования поляризованного оптического излучения в биологической ткани	62
2.4. Выводы к разделу 2.	72

РАЗДЕЛ 3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЛАЗЕРНОЙ ПОЛЯРИМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПАТОЛОГИЙ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ .	74
3.1. Методика и схема измерений лазерного поляриметра для анализа патологий БТ	74
3.2. Универсальный метод оценивания анизотропных свойств биологических тканей	81
3.3. Метод нечеткой логики для оценивания состояния патологий анизотропных БТ	86
3.4. Многофункциональная система автоматизированной лазерной поляриметрии биотканей.	93
3.5. Усовершенствование системы лазерной видеополяриметрии БТ .	102
3.5.1. Динамический поляризационный генератор 2-D поляриметра . .	102
3.6. Выводы к разделу 3	106
РАЗДЕЛ 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БИОТКАНЕЙ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОЙ ПОЛЯРИМЕТРИИ	108
4.1. Анализ характеристик систем лазерной поляриметрии БТ	108
4.1.1. Анализ точности определения параметров Стокса в схеме поляриметра.	108
4.1.2. Анализ неоднозначности выходного состояния поляризации САЛП	114
4.1.3. Оптимизация анализатора САЛП на основе генетического алгоритма	118
4.2. Экспериментальные исследования гистологических срезов эпидермиса человеческой кожи.	121
4.2.1. Локальная Мюллер-поляриметрия срезов эпидермиса	121
4.2.2. Видеополяриметрия срезов эпидермиса кожи	128
4.3 Локальная поляриметрия кожи мышей в режиме обратного рассеивания	133
4.4. Оценка погрешности расчета элементов матриц Мюллера	137

4.5. Оценка точности определения параметров линейной фазовой анизотропии САЛП.	140
4.6. Выводы к разделу 4	150
ВЫВОДЫ	153
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	156
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Акты внедрения результатов работы	173
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Приемный канал системы адаптивной лазерной поляриметрии САЛП.	175
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Листинг программы имитационного моделирования миграции фотонов через человеческую кожу	176
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Листинг программы имитационного моделирования оценки влияния факторов несовершенства элементов оптической схемы системы лазерной поляриметрии на точность определения параметров линейной фазовой анизотропии модельного объекта	182

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Разработка и усовершенствование средств инструментальной диагностики структурных и патологических изменений в биологических тканях является одной из важных задач современной биомедицины. Особую значимость имеет разработка методов и средств диагностики онкологических заболеваний, которые способны распознать новообразования на ранних стадиях их проявлений. Комплекс методов, позволяющих проводить инструментальную диагностику онкозаболеваний, в последнее время расширился благодаря развитию оптических и лазерных технологий (оптическая когерентная томография (ОКТ), спектроскопия, конфокальная микроскопия и др.) [1-6].

Перспективным направлением биомедицинской диагностики является развитие автоматизированных систем измерения и неразрушающего контроля поляризационных свойств биотканей (БТ), которые используют зондирование лазерным пучком. Определение поляризационных характеристик БТ дает возможность исследовать изменения структурных свойств под влиянием различных патологий [7-12].

Использование в медицинской практике оптического излучения (ОИ) связано с особенностями описания процессов его взаимодействия с БТ. Аналитические решения задач распространения ОИ в биологических средах получить достаточно сложно, поэтому используют различные численные методы, в частности универсальный метод Монте-Карло [13-17]. Однако они не позволяют адекватно описать динамику изменения состояния поляризации ОИ, поэтому возникает необходимость разработки математических методов и алгоритмов, которые учитывают состояния поляризации зондирующих фотонов при распространении света в БТ.

Направлению развития оптических и поляриметрических методов для определения параметров БТ уделяется много внимания со стороны украинских и зарубежных исследователей, о чем свидетельствует большое количество публикаций, появившихся в последние десятилетия.

В последнее время происходит значительный прогресс в развитии поляризационных методов медицинской диагностики. Сформировались такие новые

направления, как поляризационно-чувствительная оптическая когерентная томография биотканей (Дж. Ф. Де Бур, Т. Милнер, И. А. Виткин), оптическая поляриметрия биотканей (В. В. Тучин, Д. А. Зимняков, А. Н. Ярославский, Р. А. Чипман, Л. Ванг, С.Л. Жак, Н. Гош, А. И. Виткин и др.). Фундаментальные результаты в этой области получены в работах украинских исследователей А. Г. Ушенко, О. В. Ангельского, О. Г. Влоха, В. Г. Петрука, Г. С. Тимчика, С. Н. Савенкова, С. В. Павлова, Н. И. Заболотной и других.

Определение поляризационных параметров дает возможность исследовать динамику патологических и дистрофических структурных изменений в анизотропных БТ под влиянием различных факторов. Так, на клеточном уровне значительное количество БТ является упорядоченными структурами, которые способны проявлять при оптическом зондировании анизотропные свойства (оптическую активность, двулучепреломление, дихроизм и др.) [5-7].

Однако, несмотря на заметные успехи, процесс внедрения лазерной поляриметрической диагностики БТ в медицине еще далек от завершения. Существующие методы и средства оптической поляриметрии являются затруднительными для исследования случайно-неоднородных биотканей. Неоднородность таких БТ обуславливает сильное рассеивание ОИ в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах длин волн. Также нуждаются в более глубоком изучении особенности процессов взаимодействия поляризованного излучения с тканями человека при обратном рассеивании.

К широкому разбросу значений оптических параметров БТ приводят различия в методиках подготовки и проведения экспериментов поляриметрии. Поэтому интерпретация информации при исследованиях состояния биологических объектов и тканей является сложной задачей.

Поэтому поиск новых подходов, включая создание более совершенных автоматизированных средств лазерной поляриметрии биотканей – важная и актуальная задача современной биомедицинской диагностики.

Таким образом, тема диссертационной работы является актуальной и направлена на решение задачи создания методов и средств для оценивания патологических изменений биологических тканей на основе анализа их

поляризационных характеристик.

Связь с научными программами, планами, темами. Тематика диссертации соответствует приоритетным направлениям развития науки в Украине. Основное содержание работы составляют результаты исследований, которые проводились на кафедре общей физики и фотоники ВНТУ и кафедры квантовой радиофизики Киевского национального университета им. Тараса Шевченко. Работа выполнялась в соответствии с планом научных исследований Винницкого национального технического университета и Министерства образования и науки Украины по госбюджетным темам: «Разработка неинвазивных оптико-электронных систем двумерной поляризационной томографии фазово-неоднородных биологических объектов» (номер государственной регистрации №0112U001368, 2012–2013 гг.); «Двухмерные лазерные поляризационные методы и оптико-электронные технологии диагностики структурных изменений биологических тканей при онкологических заболеваниях» (номер государственной регистрации №0114U003461, 2014–2015 гг.).

Целью диссертационной работы является повышение точности определения параметров анизотропии БТ за счет разработки моделей и методов анализа поляризационных свойств БТ и усовершенствования системы лазерной поляриметрии для оценивания патологических изменений БТ.

Для достижения поставленной цели поставлены и выполнены следующие **задачи:**

1. Провести анализ и классификацию методов и устройств лазерной поляриметрии для биомедицинских исследований, сформировать требования к системе автоматизированной лазерной поляриметрии для оценивания патологических изменений БТ.

2. Усовершенствовать математическую модель взаимодействия поляризованного ОИ с рассеивающими биотканями.

3. Разработать имитационную модель и провести моделирование миграции фотонов через человеческую кожу и преобразования в ней поляризованного излучения.

4. Разработать универсальный метод оценивания параметров анизотропии БТ

с учетом классификации по анизотропным свойствам образца, а также основанный на нем метод оценивания состояния патологий анизотропных БТ с применением нечеткой логики.

5. Усовершенствовать систему адаптивной лазерной поляриметрии (САЛП) для задач автоматизированной диагностики и оценивания патологических изменений БТ.

6. Провести анализ точности определения параметров Стокса в схеме САЛП с учетом метода решения измерительного уравнения поляриметрии, провести оптимизацию углов ориентации оптических элементов схемы с целью минимизации погрешности при измерении параметров Стокса.

7. Провести экспериментальные исследования поляризационных свойств гистологических срезов эпидермиса человеческой кожи с патологическими изменениями.

8. Провести экспериментальные исследования угловых зависимостей поляризационных характеристик кожи лабораторных мышей с патологическими изменениями в режиме обратного рассеяния.

9. Оценить точность определения матриц Мюллера в схеме САЛП, оценить точность определения параметров линейной фазовой анизотропии в зависимости от случайных возмущений параметров элементов и узлов измерительной схемы САЛП.

Объектом исследования является процесс определения поляризационных характеристик анизотропных БТ.

Предметом исследования являются модель определения патологических состояний БТ, метод и система лазерной Мюллер-поляриметрии биотканей.

Методы исследований: В диссертационной работе использованы методы, основанные на основных положениях теории переноса излучения для описания процессов взаимодействия оптического излучения с БТ, методы прикладной физической оптики для анализа состояния поляризации при взаимодействии ОИ с БТ, методы линейной и матричной алгебры для анализа относительных погрешностей измерений, методы статистического моделирования для анализа процессов распространения фотонов в коже, а также для оценки влияния случайных

возмущений элементов схемы на точность определения параметров анизотропии, методы нечеткой логики для оценивания патологических изменений БТ.

Научная новизна полученных результатов:

1. Впервые предложен новый метод поляриметрического анализа анизотропных БТ на основе определения локальных параметров анизотропии, энтропии и степени поляризации, которые получают из элементов матриц Мюллера отдельных типов анизотропии образца в соответствии с его классификацией (экспериментальная матрица Мюллера объекта раскладывается в базисе амплитудной и фазовой анизотропии). Метод позволяет *in vitro* и *in vivo* определять наличие структурных патологических изменений в таких тканях.

2. Впервые предложен новый метод дифференциации патологических изменений в оптически анизотропных БТ, которые определяют при лазерном поляризационном зондировании участков ткани на основе Мюллер-матричного анализа локальных параметров анизотропии, энтропии и степени поляризации с применением адаптивного нейро-нечеткого анализа, что позволило минимизировать неопределенность при оценке таких изменений (на примере меланомы кожи).

3. Усовершенствована математическая модель случайного переноса фотонов в плоскопараллельном образце кожи на основе метода Монте-Карло с учетом состояния поляризации зондирующего света, что позволило прогнозировать интенсивность обратно рассеянного излучения и степень поляризации световых волн на выходе образца в зависимости от его толщины.

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований:

1. Разработана универсальная компьютерная система лазерной поляриметрии анизотропных БТ, что позволяет на основе элементов матриц Мюллера, которые восстанавливают из экспериментальной матрицы Мюллера участка образца при разложении в базисе амплитудной и фазовой анизотропии, определять локальные параметры анизотропии, энтропии и степени поляризации в режимах прямого и обратного рассеяния.

2. Разработана экспертная система для анализа информативно чувствительных

поляризационных параметров образца БТ в виде дополнительного программного интерфейса для системы лазерной поляриметрии анизотропных БТ, в основу которой заложены функции сохранения функций принадлежности, нечеткой обработки и отображения результата оценки степени патологии БТ.

3. Разработаны алгоритмическое и программное обеспечение имитационного моделирования распространения оптического излучения в многослойных БТ на основе метода Монте-Карло, что позволило исследовать процессы распространения оптического излучения в БТ в режиме обратного рассеяния с учетом особенностей поляризационного зондирования.

4. Разработана имитационная модель и исследовано влияние факторов несовершенства элементов оптической схемы системы лазерной поляриметрии на точность определения параметров линейной фазовой анизотропии модельного объекта с линейным двулучепреломлением, учитывающий эффект многократного рассеяния (деполяризации).

Личный вклад соискателя. Все результаты, которые составляют основное содержание диссертации, получены автором лично. Основные идеи и разработки, которые выносятся на защиту, принадлежат автору. В научных трудах, написанных в соавторстве, диссертанту принадлежат: анализ и разработка методов измерений [137, 64, 47, 112], экспериментальное исследование методов [26, 95, 15], анализ аналогов и разработка схем устройств [136], методы обработки информации [126, 94, 111, 54], информационные технологии [131, 135, 56], имитационная модель [16, 101, 55, 58], физико-математическая модель [77, 134, 67]. Новизна изложенных в работе результатов также подтверждается патентами Украины [25, 129].

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: III Международной научно-практической конференции «Информационная технология и компьютерная инженерия» (Винница, 2012), VI Международной научно-технической конференции по оптоэлектронным информационным технологиям «Фотоника-ODS 2012» (Винница, 2012), XI Международной конференции «Контроль и управление в сложных системах» (Винница, 2012), VIII международной научно - практической конференции ИОН – 2012 «Интернет -

Образование - Наука - 2012» (Винница, 2012), XXXVIII Международной научно-практической конференции «Применение лазеров в медицине и биологии» (Ялта, 2012), Международной научно-технической интернет-конференции «Компьютерная графика и распознавания изображений» (2012), XXXIX Международной научно-практической конференции «Применение лазеров в медицине и биологии» (Харьков, 2013), XXXX Международной научно-практической конференции «Применение лазеров в медицине и биологии» (Ялта, 2013), XXXXI Международной научно-практической конференции «Применение лазеров в медицине и биологии» (Харьков, 2014), XXXXII Международной научно-практической конференции «Применение лазеров в медицине и биологии» (Яремче – 2014), XVI Международной конференции Системный анализ и информационные технологии «САИТ 2014» (Киев, 2014), XII Международной научно-технической конференция Современные проблемы радиотехники, телекоммуникаций, и информатика «TCSET'2014» (Львов, 2014), XIII Международной конференции Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах «ВОТТП-2014» (Одесса, 2014), VII Международной научно-технической конференции по оптоэлектронным информационным технологиям «Фотоника-ODS 2015» (Винница, 2015), XIV Международной конференции Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах «ВОТТП-2015» (Одесса – Хмельницкий: ХНУ – 2015),

а также на отчетных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, сотрудников и студентов Винницкого национального технического университета в 2013-2015 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 26 работ, в том числе 9 статей, из которых 7 статей в профессиональных научных изданиях Украины и 2 – в международно научомерической базе данных Scopus, 15 работ в сборниках материалов конференций, получены 2 деларационных патента Украины на полезную модель.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованных источников и четырех приложений. Полный объем диссертации составляет 185 страниц, из которых

основное содержание изложено на 145 страницах печатного текста, диссертация содержит 87 рисунков, 11 таблиц. Список использованных источников состоит из 145 наименований, приложения на 13 страницах.

Автор считает своим долгом выразить благодарность доценту кафедры лазерной и оптико-электронной техники, к.т.н. Тужанскому С.Е., заведующему кафедре электрофизики Киевского национального университета им. Т. Шевченко, профессору, д.ф.-м.н. Савенкову С.Н. а также научным сотрудникам лаборатории лазерной поляриметрии кафедры квантовой радиофизики КНУ им. Т. Шевченко и кафедре ЛОТ ВНТУ за помощь в решении научно - исследовательских задач, а также по апробации и внедрению результатов работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рвачев В. П. Методы оптики светорассеивающих сред в физике и биологии / Всеволод Петрович Рвачев. — Минск: Изд-во БГУ им. В. И. Ленина, 1978. — 240 с.
2. Optical coherence tomography / D. Huang, E. Swanson, C. Lin [et. al.] // Science. — 1991. — №254. — P. 1178–1181.
3. In vivo endoscopic optical biopsy with optical coherence tomography / G. Tearney, M. Brezinski, B. Bouma [et al.] // Science. — 1997. — №276. — P. 2037–2039.
4. Optical coherence tomography of the human retina / M. Hee, J. Izatt, E. Swanson [et al.] // Archives of ophthalmology. — 1995. — P. 325–332.
5. Петрук В. Г. Спектрофотометрія світлорозсіювальних середовищ (теорія і практика вимірювального контролю): [монографія] / Василь Григорович Петрук. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. — 207с.
6. Тужанський С. Є. Лазерні поляриметричні методи контролю оптичних параметрів біотканин / С. Є. Тужанський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2006. — №2(12). — С. 201—213.
7. Ushenko A. G. Laser polarimetry of pathological changes in biotissues / A. G. Ushenko, Oleg V. Angelsky, Dimitry N. Burkovets [et al.] // Proc. SPIE. — 2002. — Vol. 4900. — P.1045— 1049.
8. Tuchin V. V. Tissue optics: light scattering methods and instruments for medical diagnosis / V. V. Tuchin. — Bellingham: SPIE Press, 2007. — Т. 13. —P. 825.
9. Шутов А. М. Методы оптической астрополариметрии / Альберт Михайлович Шутов. — М.: КомКнига, 2006. — 232 с.
10. Пат. 22605 Україна, МПК G 01 G 4/00. Спосіб вимірювання параметрів поляризації неоднорідних анізотропних об'єктів / Савенков С. М., Оберемок Є. А., Тужанський С. Є., Клімов О. С. — № u 2006 12681; заявл. 01.12.2006; опубл. 25.04.2007, Бюл. № 5.
11. Оберемок Є. А. Взаємодія поляризованого електромагнітного випромінювання з однорідними анізотропними середовищами: дис. канд. фіз.-мат.

наук: 01.04.05 / Оберемок Євген Анатолійович. — К., 2005. — 145с.

12. Kostinski A. B. Constraints on Mueller matrices of polarization optics / A. B. Kostinski, C. R. Givens, J. M. Kwiatkowski // *Appl. Optics*. — 1993. — №9. — P. 1646—1651.

13. Юштин К. Е. Лазерна поляриметрия об'єктів з ізотропною поляризацією: дис. канд. фіз.-мат. наук: 01.04.05 / Юштин Костянтин Едуардович. — К., 2005. — 133 с.

14. Masters B. Multiphoton excitation fluorescence microscopy and spectroscopy of in vivo human skin / B. Masters., P. So, E. Gratton. // *Biophysical journal*. — 1997. — №72. — С. 2405.

15. Застосування фотодинамічної терапії у лікуванні онкологічних захворювань / С. В. Павлов, О. С. Камінський, В. В. Холін, Ровіра Рональд // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції, м. Одеса, 6-12 червня 2014 р. — Одеса—Хмельницький: ХНУ, 2014. — С. 133–134 . — ISBN 978-966-330-203-4.

16. Розробка і апробація нового варіанту методу фотодинамічної терапії пухлин із застосуванням лазерного скануючого пристрою / О. М. Чепурна, І. О. Штонь, Рональд У. Ровіра [та ін.] // *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. — 2014. — № 1 (27) — С. 128-131. — ISSN 1681-7893.

17. Винокуров Е. Методы оптического биоимиджинга в исследованиях онкологических заболеваний / Е. Винокуров, Е.Иванов, А. Новиков [и др.] // *Башкирский химический журнал*. — 2013. — №20.

18. Centonze V. Introduction to multiphoton excitation imaging for the biological sciences. / V. E. Centonze. // *Cell Biological Applications of Confocal Microscopy*. — 2002. — С. 129.

19. Denk W. Two-photon molecular excitation in laser-scanning microscopy / W. Denk, D. W. Piston, W. W. Webb // *Handbook of biological confocal microscopy*. — Springer US. — 1995. — С. 445-458.

20. Stelzer E. H. K. Contrast, resolution, pixelation, dynamic range and signal-to-noise ratio: fundamental limits to resolution in fluorescence light microscopy / E. H. K.

Stelzer // Journal of Microscopy. – 1998. – Т. 189. – №. 1. – С. 15-24.

21. Photosensitizing activity of water-and lipid-soluble phthalocyanines on prokaryotic and eukaryotic microbial cells / G. Bertoloni, F. Rossi, G. Valduga [et al.] // Microbios. – 1991. – №71. – С. 33–46.

22. Аззам Р. Эллипсометрия и поляризованный свет / Р. Аззам, Н. Башара. — М.: Мир, 1981. — 584 с.

23. Ушенко О. Г. Лазерна поляриметрия світлорозсіюючих об'єктів і середовищ: дис. доктора фіз.-мат. наук: 01.04.05 / Ушенко Олександр Григорович. — Чернівці, 2001. — 334 с.

24. Поджаренко В. А. Метрологические основы компьютерно-измерительной техники: [учеб. пособие] / В. А. Поджаренко, В. В. Кухарчук. — К.: УМК ВО, 1989. — 216 с.

25. Патент на корисну модель 78617 Україна, МПК А61В 5/02. Оптико-електронний пристрій діагностування стану периферичного кровообігу / Павлов Сергій Володимирович, Козловська Тетяна Іванівна, Козак Андрій Миколайович, Рональд Ровіра Хурадо. – № U 2012 1107; заявл. 21.09.2012 ; опубл. 25.03.2013, Бюл. № 6. – 4 с.

26. Ровира Р.У. Метод и поляриметрическая система локальной дифференциации патологий анизотропных биотканей / Р.У. Ровира, С. Е. Тужанский, С. Н. Савенков [и др.] // Фотобиология и фотомедицина. – 2014. – т. XII. – №. 3, 4. – С. 113-120. – ISSN 2076-0612.

27. Murali S. Gabor domain optical coherence microscopy: doctoral dissertation / Mural Supraja – Orlando, Florida, 2009. – 152 с.

28. Ghosh N. Influence of the order of the constituent basis matrices on the Mueller matrix decomposition-derived polarization parameters in complex turbid media such as biological tissues / N. Ghosh, M. Wood, I. Vitkin // Optics Communications. – 2010. – С. 1200-1208.

29. Кожем'яко В. П. Оптико-електронні методи і засоби для обробки та аналізу біомедичних зображень : [монографія] / В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов, К. І. Станчук. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. — 203 с.

30. Stokes G. *Mathematical and Physical Papers*, Vol. 3 / G. Stokes // *Trans. Cambr. Phil. Soc.* — 1852. — N. 9. — 399 p.
31. Cancer statistics / A. Jemal, T. Murray, E. Ward [et al.]. // *CA: a cancer journal for clinicians.* — 2005. — №55. — С. 10–30.
32. Leiter U. Epidemiology of melanoma and nonmelanoma skin cancer—the role of sunlight. In *Sunlight, vitamin D and skin cancer* / U. Leiter, C. Garbe // Springer New York. — 2008. — С. 89–103.
33. Situación del cáncer en España: incidencia / G. López-Abente, M. Pollán, N. Aragonés [et al.]. // *Anales del sistema sanitario de navarra. Gobierno de Navarra. Departamento de Salud.* — 2004. — С. 165–173.
34. Korovin S. Epidemiology of skin melanoma in Ukraine / S. Korovin, M. Kukushkina, A. Palivets // *Melanoma Research.* — 2011. — №21. — P. e32.
35. Смирнов А. Методы и аппаратура электроимпедансной спектроскопии / А. Смирнов, А. Цветков, С. Туйкин // *Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы: материалы VIII научно-практической конф.* — 2006. — С. 26–30.
36. Николаев Д. Биоимпедансная спектроскопия: разработка методик скрининга новообразований / Д. Николаев, С. Пушкин. // *Обзор материалов зарубежных публикаций. Главный клинический госпиталь МВД России.* — 2005. — С. 123–129.
37. Bayford R. Bioimpedance tomography (electrical impedance tomography) / R. H. Bayford. // *Annu. Rev. Biomed. Eng.* — 2006. — №8. — С. 63–91.
38. Blad B. Impedance spectra of tumour tissue in comparison with normal tissue; a possible clinical application for electrical impedance tomography. / B. Blad, B. Baldetorp // *Physiological Measurement.* — 1996. — №17. — С. A105.
39. Åberg P. Non-invasive and microinvasive electrical impedance spectra of skin cancer—a comparison between two techniques / P. Åberg, P. Geladi, I. Nicander [et al.] // *Skin research and technology.* — 2005. — №11. — С. 281–286.
40. Зимняков Д. А. Оптическая томография тканей / Д. А. Зимняков, В. В.

Тучин // Квантовая электроника. – 2002. – Т. 32. – №. 10. – С. 849-867.

41. Флуоресцентная микроскопия полного внутреннего отражения. TIRF – микроскопия. (Часть 2) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.stormoff.ru/articles_565_102.html.

42. Поляриметрический анализ сульфакрилатных отрывов эпидермиса как метод оптической биопсии / С. Ювченко, Е. Галкина, С. Утц [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2013. – №9. – С. 540-543.

43. Иванов А. Новые возможности неинвазивной оптической диагностики структурных и биофизических параметров тканей и гуморальных сред / А. Иванов, В. Барун // Альманах клинической медицины. – 2008. – №17.

44. Лазерна поляриметрична оцінка структури мережі колагенових фібрил дерми шкіри / Т.Бойчук, О. Ушенко, О. Новаковська [та ін.] // Клінічна та експериментальна патологія. – 2013. – №12. – С. 38–43.

45. Rovira R. H. Fuzzy Logic Pixel Based Algorithm for Biomedical Imaging Processing / R. H. Rovira // System Analysis and Information Technologies (SAIT 2014): Proceedings of the 16-th International Science and Technology Conference, Kyiv, May 26–30, 2014. – К.: ESC «IASA» NTUU «KPI», 2014. – P. 189. – ISBN 978-966-2748-50-5.

46. Ellipse Parameters in a Rotated System of Reference: a Matrix Based Approach / Rovira Jurado Ronald., L. V. Marchenko, Valentuna Vassilenko [et al.] // Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2012»: тези доповідей шостої міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 1-4 жовтня 2012 р. – Вінниця: Вид-во ПП «ТД Едельвейс і К», 2012. – С. 6.

47. Борн М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф // М. : Наука. – 1970. — 855 с.

48. Mueller H. The foundations of optics / H. Mueller // J. Opt. Soc. — 1948. — N. 38. — P. 661—663.

49. Шутов А. М. Оптические схемы устройств изменения параметров поляризованного излучения / А. М. Шутов // Оптико-механическая

промисленность. — 1985. — № 11. — С. 52—56.

50. Gerrard A. Introduction to matrix methods in optics / A. Gerrard, J. Burch. – Dover Publications Inc. – 2012. – 355 p.

51. Розенберг Г. Вектор-параметр Стокса (Матричные методы учёта поляризации излучения в приближении лучевой оптики) / Г. В. Розенберг // Успехи физических наук. – 1955. – №56. – С. 77–110.

52. Goldstein D. Polarized Light / D. Goldstein., 2003. – (Dekker).

53. Born M. Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light / M. Born, E. Wolf // 6th edn. (corrected). – Pergamon Press, 1986. – P. 45-113.

54. Zabolotna N.I. Intellectualized System of 2d-Muller–Matrix Tomography for Diagnostics of Fractional Layers of Biological Tissue [Електронний ресурс] / N. I. Zabolotna, S. V. Pavlov, Rovira Ronald // Комп'ютерна графіка та розпізнавання зображень : збірник наукових праць міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції, м. Вінниця, травень 2012 р. – Вінниця: Вінницький обласний інститут післядипломної освіти педагогічних працівників, 2012. – С. 65 – 66 . – Режим доступу до ресурсу: <http://conf.vntu.edu.ua/kgrz/2012/reports.html>.

55. Rovira J. R. Methods and Resources for Imaging Polarimetry / J. R. Rovira, S. V. Pavlov, V. B. Vassilenko [et al.] // Optical Fibers and Their Applications 2012: International Society for Optics and Photonics. – 2013. – P. 86980T-1 - 86980T-4. – ISBN 9780819494856.

56. W-спектр зв'язності при обробленні зображень клітин / В. П. Кожем'яко, Рональд Ровіра Хурато, Л. В. Марченко, І. І. Бурденюк // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012): тези доповідей XI Міжнародної конференції, м. Вінниця, 9-11 жовтня 2012 року. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – С. 134-135. – ISBN 978-966-641-484-0.

57. Azzam R. A division of amplitude photopolarimeter (DOAP) for the simultaneous measurement of all four Stokes parameters of light. / R. M. Azzam. // Journal of Modern Optics. – 1982. – №29. – С. 685–689.

58. Система двовимірної багатопараметричної мюллер-матричної

поляриметрії для діагностики оптико-анізотропної структури багатошарових біологічних тканин / Н. І. Заболотна, С. В. Павлов, В. Б. Василенко, Р. Х. Ровіра // Применение лазеров в медицине и биологии : материалы XXXVIII международной научно-практической конференции, г. Ялта, 3-6 октября 2012 г. – Харьков, 2012. – С. 160-161.

59. Системи лазерної відеополяриметрії для автоматизованого контролю параметрів неоднорідних біотканин: монографія / С. Є. Тужанський, Г. Л. Лисенко. — Вінниця: ВНТУ, 2011. — 156 с.

60. Технічний регламент щодо медичних виробів для діагностики *in vitro* (затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 754 від 2.10.2013 р.) / Офіційний вісник України. – 2013. – №82. – С. 3047.

61. Savenkov S. Optimization and structuring of the instrument matrix for polarimetric measurements / S. N. Savenkov // Optical Engineering. – 2002. – №41. – С. 965–972.

62. Tuzhansky S. Y. Methods and means of polarization parameter control in biotissue imaging polarimetry / S. Y. Tuzhansky // Polarization Science and Remote Sensing III, ed. By Joseph A. Shaw, J. Scot Tyo, Proc. of SPIE. — 2007. — Vol. 6682, 668212. — P. 1—10.

63. Шопа Я. Вимірювання оптичної активності в кристалах групи KDP методами високоточної поляриметрії / Я. І. Шопа. // Журн. фіз. досл. – 2001. – №5. – С. 70.

64. Ровира Р. У. Методы обработки видеополяриметрической информации на основе наименьших квадратов и Фурье-анализа / Р. У. Ровира, С. В. Павлов, О. С. Каминский // Применение лазеров в медицине и биологии : материалы XXXIX международной научно-практической конференции, г. Харьков, 22-24 мая 2013 г. – Харьков, 2013. – С. 164-165.

65. Вироби медичні. Системи управління якістю. Вимоги щодо регулювання: ДСТУ ISO/IEC 17025: 2006. — К. : Держстандарт України, 2007. — 32 с.

66. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних

лабораторій: ДСТУ ISO 13485: 2005. — К. : Держстандарт України, 2007. — 56 с.

67. Моделирование спектроскопических методов анализа состояний биотканей / Р. У. Ровира, С. В. Павлов, В. Б. Василенко, М. М. Байас // Применение лазеров в медицине и биологии : материалы XXXX международной научно-практической конференции, г. Ялта, 2-5 октября 2013 г. – Харьков, 2013. – С. 203-204.

68. DISORT, a General-Purpose Fortran Program for Discrete-Ordinate-Method Radiative Transfer in Scattering and Emitting Layered Media: Documentation of Methodology / Stamnes K., Tsay S.-C., Wiscombe W., Laszlo I. // Tech. rep., Dept. of Physics and Engineering Physics, Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ 07030, NASA. – 2000.

69. Aboughantous C. H. A discrete ordinates method of radiative transfer in one-dimensional spherical geometry / Aboughantous C. H. // [Электронный ресурс]: arXiv:astro-ph/0207652. – 2002.

70. Evans K. Polarized radiative transfer modeling: an application to microwave remote sensing of precipitation : дис. канд. техн. наук / Evans K. F. – Colorado State University, 1990. – 79 с.

71. Chandrasekhar S. Radiative transfer. – Courier Corporation, 2013.

72. Curtis M. Radiative Transfer: Deriving the Radiative Transfer Equation [Электронный ресурс] / Mobley Curtis // Ocean Optics. – Page updated Apr 21, 2010. – Web Book : http://www.oceanopticsbook.info/view/radiative_transfer_theory/deriving_the_radiative_transfer_equation.

73. Hovenier J. Fundamental relationships relevant to the transfer of polarized light in a scattering atmosphere / J. Hovenier, C. Van der Mee // Astronomy and Astrophysics. – Vol. 128, №128. – С. 1–16. – ISSN 0004-6361 1983.

74. Vestrucci P. A numerical evaluation of an analytical representation of the components in a Fourier decomposition of the phase matrix for the scattering of polarized light / P. Vestrucci, C. Siewert // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 1984. – Т. 31. – №2. – С. 177–183.

75. Siewert C. E. A discrete-ordinates solution for radiative-transfer models that include polarization effects / C. E. Siewert // *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. – 2000. – Т. 64. – №. 3. – С. 227-254.

76. Schulz F. M. VDISORT: An improved and generalized discrete ordinate method for polarized (vector) radiative transfer / F. M. Schulz, K. Stamnes, F. Weng // *Journal of quantitative spectroscopy and radiative transfer*. – 1999. – Т. 61. – №. 1. – С. 105-122.

77. Ровира Р. У. Физико-математическая модель распространения оптического излучения через биологические ткани / Р. У. Ровира, С. В. Павлов, Т. И. Козловская // *Optoelectronic Information Technologies «PHOTONICS-ODS 2015»*: Abstract of Papers Presented at VII International Scientific Conference, Vinnytsia, April 21-23, 2015. – Vinnytsia: VNTU, 2015. – Р. 59. – ISBN 978-966-641-619-6.

78. Аль-Мас Гамиль Фатех Али. Многоспектральные методы и алгоритмы визуализации и диагностики подкожных образований для оптико-электронной дерматологической системы: дис. канд. техн. наук: 05.13.01, 05.11.17 / Аль-Мас Гамиль Фатех Али. – Тамбов, 2014.– 166 с.

79. Salomatina E. Optical properties of normal and cancerous human skin in the visible and near-infrared spectral range / E. Salomatina // *Journal of biomedical optics*. – 2006. – Т. 11. – №. 6. – С. 064026-064026-9.

80. Eadic Formacion y consultoría [Электронный ресурс] : <http://www.eadic.com/author/admin/page/9/>

81. Jacques S. L. Optical properties of biological tissues: a review / S. L. Jacques // *Physics in medicine and biology*. – 2013. – Т. 58. – №. 11. – С. R37.

82. Bashkatov A. N. Optical properties of human skin, subcutaneous and mucous tissues in the wavelength range from 400 to 2000 nm / A. N. Bashkatov // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2005. – Т. 38. – №. 15. – С. 2543.

83. Nielsen K. P. The optics of human skin: Aspects important for human health / K. P. Nielsen // *Norw. Acad. Sci. Lett*. – 2008. – С. 35–46.

84. Конов В. И. Фундаментальные достижения оптики и лазерной физики для медицины / В. И. Конов, В. В. Осико, И. А. Щербаков // *Вестник РАН*. – 2004. –

Т. 74. – № 2. – С. 99–113.

85. Северин Ю. Г. Влияние денатурации белка на размеры зоны термического поражения биоткани при ее лазерной обработке / Ю. Г. Северин // «Сборник трудов VI Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых, Выпуск 2. Биомедицинские Технологии, Мехатроника и Робототехника». – Санкт-Петербург – 2009. – С. 58-63.

86. Олар О. І Оптична спектроскопія в медичній діагностиці / О. І. Олар, О. Ю. Микитюк, К. І. Яковець // Буковинський медичний вісник. – 2014. – Т. 18. – № 1(69). – С. 164-168.

87. Yoon G. W. 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 / Yoon Gil-Won. – 1988. – 45 p.

88. Fukui Y. Monte Carlo prediction of near-infrared light propagation in realistic adult and neonatal head models / Y Fukui, Y. Ajichi, E. Okada // Applied optics. – 2003. – Т. 42. – №. 16. – С. 2881-2887.

89. Hayashi T. Hybrid Monte Carlo-diffusion method for light propagation in tissue with a low-scattering region / T. Hayashi, Y. Kashio, E. Okada // Applied optics. – 2003. – Т. 42. – №. 16. – С. 2888-2896.

90. Кириллин М. Ю Моделирование распространения лазерного пучка в плоском слое суспензии эритроцитов методом Монте-Карло: сравнение вкладов рассеяния с различными кратностями в угловое распределение света / М. Ю. Кириллин, А. В. Приезжев // Квантовая электроника. – 2002. – Т. 32. – №. 10. – С. 883-887.

91. Гираев К. М. Оптические исследования биотканей: определение показателей поглощения и рассеяния / К. М. Гираев, Н. А. Ашурбеков, О. В. Кобзев // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29. – №. 21. – С. 48.

92. Павлов С. В. Застосування методу Монте-Карло для аналізу оптичних характеристик біологічного середовища / С. В. Павлов, Т. І. Козловська, В. П. Думенко // Применение лазеров в медицине и биологии. VIII Васильевские чтения: XXXI междунар. науч.-практ. конф., 20-23 мая 2009 г. – Харьков. – 2009. С. 145–147.

93. Козловська Т. І. Фізико-математична модель розповсюдження оптичного випромінювання в біотканинах за методом Монте-Карло / Т. І. Козловська, А. М. Козак // Применение лазеров в биологии и медицине: XXXV междунар. науч.-практ. конф., 25-28 мая 2011 г.: тезисы доп. – Харьков, 2011. – С. 227–228.
94. Ровира Р. У. Имитационное моделирование Монте-Карло для изучения распространения поляризованного света в биологической ткани / Р. У. Ровира, С. В. Павлов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2014. – № 2 (28). – С. 56-61. – ISSN 1681-7893.
95. Павлов С. В. Впровадження в навчальний процес дистанційного курсу застосування спектрофотометра СФ-46 в лабораторних роботах при викладанні дисципліни «Фізичні основи взаємодії лазерного випромінювання з речовиною» / С. Павлов, О. Камінський, Ровіра Хурадо Рональд // Інтернет-освіта-наука : збірник праць восьмої науково-практичної конференції, м. Вінниця, 1-5 жовтня 2012 р. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – С. 20. – ISBN 978-966-641-491-8.
96. Павлов С. В. Фізичні основи біомедичної оптики: монографія / С. В. Павлов, В. П. Кожем'яко, П. Ф. Колісник [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 152 с.
97. Пушкарева А. Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани: учебн. пособ. / Пушкарева А. Е. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 103 с.
98. Jacques S. L. Monte Carlo modeling of light transport in tissues, in: Optical Thermal Response of Laser Irradiated Tissue / S. L. Jacques, L. H. Wang. – Plenum press, 1995. – 67 p.
99. Wang X. Polarized light propagation through scattering media: time-resolved Monte Carlo simulations and experiments / X. Wang // Journal of biomedical optics. – 2003. – Т. 8. – №. 4. – С. 608-617.
100. Wang L. MCML – Monte Carlo modeling of light transport in multi-layered tissues / L. Wang, L. J. Steven, Z. Ligiong // Computer methods and programs in biomedicine. – № 47, 1995. – P 131–145.
101. Research of Optical Properties of Biotissue on the Basis of Numeral Modeling of Photons Transport / R. H. Rovira, S. V. Pavlov, O. D. Azarov, A. S. Kaminsky // Фотобіологія та фотомедицина. – 2012. – Т. IX. – № 1,2. – С. 127 - 130. –

102. Van de Hulst H. C. Multiple light scattering: tables, formulas, and applications / H. C. Van de Hulst. – Elsevier. – 2012. – T. 1. – 332 p.

103. Prahl S. A. A Monte Carlo model of light propagation in tissue / S. A. Prahl, M. Keijzer, S. L. Jacques [et al.] // *Dosim. Laser Radiat. Med. Biol.* – 1989. – vol. 5. – P. 102–111.

104. Anisotropy of light propagation in human skin / S. Nickell, M. Hermann, M. Essenpreis, T. J. Farrell, U. Krämer, M. S. Patterson // *Physics in medicine and biology.* – 2000. – Vol. 45. – No. 10. – C. 2873.

105. Ghosh N. Measurement of optical transport properties of normal and malignant human breast tissue / N. Ghosh // *Applied Optics.* – 2001. – Vol. 40. – No. 1. – C. 176–184.

106. Ghosh N. Depolarization of light in a multiply scattering medium: effect of the refractive index of a scatterer / N. Ghosh // *Physical Review E.* – 2004. – Vol. 70. – No. 6. – P. 066607.

107. Xinxin G. Depolarization of light in turbid media: a scattering event resolved Monte Carlo study / Xinxin Guo, Michael F. G. Wood, Nirmalya Ghosh, I. Alex Vitkin // *APPLIED OPTIC.* – 2010. – Vol. 49. – No. 2. – P. 153–162.

108. Zhang R. Determination of human skin optical properties from spectrophotometric measurements based on optimization by genetic algorithms / R. Zhang // *Journal of biomedical optics.* – 2005. – T. 10. – №. 2. – C. 024030-02403011.

109. Anderson R. Polarized light examination and photography of the skin / R. R. Anderson. // *Archives of dermatology.* – 1991. – №127. – C. 1000–1005.

110. Jacques S. Imaging skin pathology with polarized light. / S. Jacques, J. Ramella-Roman, K. Lee. // *Journal of Biomedical Optics.* – 2002. – №7. – C. 329–340.

111. Rovira R. H. Video Polarimetry of Objects Embedded in Strongly Scattering Media with Monte Carlo Techniques / R. H. Rovira, S. V. Pavlov // *Применение лазеров в медицине и биологии : материалы XXXXI Международной научно-технической конференции, г. Харьков, 28-31 мая 2014 г. – Харьков, 2014. – С.155–156.*

112. Лазерна растрова поляриметрія біотканин / С. В. Павлов, С. Є.

Тужанський, О. С. Камінський, Рональд Ровіра Хурадо // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Вінниця, 29 - 31 травня 2012 р. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – С. 74–75. – ISBN 978-966-641-465-9.

113. Savenkov S. N. Classification and recognition method of objects based on their anisotropy properties / S. N. Savenkov, V. V. Marienko // SPIE Proc. — 1995. — N. 2490. — P. 103—107.

114. Hauge P. S., Muller R. H., Smith C. G. Conventions and formulas for using the Mueller-Stokes calculus in ellipsometry // Surface science. – 1980. – Т. 96. – №. 1. – С. 81–107.

115. Horváth G., Varjú D. Polarization pattern of freshwater habitats recorded by video polarimetry in red, green and blue spectral ranges and its relevance for water detection by aquatic insects // The Journal of experimental biology. – 1997. – Т. 200. – №. 7. – С. 1155–1163.

116. Марьенко В. В. Представление произвольных матриц Мюллера в базисе матриц круговой и линейной анизотропии / В. В. Марьенко, С. Н. Савенков // Оптика и спектроскопия. — 1994. — Т. 76, №1. — С. 102—104.

117. Kostinski A. B. Constraints on Mueller matrices of polarization optics / A. B. Kostinski, C. R. Givens, J. M. Kwiatkowski // Appl. Optics. — 1993. — №9. — P. 1646—1651.

118. Юштин К. Е. Лазерна поляриметрия об'єктів з ізотропною поляризацією: дис. канд. фіз.-мат. наук: 01.04.05 / Юштин Костянтин Едуардович. — К., 2005. — 133 с.

119. Savenkov S. N. Generalized Matrix Equivalence Theorem for Polarization Theory /S. N. Savenkov, V. V. Marienko, E. A. Oberemok, O. I. Sydoruk // Phys. Rev. E. — 2006. — No74. — P. 605–607.

120. Савенков С. М. Исследование поляризметрических характеристик подложек оптических дисковых носителей / С. М. Савенков, О.С. Клімов, Є. А. Оберемок [та ін.] // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – т. 11, No 2.– 2009. – С. 3–11.– ISSN: 1560-9189.

121. Фізичні основи поляриметрії високої інформативної здатності / Г.В. Бекетов, О.С. Клімов, І.Є. Матяш [та ін.]; під ред. Б.К. Сердеги. — К.: НТУУ «КПІ», 2013. — 252 с.
122. Cloude S. R. Concept of polarization entropy in optical scattering / S. R. Cloude, E. Pottier // Opt. Engineering. — 1995. — Vol. 34. — P. 1599—1610.
123. Cloude S. R., Pottier E. An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR // Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on. — 1997. — Т. 35. — №. 1. — С. 68–78.
124. Rotshtein A. Design and Tuning of Fussy IF – THEN Vuley for Medical Didical Diagnosis. Fussy and Neuro-Fussy Systems in Medicine. – USA. CRC-Press, 1998. – P. 235–295.
125. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. – Винница: Универсум, 1999. – 320 с.
126. Компьютерная диагностика оптико-анизотропных структур плазмы крови на основе метода нечетких множеств / Н. И. Заболотная, С. В. Павлов, Ровира Рональд [и др.] // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2015. – №. 1 (20). – С. 163–168. – ISSN 1996-1588.
127. Азаров О. Д. Аналогово–цифрове перетворення в задачах наукових досліджень / О. Д. Азаров, М. А. Томчук, В. С. Іванов [та ін.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 1998. — № 3. — С. 5—8.
128. Тужанський С. Є. Відеополяриметрична система око-процесорного типу для діагностування патологій біотканин / Г. Л. Лисенко, С. Є. Тужанський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008. — №4. — С. 5—15.
129. Патент на корисну модель 98837 Україна, МПК G01N 33/48. Відеополяриметр / Павлов Сергій Володимирович, Ровіра Хурадо Рональд Умберто, Козловська Тетяна Іванівна. – № U 2014 12368; заявл. 17.11.2014; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9. – 4 с.

130. Rovira R. H. Particular Aspects of the Use of Videopolarimetric Technology for Dermatological Study / R. H. Rovira // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №. 3 (48). – С. 115-119. – ISSN 2219-9365.

131. Methods of Processing Video Polarimetry Information Based on Least-Squares and Fourier Analysis / R. H. Rovira, S. V. Pavlov, A. S. Kaminsky, M. M. Bayas // Middle-East Journal of Scientific Research. – 2013. – №. 9 (16). – P. 1201-1204. – ISSN 1990-9233.

132. Gil J. J. Characteristic properties of Mueller matrices //JOSA A. – 2000. – Т. 17. – №. 2. – С. 328-334.

133. Gil J. J. Polarimetric characterization of light and media / J. J. Gil // The European Physical Journal Applied Physics. – 2007. – Т. 40. – №. 01. – С. 1 - 47.

134. Rovira R. Fuzzy Evaluation of Uncertainty of Polarization States in Imaging Polarimetry / Ronald Rovira, Sergey Pavlov, Marcia Bayas // Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science, TCSET'2014 : XIIth International Conference Dedicated to the 170th Anniversary of the Lviv Polytechnic National University : paper, Lviv-Slavske, February 25 – March 1, 2014. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. – P. 763 – 765. – ISBN: 978-617-607-556-1.

135. Rovira R. H. Optimization of Video Polarimetry Measurements under Uncertainties / R. H. Rovira, P. S. Pavlov // Застосування лазерів в медицині та біології : матеріали XXXXII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Яремче, 11-13 грудня 2014 року. – Харків: ФОП Петров В. В., 2014. – С. 149–151.

136. Computer Diagnostics of Optical and Anisotropic Structure of Blood Plasma on the Basis of Fuzzy Sets / N. I. Zabolotnaya, S. V. Pavlov, R. H. Rovira, B. P. Oliynichenko // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції, м. Одеса, 5-10 червня 2015р. – Одеса –Хмельницький: ХНУ, 2015. – С. 159. – ISBN 978-966-330-203-4.

137. Rovira R. H. Design and Automation of a Videopolarimetry System for the

analyzing of the Polarization Properties of a Biological Sample / S. V. Pavlov, T. I. Koslovskaya, R. H. Rovira // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №. 4 (49). – С. 158-161. – ISSN 2219-9365.

138. Cloude S. R., Goodenough D. G., Chen H. Compact decomposition theory // *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*. – 2012. – Т. 9. – №. 1. – С. 28-32.

139. Аксененко М. Б. и др. Применение метода сиаскопии для оценки выраженности патологических изменений в коже при развитии меланоцитарных новообразований. *Вестник дерматологии и венерологии*. –2011. – № 4. – С.31–36.

140. Соколов Д. В. Дерматоскопия в ранней диагностике и скрининге меланомы кожи // Автореф. дисс.... д.-ра мед. наук. – М. – 2009. – 46 с.

141. Феофанов А. В. Спектральная лазерная сканирующая конфокальная микроскопия в биологических исследованиях // *Успехи биологической химии*. – 2007. – Т. 47. – С. 371-410.

142. O’Leary M. A. Experimental images of heterogeneous turbid media by frequency domain diffusing photon tomography // M. A. O’Leary, D.A. Boas, B. Chance [et. al.]. *Opt. Lett.* – 1995. – Vol.20. – P.426–8.

143. Jackson P. C. The development of a system for transillumination computed tomography / P. C. Jackson, P. H. Stevens, J. H. Smith [et al.] // *Br. J. Radio.* – 1987 . – Vol. 60 . – P. 375–380.

144. Hebden J. C. Evaluating the spatial resolution performance of a time-resolved optical imaging system / J. C. Hebden// *Med. Phys.* – 1992. – Vol. 19. – P. 1081–1087.

145. Boulvert F. et al. Comparison of entropy and polarization memory rate behaviors through a study of weakly-anisotropic depolarizing biotissues // *Optics communications*. – 2007. – Т. 272. – №. 2. – С. 534–538.