

УДК 535.247.4

С. С. Гринь, Т. В. Кустов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянов (Ленина)

Применение цилиндрической оптики в исследовании биотестовых реакций с помощью ПЗС-линейки

Рассмотрены особенности применения цилиндрической оптики при проведении анализа биотестовых реакций с помощью ПЗС-линейки. Приводится сравнительный анализ новой и ранее разработанной методик исследования биотестовых реакций с помощью ПЗС-линейки. Описываются особенности изучения светового потока и определения концентрации инфузорий по высоте кюветы с помощью данной методики.

Цилиндрическая линза, инфузории, мощность светового потока, оптическая схема

Для исследования биотестовых реакций на сегодняшний день широкое распространение получили оптические методы. Одним из наиболее пригодных фотоприемников для создания биотестовой аппаратуры, способной контролировать распределение микроорганизмов по высоте кюветы, является ПЗС-линейка. Имеется ряд сложностей при определении концентрации инфузорий по высоте кюветы с помощью ПЗС-линейки. Ранее было предложено решение, основанное на случайном попадании инфузорий в узкий световой пучок, зондирующий пробу. Новым методологическим подходом стало применение цилиндрической оптики, которая позволяет спроецировать весь световой поток, прошедший через кювету на плоскость пикселей ПЗС-линейки.

На рис. 1 приведена ранее разработанная оптическая схема для исследования биотестовых реакций с помощью ПЗС-линейки (вид сбоку и вид сверху). Имеется источник света 1, диафрагма источника 2, фокусирующая линза 3, входная и выходная диафрагма 4, 6 в виде вертикальной щели, кювета со средой 9, в которой движутся клетки 8, рассеивающие падающее излучение, а также ПЗС-линейка 7.

Математическая модель данного измерительного преобразователя основана на представлении выходного сигнала в виде случайного процесса. Узкий вертикальный световой пучок, в который случайным образом попадают клетки, рассеивая свет, зондирует пробу в кювете и попадает на ПЗС-линейку. Выходной сигнал представляется в виде матрицы напряжений [1].

По значениям выходного напряжения оценивается суммарный коэффициент ослабления мощности светового потока или экстинкция (ξ), пространственно-временное распределение которой представляет случайный импульсный процесс. Он описывается зависимостью:

$$\xi(i, j) = K_{\text{осл}U}(i, j) + K_{\text{шум/пад}U}(i, j),$$

где $K_{\text{осл}U}(i, j)$ – средний за время кадра коэффициент ослабления потока взвесью; $K_{\text{шум/пад}U}$ – коэффициент шума выходного напряжения фотоприемника; i – номер пикселя; j – номер кадра.

Исходя из вышеприведенных зависимостей, можно рассчитать концентрации клеток в кювете на разной высоте. Она связана со средним значением и дисперсией случайного процесса ξ :

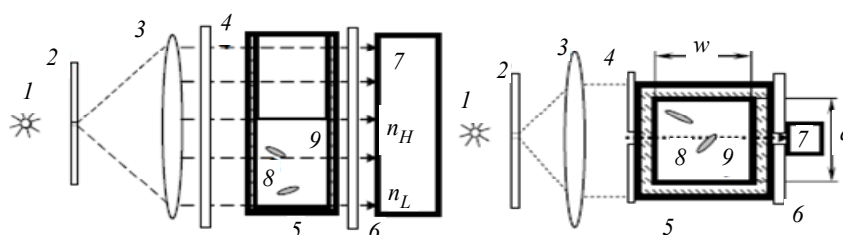


Рис. 1

$$\bar{X} = \frac{1}{(H-L)Z} \sum_l \sum_j \xi(i, t_j) = K_M C,$$

$$D = \frac{1}{(H-L)Z} \sum_i D(\xi(j, i)) = K_D C,$$

где K_M и K_D – коэффициенты пропорциональности, связывающие на основе теоремы Кэмпбелла интенсивность светового потока со средним значением и дисперсией пуассоновского процесса; H и L – номера верхнего и нижнего фотоприемников n_H и n_L соответственно; Z – число кадров; C – концентрация микроорганизмов. По полученным значениям концентрации клеток в пробе оценивается ее токсичность [1].

В ходе исследований были выявлены следующие недостатки данной системы:

- невозможность оценки всего светового потока, прошедшего через пробу, так как из всего светового потока вырезается узкий световой пучок;
- детектирование клеток в узком вертикальном световом пучке, вследствие чего появляется необходимость представления попадания инфузорий в детектируемую область в виде случайного процесса;
- сложный математический аппарат статистической обработки измерительных сигналов;
- необходимость учета движения клеток вдоль горизонтальной оси.

Для решения вышеприведенных проблем была разработана новая оптическая схема измерительного преобразователя, включающая цилиндрическую линзу, которая кардинально меняет принципы получения измерительного сигнала.

Особенность цилиндрической линзы заключается в том, что выходной световой пучок фокусируется в виде вертикальной оси на выбранную плоскость. Таким образом, если между ПЗС-линейкой и кюветой установить данную линзу, то на плоскость ПЗС-линейки попадет весь световой поток, прошедший через кювет, который будет отражать особенности изменения концентрации клеток инфузорий вдоль вертикальной оси.

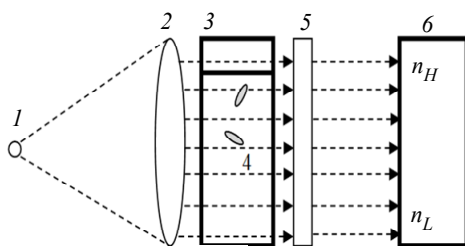


Рис. 2

На рис. 2 и 3 показана оптическая схема новой системы, которая отображает особенности формирования выходного светового пучка на плоскости фоточувствительных пикселей ПЗС-линейки, прошедшего через кювету с пробой и сфокусированного цилиндрической линзой. Отсюда видно, что любое изменение концентрации клеток вдоль вертикальной оси будет отражено в изменении интенсивности светового пучка на определенном уровне высоты кюветы.

Математическое выражение, описывающее мощность светового потока на единичном пикселе, имеет следующий вид:

$$P_n = P_{\text{ц}} \frac{h_{\text{пик}}}{nh} = \frac{P_0}{\pi R_0^2} dH_k \frac{F_{\text{ц}}}{F_0} \frac{h_{\text{пик}}}{nh},$$

где n – количество пикселей ПЗС-линейки; h – ширина светового пучка, сфокусированного цилиндрической линзой; $h_{\text{пик}}$ – высота пиксела; $P_{\text{ц}}$ – мощность светового потока, падающего на цилиндрическую линзу.

Зная значения мощности светового потока в чистой воде и в воде с микроорганизмами, можно определить их концентрацию и распределение вдоль вертикальной оси:

$$T = \frac{P}{P_0} = \frac{U - U_T}{U_0 - U_T},$$

где T – коэффициент пропускания исследуемой среды, который связан с мощностью светового потока P , зондирующего эту среду; U – напряжение на выходе ПЗС-линейки, соответствующее световому потоку, прошедшему через исследуемый раствор, U_0 – напряжение на выходе ПЗС-линейки, соответствующее световому потоку, прошедшему через «холостую пробу», U_T – темновое напряжение.

В ходе исследований была также проверена работоспособность разработанной системы.

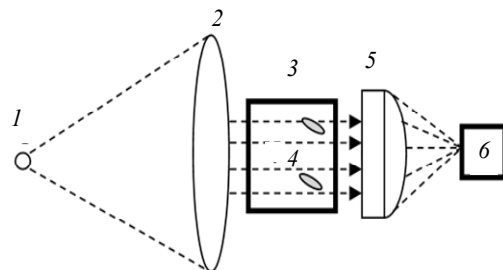


Рис. 3

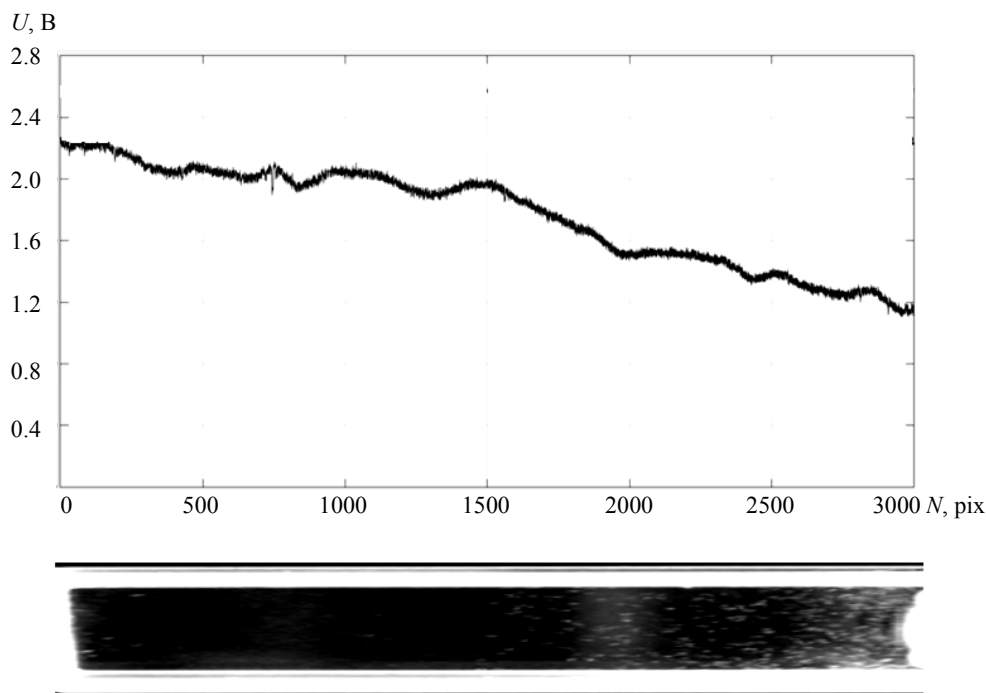


Рис. 4

На рис. 4 отображено распределение вдоль вертикальной оси концентрации клеток попиксельно.

Детектирование клеток проводилось в растворе Лозина-Лозинского, так как эта среда считается наиболее благоприятной для обитания инфузорий, и в ней максимально различимо движение клеток вдоль вертикальной оси. Изначально за счет встряхивания формировалось равномерное распределение клеток в кювете, затем кювета 20 мин отстаивалась, после чего вновь проводились измерения

Как видно на фотографии под графиком, через 20 мин большинство клеток переместилось в верхнюю область кюветы. Это зафиксировано измери-

тельным преобразователем и отображено на графике для определения концентрации этого слоя.

Для определения концентрации клеток на заданном уровне высоты кюветы строится градуировочная зависимость коэффициентов пропускания исследуемого раствора через кювету от заранее известных концентраций инфузорий при условии равномерного распределения клеток в кювете.

Таким образом, применение цилиндрической оптики позволяет миновать сложный математический аппарат статистической обработки случайного сигнала, а изучать непосредственно весь световой поток, проходящий через кювету с микроорганизмами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завгородний А. В. Разработка метода и средств контроля пространственно-временного распределения оптических характеристик взвеси инфузорий для биотестирования водных сред: дис. ... канд. техн. наук / 05.11.13. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2008.

2. Кравцов Ю. А., Орлов Ю. И. Границы применимости метода геометрической оптики и смежные вопросы. М.: Изд-во УФН, 1980. 496 с.

3. Аракелян С. М., Ляхов Г. А., Чилингарян Ю. С. Нелинейная оптика жидких кристаллов. М.: Изд-во УФН, 1975. 262 с.

S. S. Grin, T. V. Kustov

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

THE USE OF CYLINDRICAL OPTICS TO THE STUDY OF BIOTEST REACTIONS USING A CCD LINEAR SENSOR

The article is devoted to features of application of cylindrical optics in the analysis Biotest reactions using a CCD linear sensor. The article provides a comparative analysis of new and previously developed research methods Biotest reactions using a CCD linear sensor. Describes features of studying the light flux and determine the concentration of ciliates at the height of the cell using this technique.

Cylindrical lens, ciliate, light output power, optical scheme