

В. И. Бакаленко, доц., канд. техн. наук;  
Т. А. Дейнека, ст. преп. (БГТУ, г. Минск);  
А. Л. Бровенко (г. Москва, РФ)

## **ОЦЕНКА ПОГЛОЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЛИСТОВЫМИ ПЛАСТИНАМИ РАСТЕНИЙ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ СВЕТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕНСОРОВ TSL2561**

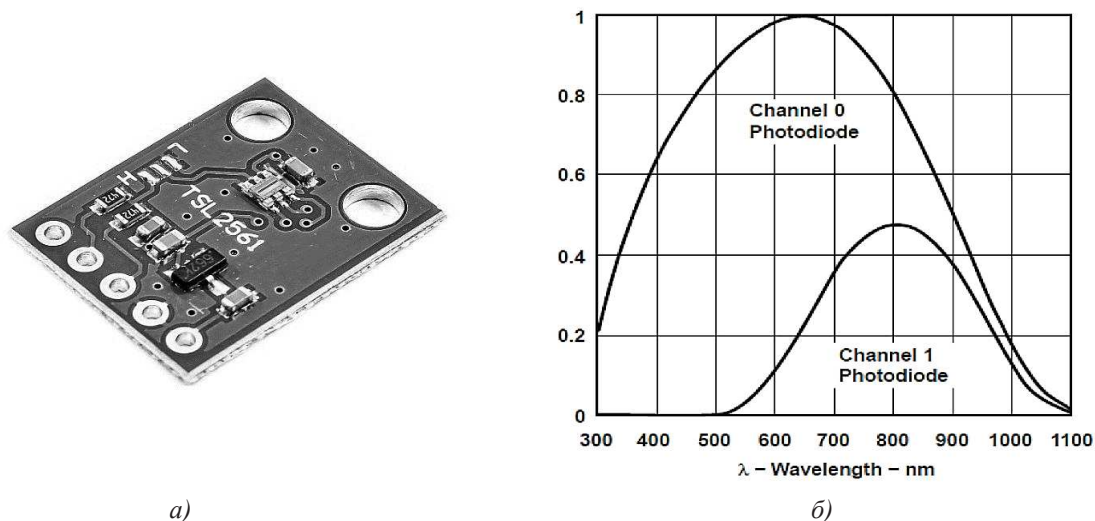
Для разработки систем управления технологическими процессами при клональном микроразмножении растений необходимы математические модели, описывающие как устройства контроля и регулирования, так и размножаемые растения. Физиологические процессы, протекающие в растениях, могут быть описаны с использованием моделей тепло-массообменных процессов, включающих уравнения лучистого теплообмена, конвективного теплообмена, теплообмена за счет теплопроводности, тепла испарения влаги из листа (транспирация). Для оценки энергии, поступающей за счет поглощения света, необходимо измерить удельную мощность падающего, отраженного и прошедшего через лист света. Для таких измерений необходимы соответствующие средства измерений. Основными требованиями к датчикам, с учетом возможности их дальнейшего использования в системах управления, стали: невысокая стоимость, широкий динамический диапазон, цифровое представление результатов измерений, возможность объединения нескольких датчиков и контроллеров в сеть. Были рассмотрены следующие типы сенсоров BH1750 (ROHM Semiconductor), TSL2561 и TSL2591 (TAOS).

На основании анализа технической документации для дальнейшей работы был выбран сенсор TSL2561, имеющий следующие преимущества [1]: динамический диапазон 1:400 000; наличие двух каналов измерений; наличие 3 программируемых адресов; стандартный интерфейс ИС; стоимость менее 10\$.

Чувствительными элементами TSL2561 являются два фотодиода. Один из них измеряет удельную мощность потока излучения в диапазоне 300–1100 нм с центром 640 нм, другой – в диапазоне 500–1000 нм с центром 800 нм (рис.1.б). Комбинируя показания фотодиодов, можно получить оценку мощности потока в диапазоне физиологически активного света 300–700 нм.

TSL2561 имеет встроенный 16-битный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и микроконтроллер (МК). В МК имеется функция изменения времени интегрирования тока фотодиодов 13,7; 101 и 402 мс, что позволяет выбирать диапазон измеряемой мощности

0-112 (5047 ед. АЦП), 0-15 (37177 ед. АЦП), 0-3,8 (65535 ед. АЦП) Вт/м<sup>2</sup>.



а) – внешний вид, б) – спектральная характеристика фотодиодов

**Рисунок 1 – Сенсор TSL2561**

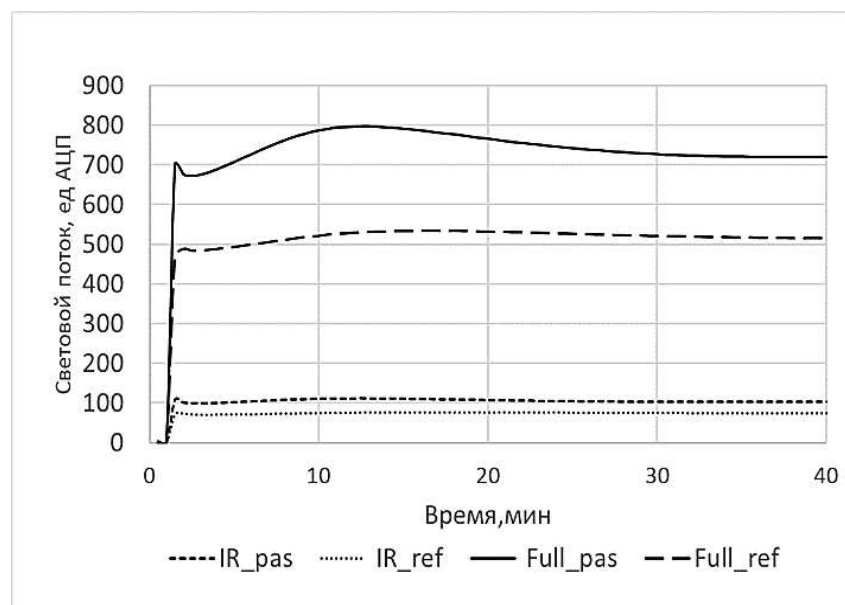
Для проверки соответствия выбранных типов датчиков приведенным выше требованиям, к микроконтроллеру на базе ATmega328, были подключены два модуля TSL2561 по интерфейсу ИС. В качестве объекта измерений были выбраны молодые растения Пеларгонии (*Pelargonium*) из семейства Гераниевых.

Источником света служил светодиодный светильник белого света (6000К) мощностью 1600 Лм, который располагался на расстоянии 25 см от листовой пластины. Удельная мощность светового потока, падающего на лист, составила около 110 Вт/м<sup>2</sup> (4940 единиц АЦП). Проходящий свет измерялся датчиком, расположенным на расстоянии 4–5 мм под листом, а отраженный – датчиком, расположенным на расстоянии 4–5 мм над листом под углом 60° к листовой пластине.

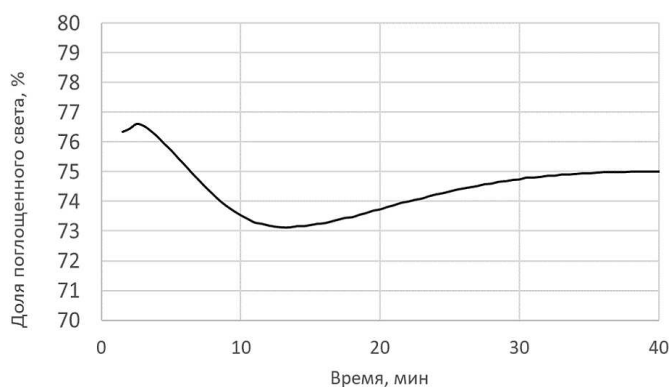
Предварительно растение в течение 8 часов выдерживалось в темноте. Быстродействие TSL2561 позволило выполнять измерения через малые интервалы времени и, как следствие, фиксировать нестационарный процесс поглощения энергии света в начальный период времени освещения.

Переходные процессы, предположительно, могут быть связаны с конечной скоростью установления равновесной концентрации молекул хлорофилла, находящихся в основном и возбужденном состоянии, а также движением хлоропластов в клетках.

Результаты экспериментов приведены на рис. 2.



**Рисунок 2 – Характерный график отраженного (ref) и прошедшего (pas) света по каналам Ch0 (Full) и Ch1 (IR)**



**Рисунок 3 – Изменение доли поглощенного света**

В установившихся режимах доля прошедшего через лист света составляла около 15%, отраженного – около 10%. Соответственно, доля поглощенного света составила около 75% (рис. 3).

Параллельно с измерениями световых потоков проводился контроль температуры листовой пластины с помощью пирометра. Температура листа превышала температуру воздуха после стабилизации на 0,5°C. Поглощенное тепло отводилось транспирацией. Расчетный поток транспирации должен составить около 32 мг/м<sup>2</sup>/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Light-To-Digital Converter TSL2561. Datasheet. Texas Advanced Optoelectronic Solution.