

## РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ З ДАТЧИКОМ ОСВІТЛЕНОСТІ У СЕРЕДОВИЩІ SCILAB/XCOS

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*У даній роботі розроблено комплекс моделей автоматичної освітлювальної системи з датчиком освітленості, що включає вербальну, структурну, функціональні та імітаційну моделі. Структурна модель подана у вигляді орієнтованого графа функціональних блоків системи з урахуванням датчика освітленості як джерела зворотного зв'язку та природного освітлення навколишнього середовища як зовнішнього збурення. Система реалізує принцип замкненого контуру регулювання з пропорційно-інтегрально-диференційним (ПІД) контролером, що забезпечує підтримання заданого рівня освітленості незалежно від змін природного освітлення. Імітаційну модель реалізовано в середовищі Scilab/Xcos. Результати моделювання підтверджують нульову статичну похибку в усталеному режимі та перерегулювання близько 30% при часі стабілізації близько 10 с.*

**Ключові слова:** освітленість, датчик освітленості, ПІД-регулятор, LED-джерело світла, зворотний зв'язок, імітаційна модель, Scilab/Xcos, перехідний процес.

### *Abstract*

*In this work, a set of models of an automatic lighting system with an illumination sensor has been developed, which includes verbal, structural, functional, and simulation models. The structural model is presented as a directed graph of functional system blocks, considering the illuminance sensor as the source of feedback and natural ambient lighting as an external disturbance. The system implements the principle of a closed-loop control with a PID controller, which ensures the maintenance of a given illuminance level regardless of changes in natural lighting. The simulation model is implemented in Scilab/Xcos. Simulation results confirm zero steady-state error with an overshoot of approximately 30% and a settling time of about 10 seconds.*

**Keywords:** illuminance, light sensor, PID controller, LED light source, feedback, simulation model, Scilab/Xcos, transient response.

### **Вступ**

Системи автоматичного керування освітленням широко застосовуються як у промисловості, так і в побуті. Вони дозволяють автоматично підтримувати необхідний рівень освітленості у приміщеннях залежно від рівня природного світла [1]. Недостатній рівень освітленості негативно впливає на продуктивність праці та здоров'я очей, а надмірне споживання електроенергії при достатньому природному освітленні є економічно невиправданим. Автоматичне регулювання освітленості дозволяє одночасно забезпечити комфортні умови для людини та зменшити енергоспоживання на 30–60% порівняно з нерегульованими системами [2].

Метою роботи є розробка комплексу моделей освітлювальної системи з датчиком освітленості, що включає вербальний опис, структурний граф, функціональні математичні моделі окремих блоків та імітаційну модель у середовищі Scilab/Xcos.

### **Вербальна модель**

Об'єктом дослідження є автоматизована система керування штучним освітленням. Її основне призначення полягає у підтриманні заданого рівня освітленості у приміщенні шляхом автоматичного регулювання потужності LED-джерела світла залежно від поточних умов навколишнього середовища. Система функціонує за принципом замкненого контуру керування: датчик освітленості неперервно вимірює фактичний рівень освітленості, контролер порівнює виміряне значення із заданою уставкою та формує керувальний сигнал на зміну потужності джерела світла.

До складу системи входять: LED-джерело світла як виконавчий елемент; датчик освітленості, що перетворює освітленість (лк) на електричний сигнал; контролер (ПІД-регулятор); джерело живлення; навколишнє середовище як джерело зовнішнього збурення. Основним невідомим збуренням є природна освітленість, яка змінюється протягом доби залежно від погоди та часу.



Рисунок 1 — Схема освітлювальної системи з датчиком освітленості

Система керування формує керувальний ШІМ-сигнал на LED-джерело світла. Джерело живлення подає напругу 3,3–5 В на контролер та 12–48 В на LED-драйвер. Датчик освітленості вимірює сумарну освітленість і передає сигнал зворотного зв'язку до контролера. Навколишнє середовище є джерелом зовнішнього збурення  $E_{\text{пр}}$ , яке діє безпосередньо на датчик, минаючи контролер. Завдяки замкненому контуру система автоматично компенсує зміни природного освітлення.

### Структурна модель (граф)

Структурна модель системи подана у вигляді орієнтованого графа, вершинами якого є реальні функціональні блоки системи, а дуги відображають напрям їх взаємодії. На відміну від графа імітаційної моделі, у структурній моделі не використовуються умовні блоки. Зворотний зв'язок формується від датчика освітленості, який вимірює сумарну (штучну + природну) освітленість і передає інформацію до контролера.

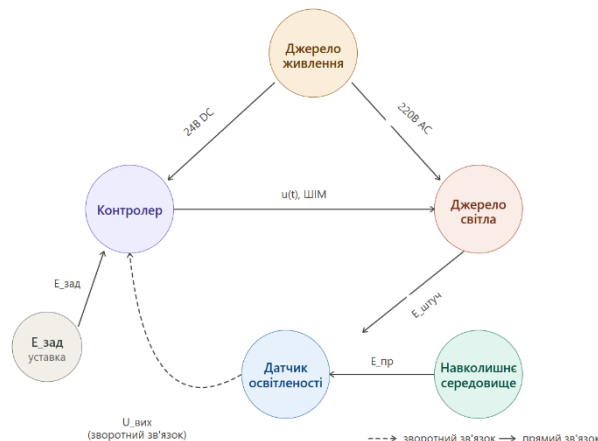


Рисунок 2 — Граф структурної моделі освітлювальної системи

### Функціональні моделі блоків

Для побудови імітаційної моделі елементи системи подано у вигляді функціональних блоків із відповідними передатними функціями у просторі Лапласа.

Блок 1 — Джерело світла. LED-джерело світла моделюється як аперіодична ланка першого порядку. Залежність світлового потоку від потужності:

$$\Phi = \eta \cdot P \quad (1)$$

де:

- $\Phi$  — світловий потік, лм;
- $\eta$  — світлова ефективність, лм/Вт;
- $P$  — електрична потужність, Вт.

Передатна функція:

$$W_{lamp}(s) = \frac{500}{0.4s + 1} \quad (2)$$

де:

- 500 — коефіцієнт підсилення, лк/В;
- 0.4 с — стала часу джерела світла.

Блок 2 — Датчик освітленості. Датчик перетворює рівень освітленості на електричний сигнал за характеристикою:

$$U_{вих} = k_d \cdot E \quad (3)$$

де:

- $U_{вих}$  — вихідна напруга датчика, В;
- $k_d$  — коефіцієнт перетворення датчика, В/лк;
- $E$  — освітленість, лк.

Передатна функція датчика у ланцюзі зворотного зв'язку:

$$W_{sensor}(s) = \frac{1}{0.05s + 1} \quad (4)$$

- 0,05 с — стала часу, що відповідає практично миттєвій реакції швидкодіючого фотосенсора.

Датчик вимірює сумарну освітленість — як від штучного джерела, так і від природного.

Блок 3 — Контролер. Контролер обчислює похибку регулювання:

$$\varepsilon(t) = E_{зад} - E_{факт} \quad (5)$$

та формує керувальний сигнал за пропорційно-інтегрально-диференціальним законом:

$$u(t) = K_p \varepsilon(t) + K_i \int \varepsilon(t) dt + K_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (6)$$

Блок 4 — Навколишнє середовище. Природна освітленість моделюється як зовнішнє збурення. У базовому варіанті:  $E_{пр} = 200$  лк. Передатна функція об'єкта керування (освітлюване приміщення):

$$W_{obj}(s) = \frac{1}{0.3s + 1} \quad (7)$$

- 0,3 с — стала часу, що відображає затримку зміни загального рівня освітленості у відповідь на зміну потужності джерела.

Загальна передатна функція замкненої системи:

$$W(s) = \frac{W_c(s) \cdot W_{lamp}(s) \cdot W_{obj}(s)}{1 + W_c(s) \cdot W_{lamp}(s) \cdot W_{sensor}(s)} \quad (8)$$

### Імітаційна модель у середовищі Scilab/Xcos

Імітаційну модель реалізовано в середовищі Scilab/Xcos, яке призначене для побудови та дослідження динамічних систем. Модель складається з послідовно з'єднаних блоків, що імітують роботу кожного фізичного елемента системи, та контуру зворотного зв'язку.

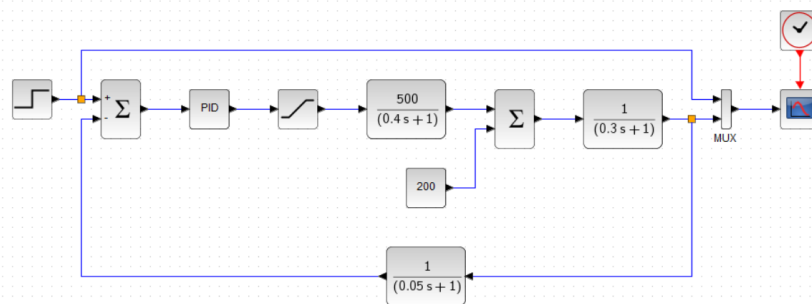


Рисунок 3 – Імітаційна модель освітлювальної системи з датчиком освітленості у середовищі Scilab/Xcos

Задавальний вплив формується блоком STEP як ступінчастий сигнал уставки 100 лк, що вмикається в момент часу  $t = 1$  с. Суматор SUMMATION №1 обчислює похибку  $\varepsilon = E_{зад} - E_{факт}$ . Блок PID формує керувальний сигнал за ПІД-законом. Блок SATURATION обмежує сигнал у межах 0–1 (0–100% потужності LED). Блок CLR №1 з передатною функцією  $\frac{500}{0.4s + 1}$  моделює динаміку LED-світильника. Суматор SUMMATION №2 додає штучну освітленість до природного освітлення від блоку CONST (200 лк), моделюючи реальну ситуацію, коли датчик вимірює загальну освітленість. Блок CLR №2 з функцією  $\frac{1}{0.3s + 1}$  моделює інерційність освітлюваного приміщення. Блок CLR №3 з функцією  $\frac{1}{0.05s + 1}$  — датчик у ланцюзі зворотного зв'язку. Результати відображаються на осцилографі CSCOPE.

## Результати моделювання

При базових параметрах моделі ( $K_p = 0,05$ ,  $K_i = 1$ ,  $T_{\text{лампи}} = 0,4$  с,  $T_{\text{датчика}} = 0,05$  с,  $E_{\text{пр}} = 200$  лк,  $E_{\text{зад}} = 100$  лк) отримано перехідний процес, зображений на рисунку 4.

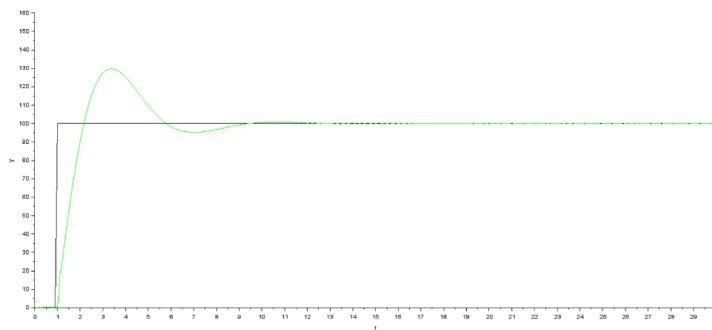


Рисунок 4 – Перехідний процес освітлювальної системи при базових параметрах ПІД-регулятора

До моменту  $t = 1$  с система перебуває у стані спокою — освітленість дорівнює нулю. У момент  $t = 1$  с подається ступінчастий задаючий сигнал 100 лк (чорна лінія). Реальна освітленість (зелена лінія) починає швидко зростати завдяки пропорційній складовій регулятора та досягає максимального значення близько 130 лк при  $t \approx 3$  с, що відповідає перерегулюванню  $\sigma \approx 30\%$ . Після цього система поступово заспокоюється: відбуваються затухаючі коливання навколо значення уставки, і приблизно до  $t = 10$ – $11$  с освітленість стабілізується точно на рівні 100 лк. Наявність перерегулювання пояснюється інерційністю об'єкта ( $T_z = 0,3$  с) та накопиченою інтегральною складовою ПІД-регулятора на початковому етапі. Нульова статична похибка в усталеному режимі забезпечується саме інтегральною складовою регулятора.

Отриманий перехідний процес є якісним: система демонструє прийнятне перерегулювання ( $\sim 30\%$ ), помірний час стабілізації ( $\sim 10$  с) та нульову статичну похибку. Цей режим роботи відповідає базовим параметрам моделі і є найкращим компромісом між швидкодією та коливальністю системи.

## Висновки

У роботі розроблено комплекс моделей автоматичної освітлювальної системи з датчиком освітленості. Побудовано вербальну модель, структурний граф функціональних блоків системи, функціональні моделі LED-джерела світла, датчика освітленості, об'єкта керування та ПІД-регулятора, а також імітаційну модель у середовищі Scilab/Xcos. Зворотний зв'язок формується від датчика освітленості, що вимірює сумарну освітленість, а зовнішнім збуренням є природна освітленість навколишнього середовища.

Отримані результати моделювання підтверджують працездатність системи. При базових параметрах забезпечується стабілізація освітленості на рівні 100 лк з перерегулюванням близько 30% та часом стабілізації близько 10 с. Нульова статична похибка досягається завдяки інтегральній складовій ПІД-регулятора. Використання таких систем дозволяє підтримувати комфортний рівень освітлення незалежно від зовнішніх умов і скоротити споживання електроенергії на 30–60% порівняно з нерегульованими системами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Датчики освітлення, руху, присутності. Карат ЛТД. URL: <https://karatld.com.ua/blog/datchyky-osvitlennia-rukhu-prysutnosti> (дата звернення: 11.06.2026).
2. Управління системою освітлення (СО) від датчиків освітлення. Фірма ЛАЙТ-ТЕК. URL: <https://light-tech.com.ua/poslugy/upravlinnja-systemoju-osvitlennja-vid-datchyky-osvitlennja/> (дата звернення: 11.06.2026).
3. Моделювання та оптимізація систем : підручник / [Дубовий В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., Усов А. В.]. – Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс», 2017. – 804 с.
4. Керування освітленням. Tech controllers. URL: <https://tech-controllers.com/ua/sistema-sinum/keruvannja-osvitlennjam> (дата звернення: 11.06.2026)

**Петлюк Альона Григорівна** – студентка групи ЗАКІТР-246, кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: [alena.petluk1@gmail.com](mailto:alena.petluk1@gmail.com)

Науковий керівник: **Дубовий Володимир Михайлович** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [v.m.dubovoy@vntu.edu.ua](mailto:v.m.dubovoy@vntu.edu.ua)

***Petyuk Alyona Hryhorivna*** – student of group 3ACITR-24b, Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [alena.petluk1@gmail.com](mailto:alena.petluk1@gmail.com)

Scientific advisor: ***Dubovoy Volodymyr Mykhailovych*** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [v.m.dubovoy@vntu.edu.ua](mailto:v.m.dubovoy@vntu.edu.ua)