

АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДАТЧИК РЕГИСТРАЦИИ СУТОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ОСВЕЩЁННОСТИ В РАЙОНЕ Г. СЕВАСТОПОЛЯ

Чекушкин А.А.¹, Лелеков А.С.², Тренкеншу Р.П.²

¹ Севастопольский государственный университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, РФ; e-mail: chekushkin.78@mail.ru

² Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН

пр. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, РФ; e-mail: a.lelekov@yandex.ru

Поступила в редакцию: 02.07.2018.

Аннотация. В данной работе предложен автоматический датчик измерения освещённости и температуры на базе платформы Arduino Nano. Основным элементом датчика являлся CdS фоторезистор GL12516, максимум поглощения световой энергии которого приходится в зелёную область спектра. Температура измерялась с помощью датчика LM 35. Данные с заданным временным интервалом записываются на Micro SD карту памяти. Датчик был откалиброван в условиях тепличного модуля для промышленного выращивания микроводорослей, расположенного на базе радиобиологического корпуса ИМБИ им. А. О. Ковалевского РАН г. Севастополя. Показано, что напряжение и освещённость связаны между собой нелинейно, определены коэффициенты эмпирической функции зависимости освещённости от напряжения на фоторезисторе. Проведена апробация датчика, приведены суточные изменения освещённости на поверхности бассейна с культурой *Dunaliella salina*, а также изменения температуры.

Ключевые слова: платформа Arduino Nano, фоторезистор GL12516, термодатчик LM 35, моделирование, *Dunaliella salina*.

Исследования закономерностей, связывающих эффективность, скорость фотобиосинтеза микроводорослей и обеспеченность световой энергией, являются одной из актуальных задач в современной физиологии фотоавтотрофных организмов. Известно, что при выращивании микроводорослей в условиях естественного освещения, наблюдаются суточные колебания скорости роста культуры и продукции основных биохимических компонентов (белков, жиров, углеводов). В течение светового периода (днём) в клетках микроводорослей наблюдается накопление полисахаридов и липидов, а в ходе темного содержания данных веществ уменьшается [1, 2]. Массово микроводоросли, как правило, выращивают в открытых или закрытых фотобиореакторах под открытым небом, что обуславливает суточную ритмику роста и биосинтеза. Как следствие, большинство работ в этой области носят прикладной биотехнологический характер. В работе [3] авторы моделируют взаимосвязь продуктивности культуры микроводорослей с облучённостью поверхности бассейна в зависимости от времени года. В работе [4] разработана комплексная математическая модель, которая устанавливает взаимосвязь продуктивности культуры микроводорослей со световыми, температурными условиями, концентрацией основных биогенных элементов, растворенного кислорода. В работе [5] предложена математическая модель роста диатомовой водоросли *Isochrysis galbana* в условиях открытых бассейнов. Модель учитывает влияние глубины бассейна, концентрации хлорофилла а на продуктивность культуры для различных времен года.

Таким образом, первым шагом при моделировании влияния периодически изменяющихся световых условий на продуктивность культуры и продукцию основных биохимических составляющих является разработка автоматической системы контроля основных параметров внешней среды. Световые условия – ключевой фактор, который определяет скорость роста и продукцию того или иного компонента биомассы микроводорослей. Современные приборы для измерения светового обеспечения микроводорослей можно разделить на три группы: 1. Люксметр предназначен для измерения освещённости в видимой области спектра (380 ÷ 760) нм, создаваемой различными источниками, произвольно пространственно расположенными (единицы измерения – люксы); 2. Пиранометр – применяется для измерений энергетической облучённости, создаваемой солнечным излучением и другими источниками непрерывного оптического излучения в диапазоне длин волн от 300 нм до 2400 нм (единицы измерения Вт/м²); 3. Квантометр – измеряет количество квантов в области ФАР (единицы измерения мкмоль/(м²·с)). Автоматические средства контроля световых условий являются дорогостоящим оборудованием, либо выполнены под задачи конкретного исследования или производства.

Целью данной работы являлась разработка, сборка и калибровка автоматического датчика для определения суточных изменений освещённости в районе г. Севастополя, удовлетворяющего следующим требованиям: 1. Простота, надёжность, минимальная стоимость конструкции; 2. Все составные части должны быть стандартного фабричного производства.

Автоматический датчик на основе платформы Arduino Nano.

Платформа Arduino Nano, построенная на микроконтроллере ATmega168, разработана компанией Gravitech, имеет небольшие размеры, невысокую стоимость и может использоваться в научных исследованиях. Платформа может получать питание через USB-подключение или от регулируемого 6-20 В внешнего источника. В нашей схеме для стабильной работы Arduino Nano использовался импульсный понижающий регулируемый стабилизатор постоянного напряжения DC-DC LM2596. Микроконтроллер ATmega168 поставляется с

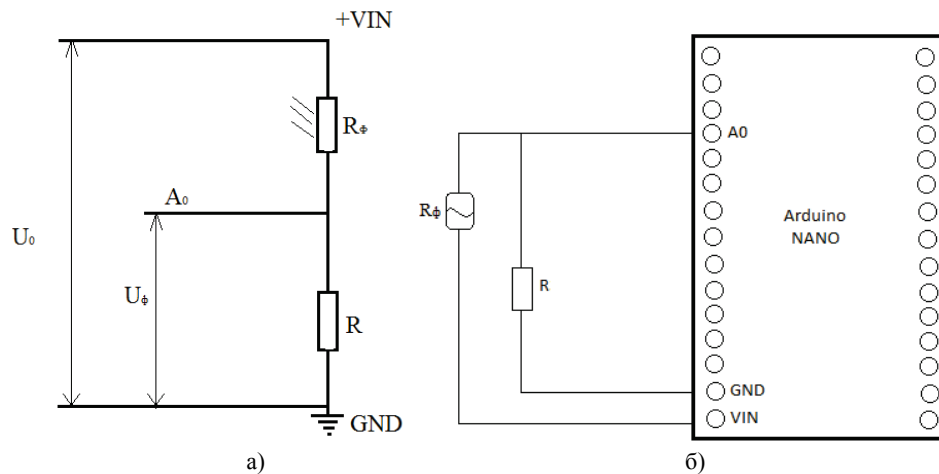


Рисунок 3. Принципиальная (а) и монтажная (б) схема подключения фоторезистора GL 12516 к ARDUINO NANO. Обозначения в тексте

резко уменьшает свое сопротивление. Меняя значение сопротивления R , мы можем регулировать уровень чувствительности к освещённости. Так как в наших условиях максимальная освещённость достигала порядка 100 клк, экспериментально подобрано сопротивление в 72 Ом.

В схеме делитель напряжения представляет собой два последовательно включённых резистора R и R_ϕ , подключённых к источнику напряжения U_0 . Поскольку резисторы соединены последовательно, то ток, проходящий через них, будет одинаков по первому закону Кирхгофа. Падение напряжения на каждом резисторе, согласно закону Ома для участка цепи, будет пропорционально сопротивлению. Для каждого резистора имеем:

$$\begin{cases} U = I \cdot R \\ U_\phi = I \cdot R_\phi \end{cases}$$

Сложив выражения, можно выразить силу тока в цепи, а, следовательно, падение напряжения на каждом резисторе:

$$U + U_\phi = U_0 = I \cdot (R + R_\phi), I = \frac{U_0}{R + R_\phi},$$

$$U_\phi = U_0 \frac{R_\phi}{R + R_\phi}. \tag{1}$$

Таким образом, для выявления взаимосвязи регистрируемого напряжения U_ϕ с величиной освещённости, необходимо задать зависимость сопротивления фоторезистора R_ϕ от освещённости. На рисунке 4а представлена такая зависимость по данным [7] для CdS-фоторезисторов. Так как диапазон данных по [7] довольно узок и ограничивается освещённостью в 1000 лк, нами проведено экспериментальное определение данной зависимости в условиях тепличного модуля для промышленного выращивания микроводорослей, расположенного на базе радиобиологического корпуса ИМБИ им. А.О. Ковалевского РАН г. Севастополя (рис. 4б). Полученные результаты были аппроксимированы эмпирической функцией:

$$R_\phi = \frac{a \cdot E}{1 + b \cdot E + c \cdot E^2}, \tag{2}$$

где a, b, c – коэффициенты.

Подставляя выражение (2) в (1), получим окончательную формулу взаимосвязи напряжения на фоторезисторе GL 12516 с освещённостью:

$$U_\phi = U_0 \frac{a \cdot E}{R + (a + b) \cdot E + c \cdot E^2}. \tag{3}$$

Уравнение (3) показывает, что напряжение и освещённость связаны между собой нелинейно. В результате аппроксимации (см. рис. 5а), показано высокое соответствие ($R^2 = 0,97$) уравнения (3) с экспериментальными данными для условий тепличного модуля на базе ИМБИ г. Севастополя.

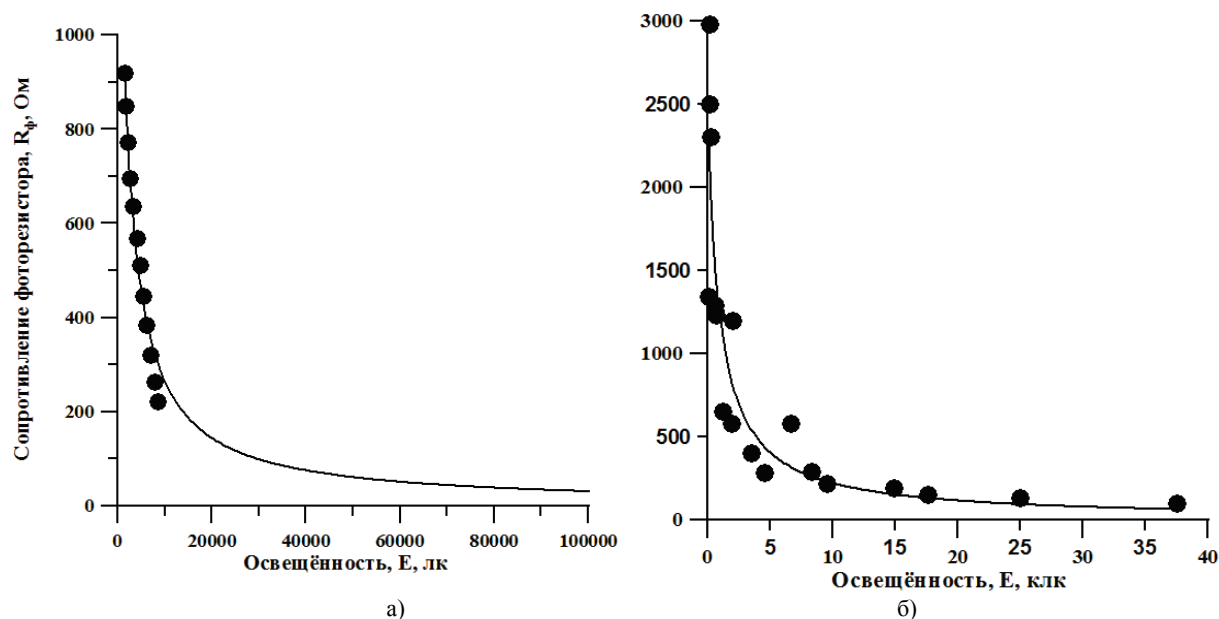


Рисунок 4. Зависимость сопротивления фоторезистора от освещённости. а – по данным [7], б – экспериментальные данные для тепличного модуля на базе ИМБИ г. Севастополя. Линия – аппроксимация экспериментальных данных уравнением (2)

В практических расчётах необходимо определять величину освещённости в зависимости от напряжения на фоторезисторе. Такую зависимость можно получить, решая (3) относительно U_{ϕ} . Однако в виду сложности получаемой формулы, для перевода единиц напряжения в освещённость используем эмпирическое кубическое выражение, расчёт по которому представлен на рисунке 5б:

$$E = 7,64 \cdot (U_{\phi} + 0,21)^3. \quad (4)$$

Апробация полученного калибровочного уравнения проводилась в условиях тепличного модуля, расположенного на базе ИМБИ г. Севастополя с 20.06. по 24.06.18 г. На рисунке 6 представлены суточные изменения освещённости на поверхности бассейна с культурой *Dunaliella salina*, а также изменения температуры воздуха (сплошная кривая) и бассейна (пунктирная кривая). Временной интервал между двумя последующими измерениями был задан в 10 мин. При необходимости данный параметр может быть изменён как в большую, так и в меньшую сторону.

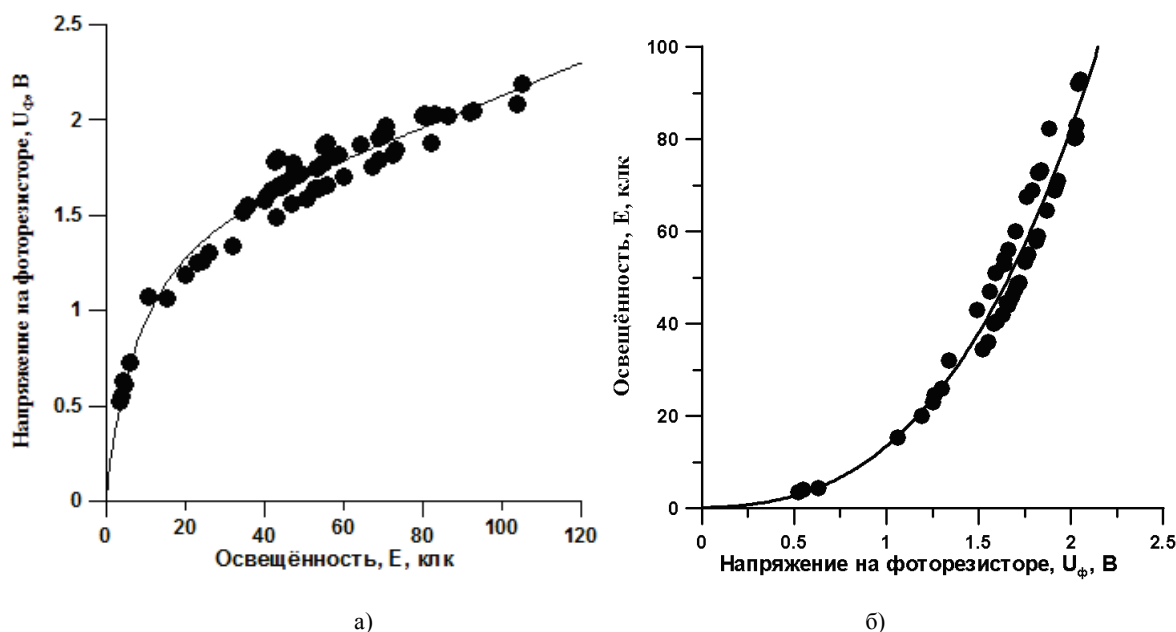


Рисунок 5. Зависимость напряжения на фоторезисторе от освещённости. Точки – экспериментальные данные для тепличного модуля на базе ИМБИ г. Севастополя. Линии – аппроксимация экспериментальных данных уравнениями (3) и (4)

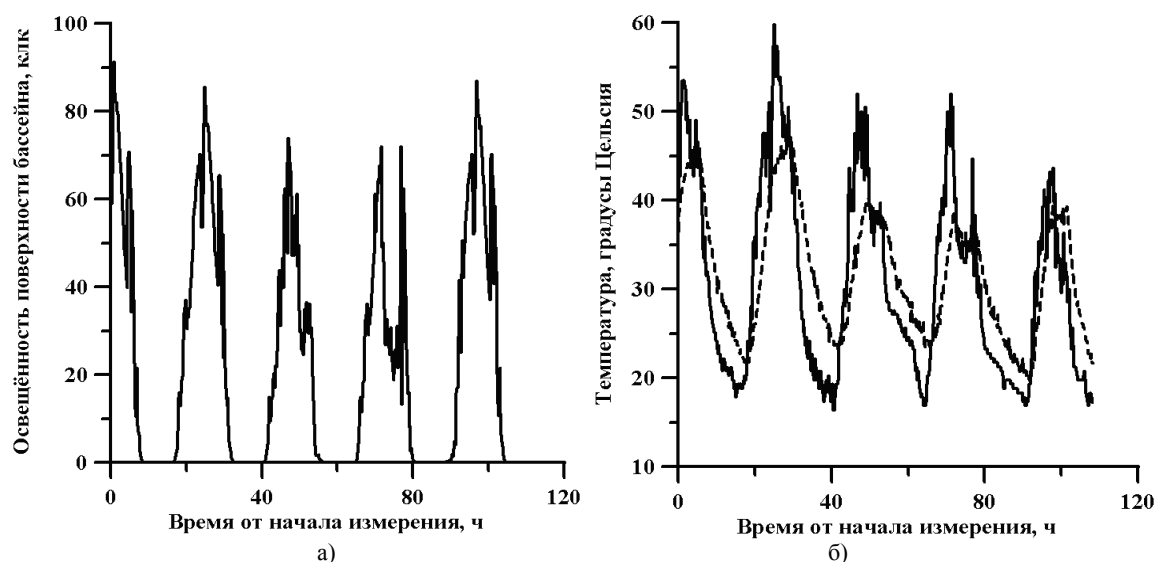


Рисунок 6. Суточные изменения освещённости (а) и температуры (б) в тепличном модуле на базе ИМБИ г. Севастополя

Закключение.

В данной работе предложен автоматический датчик измерения освещённости и температуры на базе платформы Arduino Nano. К достоинствам данного датчика можно отнести: 1. Простота изготовления; 2. Все комплектующие стандартного фабричного производства, так что в случае выхода из строя одного из них замена не представляет трудностей; 3. Конечная стоимость изделия в десятки раз ниже существующих аналогов. При необходимости освещённость, регистрируемая датчиком, может быть переведена в энергетические единицы [8].

Работа выполнена в рамках госзадания по НИР «Разработка научных основ решения гидробиологических и биотехнологических проблем интегрированного управления прибрежными зонами» № АААА-А18-118021350003-6 и частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-44-920009 p_a.

Список литературы / References:

1. Gibson C.E. Growth rate, maintenance energy and pigmentation of planktonic Cyanophyta during one-hour light: Dark cycles. *British Phycological Journal*, 1985, vol. 20, no. 2, pp.155-161.
2. Тренкеншу Р.П., Новикова Т.М. Простейшие модели роста микроводорослей. 10. Динамика общего биохимического состава клеток. *Морской экологический журнал*, 2014, т. 13, № 4, с. 71-78. URL: <http://dspace.marine-research.org/handle/299011/1389>. [Trenkenshu R.P., Novikova T.M. The simplest models of microalgae growth. 10. General dynamics biochemical composition cells. *Morskoj ehkologicheskij zhurnal*, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 71-78. URL: <http://dspace.marine-research.org/handle/299011/1389>. (In Russ.)]
3. Grobbelaar J.U. Modeling algal productivity in large outdoor cultures and waste treatment systems. *Biomass*, 1990, vol. 21, pp. 297-314.
4. Hill D.T., Lincoln E.P. Development and validation of a comprehensive model of large-scale production of microalgae. *Agricultural Waresel*, 1981, vol. 3, pp.43-64.
5. Sukenik A., Levy R.S., Levy Y. [et al.] Optimizing algal biomass production in an outdoor pond: a simulation model. *Journal of Applied Phycology*, 1991, vol. 3, pp. 191-201.
6. CdS Photoresistor Manual. GL125 Series Photoresistor. URL: <https://opencircuit.nl/ProductInfo/1000662/GL12528-Datasheet.pdf>.
7. Олеск А.О. *Фоторезисторы*. М. – Л.: Изд-во Энергия, 1966, 128 с. [Olesk A.O. *Photoresistors*. М.: Energia Publishing House, 1966, 128 p. (In Russ.)]
8. Геворгиз Р.Г., Малахов А.С. *Пересчёт величины освещённости фотобиореактора в величину облучённости: учебно-методическое пособие*. Севастополь: ООО "Колорит", 2018, 60 с. URL: <http://dspace.marine-research.org/handle/299011/2068>. [Georgis G.R., Malakhov A.S. *Recalculation of the illumination value of the photobioreactor in the amount of irradiance: a teaching manual*. Sevastopol: "Kolorit", 2018, 60 p. URL: <http://dspace.marine-research.org/handle/299011/2068>. (In Russ.)]

AUTOMATIC SENSOR REGISTRATION CIRCADIAN VARIATION OF ILLUMINANCE IN THE SEVASTOPOL REGION**Chekushkin A.A.¹, Lelekov A.S.², Trenkenshu R.P.²**¹ Sevastopol State University*Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russia; e-mail: anatoliy chekushkin @ mail.ru*² Institute of Marine Biological Research A. O. Kovalevsky*Nachimov av., 2, Sevastopol, 299011, Russia; e-mail: a.lelekov @ yandex.ru*

Abstract. In this paper, we propose an automatic sensor for measuring light and temperature on the Arduino Nano platform basis. The main element of the sensor was a CdS photoresistor GL12516, the maximum absorption of light energy which falls in the green range of the spectrum. The temperature was measured using the LM 35 sensor. Data with a specified time interval was recorded on a MicroSD memory card. The sensor was calibrated in the conditions of the hothouse module for industrial cultivation of microalgae, located on the basis of the radiobiological building of IMBI A. O. Kovalevsky RAS of Sevastopol. It is shown that the voltage and illumination are connected with each other non-linearly, the coefficients of the empirical function of the dependence of illumination on the voltage on the photoresistor were determined. The sensor has been tested daily changes of illumination on the surface of the pond with *Dunaliella salina* culture, as well as changes in temperature were given.

Key words: *Arduino Nano platform, GL12516 photoresistor, LM35 temperature sensor, modeling.*