DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-30-6-10
УДК [681.586.57:681.5.015]:628.987

В. С. Газалов, Е. А. Шабаетв, М. М. Романовец

Gazalov V. S., Shabaev E. A., Romanovets M. M.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДАТЧИКА ОСВЕЩЕННОСТИ

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF DYNAMIC MODEL OF THE LIGHT SENSOR

Перспективным способом снижения потребления электроэнергии в животноводстве является применение систем автоматического управления освещением. За счет использования таких систем в животноводстве можно повысить энергетическую и биологическую эффективность использования искусственного освещения. Одной из основных задач системы управления освещением в животноводческом помещении является поддержание заданного уровня освещенности. Для анализа и синтеза систем автоматического регулирования (САР) освещенности методом компьютерного моделирования требуются динамические модели отдельных элементов САР в форме передаточных функций. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению модели датчика освещенности ФС-03, используемого в системе автоматического регулирования уровнем освещенности в помещении для содержания животных. Применение для исследований платы АЦП, совместно с компьютерной обработкой и аппроксимацией полученных данных, позволило получить модель датчика освещенности высокой точности. В качестве аппроксимирующих моделей были использованы апериодическое звено первого порядка с запаздыванием и колебательное звено второго порядка. Лучшей схожимостью с опытными данными обладает передаточная функция в форме колебательного звена. Полученная динамическая модель датчика освещенности ФС-03 может быть использована при разработке САР уровня освещенности в помещениях со светодиодными светильниками.

Ключевые слова: освещение, светодиод, САР, освещенность, датчик, модель.

A promising way to reduce electricity consumption in animal husbandry is the use of automatic lighting control systems. By using such systems in animal husbandry, it is possible to increase the energy and biological efficiency of using artificial lighting. One of the main tasks of the lighting control system in the livestock room is to maintain a given level of illumination. For the analysis and synthesis of automatic control systems (ACS) illumination by computer simulation method, dynamic models of individual ACS elements in the form of transfer functions are required. The article presents the results of experimental studies to determine the model of the light sensor FS-03 used in the system of automatic control of the level of illumination in a premise for keeping animals. The use of ADCs for research, together with computer processing and approximation of the obtained data, made it possible to obtain the model illumination sensor with high-accuracy. As approximating models, a first-order aperiodic element with delay and a second-order oscillatory element were used. The best convergence with experimental data is the transfer function in the form of an oscillatory element. The obtained dynamic model of the light sensor FS-03 can be used to design the ACS level of illumination in premises with LED light sources.

Key words: lighting, LED, ACS, illumination, sensor, model.

Газалов Владимир Сергеевич –
доктор технических наук, профессор кафедры
эксплуатации энергетического оборудования
и электрических машин Азово-Черноморского
инженерного института
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный
университет»
г. Зерноград
Тел.: 8-928-135-87-77
E-mail: gazalv@rambler.ru

Шабаетв Евгений Адимович –
кандидат технических наук, доцент кафедры
эксплуатации энергетического оборудования
и электрических машин Азово-Черноморского
инженерного института
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный
университет»
г. Зерноград
Тел.: 8-928-769-38-93
E-mail: sea007@rambler.ru

Романовец Михаил Михайлович –
аспирант кафедры эксплуатации энергетического
оборудования и электрических машин
Азово-Черноморского инженерного института
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный
университет»
г. Зерноград
Тел.: 8-908-199-02-29
E-mail: chikamunar@yandex.ru

Gazalov Vladimir Sergeevich –
Doctor of Technical Sciences, Professor
of the Department of Operation of Power Equipment
and Electrical Machines of Azov-Black Sea
Engineering Institute
FSBEI HE «Don State Agrarian University»
Zernograd
Tel.: 8-928-135-87-77
E-mail: gazalv@rambler.ru

Shabaev Evgeny Adimovich –
Ph. D. of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department of Operation of Power Equipment
and Electrical Machines of Azov-Black Sea
Engineering Institute
FSBEI HE «Don State Agrarian University»
Zernograd
Tel.: 8-928-769-38-93
E-mail: sea007@rambler.ru

Romanovets Mikhail Mikhailovich –
Post-graduate Student of the Department of Operation
of Power Equipment and Electrical Machines
of Azov-Black Sea Engineering Institute
FSBEI HE «Don State Agrarian University»
Zernograd
Tel.: 8-908-199-02-29
E-mail: chikamunar@yandex.ru

В последние годы все большее распространение получают системы освещения на основе твердотельных источников света. Светодиодные светильники используются на производстве, в сельском хозяйстве и в быту. Они обладают рядом преимуществ: низким энергопотреблением, длительным сроком службы, высоким индексом цветопередачи, малыми пульсациями и экологической безопасностью. Возможность простого управления потоком излучения открывает широкие возможности по созданию «умных» систем управления освещением.

За счет применения автоматических систем управления освещением в животноводстве можно повысить энергетическую и биологическую эффективность использования искусственного освещения [1]. Это достигается с помощью систем контроля и управления параметрами освещения. Например, если уровень освещенности в помещении создается как естественным, так и искусственным источниками света, то в разное время суток может наблюдаться избыток или недостаток освещенности, что снижает эффективность использования освещения. Применение систем управления освещенностью также позволяет устранить неравномерность освещения по площади помещения (особенно отмечается низкая освещенность в центральной и северных зонах [2]).

Оптимальный уровень освещенности в животноводческом помещении в течение дня позволяет точно поддерживать система автоматического регулирования (САР) освещенности замкнутого типа. Воспринимающим органом такой системы является датчик освещенности [3].

Управление световым потоком светодиодов можно осуществлять с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) тока, протекающего через светодиод. Частота ШИМ обычно составляет 0,5...1,0 кГц. При таких частотах даже малая инерционность датчика освещенности может оказывать существенное влияние на устойчивость и качество работы САР уровня освещенности.

При разработке САР освещенности требуется определение типа закона управления и оптимальных настроек регулятора. Анализ и синтез данной САР целесообразно проводить с помо-

щью компьютерного моделирования. Для этого требуются динамические математические модели отдельных элементов САР в форме передаточных функций. С этой целью проведены экспериментальные исследования по нахождению передаточной функции датчика освещенности.

Определение передаточных функций объекта может выполняться аналитически и экспериментально. Широкое распространение в практике автоматизации получил экспериментальный метод [4]. Суть данного метода заключается в некотором воздействии на вход объекта, фиксации отклика на выходе объекта и обработке экспериментальных данных. При воздействии на входную величину объекта выходная величина изменяется от начального значения до конечного установившегося значения в виде переходного во времени процесса. Определение передаточной функции объекта по его переходной характеристике производится по методике, в основе которой лежит метод аппроксимации [5]. При этом производится замена реального исследуемого объекта типовыми звеньями (передаточными функциями).

Для проведения исследований принят датчик освещенности типа ФС-03 производства научно-технической фирмы «МИКРОНИКС», рабочий диапазон измерения освещенности которого составляет 0...1000 лк и преобразуется в выходной унифицированный сигнал 0...10 В.

Исследование датчика освещенности проведено с использованием разработанной экспериментальной установки, представленной на рисунке 1.

Суть эксперимента заключалась в снятии графика переходного процесса, изменения во времени напряжения на выходе датчика, при ступенчатом изменении освещенности в момент включения светодиодных светильников. Измерение напряжения производилось с периодом 2 мс платой АЦП LA-70M4. Измерительный канал АЦП подключен через резистивный делитель напряжения параллельно аналоговому входу программируемого реле PR200 (рис. 2).

С помощью экспериментальной установки, приведенной на рисунке 2, проведены 11 опытов по снятию кривой переходного процесса на выходе датчика освещенности.

Рисунок 1 – Внешний вид экспериментальной установки

Рисунок 2 – Структурная схема экспериментальной установки

На первом этапе обработки экспериментальных данных от полезного сигнала отсечен фоновый сигнал (шум) небольшого уровня и проведено нормирование результатов опытов по отношению к установившемуся значению выходной величины. Для анализа выделялся диапазон экспериментальных данных из 60 точек, соответствующий по времени подаче входного ступенчатого воздействия (включения светильников) до достижения установившегося значения напряжения на выходе датчика освещенности. Результаты первичной обработки данных опыта № 1 представлены на рисунке 3.

Исходя из графика переходного процесса (рис. 3), динамическая модель датчика освещенности может быть описана передаточной функцией апериодического звена первого порядка с запаздыванием (1) или колебательного звена (2) [6]:

$$W(s) = \frac{k}{T_s + 1} e^{-\tau s}; \quad (1)$$

$$W(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}, \quad (2)$$

где k – передаточный коэффициент, В/лк;
 T , T_1 , T_2 – постоянные времени, с;
 τ – время чистого запаздывания, с.

Расчет параметров аппроксимирующей модели произведен в программе Microsoft Office

Excel с использованием надстройки «Поиск решений». В качестве критерия оптимизации целевой функции принята минимизация суммы модулей отклонения расчетных значений от экспериментальных по 60 расчетным точкам. Оптимизационная задача решена методом обобщенного приведенного градиента (ОПГ).

Перевод выходной величины (напряжения на выходе датчика) к относительным единицам позволил сократить число варьируемых параметров для аппроксимирующих моделей (1) и (2). В результате передаточный коэффициент $k = 1$ о.е. Для модели (1) осуществлялся программный «подбор» значений постоянной времени T и времени чистого запаздывания τ , для модели (2) – постоянных времени T_1 и T_2 .

Результаты аппроксимации данных опыта № 1 апериодическим звеном первого порядка с запаздыванием представлены на рисунке 4. Несмотря на высокую корреляцию с экспериментальными данными ($R^2 = 99,92\%$), кривая переходного процесса для аппроксимирующей модели (1) не совсем точно описывает начальный участок (рис. 4).

Лучшую сходимость с опытными данными имеет модель (2). Результирующий график переходного процесса для аппроксимирующей модели в форме колебательного звена представлен на рисунке 5.

Рисунок 3 – График переходного процесса на выходе датчика освещенности

Рисунок 4 – График переходного процесса для модели (1)

Рисунок 5 – График переходного процесса для колебательного звена

Таблица – Результаты расчета постоянных времени T_1 и T_2

Параметр	Номер опыта											Среднее значение ± стандартное отклонение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
T_1 , мс	18,127	18,558	18,324	18,475	18,492	18,671	18,623	18,254	18,230	18,476	18,340	$18,415 \pm 0,165$
T_2 , мс	4,172	3,872	3,755	3,560	3,778	3,672	3,715	3,932	3,855	3,613	3,945	$3,806 \pm 0,166$

При высоком значении коэффициента детерминации $R^2 = 99,99\%$ модель (2) более точно описывает экспериментальные данные (рис. 5). Это справедливо для всех 11 опытов.

Результаты аппроксимации экспериментальных данных моделью (2) для всех опытов после второй итерации приведены в таблице. Средние значения постоянных времени T_1 и T_2 определены с достаточной для инженерных расчетов точностью [7]. Стандартное отклонение для T_1 не превышает 1 %, для T_2 – ниже 5 % (таб.).

Передаточный коэффициент датчика освещенности ФС-03 можно определить на основании его паспортных данных и типа источника света:

$$k = \frac{U_B}{E_I} k_T, \quad (3)$$

где $U_B = 10$ В – напряжение на выходе датчика, соответствующее пределу измеряемой освещенности;

$E_I = 1000$ лк – предел измеряемой освещенности для I диапазона измерений;

k_T – тарировочный коэффициент датчика.

Коэффициент k_T зависит не только от реальной точности испытуемого датчика освещенности типа ФС-03, но и от используемого источника света, для которого его планируется применять. Последнее связано с различием спектральной чувствительности датчика и функции относительной видности излучения глаза человека.

В результате предварительных экспериментов определено значение тарировочного коэффициента датчика ФС-03 для применяемых

светильников на RGB-светодиодах, $k_T = 0,8748$. Тогда численное значение передаточного коэффициента датчика равно:

$$k = \frac{10}{1000} 0,8748 = 8,748 \cdot 10^{-3} \text{ В/лк} = 8,748 \text{ мВ/лк}.$$

Таким образом, искомое уравнение, описывающее передаточную характеристику датчика освещенности ФС-03, будет иметь следующий вид:

$$W(s) = \frac{8,748 \cdot 10^{-3}}{(18,415 \cdot 10^{-3}s + 1)(3,806 \cdot 10^{-3}s + 1)}. \quad (4)$$

Передаточную функцию колебательного звена (2) часто представляют в форме следующего выражения:

$$W(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 2\beta Ts + 1}, \quad (5)$$

где $T = \sqrt{T_1 T_2}$ – постоянная времени, с;
 $\beta = (T_1 + T_2)/2$ – коэффициент демпфирования.

Передаточная функция датчика освещенности ФС-03 в виде модели (5) будет иметь следующий вид:

$$W(s) = \frac{8,748 \cdot 10^{-3}}{(8,372 \cdot 10^{-3})^2 s^2 + 2 \cdot 1,327 \cdot 8,372 \cdot 10^{-3}s + 1}. \quad (6)$$

Использование платы АЦП и ПК позволило существенно снизить затраты времени на получение экспериментальных данных значительного объема опытов по снятию относительно быстрого переходного процесса на выходе датчика освещенности ФС-03. В результате обработки опытных данных в программе Microsoft Office Excel с достаточной точностью определены параметры динамической модели датчика в форме передаточных функций (4), (6) колебательного звена. Полученная динамическая модель датчика освещенности ФС-03 может быть использована при анализе и синтезе САУ уровня освещенности в помещениях со светодиодными светильниками.

Литература

1. Мартынова Е. Н., Ястребова Е. А. Освещенность животноводческих помещений и ее влияние на продуктивность коров [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6178> (дата обращения: 01.04.2018).
2. Казаков А. Влияние светового режима на продуктивность лактирующих коров // Молочное и мясное скотоводство. 2009. № 3. С. 12–13.
3. Газалов В. С., Шабаетов Е. А., Романов М. М. Энергосберегающая динамическая система освещения для животноводческих и птицеводческих помещений // Инновационные энерго-ресурсосберегающие технологии и техника 21 века : материалы Всерос. молодежной науч. конф. (Ростов-на-Дону, 03 марта 2017 г.) / Донской ГАУ ; Азово-Черномор. инж. ин-т, Донской ГАУ ; Новочерк. инж.-мелиор. ин-т, Донской ГАУ. Новочеркасск, 2017. С. 115–117.
4. Макаров И. М., Менский Б. М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал). 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1982. 504 с.
5. Тарасов А. В., Чепуштанов А. А., Горяев Н. С. Экспериментальное определение передаточной функции объекта регулирования // Ползуновский альманах. 2011. № 1. С. 116–118.
6. Денисенко В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации. Часть 2 // Современные технологии автоматизации. 2008. № 1. С. 86–99.
7. Экспериментальное определение передаточной функции электродного водонагревателя по его кривой разгона / А. А. Багаев, Ц. И. Калинин, В. Г. Горшенин, В. И. Булавцев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 5. С. 114–118.

References

1. Martynova E. N., Yastrebova E. A. Illumination of livestock premises and its impact on cow productivity [Electronic resource] // Modern problems of science and education. 2012. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6178> (access date: 01.04.2018).
2. Kazakov A. Influence of the light mode on the productivity of lactating cows // Dairy and beef cattle breeding. 2009. № 3. P. 12–13.
3. Gazalov V. S., Shabaev E. A., Romanovets M. M. Energy-saving dynamic lighting system for livestock and poultry premises // Innovative energy-resource-saving technologies and equipment of the 21 century: materials of the All-Russian Youth Scientific Conference (Rostov-on-Don, March 3, 2017) / The Don SAU, Azov-Black Sea Engineering Institute, Don SAU; Novocherkassk Land-Improvement Engineering Institute, Don SAU. Novocherkassk, 2017. P. 115–117.
4. Makarov I. M., Menskij B. M. Linear automatic systems (theory elements, calculation methods and reference material). the 2nd issue, revised and additional. M.: Mechanical engineering, 1982. 504 p.
5. Tarasov A. V., Chepushtanov A. A., Goryaev N. C. Experimental determination of the transfer function of the object regulated // Polzunovskij almanac. 2011. № 1. P. 116–118.
6. Denisenko V. PID-regulators: realization issues. Part 2 // Modern automation technologies. 2008. № 1. P. 86–99.
7. Experimental determination of the transfer function of the electrode water heater by its acceleration curve / A. A. Bagaev, Ts. I. Kalinin, V. G. Gorshenin, V. I. Bulavtsev // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2013. № 5. P. 114–118.