

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ПРАЛЬНОЇ МАШИНИ В СЕРЕДОВИЩІ SCILAB/XCOS

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено комплекс моделей пральної машини, що включає вербальну, структурну, функціональні та імітаційну моделі. Структурна модель представлена у вигляді графа взаємозв'язків між блоками системи. Функціональні моделі описують динамічні та статичні характеристики кожного блоку. Імітаційну модель реалізовано в середовищі Scilab/Xcos у вигляді трьох підсистем: керування швидкістю барабана, нагріву води та керування рівнем води. Результати моделювання підтверджують працездатність розробленої моделі та адекватність прийнятих спрощень.

Ключові слова: пральна машина, імітаційна модель, Scilab/Xcos, передавальна функція, ПД-регулятор, динаміка, структурна модель.

Abstract

A complex of washing machine 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 simulation model is implemented in Scilab/Xcos as three subsystems: drum speed control, water heating and water level control. Simulation results confirm the performance of the developed model and the adequacy of the accepted simplifications.

Keywords: washing machine, simulation model, Scilab/Xcos, transfer function, PD-controller, dynamics, structural model.

Вступ

Пральні машини є одним із найпоширеніших побутових електромеханічних пристроїв, що використовуються у повсякденному житті. Сучасні моделі реалізують складні алгоритми керування, що поєднують механічні, теплові та гідравлічні процеси в єдину автоматизовану систему. Розробка та налагодження таких систем керування потребує значних витрат часу і ресурсів при реалізації на реальному обладнанні.

Імітаційне моделювання дозволяє досліджувати поведінку системи без фізичного прототипу, що суттєво спрощує процес проектування та аналізу. Однак побудова адекватної імітаційної моделі складного об'єкта вимагає детального опису всіх його підсистем та взаємозв'язків між ними [2].

Метою роботи є розробка комплексу моделей пральної машини, що включає вербальну, структурну, функціональні та імітаційну моделі, а також дослідження поведінки системи при різних режимах роботи засобами середовища Scilab/Xcos [1].

Вербальна модель

Пральна машина — електромеханічний побутовий пристрій для автоматичного прання текстильних виробів. Машина виконує повний цикл обробки білизни без втручання людини: прання, полоскання та віджим. На роботу машини частково впливають умови навколишнього середовища.

Система складається з таких блоків [5]:

Барабан — обертовий перфорований циліндричний контейнер, в якому знаходиться білизна під час всього циклу прання. Під час прання та полоскання барабан обертається по чергово в обидва боки (реверс) для рівномірного перемішування білизни з водою та миючим засобом. Між змінами напрямку барабан короткочасно зупиняється. Під час віджиму барабан обертається в одному напрямку з високою швидкістю — відцентрова сила видавлює воду з білизни через перфорацію. На рух барабана впливають: вага білизни, вага води всередині, сили тертя підшипників та інерція самого барабана.

Електродвигун — перетворює електричну енергію в механічне обертання барабана. Двигун має

власну інерцію — він не може миттєво змінити швидкість. Швидкість обертання двигуна регулюється контролером на основі порівняння заданої та фактичної швидкості.

Вода — основне робоче середовище для прання. Вона надходить із водопроводу та нагрівається до температури, визначеної програмою. Під час прання вода розчиняє миючий засіб, вимиває забруднення з білизни та переносить їх у процесі циркуляції. На етапі полоскання подається чиста холодна вода для видалення залишків миючого засобу.

Нагрівач — електричний нагрівальний елемент (ТЕН), що підігріває воду до температури, заданої програмою прання. Має теплову інерцію — температура води зростає поступово залежно від потужності елемента та об'єму води.

Насос — забезпечує злив води з барабана після завершення етапів прання та полоскання. Керується контролером режимів. Під час роботи створює потік води через систему зливу.

Контролер режимів — електронний блок керування, що координує роботу всіх компонентів машини відповідно до вибраної програми прання. Визначає швидкість обертання барабана, температуру нагріву води, тривалість кожної фази, моменти набору та зливу води. Реалізує різні програми прання, які відрізняються температурним режимом, швидкістю обертання барабана та тривалістю окремих фаз. Отримує сигнали від датчиків і коригує роботу виконавчих механізмів.

Датчик рівня води — вимірює кількість води в барабані. Передає сигнал контролеру для керування насосом — зупиняє набір при досягненні заданого рівня та сигналізує про завершення зливу. Також використовується для визначення наявності води в системі нагріву.

Датчик швидкості — вимірює фактичну швидкість обертання барабана та передає сигнал зворотного зв'язку до контролера. Дозволяє точно підтримувати задану швидкість незважаючи на змінне навантаження від білизни та води.

Датчик температури — вимірює температуру води та передає сигнал контролеру для підтримки заданого температурного режиму.

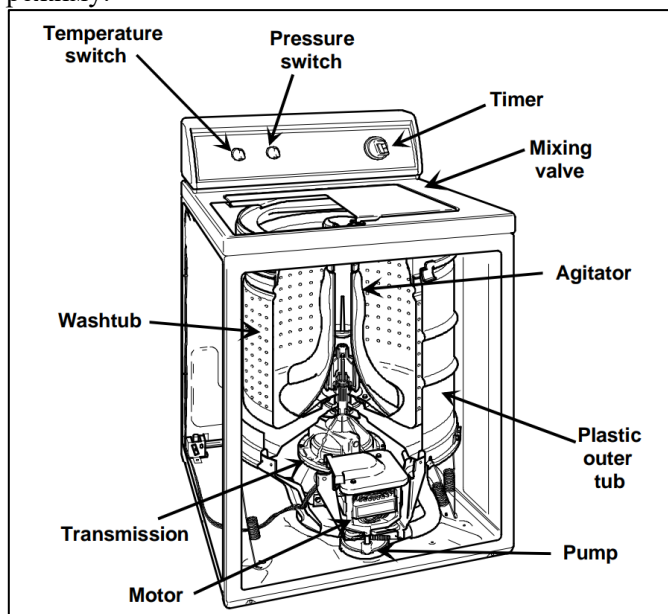


Рисунок 1 – Основні компоненти пральної машини [4]

У рамках прийнятої спрощеної моделі робочий цикл пральної машини включає чотири послідовні фази, між якими двигун повністю зупиняється:

Фаза 1 — Прання: Виконується набір води та її нагрів до заданої температури. Барабан по чергово обертається в обидва боки для перемішування білизни.

Фаза 2 — Злив: Виконується злив брудної води з барабана.

Фаза 3 — Полоскання: Виконується набір чистої холодної води та реверсивне обертання барабана для видалення залишків миючого засобу. Цикл зливу та набору води може повторюватися кілька разів.

Фаза 4 — Віджим: Після остаточного зливу барабан розганяється до заданої швидкості віджиму, забезпечуючи видалення води з білизни.

Вплив навколишнього середовища. Температура повітря в приміщенні частково впливає на

початкову температуру води та завантаженої білизни. Чим нижча температура в кімнаті, тим більше енергії потрібно нагрівачу для досягнення заданої температури прання. Можливі незначні теплові втрати через корпус машини.

Структурна модель (граф)

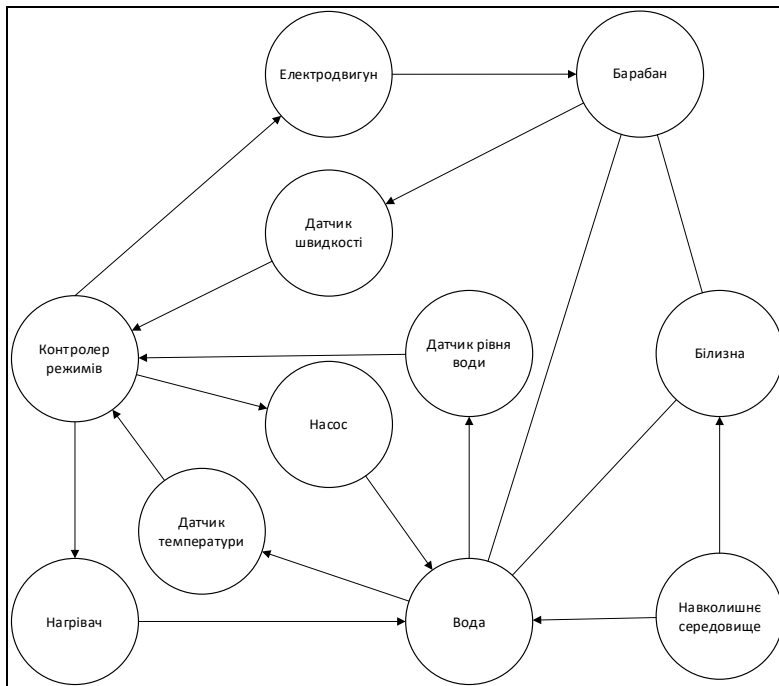


Рисунок 2 — Граф структурної моделі пральної машини

Функціональні моделі блоків

Для кожного функціонального блоку системи визначено тип моделі — статичний або динамічний [2]. Статичні блоки описують миттєву реакцію системи без урахування інерційності, тоді як динамічні блоки враховують зміну параметрів у часі.

Контролер режимів є статичним елементом, що миттєво формує задані значення швидкості обертання барабана та температури води залежно від режиму прання:

$$\omega_{ref} = \begin{cases} 150 \frac{об}{хв}, & \text{якщо } MODE = 1; \\ 80 \frac{об}{хв}, & \text{якщо } MODE = 0. \end{cases} \quad (1)$$

$$T_{ref} = \begin{cases} 60 \text{ } ^\circ\text{C}, & \text{якщо } MODE = 1; \\ 30 \text{ } ^\circ\text{C}, & \text{якщо } MODE = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Електродвигун із ПД-регулятором є динамічним блоком. Передавальна функція двигуна має вигляд:

$$W(s) = \frac{1}{1+Ts} \quad (3)$$

де $T = 0.2 \text{ с}$ — постійна часу двигуна.

Регулятор швидкості реалізований як ПД-регулятор:

$$U = Kp \cdot (\omega_{ref} - \omega_{fact}) + Kd \cdot \frac{d(\omega_{ref} - \omega_{fact})}{dt} \quad (4)$$

де $Kp = 3$ — пропорційний коефіцієнт; $Kd = 0.1$ — диференційний коефіцієнт.

Барабан пральної машини описується динамічною моделлю обертального руху:

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_{двигун} - M_{вода} - M_{білизна} - M_{тертя} \quad (5)$$

де $M_{двигун}$ — момент електродвигуна (вихід блоку керування), $M_{вода} = 0.7 \cdot \omega$ — момент опору від води; $M_{тертя} = 0.1 \cdot \omega$ — момент тертя підшипників; $M_{білизна} = 0.6 \text{ Н}\cdot\text{м}$ — сталий момент опору від білизни.

Нагрівач води є динамічним блоком; теплова динаміка описується передавальною функцією:

$$W(s) = \frac{1}{1+Ts} \quad (6)$$

де $T = 20$ с — теплова постійна часу води.

Додатково враховується теплообмін між водою та білизною:

$$Q = k \cdot (T_{\text{вода}} - T_{\text{білизна}}) \quad (7)$$

де $k = 0.05$ — коефіцієнт теплопередачі; $T_{\text{білизна}} = 20^\circ\text{C}$ — початкова температура білизни.

Насос керування рівнем води описується динамічною моделлю першого порядку:

$$W(s) = \frac{1}{1+Ts} \quad (8)$$

де $T = 0.25$ с — постійна часу насоса. Вихідний сигнал (рівень води) обмежений діапазоном $[0 \dots 1]$.

Датчик швидкості та датчик температури є статичними елементами, що здійснюють миттєве вимірювання відповідних параметрів і передають сигнали зворотного зв'язку до контролера:

$$\omega_{\text{fact}} = \omega_{\text{барабан}} \quad (9)$$

$$T_{\text{fact}} = T_{\text{вода}} \quad (10)$$

Білизна розглядається як пасивний статичний елемент з постійними параметрами протягом циклу прання. Її вплив повністю врахований у моделях барабана (момент опору) та нагрівача (теплообмін з водою).

Імітаційна модель у середовищі Scilab/Xcos

Імітаційну модель пральної машини реалізовано в середовищі Scilab з використанням графічного редактора Xcos. Модель складається з трьох підсистем: керування швидкістю барабана, нагріву води та керування рівнем води (насос) [1, 3]. У моделі реалізовано два цикли полоскання, що відповідає стандартній програмі прання. У моделі час симуляції вимірюється в секундах середовища Scilab/Xcos, де 1 секунда модельного часу відповідає 1 хвилині реального циклу прання. Таке масштабування часу прийнято як спрощення для скорочення тривалості симуляції при збереженні відносних співвідношень між фазами робочого циклу.

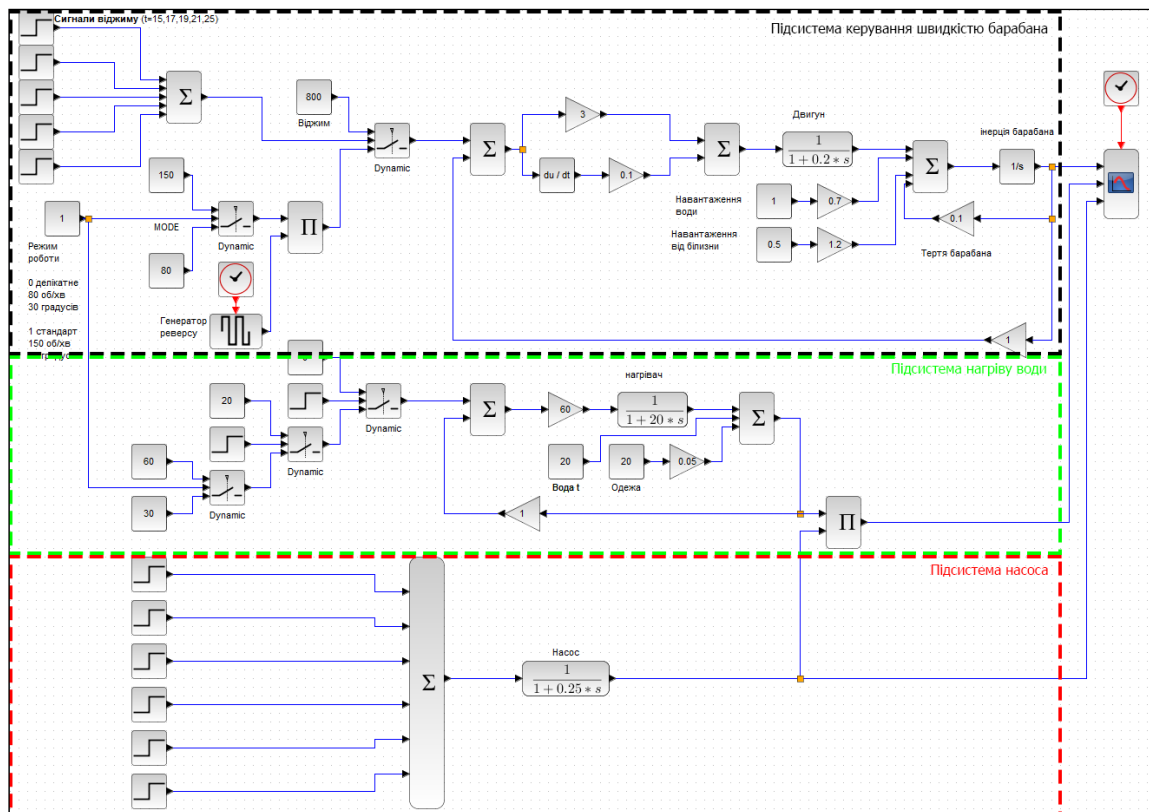


Рисунок 3 — Схема імітаційної моделі пральної машини в середовищі Scilab/Xcos

Підсистема керування швидкістю барабана реалізує замкнений контур регулювання. Контролер режимів задає еталонну швидкість: 150 об/хв у стандартному режимі, 80 об/хв у делікатному режимі та 800 об/хв під час віджиму. Інерція барабана реалізована інтегруючою ланкою, а зворотний зв'язок за швидкістю — через датчик із коефіцієнтом $K=1$. Генератор реверсу забезпечує по чергову зміну напрямку обертання під час прання та полоскання.

Підсистема нагріву води реалізує теплову динаміку відповідно до функціональної моделі, наведеної вище. Контролер задає температуру 60°C у стандартному режимі та 30°C у делікатному режимі.

Підсистема насоса моделює процес набору та зливу води. Керуючі сигнали формуються шістьма step-генераторами, які задають моменти набору (+1) та зливу (-1) відповідно до програми прання.

Результати моделювання наведено на рис. 3.

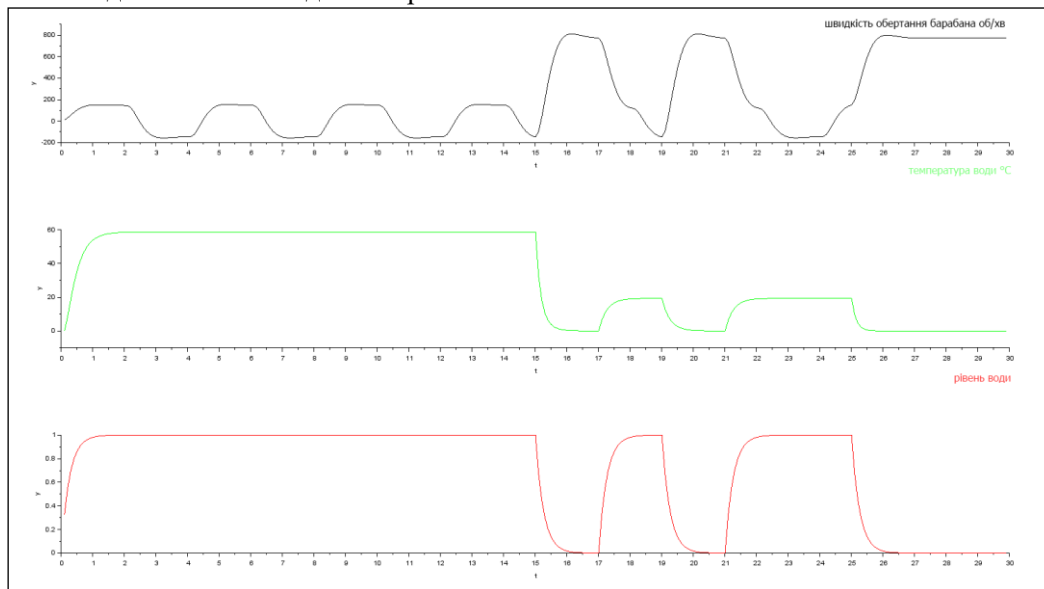


Рисунок 4 — Графіки результатів моделювання пральної машини

На графіках відображено швидкість обертання барабана, температуру води та рівень води. Перерегулювання швидкості становить близько 1.25%, що є прийнятним показником якості регулювання. Графік рівня води підтверджує коректну роботу підсистеми набору та зливу відповідно до програми прання. Під час зливу температура води зменшується до нуля, що є прийнятним спрощенням моделі, оскільки за відсутності води температура не вимірюється.

Висновки

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

Для функціональних блоків системи визначено тип моделі (статичний або динамічний) та отримано відповідні математичні описи. Імітаційну модель реалізовано у вигляді трьох підсистем: керування швидкістю барабана, нагріву води та керування рівнем води.

Результати моделювання підтверджують працездатність розробленої системи. Перерегулювання швидкості барабана становить близько 1,25 %, що є прийнятним показником якості регулювання. Прийняті спрощення моделі не знижують її адекватності в межах поставлених задач моделювання.

Розроблений комплекс моделей може бути використаний для дослідження режимів роботи пральної машини, налаштування параметрів регуляторів та проектування систем керування без необхідності створення фізичного прототипу.

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. — 119 с.

2. Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., Усов А. В. Моделювання та оптимізація систем : підручник. — Вінниця : ТД «Едельвейс», 2017. — 804 с.

3. Дубовой В. М., Никитенко О. Д., Юхимчук М. С., Галушак А. В. Моделювання об'єктів і систем : лаб. практикум. — Вінниця : ВНТУ, 2021. — 157 с.

4. How does a top-load washing machine work? Explanation. *Sears Home Services* : website. URL: <https://www.searshomeservices.com/blog/how-does-a-top-load-washing-machine-work-explanation> (дата звернення: 22.05.2026).

5. Побутові пральні машини: будова та принцип роботи. Тема 9 : метод. матеріали / Луцький національний технічний університет : електронна бібліотека. URL:

https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%9F%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%96%20%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B8%20%D1%82%D0%B0%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8/page13.html (дата звернення: 22.05.2026).

Лиманський Олексій Васильович — студент групи ІАКІТР-246, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: olekciulumanc@gmail.com

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

Oleksii Lymanskyi — group ІАКІТР-24b, Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olekciulumanc@gmail.com

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