

СТАТЬИ

УДК 621.316

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Ахтулов И.И., Глухов Д.О.**

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола,  
e-mail: info@volgatech.net*

На сегодняшний день к промышленным предприятиям предъявляются требования о повышении энергоэффективности, ввиду чего оптимизация расходов на искусственное освещение предприятия является оправданной мерой. Расход электроэнергии на цели освещения может быть заметно снижен достижением оптимальной работы осветительных установок. Добиться оптимизации искусственного освещения промышленных помещений возможно при использовании средств автоматического управления освещением (СУО). Наиболее распространенными средствами управления искусственным освещением являются: отключение всех или части светильников (релейное управление) и плавное изменение мощности светильников. Следует учитывать, что плавное изменение мощности осветительных приборов является более целесообразным с точки зрения отказоустойчивости осветительного прибора. В данной статье предложена модель адаптивного искусственного освещения промышленных помещений предприятия на базе микроконтроллерной автоматизированной платформы селективного управления освещением, представлен программный алгоритм функционирования, а также описаны результаты компьютерного моделирования системы, дана оценка полученных результатов. Основной идеей предложенного подхода является изменение яркости осветительных приборов искусственного освещения в диапазоне выставленной уставки с учетом изменения интенсивности светового потока естественного освещения. Предложенный подход призван обеспечить эффективное энергосберегающее освещение промышленных помещений предприятия путем мультирежимного управления освещением.

**Ключевые слова:** искусственное освещение, энергосберегающая технология, автоматизированная система управления

**AUTOMATIC LIGHTING CONTROL SYSTEM FOR INDUSTRIAL COMPANIES**

**Akhtulov I.I., Glukhov D.O.**

*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: info@volgatech.net*

Today, industrial enterprises are required to increase energy efficiency, in view of which the optimization of the cost of artificial lighting of the enterprise is a very acquited measure. The energy consumption for lighting can be significantly reduced by achieving optimal lighting performance. It is possible to achieve optimization of artificial lighting of industrial premises of the enterprise by using automatic lighting control (ACS). The most common artificial lighting controls are: disabling all or part of the lamps (relay control) and gradually changing the power of the lamps. It should be say that a smooth change in the power of lighting devices is more justified from the point of view of the fault tolerance of the lighting device. This article proposes a model of adaptive artificial lighting for industrial premises of the enterprise on the basis of a microcontroller automated platform for selective lighting control, presents a software algorithm for functioning, as well as describes the results of computer simulation of the system, estimates the results obtained. The main idea of the proposed approach is to change the brightness of artificial lighting fixtures in the range of the set point, taking into account the change in the intensity of the light flux of natural lighting. The proposed approach is designed to provide effective energy-saving lighting for industrial premises of the enterprise through multi-mode lighting control.

**Keywords:** artificial lighting, energy-saving technology, automated control system

Согласно требованиям Федерального закона от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», к промышленным предприятиям предъявляются требования о повышении энергоэффективности [1].

Снижение энергозатрат при оптимизации искусственного освещения промышленных помещений предприятия позволяет снизить финансовые затраты организации. С освещённостью рабочих мест непосредственно связана безопасность выполняемых работ [2]. Освещённость рабочего места может влиять на производительность

труда персонала. Таким образом, на сегодняшний день внедрение новых технологий адаптивного искусственного освещения является целесообразным и экономически оправданным.

Одним из способов снижения энергозатрат является уменьшение числа часов использования осветительных установок в год. Системы автоматического управления освещением позволяют оптимизировать режимы работы искусственного освещения с учетом динамики изменения естественного освещения, трафика людского потока, нахождения рабочего персонала на рабочих местах. Системы автоматического управления (САУ) позволяют производить регули-

рование яркости источников света от 100 % до 0 % [3], что в свою очередь повышает их энергоэффективность.

Целью исследования, описанного в данной статье, является определение оптимальных подходов к управлению для формирования адаптивного искусственного освещения промышленных помещений предприятия.

#### Материалы и методы исследования

Для оценки оптимальных режимов работы системы автоматического управления освещением была разработана экспериментальная модель. За основу модели была взята проводная система с цифровым управлением освещением. В ее состав были включены такие составляющие: датчик освещенности, блок питания, микроконтроллерный блок на базе STM32F0, модуль расширения, модуль ввода/вывода, автоматический выключатель, реле, пускатель, светодиодные осветительные приборы. Для контроля параметрами данной системы использовались двенадцать датчиков освещенности, которые контролируют освещенность в помещении. Информация с датчиков поступает на микроконтроллер. Для расширения количества опрашиваемых входов на контролере использовались модули расширения. Для передачи данных использовался стандарт физического уровня RS-485 с модифицированным протоколом, сформированным на базе Modbus RTU.

Основным принципом управления предлагаемой системы являлось ранжирование производственной территории на зоны, определение для каждой зоны уставки освещенности с учетом расположения рабочих мест, а также вида трудовой деятельности. При этом система должна была регулировать яркость искусственного освещения с учетом динамики изменения светового потока естественного освещения в помещении в течение всего рабочего дня. При разработке модели было принято решение сократить количество релейного отключения световых установок, предусмотрев возможность плавного снижения освещенности. Следует учитывать, что плавное изменение мощности осветительных приборов является оправданным с точки зрения отказоустойчивости осветительного прибора. На промышленных предприятиях с учетом большого чис-

ла осветительных приборов оправданным является учет рабочих часов и планирование замены осветительных устройств и их элементов, ввиду чего было предусмотрено использование режима реального времени для ведения программного журнала учета рабочих часов осветительных устройств с учетом их коммутации.

Алгоритм работы системы автоматического управления освещением начинается с чтения уставок, задаваемых пользователем при первичном пуске системы (последующие запуски не требуют записи уставок). В качестве уставок указываются: режим работы (продолжительность рабочей смены и их число в сутках), количество зон работы, количество используемых осветительных устройств по каждой зоне, требуемая освещенность по каждой контролируемой рабочей зоне, время отключения при бездействии (для зон непостоянного нахождения людей). Уставка освещенности по каждой контролируемой рабочей зоне подбиралась согласно требованиям ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [4].

После определения уставок и опроса периферии на наличие ошибок система в режиме реального времени контролирует значение измеренной освещенности в каждой зоне и сверяет ее с уставкой освещенности. Если в контролируемой зоне выявлено избыточное освещение, то происходит понижение яркости осветительного прибора вплоть до отключения. В случае недостаточной освещенности рабочего места контролируемой зоны система должна включить, а затем, если требуется, увеличить яркость осветительного прибора с 10 до 100 %.

Ввиду необходимости решения задачи оптимального регулирования освещенности при наличии возмущающих воздействий (естественного освещения) было решено использовать пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор. Для анализа работы системы представим ее в упрощенном виде. На рис. 1 представлена блок-схема автоматической системы управления освещением.

Для анализа принципов оптимального регулирования была взята математическая модель пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулятора [5]:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \times \left[ E_i + \tau_d \times \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{изм}} + \frac{1}{\tau_i} \times \sum_{i=0}^n E_i \times \Delta t_{изм} \right] \times 100\%,$$

где  $X_p$  – полоса пропорциональности;

$E_i$  – величина рассогласования;

$\tau_d$  – постоянная времени дифференцирования;

$\Delta E_i$  – разность между двумя измерениями величины рассогласования;

$\Delta t_{изм}$  – время между двумя соседними измерениями  $T_i$  и  $T_{i-1}$ ;

$\tau_{и}$  – постоянная времени интегрирования;

$\sum_{i=0}^n E_i$  – накопленная в  $i$ -й момент времени сумма рассогласований (интегральная сумма).

Для формирования управляющего сигнала от микроконтроллерного блока использовалось формирование ШИМ-сигнала, подаваемого по каналу связи на МОП-транзисторы, управляющие светодиодными лампами. За счет ШИМ-модуляции в систему вводилась возможность корректировки яркости освещения (рис. 2) с учетом наличия или отсутствия естественного освещения в помещении.

Для формирования ШИМ-модуляции использовался программный алгоритм, реализованный на базе микроконтроллера STM32F0.

### Результаты исследования и их обсуждение

Из анализа типовых схем [6] система управления должна отвечать следующим критериям:

- Макс ошибка  $(100 / 64) * 2 = 0,78$ ;
- время регулирования  $\leq 18,3$  с.

Тогда передаточная функция регулятора примет вид

$$W(s) = \frac{K_1}{T_1 s + 1}$$

После преобразований получим математическую зависимость (рис. 3).



Рис. 1. Блок схема АСУ освещением предприятия

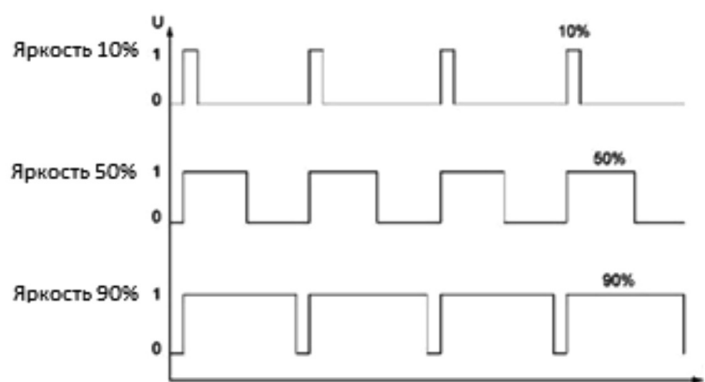


Рис. 2. Зависимость яркости от ШИМ-модуляции

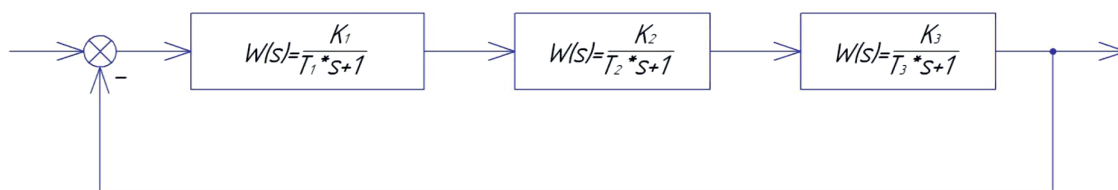


Рис. 3. Математическая модель системы автоматического управления искусственным освещением

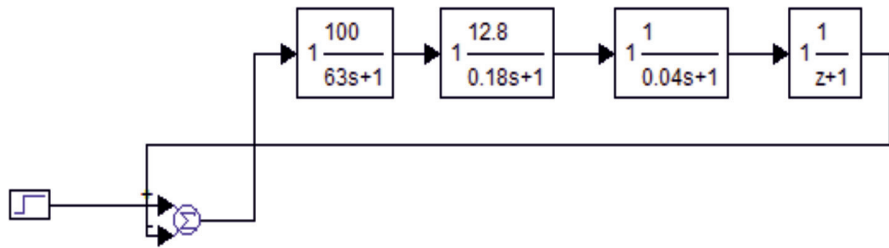


Рис. 4. Структурная схема в программе VisSim

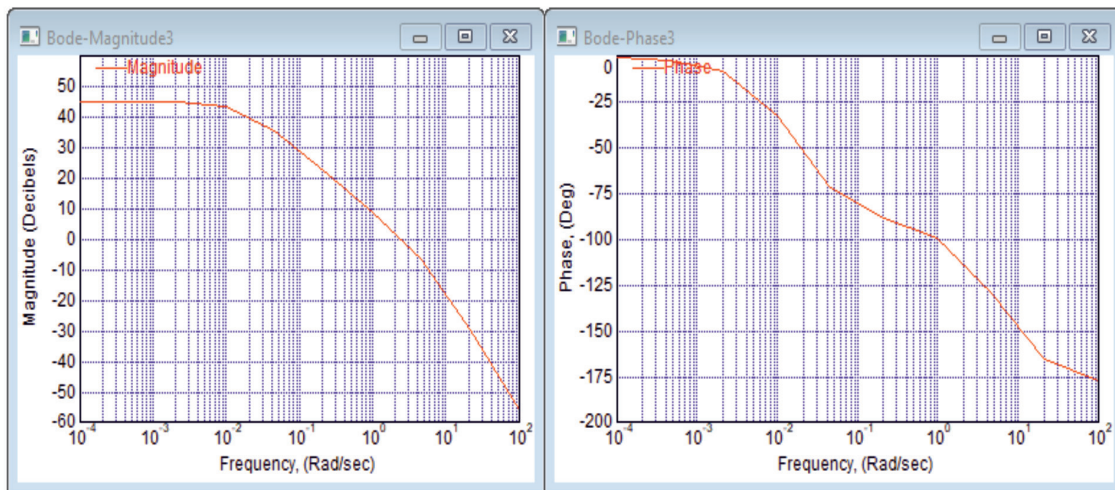


Рис. 5. ЛАЧХ ЛФЧХ с ПИД-регулятором

Для оценки показателей работы модели автоматического управления искусственным освещением было выполнено компьютерное моделирование в программе VisSim. На рис. 4 изображена структурная схема, построенная в VisSim. При компьютерном моделировании были получены логарифмические амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики (далее ЛАЧХ, ЛФЧХ) работы системы автоматического управления (рис. 5).

На рис. 1–4 изображена временная зависимость реакции системы на возмущающее воздействие (в данном случае изменения естественной освещенности помещения).

На основании полученных результатов математического и компьютерного моделирования автоматической системы управления освещением предприятия была создана система, позволяющая поддерживать заданную освещенность в помещении в зависимости от естественного освещения. Из анализа полученных данных ЛАЧХ и ЛФЧХ с ПИД можно сказать, что время реакции системы является при-

менимым для систем реального времени. В свою очередь использование при управлении ШИМ-модуляции позволяет установить требуемый уровень яркости с учетом уровня естественного освещения в помещении.

Преимуществом разработанного метода является быстрое адаптивное управление искусственным освещением промышленных помещений предприятия, что позволит повысить энергоэффективность систем искусственного освещения и снизить энергозатраты.

### Заключение

Предложенный метод является адаптивным к уровню естественного освещения и обладает достаточной реакцией по возмущению, что позволяет автоматически регулировать яркость искусственного освещения при изменении уровня естественного. Использование изменения яркости осветительного прибора позволяет снизить количество коммутаций, что позволит несколько увеличить срок службы осветитель-

ного устройства. Возможность выставления уставки яркости осветительного прибора в соответствии с нормами освещенности рабочего места [4] позволит улучшить условия труда.

#### Список литературы

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html> (дата обращения: 24.05.2020).
2. Михайлов Л.А. Безопасность жизнедеятельности: учебник / Под ред. Л.А. Михайлова. М.: Академия, 2008. С. 272.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. проф. Ю.Б. Айзенберга. М.: Издательство «Знак», 2006. С. 81.
4. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. 2013. 59 с.
5. ПИД-регулятор. Общие принципы. [Электронный ресурс]. URL: <https://owen.ru/49> (дата обращения: 24.05.2020).
6. Шиколенко И.А., Завьялов В.А. Применение ШИМ в регулировании освещенности рабочего места // Молодой ученый. 2013. № 3. С. 122–125. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/50/6443/> (дата обращения: 24.05.2020).