

## **РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБІГРІВАЧА В СЕРЕДОВИЩІ SCILAB/XCOS**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Розроблено комплекс моделей електричного обігрівача, що включає вербальну, структурну, функціональні та імітаційну моделі. Структурна модель представлена у вигляді графа взаємозв'язків між блоками системи: нагрівальним елементом, корпусом, повітрям приміщення, терморегулятором та джерелом живлення. Функціональні моделі описують динамічні та статичні характеристики кожного блоку. Імітаційну модель реалізовано в середовищі Scilab/Xcos. Результати моделювання підтверджують працездатність розробленої моделі та адекватність прийнятих спрощень.*

**Ключові слова:** електричний обігрівач, імітаційна модель, Scilab/Xcos, терморегулятор, теплова інерція, релейне керування.

### **Abstract**

*A complex of electric heater models has been developed, including verbal, structural, functional and simulation models. The structural model is represented as a block interaction graph. Functional models describe the dynamic and static characteristics of each block: the heating element, housing, room air, thermostat, and power supply. The simulation model is implemented in Scilab/Xcos. Simulation results confirm the performance of the developed model.*

**Keywords:** electric heater, simulation model, Scilab/Xcos, thermostat, thermal inertia, relay control.

### **Вступ**

Електричні обігрівачі є одним із найпоширеніших побутових теплових пристроїв, що використовуються для підтримання комфортної температури у приміщеннях. Сучасні моделі оснащені терморегуляторами, що реалізують автоматичне підтримання заданої температури повітря. Розробка та аналіз таких систем керування потребує адекватних математичних та імітаційних моделей.

Імітаційне моделювання дозволяє досліджувати поведінку системи без фізичного прототипу, що суттєво спрощує аналіз теплових процесів та налаштування параметрів регулятора. Побудова адекватної моделі потребує детального опису всіх підсистем та взаємозв'язків між ними [5].

Метою роботи є розробка комплексу моделей електричного обігрівача, що включає вербальну, структурну, функціональні та імітаційну моделі, а також дослідження теплових процесів у системі засобами Scilab/Xcos [4].

### **Вербальна модель**

Основні компоненти електричного обігрівача продемонстровано на рисунку 1 [3]:

**Електричний обігрівач** – це пристрій перетворення електричної енергії на теплову з метою підтримання заданої температури повітря у приміщенні. Система складається з таких блоків [2]:

**Джерело живлення** (220 В / 50 Гц) забезпечує підведення електричної енергії до нагрівального елемента через терморегулятор. Вважається ідеальним:  $U = const$  незалежно від навантаження.

**Терморегулятор** – електронний блок керування, що порівнює фактичну температуру повітря  $T_{max}$  з заданим значенням  $T_{min}$  і вмикає або вимикає нагрівальний елемент відповідно до двопозиційного закону з гістерезисом  $\Delta T$ . Отримує сигнал зворотного зв'язку від вбудованого датчика температури.

**Нагрівальний елемент** (ТЕН або резистивна спіраль) перетворює електричну потужність  $P$  на теплову потужність  $Q$  за ефектом Джоуля–Ленца. ККД елемента  $\eta \approx 0,98$ , тому  $Q \approx P$ .

**Корпус обігрівача** – металевий або пластиковий кожух, що виконує захисну функцію та є поверхнею теплообміну між нагрівальним елементом і повітрям приміщення. Має власну теплову ємність, яка визначає інерційність нагріву.

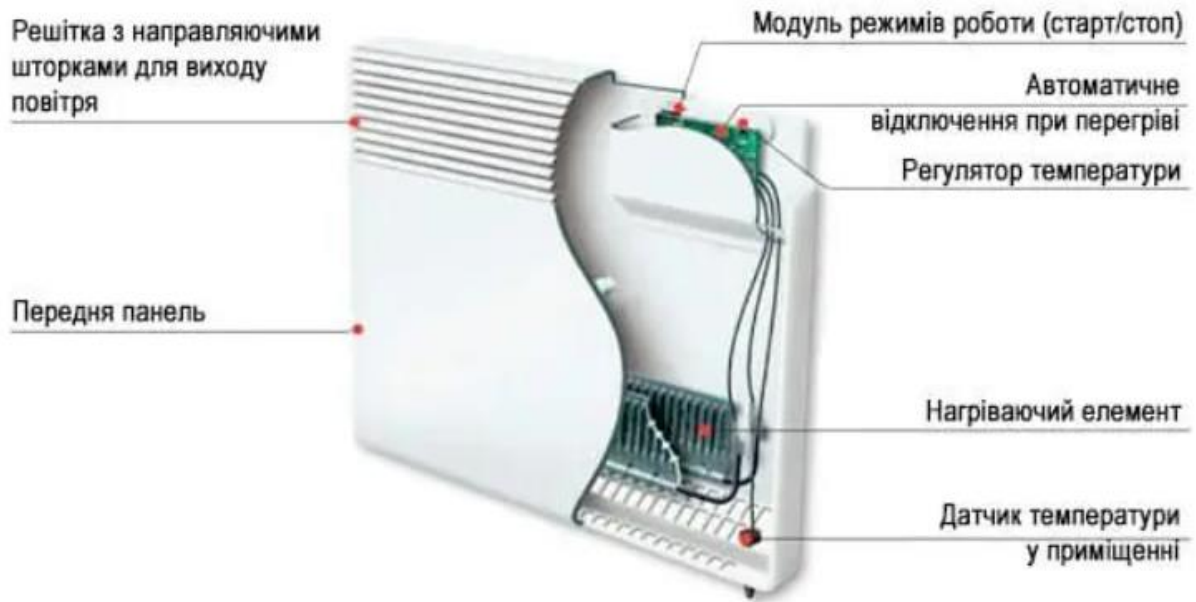


Рисунок 1 – Основні компоненти електричного обігрівача

Повітря приміщення є основним об'єктом нагрівання. Температура  $T_{max}$  змінюється залежно від теплового балансу: надходження тепла від корпусу мінус теплові втрати через огорожувальні конструкції (стіни, вікна) з коефіцієнтом теплового опору  $R$ .

Принцип роботи: коли  $T_{max} < T_{min} - \frac{\Delta T}{2}$ , терморегулятор вмикає нагрівач; коли  $T_{max} > T_{min} + \frac{\Delta T}{2}$  – вимикає. Система підтримує коливальний тепловий режим з амплітудою  $\pm \frac{\Delta T}{2}$  навколо  $T_{min}$ .

### Структурна модель (граф)

Структурна модель системи представлена у вигляді орієнтованого графа (рис. 2), де вузли відповідають функціональним блокам, а дуги – потокам енергії та інформації між ними [5].

Вузли графа: PS – джерело живлення; TR – терморегулятор; HE – нагрівальний елемент; С – корпус; RA – повітря приміщення; ENV – зовнішнє середовище.

Дуги графа відображають такі взаємозв'язки: PS→TR (електроживлення); PS→HE (живлення нагрівача через TR); TR→HE (керуючий сигнал увімк./викл.); HE→С (тепловий потік  $Q$ ); С→RA (конвективна передача тепла); С→ENV (втрати через корпус); RA→ENV (втрати через огорожувальні конструкції); RA→TR (зворотний зв'язок — вимір  $T_{max}$ ).

Замкнений контур RA → TR → HE → С → RA забезпечує автоматичне підтримання температури повітря на рівні  $T_{min} = 20^\circ\text{C}$ .

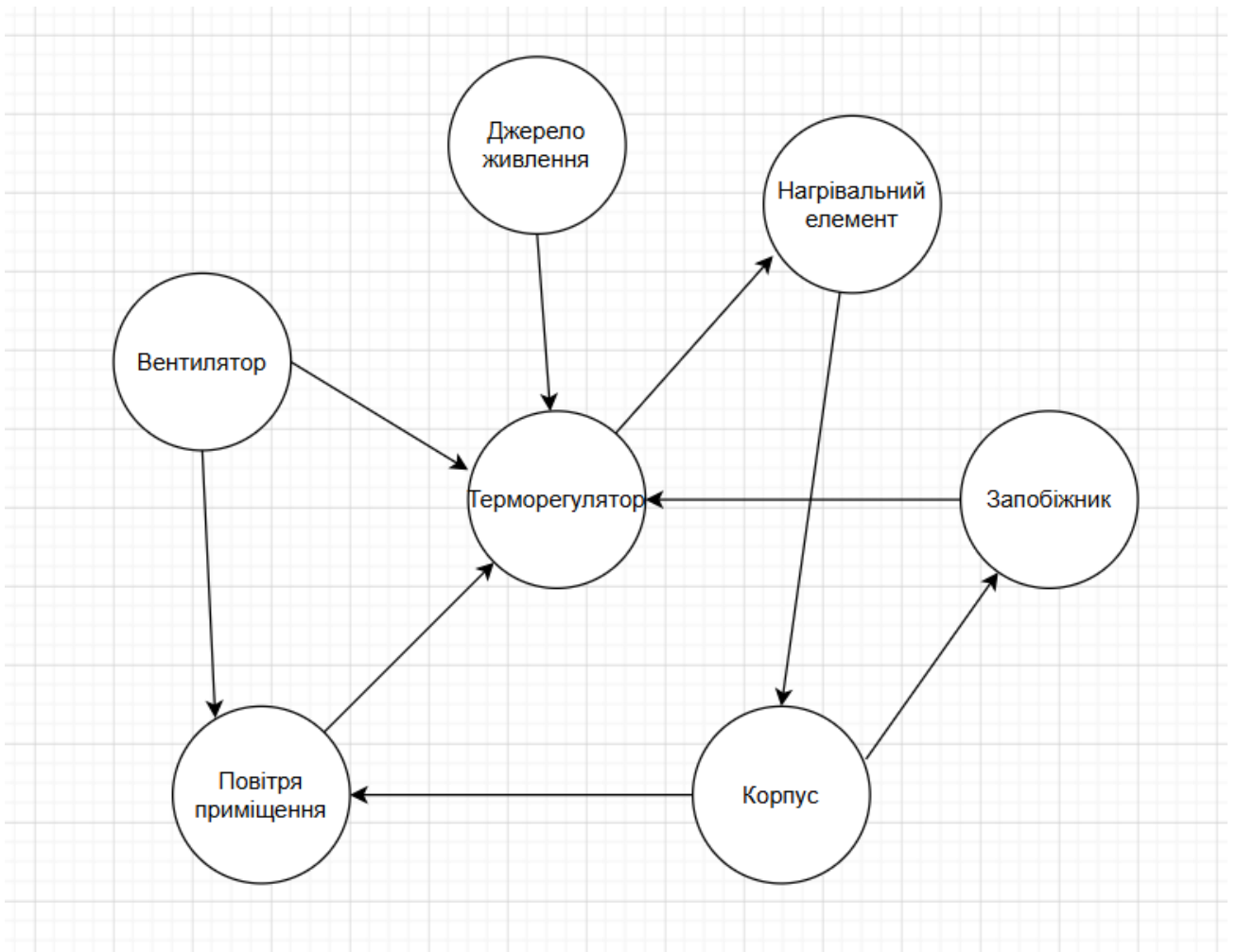


Рисунок 1 – Граф структурної моделі електричного обігрівача

### Функціональні моделі блоків

Для кожного блоку системи визначено тип моделі – статичний або динамічний [5].

Джерело живлення є статичним елементом:  $U = 220 \text{ В} = \text{const}$

Доступна потужність:  $P = \frac{U^2}{R}$

Терморегулятор є статичним елементом, що реалізує релейний закон керування з гістерезисом:

$$u(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } T_{max} < T_{min} - \frac{\Delta T}{2} \text{ (увімкнути нагрівач)} \\ 0, & \text{якщо } T_{max} > T_{min} + \frac{\Delta T}{2} \text{ (вимкнути нагрівач)} \\ u(t^-), & \text{в іншому діапазоні (гістерезис)} \end{cases}$$

де  $T_{min} = 20^\circ\text{C}$  – задана температура;  $\Delta T = 1^\circ\text{C}$  – гістерезис;  $u \in \{0, 1\}$ .

Нагрівальний елемент є статичним блоком: теплова потужність –

$$Q(t) = u(t) \cdot P$$

де  $P = 1000 \text{ Вт}$ . Динамікою самого елемента нехтуємо через малу теплову масу.

Корпус є динамічним блоком. Диференціальне рівняння теплового балансу:

$$\tau_c \cdot \frac{dT_c}{dt} = -(T_c - T_{max}) + Q \cdot R$$

де  $\tau_c = 60 \text{ с}$  – теплова стала часу корпусу;  $T_c$  – температура корпусу;  $R$  – еквівалентний тепловий опір.

Повітря приміщення є основним динамічним блоком. Теплова модель у формі інерційної ланки першого порядку [6]:

$$\tau_{max} \cdot \frac{dT_{max}}{dt} = -(T_{max} - T_{env}) + K_h \cdot u(t)$$

де  $\tau_{max} = 2000$  с – теплова стала часу;  $K_h = P \cdot R = 30^\circ\text{C}$  – коефіцієнт підсилення;  $T_{env} = 5^\circ\text{C}$  – температура зовнішнього середовища;  $R = 0,03$  К/Вт – тепловий опір огорожувальних конструкцій приміщення.

### Імітаційна модель у середовищі Scilab/Xcos

Імітаційну модель електричного обігрівача реалізовано в середовищі Scilab з використанням графічного редактора Xcos. Модель побудована за класичною схемою системи автоматичного керування із замкненим контуром зворотного зв'язку [4, 6].

Для імітації фізичних процесів використано такі блоки:

- **CONST\_m** та **Сумматори** – використовуються для задання цільової температури (наприклад,  $20^\circ\text{C}$ ), температури довкілля ( $5^\circ\text{C}$ ) та обчислення помилки регулювання.
- **HYSTHERESIS** – виконує роль терморегулятора, реалізуючи релейний закон із відносними порогами спрацювання (гістерезис  $\pm 1^\circ\text{C}$ ).
- **GAINBLK\_f** – моделює статичну передачу теплової потужності від нагрівача (коефіцієнт  $K_h = 30$ ).
- **CLR (2 блоки)** – безперервні передатні функції 1-го порядку, що послідовно моделюють теплову інерцію корпусу обігрівача ( $\tau_c = 60$  с) та повітря приміщення ( $\tau_{max} = 2000$  с).
- **CSCOPE** – двоканальний осцилограф для одночасного відображення перехідного процесу температури та дискретних станів терморегулятора.

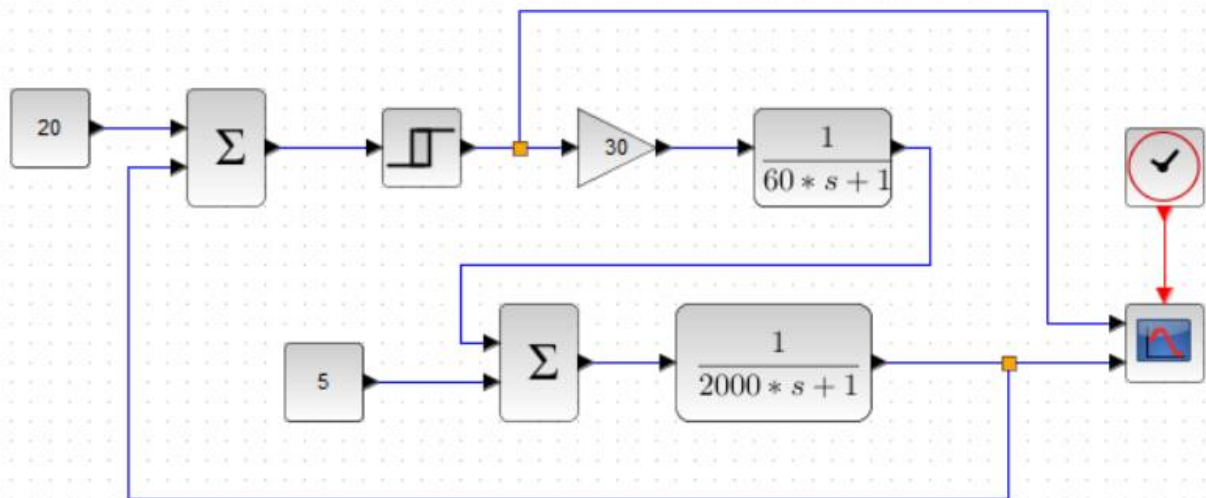


Рисунок 3 – Схема імітаційної моделі обігрівача в середовищі Scilab/Xcos

Час симуляції становить 7000 с. На першому етапі (від 0 до приблизно 2000 с) відбувається нагрів приміщення від початкової температури  $T_{env} = 0^\circ\text{C}$  до цільової температури  $T_{min} = 20^\circ\text{C}$  (з інерційним досягненням пікового значення у  $21^\circ\text{C}$ ).

На другому етапі спостерігається усталений коливальний режим з амплітудою  $\pm 1^\circ\text{C}$  навколо позначки  $20^\circ\text{C}$  (температура плавно коливається від  $19^\circ\text{C}$  до  $21^\circ\text{C}$ ).

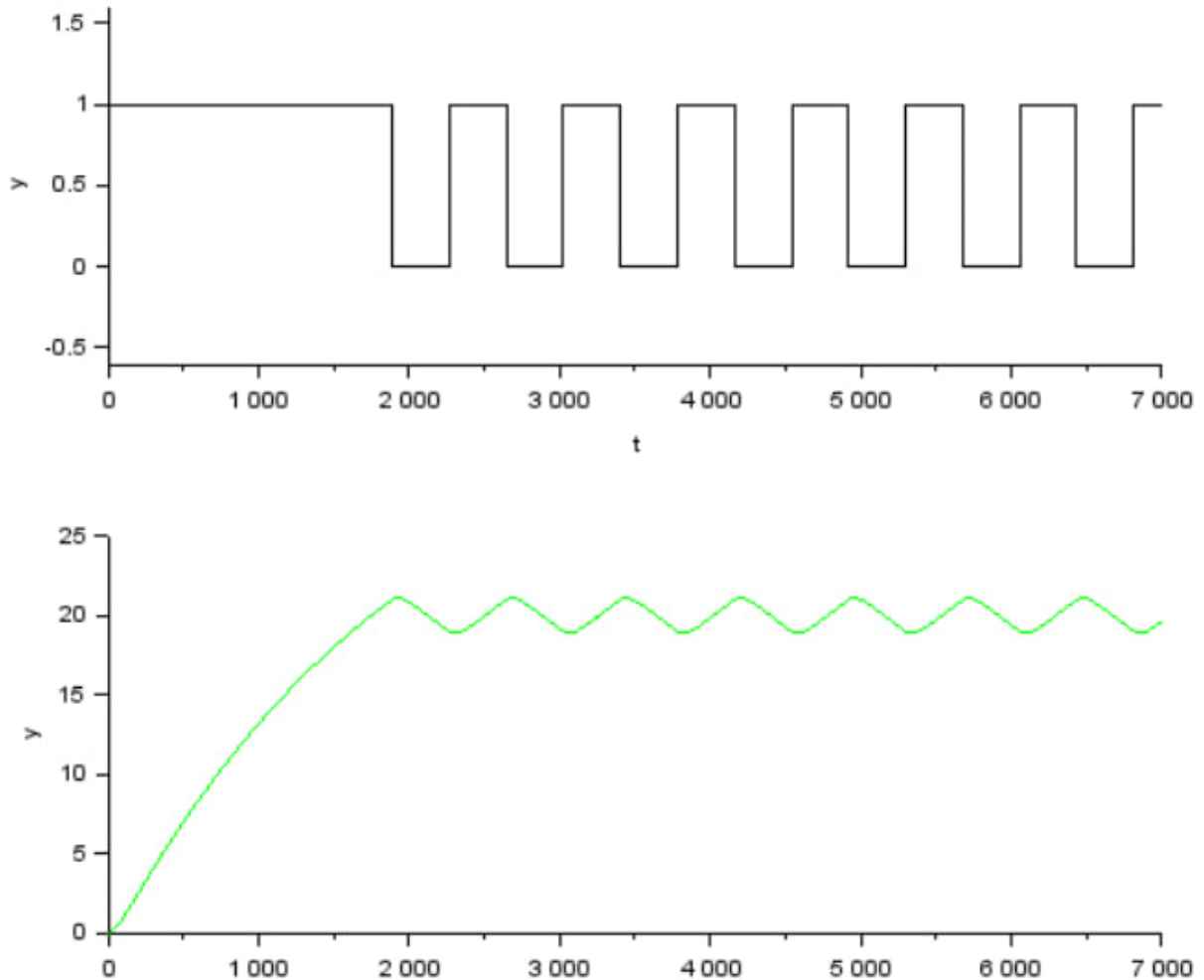


Рисунок 4 – Результати моделювання електричного обігрівача (температура повітря та стан нагрівача)

Критичне перерегулювання відсутнє завдяки релейному закону керування з гістерезисом. Час первинного нагріву до виходу в заданий температурний діапазон та першого вимкнення нагрівача становить приблизно 33 хв (близько 2000 с). Частота перемикань терморегулятора в усталеному режимі визначається співвідношенням  $t_{max}$  та  $\Delta T$  і становить близько 1 циклу за 12–13 хв (приблизно 700–800 с на повний цикл увімкнення-вимкнення).

### Висновки

У роботі розроблено комплекс імітаційних моделей електричного обігрівача в середовищі Scilab/Xcos. Побудовано вербальну модель, що описує принцип функціонування системи, а також структурну модель у вигляді орієнтованого графа взаємозв'язків між функціональними блоками.

Для функціональних блоків системи визначено тип моделі та отримано математичні описи. Ключовим є диференціальне рівняння теплового балансу повітря приміщення – інерційна ланка першого порядку з тепловою сталою часу  $t_{max} = 2000$  с.

Імітаційну модель реалізовано в Scilab/Xcos на основі блоків CLR, HYSTERESIS, GAINBLK\_f та CONST\_m. Результати моделювання підтверджують коректну роботу системи: нагрів до заданої температури та стабільне коливальне підтримання режиму з амплітудою  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Прийняті спрощення не знижують адекватності моделі в межах поставлених задач.

Розроблений комплекс моделей може бути використаний для дослідження теплових режимів приміщення, налаштування параметрів терморегулятора та порівняльного аналізу різних стратегій керування без потреби у фізичному прототипі.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. How does an electric space heater work? *HowStuffWorks* : website. URL: <https://home.howstuffworks.com/electric-space-heater.htm>
2. Побутові електронагрівачі: будова та принцип роботи. Тема 7 : метод. матеріали / Луцький національний технічний університет : електронна бібліотека. URL: <https://elib.lntu.edu.ua>
3. Вибір конвектора для будинку, офісу і дачі. URL: <https://res.ua/blog/yak-vibrati/vybir-konvektora-dlja-budynku-ofisu-i-dachi.html>
4. Дубовой В. М., Юхимчук М. С., Лещенко Ю. Я. Імітаційне моделювання в системі Scilab/Xcos: електронний навч. посіб. [Електронний ресурс]. – 2-е вид., переробл. та доповн. – Вінниця : ВНТУ, 2024.
5. Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., Усов А. В. Моделювання та оптимізація систем: підручник. – Вінниця : ТД «Едельвейс», 2017.
6. Дубовой В. М., Никитенко О. Д., Юхимчук М. С., Галушак А. В. Моделювання об'єктів і систем: лаб. практикум. – Вінниця : ВНТУ, 2021.

**Богдан Васильович Герасимчук** – студент групи ІАКІТР-246, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: [gerasimcukbogdan2@gmail.com](mailto:gerasimcukbogdan2@gmail.com)

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

**Bohdan V. Gerasymchuk** – student of group ІАКІТР-246, faculty of intellectual information technologies and automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. email: [gerasimcukbogdan2@gmail.com](mailto:gerasimcukbogdan2@gmail.com)

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