

УДК 681.785.542

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛАЗЕРНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ФЛУОРИМЕТРА

Галиева А. М., Гришанов В. Н.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Наиболее доступный объект диагностики *in vivo* у человека – кожа. Она накапливает в себе вещества, отражающие процессы, происходящие в организме. По содержанию конечных продуктов гликирования (КПГ) прогнозируются осложнения при диабете, ишемической болезни сердца. Для оценки этих веществ необходим флуориметр, который фиксирует автофлуоресценцию кожи (АФК).

На рис. 1 приведена структурная схема флуориметра. Оптико-механическая часть флуориметра заключена в непрозрачный кожух *б* с входным окном *7* и содержит лазерный модуль *1* с регулируемым коллиматором *2*, отсекающий светофильтр *5* и два фотодиода: *4* – канал измерения АФК, который интегрирует участок спектра, выделенный фильтром и отсекающим излучение возбуждения; *3* – опорного канала (без отсекающего фильтра). Опорный канал необходим для нормировки сигнала АФК на индивидуальные свойства кожи.

Количественно оценить влияние различных параметров на уровень сигнала помогает построение фотометрической модели флуориметра. Если в неё заложить конструктивные параметры прибора (рис. 1: расстояние от биообъекта до центра фотодиода *h*, расстояние между центрами фотодиодов *b*, вектор, по которому направлена ось индикатрисы чувствительности фотодиода, размер стороны квадратного окна *a*, радиус пучка лазерного излучения *w*, угол наклона фотодиода θ), то она ускоряет и упрощает разработку его конструкции. Влияние угла наклона фотодиода θ подробно рассматривается в работе.

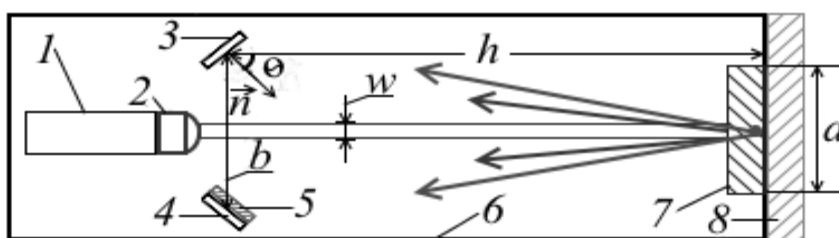


Рис. 1. Структурная схема флуориметра: 1 – лазерный диод, 2 – коллиматор, 3 – фотодиод опорного канала, 4 – фотодиод канала измерения автофлуоресценции, 5 – отсекающий светофильтр, 6 – корпус, 7 – защитное стекло, 8 – исследуемый биообъект

Подробно математическая модель диагностического флуориметра описана в статье [1]. В ней описаны формулы, рассчитывающие выходные сигналы на фотодиодах при $\theta = 0$. Если дополнить их выражениями для произвольного θ , то можно оценить его влияние на сигнал:

$$OD = b - h \cdot \operatorname{tg} \theta, \quad (1)$$

OD – расстояние между центрами фотодиодов и окна, где b – расстояние между фотодиодами, θ – угол, который образует ось индикатрисы чувствительности с

нормалью к исследуемой поверхности. Расстояние между элементарной площадкой и центром фоточувствительной площадки DC :

$$DC = \sqrt{y^2 + (x - OD)^2}, \quad (2)$$

Если β – это угол между направлением распространения излучения от элементарной площадки в сторону фотодиода и осью его индикатрисы чувствительности \vec{n} , то по теореме косинусов:

$$\cos \beta = \frac{r^2 + \left(\frac{h}{\cos \theta}\right)^2 - DC^2}{2 \cdot r \cdot \frac{h}{\cos \theta}}, \quad (3)$$

$$U = \frac{k \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int \frac{\cos \varphi \cdot \cos \beta}{r^2} dx dy}{a^2}, \quad (4)$$

Когда θ варьирует от 0° до 90° , а r – расстояние от элементарной площадки до фотодиода, тогда U – это сигнал на фотодиоде

При $a=10$ мм, $b=10$ мм, $h=15$ мм результаты моделирования выглядят следующим образом: рис. 2. При $\theta=32^\circ$ наблюдается наибольший уровень сигнала.

$$Q = \frac{U_{32^\circ}}{U_{0^\circ}} = 1,168, \quad (5)$$

где Q – энергетический выигрыш от наклона фотодиода.

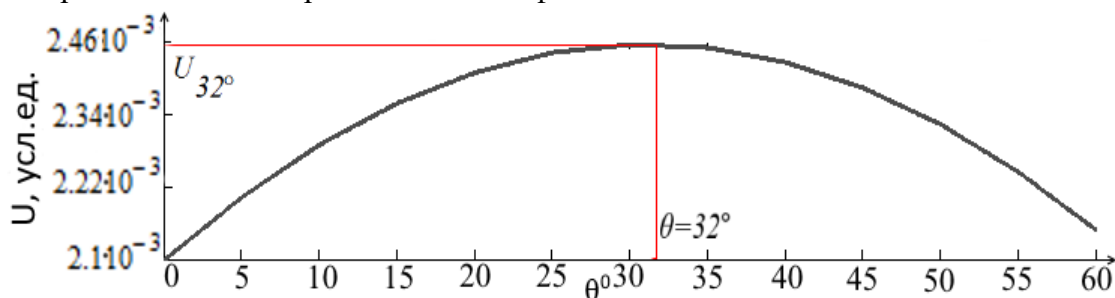


Рис. 2. Зависимость сигнала от угла θ

В допустимых конструктивных рамках наклоном фотодиода можно получить почти 17% приращение выходного сигнала. Модель выполнена в пакете компьютерной математики Mathcad, в который закладываются фотометрические модели компонент оптической системы, описанные выше. Заданные явно математические функции обеспечивают открытость модели в целом и доступность её модификации пользователем.

Библиографический список

1. Галиева, А.М. Фотометрическая модель лазерного диагностического флуориметра с точечными фотоприёмниками. [Электронный ресурс] / А.М. Галиева, К.В. Черепанов, В.Н. Гришанов - Перспективные информационные технологии (ПИТ 2017): труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2017. – С. 873 – 876.