

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

И. С. Лискер, Г. И. Лихицкая, С. В. Соловьев, В. Л. Тряпицын

ГНУ Агрофизический научно-исследовательский институт Россельхозакадемии
195220 Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

Поступила в редакцию 17 декабря 2013 г., принята к печати 03 марта 2014 г.

В статье описывается функциональная структура оригинального фотометрического устройства, позволяющего регистрировать электрические сигналы первичной информации об оптических свойствах различных технических или биологических объектов и производить вычисление их параметров в процессе измерения. При этом измеряются эффекты прямого взаимодействия лучистых потоков различных длин волн на исследуемые объекты. Компьютерная программа устройства предусматривает возможность регистрации в одном эксперименте всего комплекса оптических характеристик объекта. Оптические характеристики объекта исследования, определяемые методом фотометрической полусферы, включают в себя энергию падающего на объект лучистого потока и все реакции объекта на данный поток: интегральные параметры зеркального и диффузного отражения, пропускания и поглощения, а также индикатриссы рассеивания диффузно отраженного излучения под различными углами склонения по вертикали в 180° и по азимуту в 360° . Для измерения указанных коэффициентов используется интегрирующая фотометрическая полусфера, имеющая диффузно отражающую внутреннюю поверхность, в которой равномерно по поверхности закреплены фотоприемники, фиксирующие диффузно-отраженное излучение.

Ключевые слова: фотометр, диффузное и зеркальное отражение, поглощение, фотометрическая полусфера.

ВВЕДЕНИЕ

Фотометрический метод предоставляет возможность получения информации о параметрах культур и об их различиях (Лискер, 2013). Объектом исследований являются семена злаковых культур, например, семена пшеницы различных сортов. При этом исследуются процессы всасывания воды семенами в процессе их намачивания через зародыш. После измерения массы и оптических свойств семян пшеницы проводятся дополнительные исследования. В устройстве используется метод фотометрической полусферы, измерения оптических параметров основаны на использовании эффектов прямого взаимодействия монохроматических лучистых потоков заданных длин волн с исследуемым объектом.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Общее выражение для описания метода фотометрической полусферы имеет следующий вид:

$$E_0 = E_{обр}^{зр} + E_{обр}^{дф} + E_{обр}^{пр} + E_{обр}^{пг}, \quad (1)$$

где E_0 – энергия падающего на объект исследования излучения заданной длины волны;

доли падающей энергии: $E_{обр}^{зр}$ – зеркально и $E_{обр}^{дф}$ – диффузно отраженных от объект исследования; $E_{обр}^{пр}$ – прошедший через объект исследования и $E_{обр}^{пг}$ – поглощенный им.

Надпись «обр» означает, что измерение проводится с образцом, «без обр» – без образца.

Энергия потока источника излучения, прошедшего через светоделительную пластину и выходное отверстие полусферы, регистрируется (при отсутствии объекта исследования) фотоприемником $\Phi_{пр}$ и равна:

$$E_0 = E_{сдп} + E_{безобр}^{пр}. \quad (2)$$

Преобразовав (1), получим выражение для величины энергии падающего потока:

$$E_0 = E_{сдп} + (1 + E_{безобр}^{пр}/E_{сдп}). \quad (3)$$

$$E_0 = K_0 \cdot E_{сдп}, \quad (4)$$

где

$$K_0 = (1 + E_{безобр}^{пр})/E_{сдп}. \quad (5)$$

Величина коэффициента K_0 является постоянной фотометрической полусферы, и поэтому в эксперименте по определению па-

раметров объекта исследования для установления величины E_0 достаточно измерить $E_{сдп}$.

Поток энергии монохроматического лучистого потока E_0 , зеркально отраженный от объекта исследования, при взаимодействии со светоделительной пластиной состоит из отраженного от нее потока, измеряемого и от прошедшего через нее и неизменяемого.

$$E_{обр}^{зр} = E_{сдп}^{зр} + E_x^{зр} = E_{сдп}^{зр} (1 + E_x^{зр}/E_{сдп}^{зр}). \quad (6)$$

$$K_{зр} = 1 + E_x^{зр}/E_{сдп}^{зр}. \quad (7)$$

$$E_{обр}^{зр} = K^{зр} \cdot E_{сдп}^{зр}. \quad (8)$$

Величина $E_x^{зр}$ определяется следующим образом. Установим вместо объекта исследования металлическую пластину с зеркально отполированной поверхностью, чтобы падающий поток не поглощался и не пропусклся ею. Тогда выражение будет иметь следующий вид:

$$E_0 = E_{сдп}^{зр} + E_x^{зр} + E^{дф}. \quad (9)$$

Откуда следует:

$$E_x^{зр} = E_0 - E^{дф} - E_{сдп}^{зр}. \quad (10)$$

После преобразований получим следующее выражение:

$$K^{зр} = (E_0 - E^{дф})/E_{сдп}^{зр}. \quad (11)$$

Коэффициент зеркального отражения является в оптической полусфере величиной постоянной, и поэтому для определения $E^{зр}$ достаточно измерить $E_{сдп}^{зр}$. Внутренняя поверхность фотометрической полусферы радиуса R разделена на заданное число горизонтальных шаровых зон одинаковой ширины h . Номер зоны определяется индексом z . Фотоприемники Φ_n во всех шаровых зонах полусферы имеют единые порядковые номера n , число которых в зонах различно.

В стенке оптической полусферы (рис. 1) в каждой z -й шаровой зоне сделаны отверстия, где равномерно по ее окружности установлены фотоприемники Φ_n . Их светочувствительная площадь диаметром d_ϕ направлена к центру входного отверстия полусферы. Диффузно отраженный от образца лучистый поток фиксируется всеми фотоприемниками одновременно. Внутренняя поверхность фотометрической полусферы равна $S_0 = 2\pi Rh$, величина $R - R = z_{max}h$. Площадь поверхности, освещаемая диффузно отраженным от объекта исследования лу-

чистым потоком в пределах каждой зоны, равна $S_{ш} = 2\pi Rh$, площадь, охватывающая каждый фотоприемник, $- S_{ш} = 2\pi Rh/n_z$.

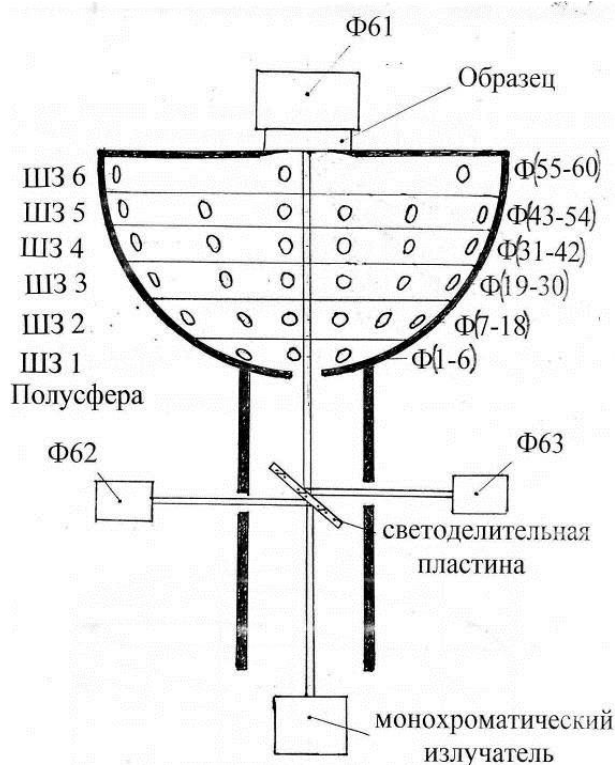


Рис. 1. Принципиальная схема расположения фотодиодов в фотометрической полусфере

Плотность лучистого потока, регистрируемая фотоприемником Φ_n в z -х шаровых зонах, определяется соотношением:

$$P_z = E_\phi n^2 z / 2\pi Rh.$$

Величина интегрального диффузного отражения равна:

$$E_{обр}^{дф} = 8Rh \Sigma E_\phi \cdot n_z \cdot d_\phi^2.$$

Энергия потока излучения, прошедшего через объект исследования, расположенный в центре диска фотоприемника:

$$E_{обр}^n = E_\phi^{пр}.$$

Созданная ранее функциональная схема фотометра, используемая для измерения оптических характеристик объектов, представлена на рис. 2. В состав приведенной схемы входят: лазерный источник оптического излучения, фотометрическая полусфера, устройство регистрации сигнала и персональный компьютер (ПК). Фотометр выполнен в виде отдельного автономного устройства и связан с компьютером через интерфейс передачи данных RS-232. В данной схеме компьютер используется для вычисления вторичных параметров и визуализации соответствующих графиков и таблиц. В та-

кой конфигурации устройства все узлы обработки сигналов выполнены аппаратно и являются узкоспециализированными. На усилитель подаются сигналы от коммутатора, который подключает последовательно каждый из действующих фотоприемников на его вход. С выхода усилителя сигналы подаются на АЦП. Коммутатор, усилитель сигналов и АЦП расположены в корпусе фотометра.

Изображенная на рисунке схема представляет определенные неудобства: она не позволяет достаточно быстро менять алгоритм взаимодействия функциональных узлов устройства (последовательность и длительность опроса фотоприемников, автоматический выбор коэффициентов усиления), а также увеличивать быстродействие прибора и скорость передачи данных. Поэтому для устранения отмеченных недостатков авторами рассмотрена другая схема.

На рис. 3 приведена схема устройства, в которой внешние функциональные узлы, преобразующие сигналы фотодиодов, представлены в виде программы, расположенной в оперативной памяти компьютера. Коммутатор также находится в корпусе фотометра, а усилитель и АЦП расположены на специализированной плате сбора данных ADUC PCI-9114, включенной в схему компьютера путем подключения к шине PCI. Суть предлагаемой схемы прибора заключается в том, что ряд функциональных узлов исключается из внешней структуры устройства за счет переноса их функций в компьютер. То есть функции, реализующие метод измерения и ранее выполнявшиеся внешними аппаратными средствами, теперь введены в оперативную память компьютера в виде программного блока, реализующего рассмотренные выше операции действия.

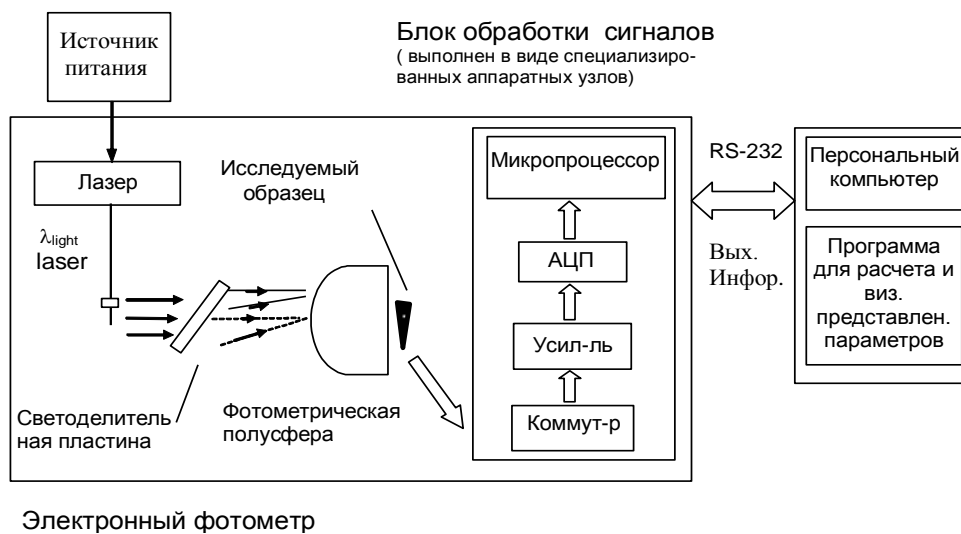


Рис. 2. Функциональная структура разработанного фотометрического устройства (первый вариант)

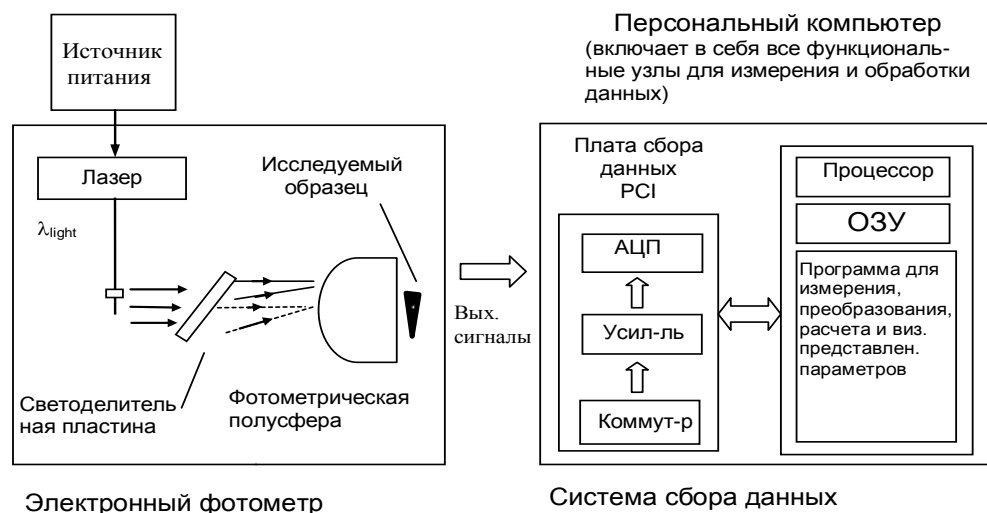


Рис. 3. Функциональная структура разработанного фотометрического устройства (второй вариант)

Это существенно упрощает устройство, делает его менее громоздким, ускоряет его разработку и изготовление, позволяет легко изменять последовательность опроса каналов, а также облегчает взаимодействие оператора с данным устройством. Приведенная схема позволяет программировать взаимодействие отдельных функциональных узлов фотометра, алгоритм измерения первичных параметров и обработки результатов измерений и вычисление вторичных параметров. Плата ADUC PCI-9114 основана на 32-х разрядной архитектуре шины PCI. На ней имеется 32 несимметричных или 16 дифференциальных аналоговых каналов ввода с программируемыми коэффициентами усиления 1, 10, 100, 1000 для каждого канала. Также на ней расположены АЦП и 32 выходных дискретных канала. Группа из 6 указанных каналов предназначена для управления коммутатором на 64 фотоприемника. 60 из них расположены на фотометрической полусфере для измерения диффузно отраженного излучения.

Кроме них есть еще дополнительные фотодиоды Ф61, Ф62 и Ф63. Фотодиод Ф61 измеряет полный падающий световой поток, Ф62 – отраженный от светоделительной пластины и Ф63 – прошедший через светоделительную пластину (рис. 1).

Для создания программы использовалась специальная библиотека программных функций, реализующих интерфейс с платой сбора данных и различные режимы измерения сигналов.

Каждый фотоприемник подключен к одному из аналоговых каналов коммутатора. Благодаря связи платы сбора данных с персональным компьютером вся обработка данных, полученных с АЦП, а также вывод результатов вычислений на экран монитора производится компьютерной программой. Также в программе реализован подбор оптимального коэффициента усиления для входного усилителя аналоговых сигналов и последовательный опрос всех каналов фотоприемников.

Программу можно условно разделить на два логических блока. Первый производит последовательный опрос аналоговых входов, преобразование и масштабирование полученных данных, второй выполняет вычисление по заданным формулам коэффициентов и вывод их на экран в виде таблиц и графиков в прямоугольных и полярных координатах.

На основе измеренных значений сигналов производится расчет коэффициентов отражения, поглощения и пропускания. По значениям указанных коэффициентов можно судить о физических свойствах объекта исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Измерения фотометрических параметров при помощи данного прибора проводятся следующим образом. На плоскость прибора, расположенную над полусферой, кладется образец. В плоскости по центру полусферы сделано отверстие, благодаря которому образец освещается лазером и отражает излучение в полусферу. Таким образом от-

раженное излучение регистрируется фотодиодами. После нажатия кнопки «Пуск» в окне компьютерной программы проводится цикл измерений, результаты которого отображаются на экране. В описываемом здесь эксперименте в качестве объекта исследования использовались семена ячменя в количестве 20 штук. Производились измерения сухих и намоченных семян. При этом в процессе намачивания измерения проводились через каждые 15 минут. Семена были помещены в специальную кассету, которая закреплялась на крышке прибора и могла передвигаться вдоль нее, чтобы устанавливать каждый раз над отверстием плоскости одно из семян. После проведения измерений были рассчитаны средние значения коэффициентов и построены их зависимости от времени намачивания семян, представленные на рисунках 4

и 5. Расчет средних значений проводился с помощью программы «Mathcad».

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при увеличении степени намачивания семян повышается их оптическое поглощение и уменьшается отражение.

ВЫВОДЫ

Предложенный алгоритм физического исследования позволяет получить максимум информации в одном эксперименте – зарегистрировать все эффекты взаимодействия лучистого потока заданной длины волны с объектом исследования. Это дает возможность оценить состояние биологического объекта. Такие параметры, как абсолютное значение мощности излучения и длительность регистрации, предоставляют информацию о реакции объекта исследования на его облучение монохроматическим источником.

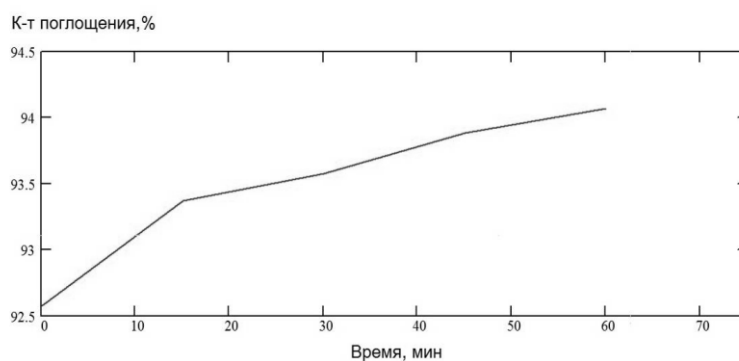


Рис. 4. Изменение коэффициента поглощения семян во времени при замачивании

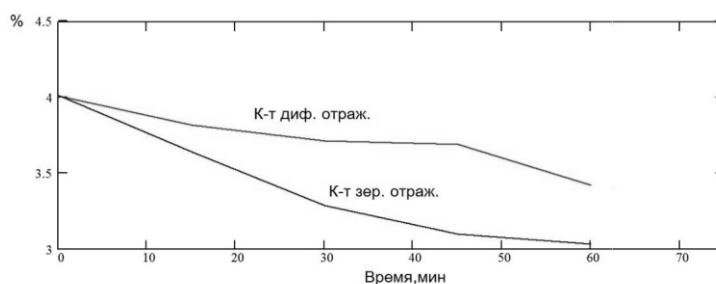


Рис. 5. Изменение коэффициентов диффузного и зеркального отражения семян во времени при замачивании

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лискер И. С. 2013. Вариационные методы экспериментального исследования тепловых, электрических, магнитных и оптических свойств различных объектов. СПб.

