

# СВЕТОВОЙ ПУЧОК, ГЛАУКОМА И АФРИКАНСКАЯ ЛЯГУШКА

**БУДЕТ ЛИ РЕАЛИЗОВАНО НА ПРАКТИКЕ ИЗОБРЕТЕНИЕ,  
НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ?**

*Потребность считается причиной возникновения; на деле она часто есть лишь следствие возникшего.*

*Ф. Ницше*

На современном этапе происходит процесс очень тесного взаимодействия физических наук и медицинской диагностики, т.к. основная ее тенденция состоит в потребности усовершенствования уже имеющихся диагностических приборов, а также в разработке новых методов исследования, основанных на современных достижениях физики, физической химии. Примером такого взаимодействия является развитие метода светооптической визуализации микроструктуры биологических тканей *in vivo* или оптической когерентной томографии (ОКТ).

Основной особенностью ОКТ является возможность исследования объектов и сред при глубине распространения оптического излучения до нескольких миллиметров в условиях значительно диффузного рассеяния и поглощения части оптического излучения. Принцип ОКТ состоит в освещении объекта оптическим когерентным излучением с определением степени отражения излучения по глубине среды. Система ОКТ базируется на основе двухлучевого интерферометра, освещаемого источником излучения с широким спектром и малой длиной когерентности. В интерферометре излучение разделяется на измерительную волну, освещающую объект, и опорную волну, оптическая длина пути которой может изменяться при управляемом перемещении опорного зеркала. Интерференционные полосы малой когерентности наблюдаются при равенстве оптических длин пути измерительной и опорной волн в пределах длины когерентности излучения. Положение опорного зеркала, при котором достигается максимум видности полос, характеризует расстояние до отражающей поверхности или границы внутреннего отражающего слоя среды. При этом оказывается возможным одноракурсное зондирование объекта по глубине с определением расстояния до отражающего слоя.

Результаты применения методов интерферометрии малой когерентности для восстановления трехмерной структуры рассеивающих сред в биомедицине были опубликованы авторами Huang D, Swanson E.A., Lin C.P. et al. в 1991г. [1]. Исследования проводились в Массачусетском технологическом институте (Кембридж, США). В 1994 г. разработанная технология ОКТ была передана зарубежному подразделению фирмы Carl Zeiss, Inc. (Humphrey Instruments, Дублин, США), и в 1996 г. была создана первая система ОКТ, предназначен-

ная для офтальмологической диагностики глаукомы методом прямого наблюдения состояния зрительного нерва и сетчатки глаза. Технология ОКТ используется для клинической диагностики состояния кожи человека, в кардиологии, стоматологии и др., однако серийные образцы систем ОКТ в области медицины разрабатываются, начиная с 2003 г. после завершения клинических исследований и усовершенствования систем ОКТ.

Новейшие технологии в ОКТ позволяют получать 3-D изображения с улучшенными характеристиками разрешения. Это достигается с помощью применения методов спектральной интерферометрии [2]. Однако техника формирования такого изображения является достаточно сложной и дорогостоящей. Поэтому создание более доступных источников частично-когерентного излучения, менее трудоемкой системы регистрации и обработки сигналов в ОКТ, усовершенствование самой оптической системы, которая способна улучшить продольно-поперечное разрешение прибора является актуальной задачей.

Что касается усовершенствования оптической системы прибора с целью улучшения разрешения, то здесь представляется перспективным использование квазибездифракционных конических пучков.

Необходимо отметить, интерес к классу конических световых пучков с точки зрения прикладной физики связан, прежде всего, с наличием большой фокальной длины пучка, что позволяет увеличить продольное разрешение оптических систем. Наиболее известным представителем такого рода интерференционных полей является бесселев световой пучок (БСП). Внутри фокальной длины пучка (несколько десятков сантиметров) центральная зона БСП не испытывает дифракционного расплывания вдоль продольной координаты, а дифракция на периферии пучка обусловлена апертурными эффектами, которые вносятся формирующими оптическими элементами. Наличие многокольцевой структуры пучка в поперечном сечении и феномена восстановления структуры пучка, который проявляется при экранировании микрочастицами поля БСП, также являются характерными особенностями БСП [3, 4].

Существует множество различных способов формирования БСП: использование конической линзы – аксикона, Фурье – преобразование кольцевой апертуры, отражающей конической поверхности – рефлексикона, голографических пространственных фильтров, и т.д. В связи с тем, что голографические методы генерации БСП являются довольно трудоемкими и дорогостоящими, а исполь-

зование дифракционных элементов – энергетически невыгодным, предпочтение отдается рефрактивным аксиконам. В отличие от линзы, аксикон фокусирует падающий на него свет в линию, длину этой линии называют фокальной длиной пучка или глубиной фокуса. Однако существование сильных осцилляций осевой интенсивности пучка после аксикона в пределах фокальной длины приводит к ухудшению продольно-поперечного разрешения оптических систем с использованием БСП [5].

В 2008 г. авторами Key-Sung Lee и Jannic P. Rolland (Колледж оптики и фотоники и Институт Центральной Флориды, США) опубликованы результаты использования микрооптического аксикона для формирования БСП в измерительном плече эндоскопического ОКТ [6]. Объектом исследования являлась биологическая ткань, представляющая собой удлиненные клетки плоского эпителия Африканской лягушки. Изображение ткани, полученное с помощью аксикона (глубина фокуса >4мм), демонстрирует постоянное продольно-поперечное разрешение системы по различной глубине фокуса, в то время как изображение, полученное при помощи линзы (глубина фокуса <1мм), значительно искажается (рис.1).

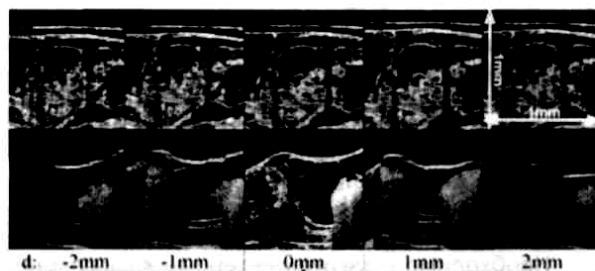


Рис.1. 1мм\*1мм ОКТ – изображение ткани Африканской лягушки по различной глубине фокуса, полученное при использовании аксикона (верх) и традиционной линзы (низ)

Исследования активно проводятся не только в ведущих зарубежных лабораториях, но и в наших отечественных, результаты которых, все еще не нашли свое воплощение в стандартных промышленных приборах отечественного производства.

Совместными усилиями физиков и офтальмологов РБ разработана полезная модель «Установка для формирования квазибездифракционного светового пучка» [7], которая представляет собой новый подход к решению проблемы улучшения продольно-поперечного разрешения системы ОКТ в условиях значительного светорассеяния. Использование дополнительных оптических элементов (аксикона, линзы с сильной сферической аберрацией) в измерительном плече оптической схемы ОКТ, позволяет сформировать конический световой пучок с большой фокальной длиной (несколько десятков метров), который по своей способности прохождения светорассеивающих сред с минимальными искажениями структуры превосходит известный БСП (рис.2).

Предварительные эксперименты по генерации

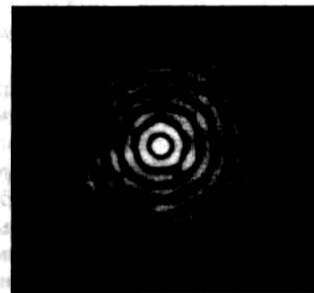
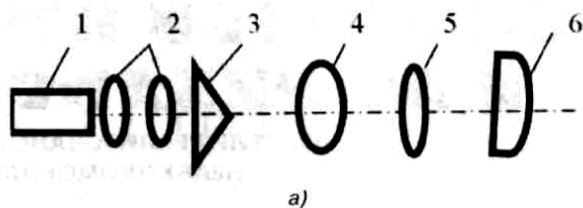


Рис.2. (а) Оптическая схема экспериментальной установки: 1 – лазер, 2 – коллиматор, 3 – аксикон, 4 – линза с сильной сферической аберрацией, 5 – собирающая длиннофокусная линза, 6 – регистрирующее устройство; (б) Радиальное распределение интенсивности конического пучка

конических пучков подобного рода и их прохождению через светорассеивающие среды проводились Краморовой Л.И. – доцентом кафедры медицинской и биологической физики УО «ГомГМУ». Результаты исследований получили теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение в лаборатории оптической диагностики Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси физиками Казаком Н.С., Белым В.Н., Хило Н.А., Ропотом П.И. Результаты экспериментов и возможность их использования в системах ОКТ обсуждались с Рожко Ю.И. и Ребенок Н.А. – медиками-офтальмологами ГУ «РНПЦ РМиЭЧ».

Предложенная авторами оптическая система позволяет сгладить осцилляции осевой интенсивности на протяжении всей фокальной длины пучка, что улучшает способность прохождения конических пучков через рассеивающие среды. Рис.3. демонстрирует преимущество использования конических пучков (в сравнении с гауссовыми пучками) при зондировании светорассеивающих сред. В качестве рассеивающей среды был использован раствор молока. Регистрация распределения интенсивности проводилась на расстоянии 15 см от кюветы с молочным раствором.

Таким образом, использование оптических элементов с сильной сферической аберрацией в классической схеме с аксиконами позволяет значительно увеличить фокальную длину пучка, сгладить осевые осцилляции интенсивности в пределах фокальной длины, сформировать пучок с заданным числом колец. Использование конических пучков с большим продольно-поперечным разрешением, практически стабильным значением осевой интенсивности и минимальным уров-

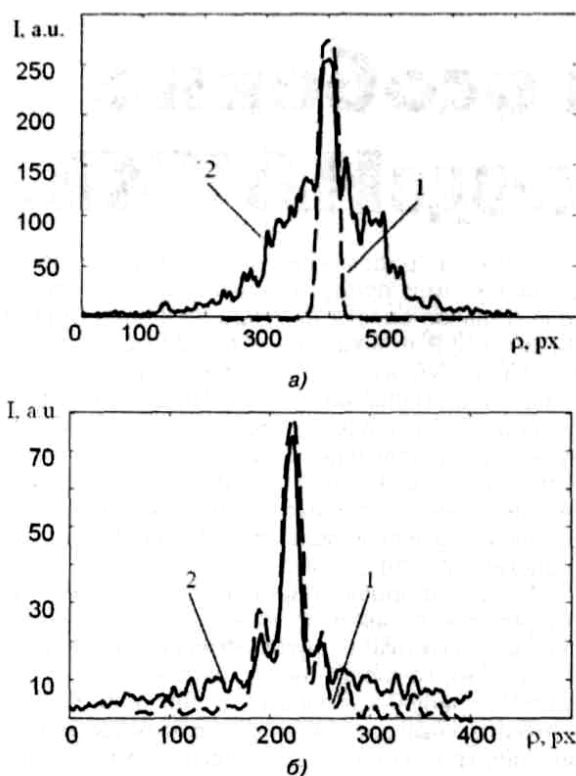


Рис.3. Зависимость интенсивности  $I$  от радиальной координаты  $r$  пучка до (кривая 1) и после (кривая 2) прохождения через рассеивающую среду: (а) гауссов пучок, (б) конический пучок

нем искажений поперечной структуры при зондировании светорассеивающих сред позволит значительно улучшить качество визуализации не только систем оптической диагностики, но систем дистанционного зондирования удаленных объектов.

Однако для того, чтобы установку максимально приблизить к реально используемым системам ОКТ (с целью доведения ее до законченного прибора ОКТ), **необходимы дополнительные исследования с использованием низко-когерентного источника излучения в инфракрасной области спектра на основе двухлучевого интерферометра с соответствующей системой регистрации и обработки отраженного сигнала**, что в настоящее время не представляется возможным без финансовой поддержки соответствующих ведомств.

В нашей Республике существует много замечательных изобретений и разработок, которые **носят фундаментальный характер и далеко опережают разработки зарубежных исследователей**. Думается, что они заслуживают внимания и своей реализации. Но к сожалению очень многие из них не находят практического применения либо по финансовым причинам, либо из-за стратегической близорукости руководителей предприятий. Поэтому изобретатели, вместо того, что продолжать исследовательскую работу, вынуждены искать способ реализации своего детища. И все-таки, если потреб-

ность является следствием возникшего, и существует вполне реальная разработка, удовлетворяющая эту потребность, то может быть, **есть повод серьезно подумать о выделении финансирования на реализацию идеи?** В противном случае либо идея так и останется отечественной интеллектуальной собственностью и будет похоронена под соответствующим грифом и номером, либо она найдет свое воплощение в промышленных приборах, но только, увы, зарубежного производства.

**Литература:**

- Huang, D. Optical coherence tomography. / E.A. Swanson, C.P. Lin, et al. // Science. -Vol. 254, №5035. - 1991.- p. 1178-1181
- Fisher, Y.L. OCT capabilities advance with introduction of 3-D reconstruction. /Y.L. Fisher // Retina today. - May/June, 2008. - p.71-73
- Z.Ding, Z. High-resolution optical coherence tomography over a large depth range with an axicon lens / Z.Ding, H. Ren, Y. Zhao, J. Stuart Nelson, Z. Chen // Opt. Letters - Vol.27, №4 - 2002.- p.243-245
- V. Belyi, V. Influence of scattering media on regular structure and speckle of quasi-nondiffractive Bessel light beams / V. Belyi, N. Kazak, N. Khilo, L. Kramoreva, A. Mashchenko, P. Ropot, V. Yushkevich // IC Speckle06: Proc. of SPIE, edited by P. Slangen, Ch. Cerruti.- Vol.6341. - 2006.- p.634120-1-63410-6
- Burval, A Axicon imaging by scalar diffraction theory / A. Burval // Royal institute of technology, Department of Microelectronics and Information Technology, Optics Section, Stockholm, Electrum 299, SE-164 40 Kista.- 2004.- 68 p.
- Lee, Key-Sung. Bessel beam spectral-domain high-resolution optical coherence tomography with micro-optic axicon providing extended focusing range/ Key-Sung Lee and Jannick P.Rolland // Opt. Letters.- Vol.33, №15. - 2008.- p.1696-1698
- Патент РБ №5229 «Установка для формирования квазибездифракционного светового пучка», МПК G02 F1/01, заявка №u20080662, заявитель-патентообладатель Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека».

**Л.И. КРАМОРЕВА, к.ф.-м.н., доцент кафедры медицинской и биологической физики Учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Республика Беларусь**

**Ю.И. РОЖКО, врач-офтальмолог офтальмологического отделения Государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», г. Гомель**

**С.А. МАГОНОВА, заведующая патентно-лицензионным сектором Государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», г. Гомель, Республика Беларусь**