

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ БАКА З ПІДГРІВОМ ВОДИ В СЕРЕДОВИЩІ SCILAB/XCOS

Вінницький національний технічний університет

Анотація – Розроблено комплекс моделей бака з підгрівом води, що включає вербальну, структурну, функціональну та імітаційну моделі. Структурна модель представлена у вигляді графа взаємозв'язків між потоковими блоками системи. Функціональні моделі описують динаміку зміни рівня та температури. Імітаційну модель реалізовано в середовищі Scilab/Xcos. Результати підтверджують працездатність релейного закону керування температурою.

Ключові слова: бак з підгрівом, імітаційна модель, Scilab/Xcos, терморегулятор, матеріальний баланс, релейне керування.

Abstract – A complex of models of a water heating tank has been developed, including verbal, structural, functional and simulation models. The structural model is represented as an interaction graph between system blocks. Functional models describe the dynamics of level and temperature changes. The simulation model is implemented in Scilab/Xcos.

Keywords: heating tank, simulation model, Scilab/Xcos, thermostat, material balance, relay control.

Вступ

Технологічні ємності (баки) з підгрівом рідини є типовими об'єктами автоматизації у промисловості та житлово-комунальному господарстві. Сучасні системи управління такими об'єктами вимагають точного підтримання рівня води та заданої температури при зміні витрат споживачем. Розробка та аналіз таких систем потребує адекватних математичних та імітаційних моделей. Імітаційне моделювання дозволяє досліджувати поведінку системи та налаштовувати регулятори без фізичного прототипу. Метою роботи є розробка комплексу моделей бака з підгрівом води та дослідження теплових і масообмінних процесів у системі засобами Scilab/Xcos.

Вербальна модель

Бак з підгрівом води – це гідродинамічна та тепла система, призначена для накопичення рідини, її підгріву та подальшої роздачі споживачам. Основні конструктивні компоненти системи схематично зображено на рисунку 1.

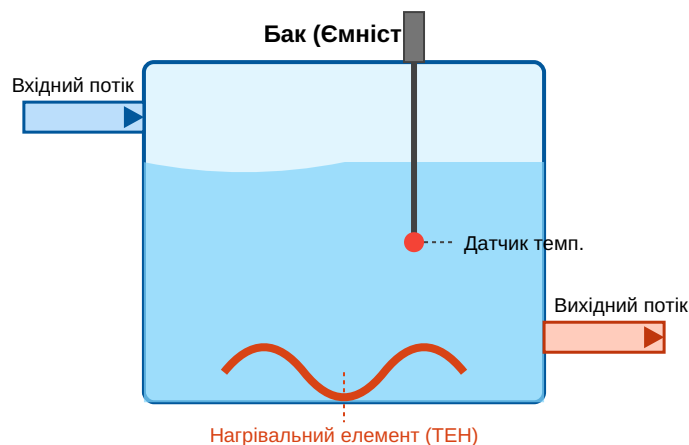


Рис. 1 – Схематичне зображення бака з підгрівом води

Система складається з таких функціональних блоків:

Джерело живлення: забезпечує електроенергією нагрівальний елемент. Вважається ідеальним: $U = const$.

Терморегулятор: електронний блок керування, що порівнює поточну температуру води T із заданим значенням T_{set} і вмикає нагрівач за двопозиційним (релейним) законом з гістерезисом ΔT .

Нагрівальний елемент (ТЕН): перетворює електричну енергію на теплову потужність Q .

Бак (ємність): акумулятор маси та теплової енергії. Його стан характеризується поточним рівнем води H та середньою температурою T .

Вхідний та вихідний потоки: магістралі з витратами F_{in} та F_{out} , які визначають масовий баланс об'єкта.

Структурна модель (граф)

Структурна модель системи представлена у вигляді орієнтованого графа (рис. 2), де вузли відповідають функціональним блокам, а дуги – потокам енергії, маси та інформації між ними. Замкнений контур (Бак → Терморегулятор → Нагрівальний елемент → Бак) забезпечує автоматичне підтримання температури.

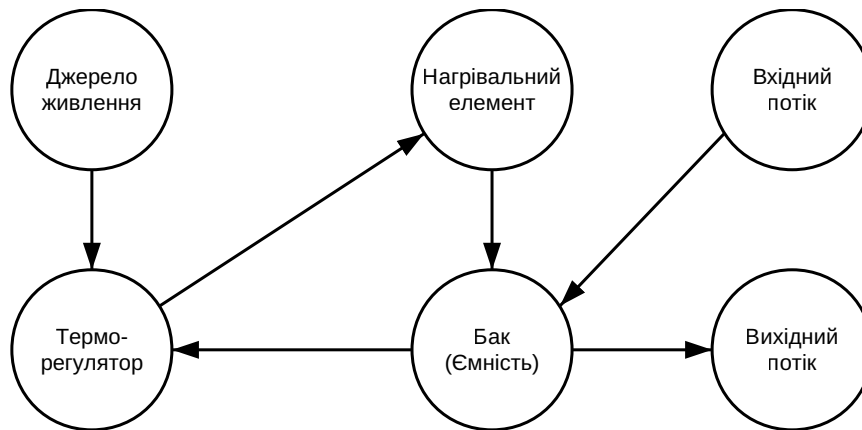


Рис. 2 – Граф структурної моделі бака з підігрівом води

Функціональні моделі блоків

Для кожного блоку визначено математичний опис. Вхідний та вихідний потоки вважаються незалежними змінними.

Терморегулятор є статичним елементом, що реалізує релейний закон:

$$u(t) = 1, \text{ якщо } T < T_{set} - \Delta T; \quad 0, \text{ якщо } T > T_{set} + \Delta T$$

Нагрівальний елемент є статичним блоком (через малу власну інерційність порівняно з масою води): $Q(t) = u(t) \cdot P$, де P – номінальна потужність.

Бак (ємність) є складним динамічним об'єктом. Динаміка матеріального балансу (рівня рідини H) описується рівнянням інтегруючої ланки:

$$S \cdot dH/dt = F_{in}(t) - F_{out}(t)$$

Диференціальне рівняння теплового балансу враховує надходження тепла від ТЕНу та зміну температури за рахунок вхідного потоку холодної води T_{in} :

$$S \cdot H(t) \cdot dT/dt = F_{in}(t) \cdot (T_{in} - T(t)) + Q(t) / (\rho \cdot c)$$

Імітаційна модель у середовищі Scilab/Xcos

Імітаційну модель об'єкта реалізовано в середовищі Scilab з використанням графічного візуального редактора Xcos (рис. 3). Модель побудована за схемою системи автоматичного керування із

замкненим контуром зворотного зв'язку за температурою. Для імітації фізичних процесів використано такі стандартні палітри Xcos:

- **CONST_m / STEP_FUNCTION** – для задання постійних витрат F_{in} , F_{out} та початкової температури води.
- **INTEGRAL_m** – ідеальні інтегруючі ланки (1/s) для моделювання динаміки накопичення маси (розрахунок рівня H) та накопичення теплової енергії (розрахунок температури T).
- **HYSTHERESIS** – виконує роль терморегулятора, реалізуючи двопозиційний закон керування ТЕНом із заданими порогами спрацювання (наприклад, 60 ± 2 °C).
- **GAINBLK_f** та математичні оператори – для реалізації множення на фізичні константи (площу, густину, теплоємність).
- **CSCOPE** – двоканальний осцилограф для моніторингу перехідних процесів температури та дискретних станів реле в режимі реального часу.

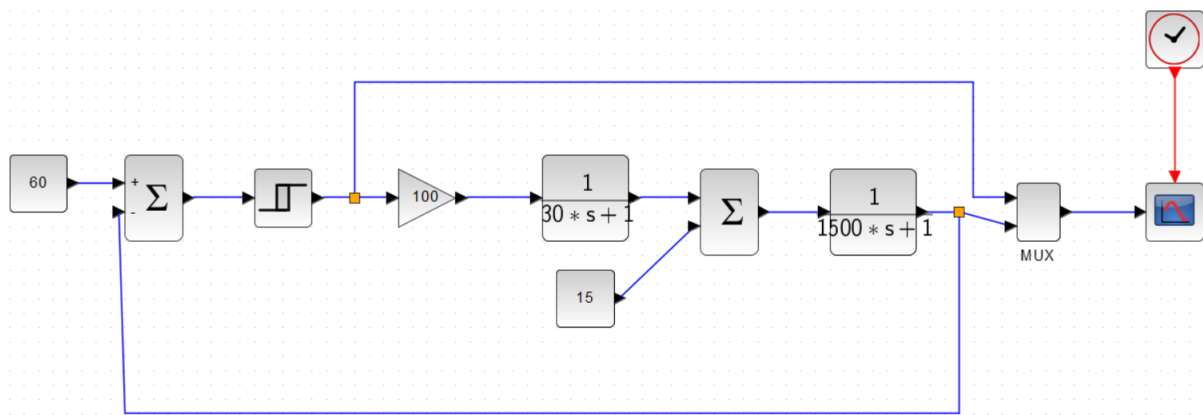


Рис. 3 – Схема імітаційної моделі бака з підгрівом у середовищі Scilab/Xcos

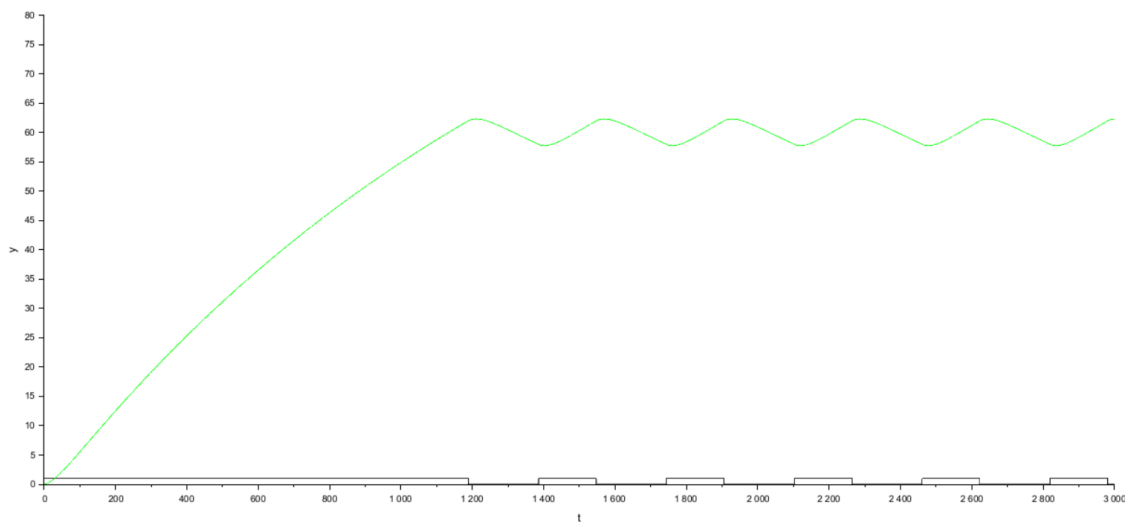


Рис. 4 – Результати моделювання теплового режиму бака (температура та стан нагрівача)

Час симуляції становить 3000 с. На першому етапі відбувається інтенсивний нагрів води від початкових 15°C до цільової позначки 60°C. На другому етапі спостерігається усталений коливальний авторежим, викликаний гістерезисом регулятора: система циклічно вмикає та вимикає ТЕН, підтримуючи температуру в межах 58–62°C.

Висновки

Розроблено комплекс імітаційних моделей бака з підігрівом води в середовищі Scilab/Xcos. Побудовано структурну модель (граф зв'язків) та отримано математичні описи матеріального та теплового балансів (інтегруючі ланки). Результати візуального моделювання у Xcos за допомогою блоку HYSTHERESIS підтверджують коректну роботу релейної системи: стабільне коливальне підтримання температури в заданих межах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., Усов А. В. Моделювання та оптимізація систем: підручник. – Вінниця : ТД «Едельвейс», 2017.

Іванюк Олексій Володимирович – студент групи 2АКІТР-24Б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksijivanuk@gmail.com

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

Ivanyuk Oleksii V. – student in class 2AKITR-24B, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksijivanuk@gmail.com

Supervisor: **Dubovoy Volodymyr M.** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.