

**Виконав:**  
**А. С. Пивовар**  
**Керівник:**  
**В. М. Дубовой**

## **РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИМ ЛІФТОМ У СЕРЕДОВИЩІ SCILAB/XCOS**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

Розроблено комплекс моделей системи керування пасажирським ліфтом, що включає вербальну, структурну, функціональні та імітаційну моделі. Структурна модель подана у вигляді орієнтованого графа реальних елементів ліфта з урахуванням давача положення як джерела зворотного зв'язку та змінного навантаження кабіни як зовнішнього збурення. Функціональні моделі описують електропривод, механічну частину та регулятор керування. Імітаційну модель реалізовано в середовищі Scilab/Xcos. Результати моделювання підтверджують можливість плавного переміщення кабіни до заданої висоти з малою статичною похибкою.

**Ключові слова:** пасажирський ліфт, система керування, структурна модель, імітаційна модель, Scilab/Xcos, ПД-регулятор, зворотний зв'язок.

### **Abstract**

A complex of models for a passenger elevator control system has been developed, including verbal, structural, functional and simulation models. The structural model is presented as a directed graph of real elevator elements, considering the position sensor as the source of feedback and the variable cabin load as an external disturbance. Functional models describe the electric drive, mechanical part and control regulator. The simulation model is implemented in Scilab/Xcos. The simulation results confirm the possibility of smooth cabin movement to the specified height with a small steady-state error.

**Keywords:** passenger elevator, control system, structural model, simulation model, Scilab/Xcos, PID controller, feedback.

### **Вступ**

Системи вертикального транспорту широко застосовуються у житлових, громадських і промислових будівлях. Пасажирський ліфт є електромеханічним об'єктом, робота якого потребує точного керування положенням кабіни, плавного розгону, гальмування та безпечної зупинки на заданому поверсі. Для аналізу таких систем доцільно використовувати імітаційне моделювання, яке дає змогу дослідити динаміку об'єкта без створення фізичного прототипу [1, 2].

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

### **Вербальна модель**

Об'єктом дослідження є електромеханічна система пасажирського ліфта. Її основне призначення полягає у вертикальному переміщенні кабіни з пасажирами або вантажем на задану висоту із забезпеченням точності зупинки та комфортного характеру руху. Система працює за принципом замкненого контуру автоматичного керування: система керування отримує інформацію про фактичне положення кабіни від давача положення та формує керувальні дії для електродвигуна і гальма.

До складу ліфта входять електродвигун, лебідка, канат, кабіна, противага, гальмо, давач положення та система керування. Противага є відомою частиною механічної системи і не розглядається як випадкове збурення. Основним невідомим збуренням є змінне навантаження кабіни, яке залежить від кількості пасажирів або маси вантажу.

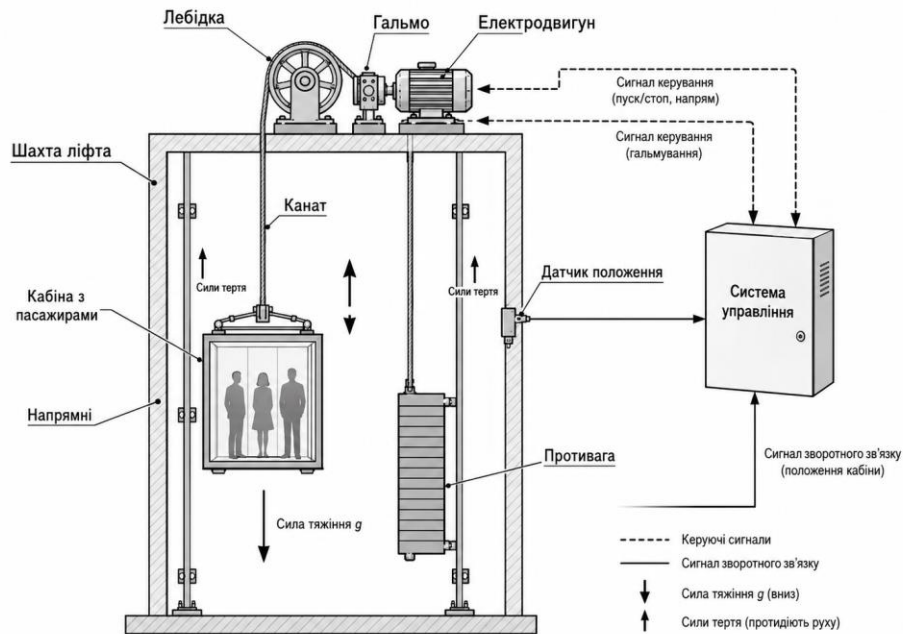


Рисунок 1 - Схема пасажирського ліфта

### Структурна модель

Структурна модель системи подана у вигляді орієнтованого графа, вершинами якого є реальні елементи ліфта, а дуги відображають напрям їх взаємодії. На відміну від графа імітаційної моделі, у структурній моделі не використовуються умовні блоки на зразок осцилографів, суматорів або блоків моделювання. Зворотний зв'язок формується не від кабіни як механічної конструкції, а від датча положення, який вимірює фактичне переміщення кабіни.

### Структурний граф системи ліфта

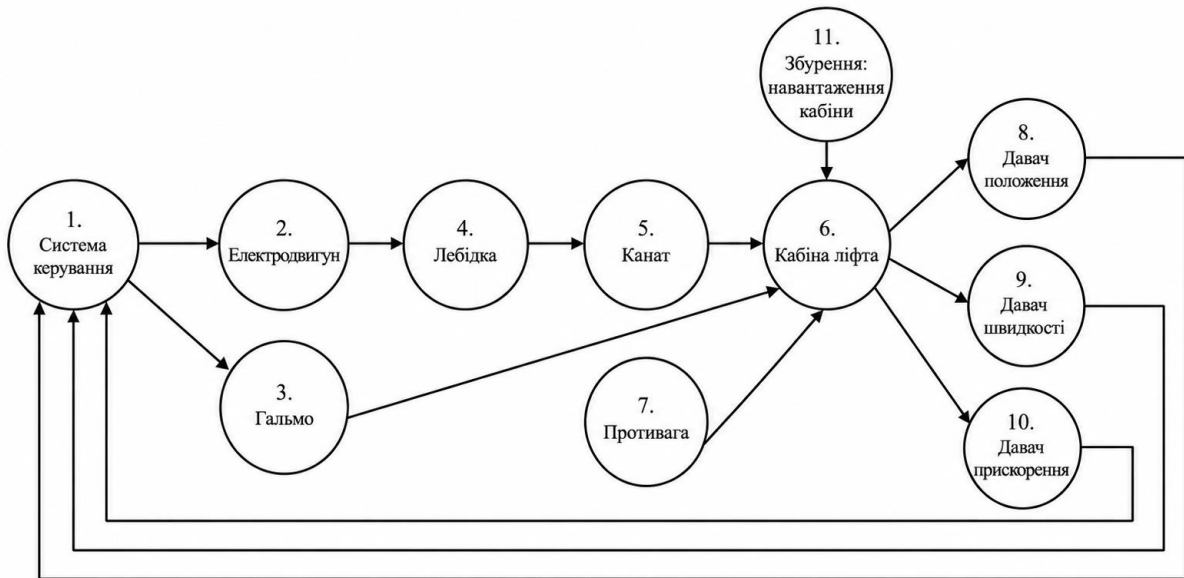


Рисунок 2 - Граф структурної моделі системи ліфта

Система керування подає команди на електродвигун і гальмо. Електродвигун приводить у дію лобідку, а лобідка через канат забезпечує переміщення кабіни та взаємодію з противагою. Датч положення вимірює координату кабіни та передає інформацію до системи керування. Збурювальний

вплив задається змінним навантаженням кабіни, оскільки кількість пасажирів або маса вантажу є невідомими наперед.

### Функціональні моделі блоків

Для побудови імітаційної моделі елементи системи подано у вигляді функціональних блоків. Електродвигун ліфта моделюється як аперіодична ланка першого порядку. Його динаміка описується рівнянням:

$$T_m \frac{dF_m(t)}{dt} + F_m(t) = K_m U_{sat}(t)$$

де  $F_m(t)$  — механічна сила тяги двигуна, Н;  $U_{sat}(t)$  — керувальний сигнал з урахуванням обмеження, В;  $K_m$  — коефіцієнт підсилення електропривода;  $T_m$  — стала часу електродвигуна.

Для моделі прийнято такі параметри:

$$K_m = 50 \text{ Н/В}, \quad T_m = 0,1 \text{ с}$$

Передавальна функція електродвигуна має вигляд:

$$W_m(s) = \frac{F_m(s)}{U_{sat}(s)} = \frac{K_m}{T_m s + 1} = \frac{50}{0,1s + 1}$$

Механічна частина ліфта описується другим законом Ньютона з урахуванням сумарної інерційної маси кабіни, пасажирів і противаги, а також в'язкого тертя в напрямних:

$$M \frac{d^2 Y(t)}{dt^2} + k_v \frac{dY(t)}{dt} = F_m(t) - F_d(t)$$

де  $Y(t)$  — переміщення кабіни, м;  $M$  — сумарна інерційна маса системи, кг;  $k_v$  — коефіцієнт в'язкого тертя, кг/с;  $F_d(t)$  — збурювальна сила, спричинена змінним навантаженням кабіни, Н.

Для моделі прийнято:

$$M = 1750 \text{ кг}, \quad k_v = 20 \text{ кг/с}$$

Передавальна функція механічної частини відносно тягової сили до переміщення має вигляд:

$$W_l(s) = \frac{Y(s)}{F_m(s)} = \frac{1}{s(Ms + k_v)} = \frac{1}{s(1750s + 20)}$$

Для забезпечення точності зупинки кабіни застосовано пропорційно-інтегрально-диференціальний закон керування:

$$U(t) = K_p E(t) + K_i \int_0^t E(\tau) d\tau + K_d \frac{dE(t)}{dt}$$

де  $E(t)$  — похибка керування, що визначається як різниця між заданим і фактичним положенням кабіни:

$$E(t) = Y_{ref}(t) - Y(t)$$

У моделі використано такі параметри ПІД-регулятора:

$$K_p = 500, \quad K_i = 10, \quad K_d = 800$$

Передавальна функція ПІД-регулятора записується у вигляді:

$$W_{PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

З урахуванням числових параметрів:

$$W_{PID}(s) = 500 + \frac{10}{s} + 800s$$

Для врахування фізичних обмежень силового перетворювача використано блок насичення:

$$U_{sat}(t) = \begin{cases} 500, & U(t) > 500, \\ U(t), & -500 \leq U(t) \leq 500, \\ -500, & U(t) < -500. \end{cases}$$

### Імітаційна модель у середовищі Scilab/Xcos

Імітаційну модель реалізовано в середовищі Scilab/Xcos, яке призначене для побудови та дослідження динамічних систем у вигляді блок-схем [3]. Задавальний вплив формується блоком SIGBUILDER як профіль швидкості руху кабіни: плавний розгін, рух зі сталою швидкістю та гальмування до зупинки. Для переходу від швидкості до заданого переміщення використано блок інтегрування INTEGRAL\_m.



Рисунок 3 - Схема імітаційної моделі у середовищі Scilab/Xcos

У моделі передбачено зворотний зв'язок за положенням кабіни, ПІД-регулятор, блок обмеження керувального сигналу, модель електродвигуна та модель механічної частини ліфта. Результати моделювання оцінювалися за графіками положення  $Y(t)$  та швидкості  $V(t)$  кабіни.

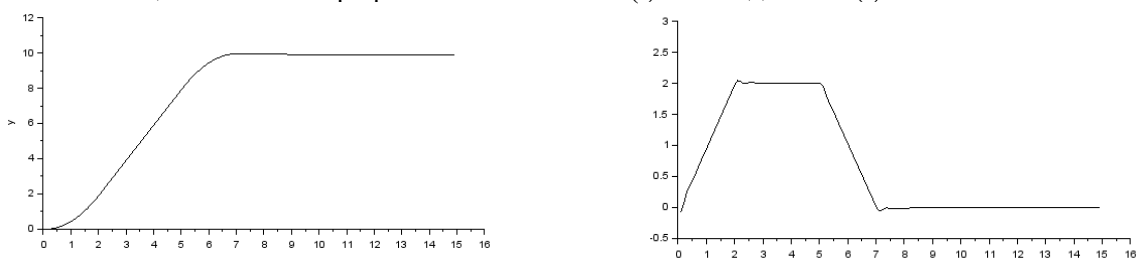


Рисунок 4 - Графіки положення  $Y(t)$  та швидкості  $V(t)$  кабіни

З графіка положення видно, що кабіна плавно виходить із початкового стану, приблизно на 7-й секунді досягає заданої висоти 10 м і надалі утримується на цьому рівні. Графік швидкості підтверджує реалістичний режим руху: розгін до приблизно 2 м/с, рух зі сталою швидкістю, гальмування та зупинку. Невелике короткочасне відхилення швидкості після гальмування пояснюється малим перерегулюванням системи.

### Висновки

У роботі розроблено комплекс моделей системи керування пасажирським ліфтом. Побудовано вербальну модель, структурний граф реальних елементів ліфта, функціональні моделі електродвигуна, механічної частини та ПІД-регулятора, а також імітаційну модель у середовищі

Scilab/Xcos. У структурній моделі виправлено принцип формування зворотного зв'язку: він надходить від давача положення, а не від кабіни як механічного об'єкта.

Отримані результати моделювання підтверджують працездатність системи. Модель забезпечує плавний розгін, рух зі сталою швидкістю, гальмування та точну зупинку кабіни на заданій висоті. Противага розглядається як відома частина механічної системи, а зовнішнім збуренням є змінне навантаження кабіни, що відповідає різній кількості пасажирів або вантажу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Моделювання та оптимізація систем : підручник / [Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., Усов А. В.]. – Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс», 2017. – 804 с.
2. Дубовой В. М. Моделювання процесів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой, С. М. Москвіна, О. Д. Никитенко. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 202 с.
3. Scilab. Xcos: dynamic systems modeler and simulator. URL: <https://www.scilab.org/software/xcos> (дата звернення: 31.05.2026).
4. Ogata K. Modern Control Engineering. – 5th ed. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 2010. – 912 p.
5. Будова ліфта. Masterlift. URL: <https://masterlift.com.ua/budova-lifta.html>
6. Мигаль С. В. Моделювання електроприводу пасажирського ліфта з покращеними динамічними режимами : пояснювальна записка. Полтава, 2021. URL: [https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/13665/1/14\\_Мигаль\\_С.В\\_601%20МЕ\\_2021.pdf](https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/13665/1/14_Мигаль_С.В_601%20МЕ_2021.pdf)
7. The mechanism behind an elevator: how does an elevator work? TTI Lift. URL: <https://ttlift.com/the-mechanism-behind-an-elevator-how-does-an-elevator-work/>

**Пивовар А.С.** — студент групи ЗАКІТР-24Б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [hagamery12@gmail.com](mailto:hagamery12@gmail.com)

Науковий керівник: **Дубовой В.М.** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Andrii Pyvovar** — Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [hagamery12@gmail.com](mailto:hagamery12@gmail.com)

Supervisor: **Volodymyr Dubovoy** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia