

УДК 53.089.62

РАЗВИТИЕ ПОДХОДОВ К МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИЗОБРАЖАЮЩЕЙ СТОКС-ПОЛЯРИМЕТРИИ БИЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

Хлынов Р.Д. (Университет ИТМО), Рыжова В.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рыжова В.А.
(Университет ИТМО)

Введение. Актуальной задачей в исследовании биологических сред представляется разработка поляризационно-оптических методов, позволяющих создавать многопараметрические автоматизированные системы. При этом одной из важных задач является выполнение требований метрологического обеспечения измерительных средств.

Исследование биологических сред, в частности таких диффузно-рассеивающих сред как кровь, в настоящее время является весьма актуальной задачей в связи с мутацией уже изученных и появлением новых смертельных вирусов и бактерий. Клиническое исследование крови пациента в медицинских учреждениях (больницах и поликлиниках) по-прежнему реализовано на основе инвазивных методов, заключающихся в сборе образцов крови в стеклянный капилляр, добавлении антикоагулянта и центрифугировании около пяти минут. Дальнейший анализ проводится спустя время, которое необходимо для оседания эритроцитов и прямого подсчета клеток плазмы и крови. Сложность автоматизации измерительной процедуры и визуализации полученных результатов приводит к ограничению использования инвазивных методов в чрезвычайных ситуациях медицины катастроф, а также при хирургических операциях, когда требуется быстрая оценка состояния пациента для принятия правильного решения. В связи с этим все более востребованными становятся неинвазивные подходы к исследованию оптически неоднородных объектов и сред с использованием видеоинформационных систем, обладающих большей информативностью, быстродействием, простотой интеграции с исследовательскими и диагностическими комплексами в биологии и медицине.

Важной процедурой, направленной на снижение погрешностей измерения, которые могут возникнуть в процессе исследования поляризационных свойств биологических сред является калибровка средства измерений, которая позволяет учесть в качестве поправок влияние «неидеальности» элементов оптического тракта на результат измерения поляризационных параметров излучения. В связи с этим данная работа посвящена развитию подходов к метрологическому обеспечению процедуры, направленной на измерение поляризационных параметров излучения, рассеянного биологической кровесодержащей средой. Рассматриваются особенности калибровки оптической схемы фотоэлектрического Стокс-поляриметра с разделением анализируемого пучка излучения по амплитуде [1]. В схеме реализована возможность визуализации и программной обработки распределений параметров поляризованного излучения на выходе исследуемой среды, что позволит обеспечить неинвазивность мониторинга уровня гематокрита крови и анализа его отклонений от нормы для решения задач ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний у пациентов, находящихся в критическом состоянии.

Основная часть. Согласно ГОСТ Р 8.897-2014 методики калибровки средств измерений по назначению подразделяются на три класса, а ГОСТ Р 8.736-2011 обеспечивает единство единиц и погрешности измерений. Преимущественно следует использовать методики, приведенные в международных, региональных, межгосударственных или национальных стандартах. Однако, в силу специфики функционирования видеоинформационных измерителей систем поляриметрии, описания регламентированных процедур калибровки в общедоступных нормативных документах отсутствуют. Указанное обстоятельство приводит к необходимости разработки и оптимизации соответствующих методик калибровки.

Далеко не всегда свойства биологических сред могут быть выражены через единицы средства измерений, так как молекулярная структура их аналитов точно не известна, матрица стандартных образцов отлична от матриц биологических проб. Поэтому для медицинской

сферы согласно ГОСТ 34100-2017 актуальна не погрешность измерения, а неопределенность измерения. В области лабораторной медицины оценивание неопределенности измерения позволяет при мониторинге состояния пациента обосновано устанавливать границы допустимых расхождений результатов измерений, что очень актуально при мониторинге уровня гематокрита крови.

По результатам аналитического обзора методик калибровки Стокс-поляриметров [2] предпочтение было отдано методике калибровки с использованием произвольного набора линейно независимых калибровочных векторов. Она обеспечивает в четыре раза меньшую погрешность по сравнению с другими. Для применения выбранной методики калибровки к разработанному ранее четырехканальному Стокс-поляриметру [1] был произведен расчет итоговой реальной приборной матрицы системы для всех пикселей изображений, в которой будут учтены все относительные погрешности измерения. Как известно четырехканальный поляриметр является самым простым прибором для измерения состояния поляризации монохроматического или квазимонохроматического светового пучка, определяемого четырьмя параметрами Стокса. Он состоит из стационарного расположения четырех детекторов, которые создают выходной вектор тока, линейно связанный через входной вектор Стокса. В данной работе описывается процедура калибровки, с помощью которой приборная матрица точно определяется с использованием несовершенного генератора состояния поляризации. В частности, мы показываем, что приборная матрица может быть получена без учета небольших несовершенств основных оптических элементов генератора состояния поляризации, по крайней мере, первого порядка. В связи с тем, что наиболее существенные несовершенства находятся в четвертьволновой пластинке канала генератора состояния поляризации наибольшая часть итоговой приборной матрицы, определяется без ее участия. Первые три столбца приборной матрицы определяются из откликов поляриметра на падающий право- и лево-циркулярно поляризованный свет. Основная трудность заключается в том, что их практически невозможно точно сгенерировать из-за несовершенства четвертьволновой пластинки в канале генератора состояния поляризации. Поэтому в данной работе были сформированы право- и лево-циркулярные околокруглые состояния на входе свободные от несовершенств четвертьволновой пластинки в генераторе состояния поляризации. Знание откликов Стокс-поляриметра на сгенерированные произвольные состояния поляризации на входе поляриметра позволяют сформировать систему уравнений из шестнадцати неизвестных и найти все четыре неизвестных столбца итоговой приборной матрицы разработанного Стокс-поляриметра для мониторинга диффузно-рассеивающих биологических сред, в частности, крови пациента.

Выводы. Продемонстрирован подход для нахождения приборной матрицы оптического тракта Стокс-поляриметра, в которой могут быть учтены все относительные погрешности, возникающие в процессе исследования биологических сред.

Список использованных источников:

1. Khlynov, R.D.; Ryzhova, V.A.; Yarishev, S.N.; Konyakhin, I.A.; Korotaev, V.V.; Shelepin, Y.E.; Djamiykov, T.S.; Marinov, M.B. Analysis of Polarization Images in the Microphysical Blood Parameters Research for the Hematocrit Diagnostics. *Micromachines* **2022**, 13(12), 2241. <https://doi.org/10.3390/mi13122241>
2. Nguyen, C.T.; Khlynov, R.D.; Ryzhova, V.A.; Gorbachev, A.A.; Yarishev, S.N.; Konyakhin, I.A.; Djamiykov, T.S.; Marinov, M.B. Calibration Methods of a Portable Polarizing System for Monitoring Optically Inhomogeneous Media. *Computation* **2022**, 10(8), 131. <https://doi.org/10.3390/computation10080131>