

## ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

doi: 10.51639/2713-0568\_2021\_1\_4\_14

УДК 535.243, 535.36

ГРНТИ 29.31.26, 76.13.15

ВАК 01.04.05, 05.11.07

### **Проблемы оптико-физических измерений (интерпретация измерительной информации)**

Кугейко М. М.

*220030, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости 4,  
Белорусский государственный университет*

e-mail: [kugeiko@bsu.by](mailto:kugeiko@bsu.by)

Рассмотрены, требующие развития, задачи интерпретации измерительной информации в оптико-физических измерениях. Отмечается необходимость использования наиболее точных методов теории переноса излучения в диагностике биообъектов.

*Ключевые слова:* оптико-физические измерения, теория переноса, биообъекты, интерпретация измерительной информации.

### **1. Интерпретация измерительной информации**

Оптико-физические измерения, в которых информация об измеряемом объекте получается с использованием оптического диапазона длин волн, в настоящее время широко используется в разнообразных областях науки, техники, народного хозяйства. Интенсивное развитие они получили с появлением таких источников излучения как лазеры, светодиоды.

Практически все оптико-физические измерения относятся к классу косвенных, состоящих в определении искомого значения физической величины линий на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Важной задачей, требующей решения в косвенных оптико-физических измерениях является интерпретация измерительной информации. В методах, где исследуется отклик среды как целого, интерпретация измерительной информации – это наиболее сложный этап. Наличие погрешностей в измерениях делает задачу обращения ещё и некорректной. Для решения таких задач требуется использование априорной информации об объекте исследования, регулирующих алгоритмов [1,2].

Задача количественной оценки определённых параметров объектов обычно реализуется в два этапа. На первом этапе определяются оптические параметры объекта путём сравнения экспериментальных и расчётных – теоретических (в рамках модели переноса и взаимодействия света). На втором этапе решается обратная задача по восстановлению определяемых из полученных значений оптических параметров.

Для обеспечения необходимой для практики точности требуется использование методов теории переноса излучения не использующих различные приближения о доминирующем процессе

взаимодействия, что, в свою очередь требует больших вычислительных затрат и, поэтому, исключает возможность интерпретации экспериментальных данных в режиме реального времени (например, при использовании наиболее точного метода Монте-Карло) [3].

Необходимость использования априорной информации, допущений об исследуемом объекте в настоящее время, например, не позволила метрологически аттестовать лазерно-локационные системы в создаваемых глобальных сетях (мировой, европейской, СНГ, РБ) мониторинга загрязнений окружающей среды (для интерпретации измерительной информации используются дополнительные радиометрические измерения), системы неинвазивной оптической диагностики биофизических параметров биообъектов и т.д.. Кроме того, возможность простого и адекватного описания процесса распространения света в средах принципиально важно для развития научно обоснованных оптических методов исследования, контроля, диагностики различных объектов и сред, терапии различных заболеваний, анализа крови и т. д.

Таким образом, эффективное использование оптико-физических методов измерений в диагностике, контроле, в технологических процессах, в научных исследованиях и т. п. требует развитого методического обеспечения при проведении измерений в условиях априорной неопределённости, разработки на этой основе новых оптико-электронных систем различного назначения

Среди оптических методов, предназначенных для количественной диагностики биологических тканей, наиболее простыми и эффективными являются методы диффузной отражательной спектроскопии, основанные на воздействии на ткань излучением с различной длиной волны или с широким спектром и анализе спектральных и пространственных (спектроскопия с пространственным разрешением) характеристик излучения, рассеянного тканью в обратном направлении. Важным достоинством данных методов является относительная дешевизна и доступность необходимого оборудования, поскольку измерения могут выполняться на основе коммерчески-доступных спектрофотометров с интегрирующей сферой или волоконно-оптических устройств [4–15]. Детектируемые оптические сигналы являются суперпозицией рассеяния и поглощения ткани и поэтому несут информацию о её оптических параметрах и концентрациях оптически-активных хромофоров. Количественные оценки параметров ткани получают путём моделирования процесса переноса в ней излучения и сравнения теоретических расчётов потоков рассеянного тканью света с экспериментальными данными. Разработанные к настоящему времени аналитические методы теории переноса излучения [14, 16] используют различные приближения, в соответствии с которыми доминирующим процессом ослабления света в среде и её отдельных слоях является поглощение или рассеяние. Данные методы позволяют достаточно просто и быстро рассчитывать потоки обратно рассеянного светом по заданным значениям её структурных и оптических параметров. Однако эти преимущества даются ценой снижения точности расчётов, а используемые допущения методов существенно ограничивают область их применения. Численные методы решения уравнения переноса излучения, такие как метод Монте-Карло [3], дискретных ординат [17], «добавления-удвоения» [18] и др., хоть и свободны от предположений относительно оптических параметров среды, однако требуют больших затрат машинного времени и поэтому в настоящее время не находят применения в клинической диагностической практике, а используются исключительно для решения научных задач. Известен также ряд полуэмпирических методов [8–11], основанных на аппроксимациях результатов оптических измерений для множества калибровочных образцов с известными оптическими параметрами. Данные методы правомерны лишь для однородных сред, все оптические свойства которых определяются двумя оптическими параметрами – коэффициентом поглощения и транспортным коэффициентом рассеяния. При этом они могут давать

некорректные или даже бессмысленные результаты, в тех случаях, когда значения оптических параметров среды выходят за пределы области, охватываемой калибровочными образцами. Узкая область применения подобных методов, сложность учёта многослойного строения среды и вариаций других её оптических параметров, таких как анизотропия рассеяния и показатель преломления, существенно затрудняют применение данных методов на практике. Таким образом, несмотря на достаточно большое количество методов теории переноса излучения, разработка быстрых и надежных методов расчёта спектрально-пространственных характеристик обратного рассеяния однородных и многослойных биотканей все ещё остаётся актуальной задачей.

## 2. Заключение

Эффективное использование оптико-физических методов измерений в диагностике, контроле, в технологических процессах, в научных исследованиях и т. п. требует развитого методического обеспечения при проведении измерений в условиях априорной неопределённости. Для диагностики биообъектов и обеспечения необходимой для практики точности требуется применение методов теории переноса излучения не использующих различные приближения о доминирующем процессе взаимодействия, что, в свою очередь требует больших вычислительных затрат и, поэтому, исключает возможность интерпретации экспериментальных данных в режиме реального времени (например, при использовании наиболее точного метода Монте-Карло).

## Конфликт интересов

Автор статьи заявляет, что у него нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами, на момент подачи статьи в редакцию журнала, и ему ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

## Список литературы

1. Зуев В. Е., Наац И. Э. Обратные задачи лазерного зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1992. 240 с.
2. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1974. 509 с.
3. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. Под ред. Марчука. Новосибирск: Наука, 1971. 296 с.
4. Иванов А. П., Дик В. П., Барун В. В. Малогабаритный спектрофотометр для диагностики параметров биотканей и гуморальных сред // сборник науч. трудов VIII Международной научной конференции «Лазерная физика и оптические технологии», (Минск, 27–30 сентября 2010 г.). Минск, 2010. Т. 1. С. 271–275.
5. Yudovsky D., Pilon L. Retrieving skin properties from in vivo spectral reflectance measurements // J. Biophotonics. 2011. Vol. 4, № 5. P. 305–314.
6. Patent US 5,353,790. Method and apparatus for optical measurement of bilirubin in tissue: [A61N5/06](#), [G01N21/47](#) / S. L. Jacques, D. G. Oelberg, I. Saidi; applicant of invention: [Board Of Regents, The University Of Texas System](#) – № US 07/822,461; claimed 17.01.1992; published 11.10.1994.
7. G. Zonios [et. al.]. Diffuse reflectance spectroscopy of human adenomatous colon polyps in vivo // Appl. Opt. 1999. Vol. 38, № 31. P. 6628–6637.

8. Johns M., Giller C., Liu H. Determination of hemoglobin oxygen saturation from turbid media using reflectance spectroscopy with small source-detector separation // *Appl. Spectroscopy*. 2001. Vol. 55, № 12. P. 1686–1694.
9. Dam J. S. [et. al.]. Fiber-optic probe for noninvasive real-time determination of tissue optical properties at multiple wavelengths // *Appl. Opt.* 2001. Vol. 40, № 7. P. 1155–1164.
10. Ghosh N. [et. al.] Measurement of optical transport properties of normal and malignant human breast tissue // *Appl. Opt.* 2001. Vol. 40, № 1. P. 176–184.
11. Bargo P. R. [et. al.]. In vivo determination of optical properties of normal and tumor tissue with white light reflectance and an empirical light transport model during endoscopy // *J. Biomed. Opt.* 2005. Vol. 10, № 3. P. 1–15.
12. Palmer G. M., Ramanujam N. Monte-Carlo based inverse model for calculating tissue optical properties. Part I: Theory and validation on synthetic phantoms // *Appl. Opt.* 2006. Vol. 45, № 5. P. 1062–1071.
13. Patent № US 2009/0270702 A1. Method and apparatus for measuring cancerous changes from reflectance spectral measurements obtained during endoscopic imaging. A61B 5/1455, A61B 6/00 / H. Zeng, Y. S. Fawzy; applicant of invention: S. L. Jacques, D. G. Oelberg, I. Saidi – № US 11/722,822; claimed 20.01.2006; published 29.10.2009.
14. Zonios G. A., Dimou A.. Modeling diffuse reflectance from semi-infinite turbid media: application to the study of skin optical properties // *Optics Express*. 2006. Vol. 14, № 19. P. 8661–8674.
15. Bevilacqua F. [et. al.] In vivo local determination of tissue optical properties: applications to human brain // *Appl. Opt.* – 1999. – Vol. 38, № 22. – P. 4939–4950.
16. Барун В. В. Поглощение света кровью при низкоинтенсивном лазерном облучении кожи / В. В. Барун, А. П. Иванов // *Квантовая электроника*. –2010. – Т. 40, № 4. – С. 371–376.
17. Liou K. N. An introduction to atmospheric radiation. Second edition / K. N. Liou. – New York, London: Academic Press, 2002. – 583 p.
18. Light transport in tissue [Electronic resource] / S. A. Prahl. PhD Thesis. – Univ. Texas at Austin, 1988. – Mode of access: <http://omlc.org/~prahl/pubs/abs/prahl88.html>. – Date of access : 28.01.2016.

**Problems of optical and physical measurements  
(interpretation of measurement information)**

Kugeiko M. M.

*220030, Belarus, Minsk, Independence Avenue 4, Belarusian State University*

Considered, requiring development, problems of interpretation of measurement information in optical-physical measurements. The necessity of using the most accurate methods of the theory of radiation transfer in diagnostics of biological objects is noted.

*Key words:* optical-physical measurements, transfer theory, biological objects, interpretation of measurement information.