

Міністерство освіти і науки України
 Національний технічний університет
 «Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики
 (інститут)

Електротехнічний факультет
 (факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
 (повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Рибачук Ілля Сергійович
 (ПІБ)

академічної групи 151М-21-1
 (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 (код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 (офіційна назва)

на тему Синтез та дослідження кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у барабані промислової пральної машини
 (назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	проф. Бубліков А.В.			
розділів:				
Теоретичний розділ	проф. Бубліков А.В.			
Синтез та дослідження системи керування	проф. Бубліков А.В.			
Експериментальний розділ	ас. Бойко О.В.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро
2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
кіберфізичних та
інформаційно-вимірювальних систем
(повна назва)

_____ Бубліков А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Рибачук І. С. академічної групи 151М-21-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему Синтез та дослідження кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у барабані промислової пральної машини,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від №918-с від 13.09.2022 р.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	01.09.22 – 14.09.22
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	15.09.22 – 30.09.22
Синтез та дослідження системи керування	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	01.10.22 – 31.10.22
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.11.22 – 14.11.22
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та експлуатацію системи керування	15.11.22 – 24.11.22
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	25.11.22 – 05.12.22

Завдання видано

(підпис керівника)

проф. Бубліков А.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.09.2022

Дата подання до атестаційної комісії

10.12.2022

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Рибачук І.С.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 111 с., 60 рис., 15 табл., 3 додатки, 33 джерел.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування температурою води у барабані пральної машини.

Предмет дослідження – закономірності процесу керування температурою води в барабані пральної машини.

Зроблений аналіз пральної машини як об'єкта автоматизації, та за його результатами обґрунтовані причини та умови переходу до кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води в барабані.

Проведено синтез класичної системи автоматичного керування на базі ПД-регулятора, та за допомогою обчислювальних експериментів на основі створеної імітаційної моделі системи керування продемонстровані недоліки використання ПД-регулятора в умовах обмеженого енергоресурсу та присутності декількох споживачів електроенергії.

Запропонований інноваційний алгоритм керування температурою води в барабані пральної машини, який передбачає виділення двох етапів процесу нагрівання води. На першому етапі при мінімальному споживанні електроенергії ТЕН відбувається ідентифікація об'єкту керування та отримання цифрової проєкції фізичного процесу нагрівання води, а на другому етапі – відпрацювання уставки температури оптимальним за швидкодією регулятором, при розрахунку якого враховується обмеження за потужністю.

На основі SCADA-програми Zenon створене програмне забезпечення кіберфізичної системи автоматичного керування та людино-машинний інтерфейс з перевіркою коректності його функціонування.

СИНТЕЗ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ТЕМПЕРАТУРА ВОДИ В БАРАБАНИ, ПРАЛЬНА МАШИНА, SCADA-ПРОГРАМА ZENON.

ABSTRACT

Explanatory note: 111 p., 60 figures, 15 tables, 3 appendices, 33 sources.

The object of the research is the process of automatic control of the water temperature in the drum of the washing machine.

The subject of the research is the regularities of the water temperature control process in the drum of the washing machine.

An analysis of the washing machine as an object of automation was made, and based on its results; the reasons and conditions for the transition to a cyber-physical system of automatic control of the water temperature in the drum were substantiated.

A synthesis of a classic automatic control system based on a PID controller was carried out, and with the help of computational experiments based on a created simulation model of the control system, the disadvantages of using a PID controller in conditions of limited energy resources and the presence of several electricity consumers were demonstrated.

An innovative algorithm for controlling the water temperature in the washing machine drum is proposed, which involves the selection of two stages of the water heating process. At the first stage, with minimal electricity consumption, the heating element is identified and a digital projection of the physical process of water heating is obtained, and at the second stage, the temperature setting is worked out by the speed-optimized regulator, the calculation of which takes into account the power limitation.

The software of the cyber-physical system of automatic control and the human-machine interface with the verification of the correctness of its functioning have been created on the basis of the Zenon SCADA program.

SYNTHESIS OF CYBERPHYSICAL AUTOMATIC CONTROL SYSTEM,
SIMULATION MODEL, WATER TEMPERATURE IN THE DRUM, WASHING
MACHINE, SCADA-PROGRAM ZENON

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	8
Вступ	9
1 Стан питання та постановка завдання	12
1.1 Галузь промисловості	12
1.2 Технологічний процес	13
1.3 Об'єкт керування	14
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	14
1.3.2 Структура об'єкта керування	15
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	18
1.4 Формулювання завдань дослідження	20
1.5 Висновки до розділу	21
2 Теоретичний розділ	23
2.1 Імітаційна модель технологічного об'єкта автоматизації	23
2.2 Аналіз ефективності класичних методів синтезу системи автоматичного керування	26
2.3 Висновки за розділом	32
3 Синтез та дослідження системи автоматичного керування	33
3.1 Синтез кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у пральній машині	33
3.2 Дослідження кіберфізичної системи керування температурою води у пральній машині	45
3.3 Висновок за розділом	58
4 Експериментальний розділ	59
4.1 Цифрова модель системи керування	59
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	62
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	65
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	67
4.5 Висновки по розділу	69

5 Економіка	70
5.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у барабані промислової пральної машини	70
5.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	70
5.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	72
5.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	72
5.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	74
5.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	75
5.4.1 Амортизація основних фондів	76
5.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати	77
5.4.3 Відрахування на соціальні заходи	78
5.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	78
5.4.5 Витрати на електроенергію	78
5.4.6 Інші витрати	79
5.5 Оцінка економічної ефективності проекту	80
5.6 Висновки по розділу	82
6 Розділ охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	83
6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів у промисловій пральні	83
6.2 Вимоги охорони праці перед початком роботи	89
6.3 Особливості оцінки ризику під час роботи з хімічними речовинами	90
6.3.1 Визначення небезпеки для людини від взаємодії з хімічною речовиною	92
6.3.2 Визначення рівня ризику при роботі з твердими хімічними речовинами.	94
6.3.3 Визначення рівня ризику при роботі з рідкими хімічними речовинами	95
6.3.4 Визначення ризику і запобіжних заходів	96
6.3.5 Контроль і моніторинг	98
6.4 Рекомендації щодо вибору ЗІЗОД при роботі з хімічними речовинами	100
6.5 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях	102

6.6 Висновки за розділом	104
Висновки	105
Перелік посилань	108
Додаток А - Програмні модулі системи керування	112
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування	116
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу	119
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	124

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА
ВИЗНАЧЕНЬ**

САК	Система автоматичного керування;
ЛМІ	Людино-машинний інтерфейс;
ПК	Персональний комп'ютер;
ТЕН	Трубчастий електронагрівник
ПЗ	Програмне забезпечення
ПМ	Пральна машина
ОК	Об'єкт керування

ВСТУП

Актуальність теми. Наразі технології «розумного будинку» є дуже затребуваними у світі та, зокрема, в Україні. Їх впровадження дозволяє зменшити споживання ресурсів будинком, підвищити безпеку та комфортність перебування у приміщеннях. Тому усі дослідження, що пропонують нові рішення за напрямом технологій «розумного будинку» є затребуваними й актуальними.

Одним з напрямів впровадження технологій «розумного будинку» є інтелектуалізація побутових приладів з метою економії споживання ресурсів, підвищення комфортності користування ними. При цьому йдеться не тільки про використання технологій інтернет-речей, завдяки чому створюється технічна база для впровадження складних сценаріїв інтелектуальної сумісної роботи приладів, а й про надання системам керування приладами властивостей кіберфізичних систем, коли в алгоритм прийняття керуючих рішень закладається цифрова проекція реальних фізичних процесів, їх “розуміння” системою.

Процеси нагрівання води та опалення є найбільш енерговитратними в будинках. І якщо здійснювати одну з головних функцій системи енергетичного менеджменту, що стосується розподілу електроенергії між споживачами, то побутові прилади, де мають місце ці енерговитратні фізичні процеси, мають бути адаптовані під сумісну роботу з системою енергетичного менеджменту, що є одною з систем розумного будинку.

Саме це завдання вирішується в даній науковій роботі – відбувається модифікація системи автоматичного керування нагріванням води у пральній машині через надання їй властивостей кіберфізичної системи з метою інтелектуалізації пральної машини та її адаптації для сумісної роботи з системою енергетичного менеджменту в будинку.

Мета і задачі дослідження. В магістерській кваліфікаційній роботі поставлено за мету визначити закономірності процесу нагрівання води, що

дозволять адаптувати процес автоматичного керування температурою води під сумісну роботу з системою енергетичного менеджменту в будинку.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі сформовані і вирішені такі наукові задачі:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою води у барабані пральної машини;

- проведено дослідження ефективності та доцільності використання для автоматичного керування температурою води у барабані пральної машини ПД-регулятора в умовах обмеженого енергоресурсу;

- запропонований новий метод синтезу кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у барабані пральної машини на основі розбиття процесу нагрівання води на два етапи, коли на першому етапі відбувається визначення цифрової проекції фізичного процесу, а на другому – відпрацювання уставки регулятором, що розрахований на базі моделі фізичного процесу нагрівання води з урахуванням обмеження за потужністю ;

- проведені дослідження режимів роботи синтезованої кіберфізичної системи керування температурою води у барабані пральної машини, що дозволили встановити оптимальні параметри алгоритму керування.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування температурою води у барабані пральної машини.

Предмет дослідження – закономірності процесу керування температурою води в барабані пральної машини.

Методи дослідження. Для дослідження системи автоматичного керування температурою води у барабані пральної машини використані методи сучасної теорії автоматичного керування. Дослідження проведені на основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів ідентифікації та синтезу систем автоматичного керування. Оцінювання ефективності процесу автоматичного керування здійснене з використанням методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

1. Дослідження показали, що класичний ПІД-регулятор з обмеженням діапазону зміни значень вихідного сигналу та захистом від перенасичення його інтегральної складової, налаштований з використанням комп'ютеризованого методу синтезу системи керування, може коректно відпрацьовувати зміну уставки води за умови змінного обмеження щодо керуючого сигналу через зміну системою енергетичного менеджменту тактики розподілу потужності. Але, в роботі ПІД-регулятора можна виділити такі недоліки, як неперервна зміна керуючого впливу та відсутність можливості прогнозування витрат електроенергії, через що його робота сумісно з системою енергетичного менеджменту значно ускладнюються.

2. Встановлено, що ідентифікацію динамічної моделі нагрівання води в пральній машині при роботі кіберфізичної системи керування з прийнятною точністю можна проводити за половиною експериментальної кривої розгону – до точки її перегину. Фактично довжина експериментальної кривої розгону до точки її перегину є оптимальною для проведення процедури ідентифікації моделі об'єкта керування за критеріями тривалості етапу формування кривої (продуктивність системи керування) та точності визначення параметрів моделі (точність відпрацювання системою зміни уставки).

3. Встановлено, що зі збільшенням амплітуди тестового керуючого сигналу при формуванні експериментальної кривої розгону збільшується похибка при розрахуванні інтервалів перемикання оптимального за швидкістю регулятора, через що збільшується статична похибка на момент закінчення нагрівання води (закінчення другого інтервалу перемикання регулятора).

4. Встановлено, що точність ідентифікації динамічної моделі нагрівання води при роботі кіберфізичної системи керування залежить зворотно від періоду імпульсного керуючого впливу при імпульсному режимі споживання електроенергії ТЕН на етапі формування експериментальної кривої розгону.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Підгалузь пральних послуг і послуг хімічної чистки є складовою частиною галузі побутового обслуговування населення. На початок 1991 р. у системі комунального господарства і побутового обслуговування України перебували в експлуатації 1 900 фабрик-пралень, в тому числі 957 пралень самообслуговування. У той же час діяло 1 690 підприємств хімчистки, понад 650 з яких – у райцентрах [5].

За даними на 1988 р. в Україні існувало 5 пралень-комбінатів без окремих приймальних пунктів, що обслуговували населення як державні підприємства. Загальна кількість оброблюваної білизни становила близько 1 200 тон у рік.

В даний час галузь переживає структурну кризу та спад обсягів виробництва. За минулі роки з 1989 до 2020 р. кількість підприємств в цілому по території України скоротилася в 4...5 разів, обсяг надання послуг багаторазово знизився. У критичному стані опинився технологічний парк даної галузі, наслідком чого стало суттєве скорочення виробничих потужностей. В даний час регіональні підприємства цієї підгалузі, в основному, низько рентабельні.

Причинами, що зумовили нинішній кризовий стан підгалузі прання білизни та хімічної чистки одягу, є суб'єктивні і об'єктивні фактори:

- швидке зростання цін на обладнання, запчастини, хімічні матеріали;
- підвищення вартості енергоресурсів, води, орендної плати, транспорту, зв'язку;
- поява різного роду «додаткових витрат» – отримання дозволів, податки, всілякі штрафи, пені тощо;
- моральне та фізичне старіння існуючого парку технологічного обладнання, руйнування системи забезпечення обладнанням і запчастинами;
- багаторазове скорочення апарату керування побутовим і комунальним обслуговуванням міст і регіонів.

Цілі і завдання, що стоять перед підгалуззю послуг з прання і хімчисток в даний час, полягають у:

- реконструкції та технічному переоснащенні підприємств за рахунок довгострокових інвестиційних кредитів і лізингу технологічного обладнання;
- більш ефективному використанні нерухомого майна підприємств;
- впровадженні прогресивних технологій, нових видів і форм обслуговування;
- скороченні витрат на обробку одного кілограма (одиниці) одягу та білизни.

1.2 Технологічний процес

Машинне прання – складний фізико-хімічний процес, під час якого білизна обробляється необхідний час певною дозою хімічних реагентів при заданому температурному режимі і одночасному механічному впливі. Час прання залежить від ступеня забруднення, виду тканини і миючих засобів [6].

Технологія обробки білизни у пральні складається з п'яти етапів:

- підготовка білизни до прання:
 - перетрушування і розбирання за кольором і типом матеріалу;
 - зважування в залежності від завантажувальних характеристик пральних машин.
- прання білизни за обраною програмою:
 - сушіння;
 - прасування.
- прасування фасонних виробів;
 - прасування білизни;
 - складування готової білизни.

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Промислова пральна машина – пральна машина завантаженням від 7 до 150 кг для проведення прання й віджиму білизни в промислових обсягах (рис. 1.1).

Головна відмінність від побутової пральної машини – велике завантаження від 10 до 350 кг білизни / одягу за 1 прання і тривалий термін служби. Вона є головною машиною в групі прального обладнання, оскільки від її типу, загрузки и та інших параметрів залежить, які інші машини треба обирати.

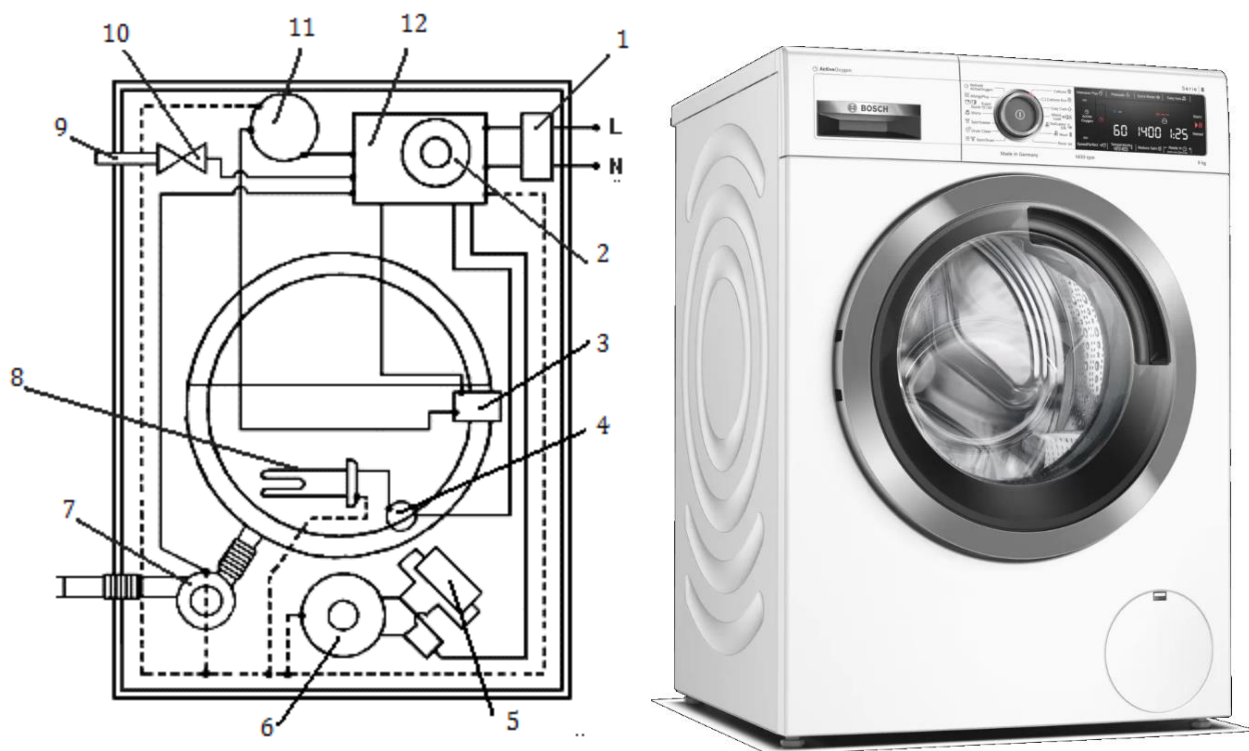


Рисунок 1.1 – Автоматична пральна машина

- | | | |
|---------------------|---------------------------|--|
| 1 – клемна колодка; | 2 – рукоятка керування; | 3 – блокувальний механізм дверці люка; |
| 4 – термостат; | 5 – пусковий конденсатор; | 6 – електродвигун; |
| 7 – зливний насос; | 8 – ТЕН; | 9 – водопровід; |
| 10 – електроклапан; | 11 – реле рівня; | 12 – командоапарат |

Друга назва такого обладнання – промисловий прально-віджимний автомат, що означає, що дана машина пере, віджимає на великій швидкості, має автоматичне керування. При цьому дана машина також (залежно від покоління

і моделі) вмiє нагрiвати воду, проводити прання в рiзних циклах (10...60 об./хв.), вiджимати на швидкостi вiд 300 до 1 100 об/хв. Бiльшiсть сучасних моделей промислових прально-вiджимних автоматiв (професiйних пральних машин) керується через комп'ютер (мiкропроцесор) [7].

Мiкропроцесорне керування пранням передбачає наявнiсть у пральнiй машинi примiтивного програмованого комп'ютера. У цьому модулi є велика i, як правило, достатня кiлькiсть програм, уже закладених в цей блок керування. Головна особливiсть – можливiсть введення власних програм. Це дуже важлива i дуже потрiбна опцiя, оскiльки в професiйних пральнях стираються величезнi обсяги бiлизни.

1.3.2 Структура об'єкта керування

У квалiфiкацiйнiй роботi розглядається питання стосовно автоматизацiї бар'єрної пральної машини (рис. 1.2).

Бар'єрнi пральнi машини використовуються в пральнях, де необхідно запобiгти перетину потокiв брудної i чистої бiлизни для недопущення поширення мiкроорганiзмiв, в тому числi хвороботворних.

Вiдмiнною рисою таких пральних машин є спосiб їх установки i використання. Обладнання монтується в глуху стiну мiж двома примiщеннями. Таким чином, завантаження брудної бiлизни в машину вiдбувається з примiщення для брудної бiлизни, а вивантаження випрану бiлизни – в примiщеннi для чистої бiлизни.

Бар'єрнi пральнi машини в основному застосовуються в галузях, де необхідно строго дотримуватися гiгiєни (пральнi лікарень, атомних електростанцiй, фармацевтичних пiдприємств, пiдприємств харчової промисловостi). В Україні ця технiка користуються популярнiстю в медичних установах i на фармацевтичних заводах.



Рисунок 1.2 – Бар’єрні пральні машини MEDICAL

Основні переваги бар’єрних пральних машин – компактність, ергономічність, низький рівень шуму і вібрації, можуть бути встановлені на будь-який рівну підлогу.

Високий віджим 920...1000 об/хв на всіх моделях. Це дає можливість відразу після прання прасувати білизну на сушильно-прасувальному каландрі.

Пральні машини мають міцний корпус, внутрішній і зовнішній барабани, виготовлені з нержавіючої сталі. Внутрішній барабан має стільникову структуру, що гарантує дбайливе прання, продовжує термін служби білизни.

Бар’єрні машини поставляються з електричним, паровим або комбінованим (електрика плюс пар) нагріванням [7].

Всі ці фактори оптимізують операційні витрати і якість прання різних потоків білизни.

В якості об’єкта керування кваліфікаційній роботі обрана бар’єрна пральна машини MEDICAL AS100, яка має наступні основні параметри:

- завантаження білизни, кг: 100;
- об’єм, л: 900;
- двигун, кВт: 15;
- нагрів, кВт (електрична модель): 60.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики бар'єрних пральних машин
MEDICAL

БАРАБАН	MEDII16	MEDII22	DBW27	DBW35	DBW50	DBW70	AS100
Завантаження 1:9 (кг)	17	24	30	39	54	78	100
Завантаження 1:10 (кг)	16	22	27	35	49	70	90
Об'єм (літрів)	158	220	266	347	489	694	900
Діаметр (мм)	633	633	800	800	800	800	1050
Глибина (мм)	500	700	530	690	974	1380	1032
Кількість секцій	1	1	1	1	1	2	2
ГАБАРИТИ							
Ширина (мм)	980	1180	1201	1359	1654	2061	1677
Глибина (мм)	910	910	1098	1098	1098	1098	1344
Висота (мм)	1400	1400	1580	1580	1580	1580	1960
Вага Нетто (кг)	429	450	886	926	1063	1190	1900
ЗАВАНТАЖУВАЛЬНИЙ ЛЮК							
Відстань від полу (мм)	670	670	800	800	800	800	960
Діаметр (мм)	455×415	455×415	480×515	640×515	640×515	640×515 (×2)	900×500
ПОТУЖНІСТЬ							
Двигун (кВт)	2,2	2,2	4	4	5,5	7,5	15
Нагрів (кВт) (електрична модель)	12	18	18	27	36	45	60
Максимальну споживання (кВт) (електрична модель)	14,2	20,2	22	31	41,5	52,5	75
Максимальне споживання (кВт) (парова модель)	2,2	2,2	4	4	5,5	7,5	15
КОМУНІКАЦІЇ ТА ПІДКЛЮЧЕННЯ							
Вода	¾"	¾"	1"	1"	1"	1"	1"
Пар	¾"	¾"	¾"	¾"	¾"	¾"	¾"
Злив (мм)	75	75	75	75	75	75	2×80
ХАРАКТЕРИСТИКИ							
Швидкість прання (об/хв)	45	45	45	45	45	45	45
Швидкість віджиму (об/хв)	1000	1000	920	920	920	920	750
Фактор G	360	360	375	375	375	375	325
Подвійний злив	опція	опція	опція	опція	опція	опція	+
Система зважування	опція	опція	опція	опція	опція	опція	опція

На рис. 1.3 представлена спрощена структурна схема системи керування пральною машиною.

Вхідні параметри:

- X1 – температура води;
- X2 – швидкість оборотів двигуна;
- X3 – рівень води в баку;

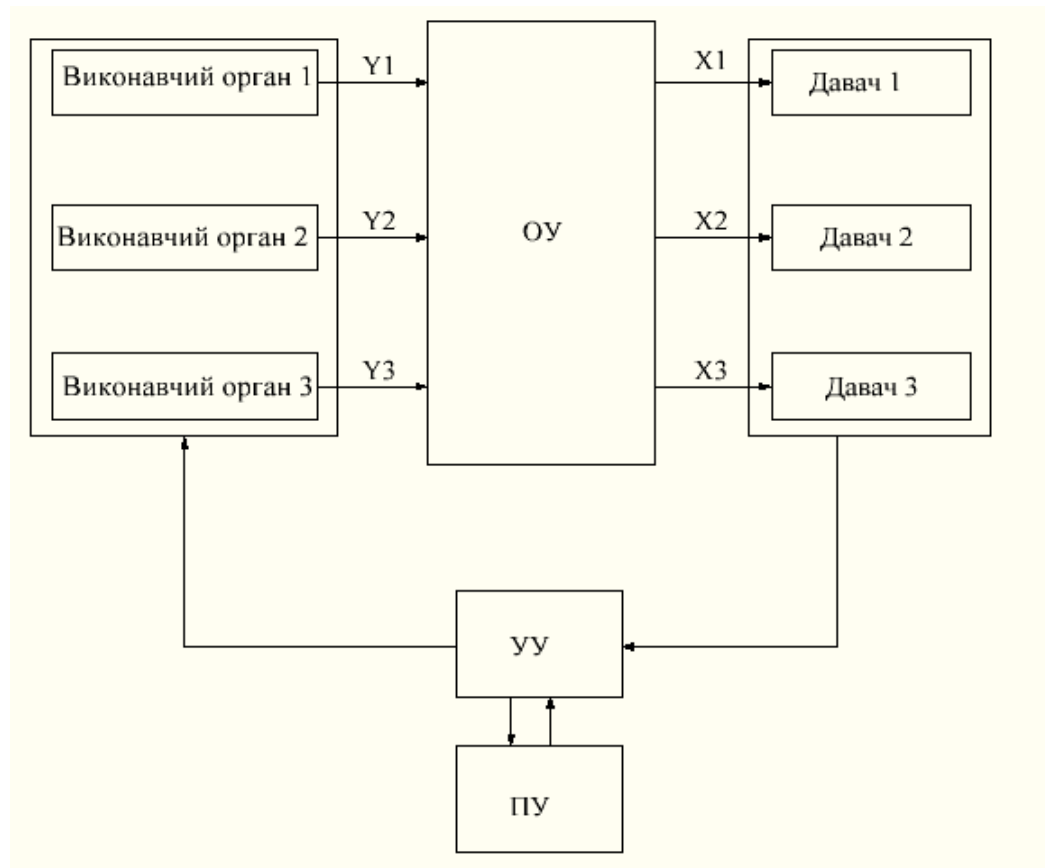


Рисунок 1.3 – Структурна схема системи керування пральною машиною

Вихідні параметри:

- Y_1 – регулювання рівня води;
- Y_2 – регулювання обертів двигуна;
- Y_3 – регулювання температури води.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування

Після початку прання в бак подається вода, яка спочатку проходить через кювет з миючим засобом і змиває його в бак. Незабаром після початку роботи миючий засіб повністю розчиняється, в результаті утворюється миючий розчин. За допомогою датчиків підбирається такий рівень розчину в баку, щоб частина барабана була в нього занурена. Оскільки сухі речі здатні вбирати великий об'єм рідини, при необхідності машина сама здійснює долив води в бак.

Внутрішня поверхня барабана має кілька поздовжніх ребер, розташованих симетрично щодо осі барабана. Профіль ребер зазвичай має

вигляд трикутника. При обертанні барабана речі до деякого моменту утримуються від падіння найближчим ребром, а потім перевалюються через нього і падають в область за ребром; далі цей процес повторюється, поки барабан не зупиниться. При цьому вода, зачерпнута при обертанні, виливається на білизну, забезпечуючи його краще змочування. Завдяки тому, що барабан знизу занурений в миючий розчин, при цьому процесі одночасно забезпечується механічний вплив і омивання речей миючим розчином.

Барабан обертається по черзі в різні боки для того, щоб забезпечити перемішування речей і більш рівномірний вплив на них. Спочатку барабан обертається в одному напрямку, потім робиться пауза, і барабан обертається в протилежному напрямку.

Машина може забезпечувати різні механічні режими прання.

Інтенсивність прання визначається наступними факторами:

- рівень води (миючого розчину) в баку - чим менше води набирається в бак, тим менше вода пом'якшує падіння речей, і тим більше механічний вплив;
- швидкість обертання барабана - чим вище кутлова швидкість, тим більше механічний вплив, звичайна швидкість прання бавовняних і синтетичних тканин становить 55 об/хв, вовни – 45 об/хв.
- співвідношення часу обертання і часу пауз - чим менше це співвідношення, тим більше механічний вплив.

Машина може забезпечувати різні температурні режими прання завдяки наявності датчиків температури води і включенню електронагрівача на необхідний час.

Злив миючого розчину забезпечується відкачуванням за допомогою насоса. Насос відкачує розчин у зливний трубопровід. Багато моделей машин при цьому обертають барабан, щоб забезпечити злив води, яка могла затриматися в складках речей.

Віджим забезпечується обертанням барабана з високою швидкістю (зазвичай 600 об/хв і вище) з одночасним відкачуванням розчину. При цьому

речі досить сильно притискаються відцентровою силою до бічної поверхні і утримуються на місці до моменту істотного зниження швидкості обертання барабана. Більшість машин забезпечена пристроєм контролю дисбалансу, що відключає або зменшують швидкість віджиму при нерівномірному розкладанні білизни.

Полоскання виконується так само, як і прання, але при цьому підігрів не проводиться, а обсяг води, що подається в бак, відповідає мало-інтенсивному механічному впливу.

Сушіння відбувається за рахунок обдування речей нагрітим повітрям одночасно з обертанням барабана для більш рівномірного охолодження. Вологе повітря потім направляється або у вентиляцію (такі машини поширені в основному в США), або на поверхню спеціальної внутрішньої ємності з водою, де відбувається конденсація води. Багато машини не мають можливості сушіння. Деякі пральні машини володіють функцією «легке прасування», які фактично виконують функцію праски, але не повністю, а лише частково (позбавляють від складок і спрощують процес подальшого прасування). Головним недоліком пральних машин з функцією «легке прасування» є велике споживання електроенергії.

1.4 Формулювання завдань дослідження

Процес нагрівання води в пральній машині є найбільш енерговитратним, якщо аналізувати споживання електроенергії в будинку. І якщо здійснювати одну з головних функцій системи енергетичного менеджменту, що стосується розподілу електроенергії між споживачами, то побутові прилади, де мають місце ці енерговитратні фізичні процеси, мають бути адаптовані під сумісну роботу з системою енергетичного менеджменту, що є одною з систем розумного будинку.

Саме це завдання вирішується в кваліфікаційній роботі – відбувається модифікація системи автоматичного керування нагріванням води у пральній машині через надання їй властивостей кіберфізичної системи з метою

інтелектуалізації пральної машини та її адаптації для сумісної роботи з системою енергетичного менеджменту в будинку. Для цього потрібно виконати наступні завдання дослідження:

- створити як інструмент дослідження імітаційну модель системи автоматичного керування;

- здійснити аналіз доцільності використання класичних ПД-регуляторів сумісно з інтелектуальними системами енергетичного менеджменту верхнього рівня;

- розробити новий підхід щодо синтезу системи автоматичного керування температурою води у барабані пральної машини з наданням їй властивості кіберфізичної системи, що дозволить інтелектуалізувати пральну машину та адаптувати її для сумісного використання з системою енергетичного менеджменту розумного будинку;

- дослідити ефективність запропонованого алгоритму керування на основі розробленої імітаційної моделі кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у пральній машині.

1.5 Висновки до розділу

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – бар'єрна пральна машина. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування машиною, завданням керування якої є забезпечення заданого рівня температури води у барабані. Предметом дослідження є закономірності процесу керування температурою води в пральній машині.

Процес нагрівання води в барабані є дуже енерговитратним, а пральна машина через це є одним з найбільших споживачів електроенергії. І якщо здійснювати одну з головних функцій системи енергетичного менеджменту, що передбачає розподіл електроенергії між споживачами, то пральна машина має бути адаптована під сумісну роботу з системою енергетичного менеджменту, що є одною з систем розумного будинку.

Отже, необхідно обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування за умови присутності динамічна змінюваного обмеження за керуючим впливом. Після цього потрібно дослідити залежність критеріїв якості керування від параметрів запропонованого алгоритму керування, та визначити такі параметри алгоритму, які забезпечують оптимальні критерії якості автоматичного керування температурою води в барабані пральної машини в умовах обмеженого енергоресурсу.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Імітаційна модель технологічного об'єкта автоматизації

Синтез та дослідження системи автоматичного керування температурою води у пральній машині відбуваються на основі динамічної моделі процесу нагрівання води, яка отримана за допомогою процедур структурної та параметричної ідентифікації за експериментальними даними. Ці процедури детально описані в кваліфікаційній роботі бакалавра. Результат параметричних ідентифікацій при різних структурах динамічної моделі показаний на рис. 2.1.

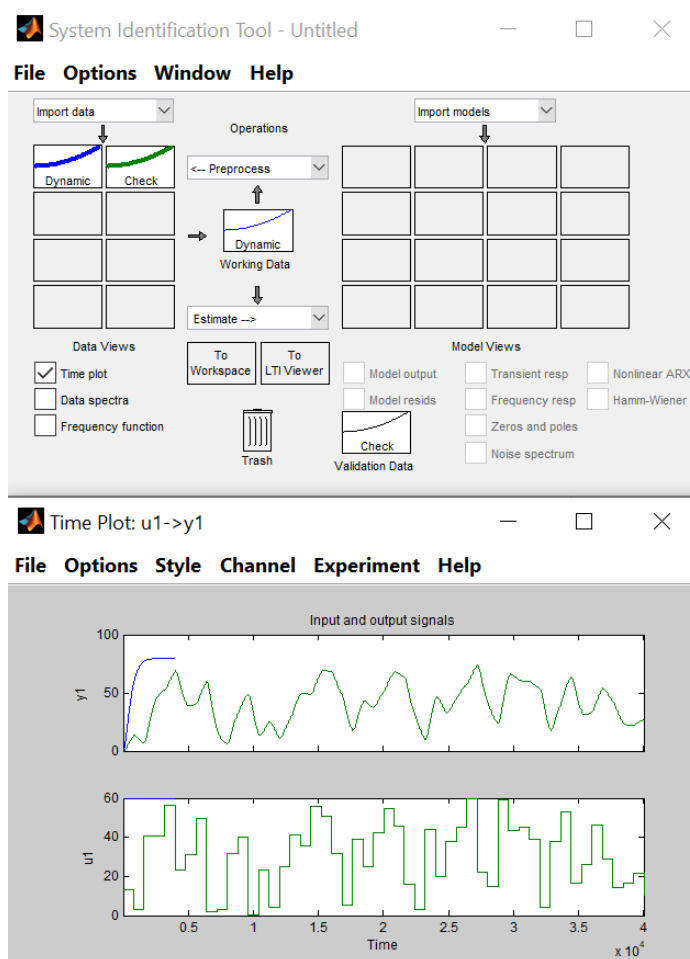


Рисунок 2.1 – Налаштування System Identification Toolbox

За підсумками обробки експериментальних даних отримана модель процесу нагрівання води в пральній машині як об'єкта керування (рис. 2.2).

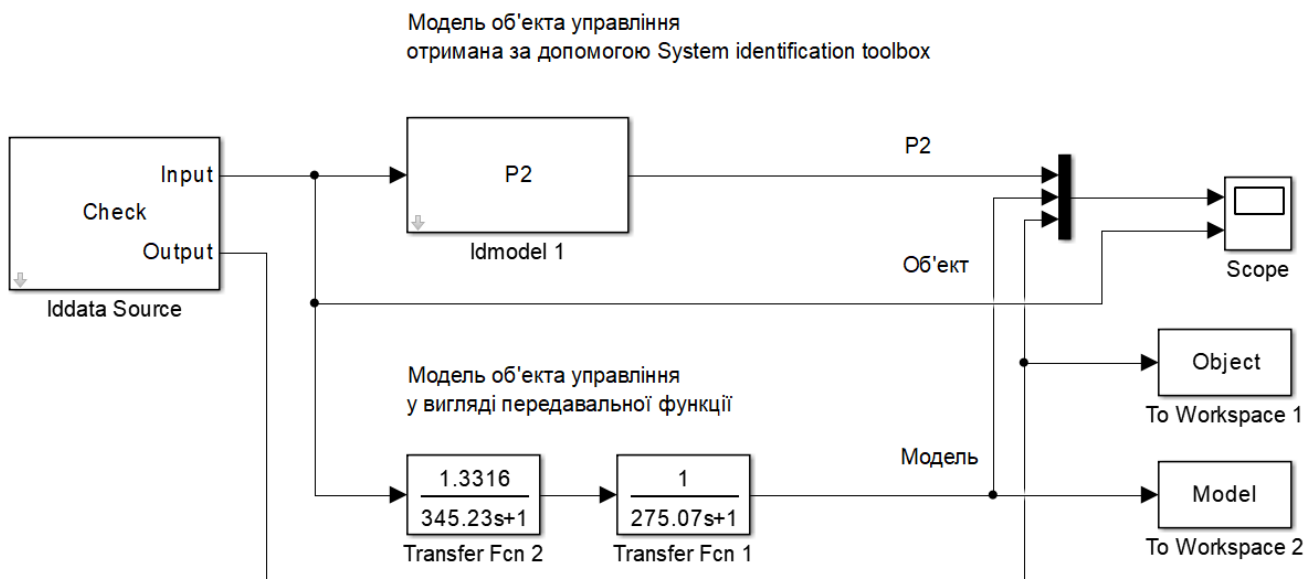


Рисунок 2.2 – Модель об'єкта керування в середовищі Simulink

З рис.2.2 можна побачити, що об'єкт керування має лінійну статичну характеристику, але яка обмежується діапазонами зміни вхідної та вихідної величин, відповідно, від 0 до 60 кВт та від 20 до 100 °С (температура води на вході в пральну машину береться рівною 20 °С).

Динаміка температури при нагріванні води описується двома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками з постійними часу 345,23 та 275,07 с. Транспортного запізнення немає.

Таким чином, за результатами обробки експериментальних даних маємо досить простий за своїми статичними й динамічними властивостями об'єкт автоматичного керування другого порядку з від'ємними дійсними коренями характеристичного рівняння з лінійною статичною характеристикою та без транспортного запізнення.

Основні часові й частотні характеристики об'єкта автоматичного керування наведені на рис. 2.3.

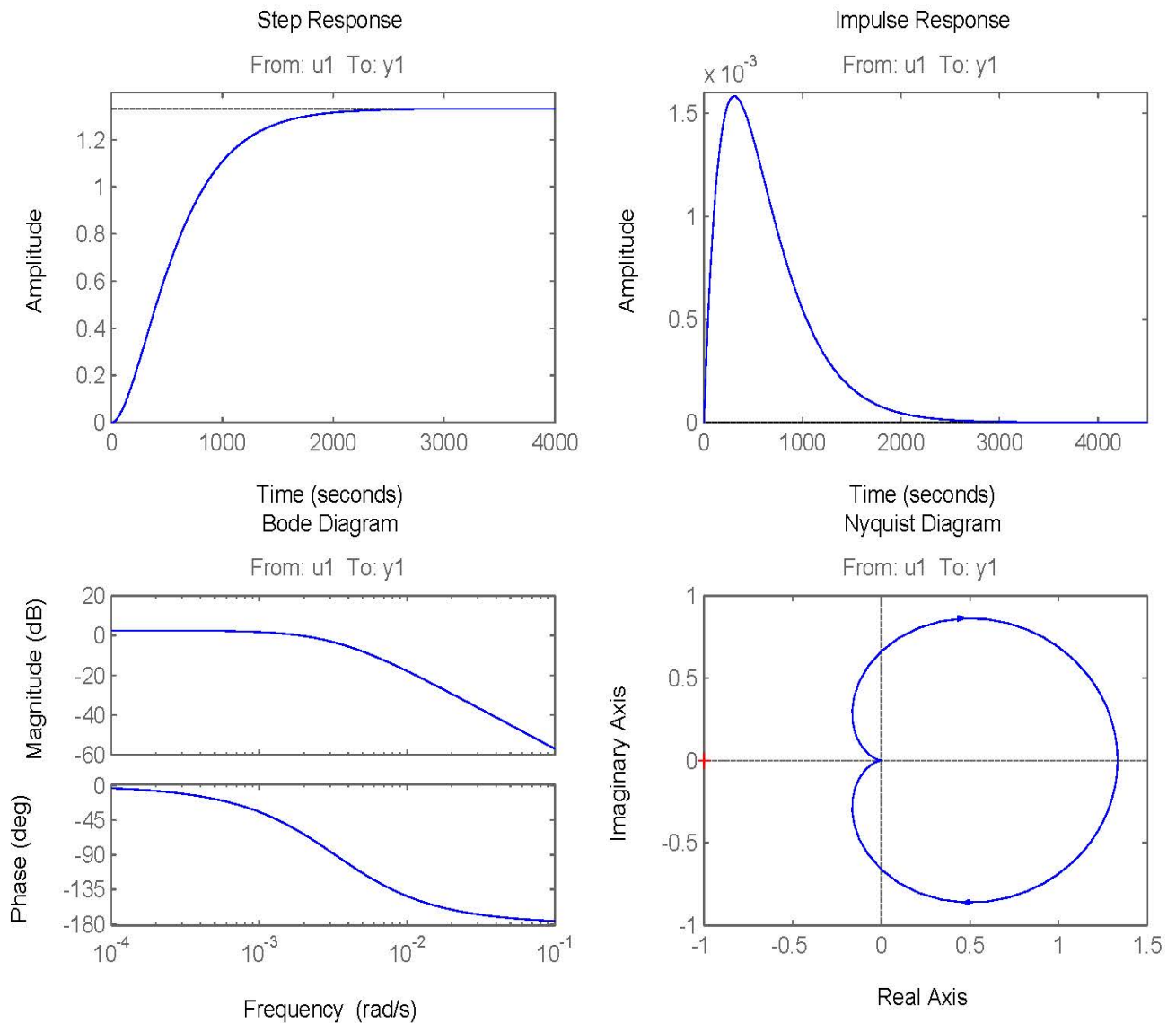


Рисунок 2.3 – Характеристики об'єкта керування

Отже, за аналізом властивостей об'єкта автоматичного керування можна зробити висновок, що за умови синтезу системи автоматичного керування при реалізації функції нагрівання води з заданими критеріями якості перехідного процесу підійде класичний ПД-регулятор, але в якому відпрацьоване обмеження щодо вихідного керуючого сигналу з забезпеченням функції захисту від перенасичення інтегральної складової регулятора.

2.2 Аналіз ефективності класичних методів синтезу системи автоматичного керування

Модель системи автоматичного керування створимо з розрахунку прийняття за основу при синтезі системи керування тип керування за зворотним від'ємним зв'язком. У такому разі структурна схема системи автоматичного керування температурою води у пральній машині буде виглядати так, як на рис. 2.4.

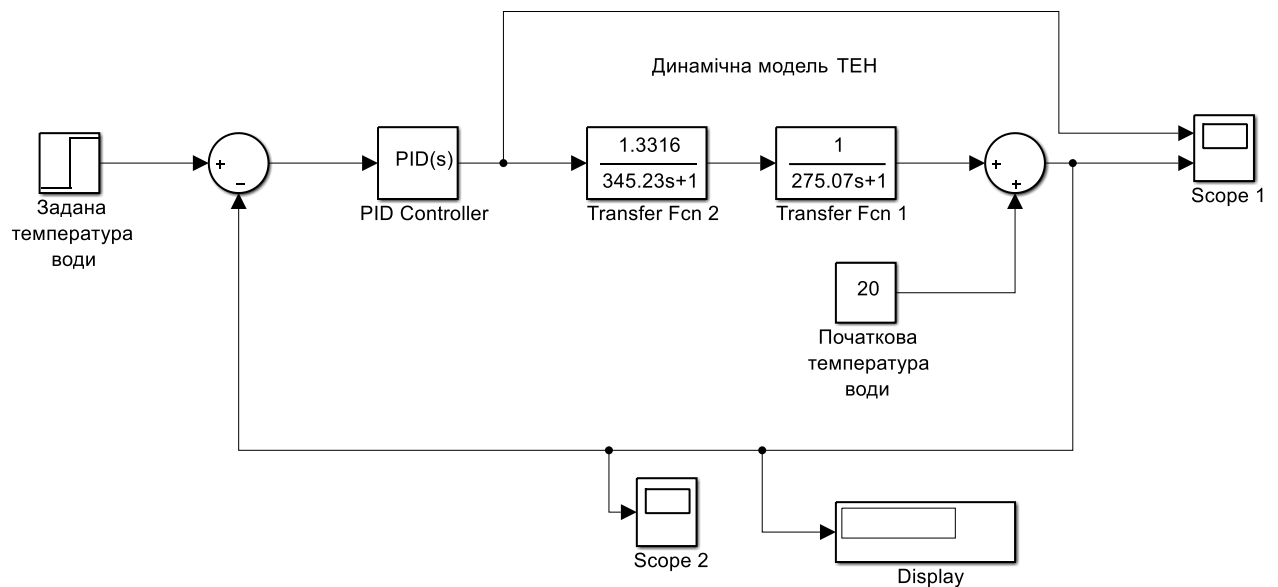


Рисунок 2.4 – Структурна схема динамічної моделі системи автоматичного керування температурою води у пральній машині

Модель об'єкта керування реалізована за допомогою блоків Fcn1 та Fcn2. Блок формування уставки має відповідну назву, а ПІД-регулятор реалізується за допомогою блоку PID Controller бібліотеки Continuous застосунку Simulink програми MATLAB. Цей блок дозволяє просто й якісно реалізувати ПІД-регулятор, при цьому в ньому закладена можливість врахування обмеження вихідного сигналу у певному діапазоні з захистом від перенасичення інтегральної складової.

Також зазначимо, що в імітаційній моделі системи автоматичного керування на рис. 2.4 не врахована інерційність датчика температури води у

пральній машині (він прийнятий підсилювальної ланкою з коефіцієнтом підсилення, рівним одиниці).

Налаштування ПІД-регулятора проведемо через вікно налаштувань блоку PID Controller (рис. 2.5).

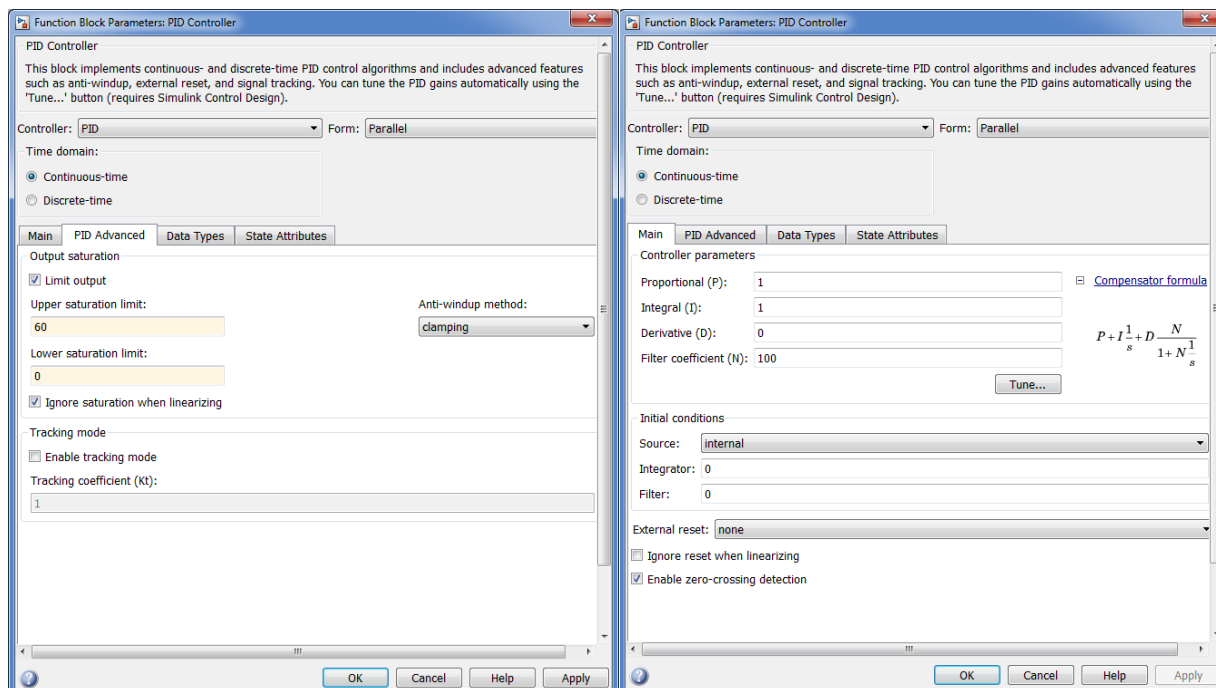


Рисунок 2.5 – Вікно налаштувань блоку у застосунку Simulink програми MATLAB, що реалізує ПІД-регулятор

Обмеження щодо вихідного керуючого сигналу від 0 до 60 кВт введено у поле Output Saturation (рис. 2.5 зліва). Також у цьому вікні обраний метод запобігання насиченню інтегруючої складової регулятора “clamping” (поле Anti-windup method).

У правому підвікні на рис. 2.5 обраний тип ПІД-регулятора (паралельне розташування його складових один відносно одного та неперервна зміна у часі сигналів, початкові умов – нульові).

Для подальшого налаштування ПІД-регулятора використаний вбудований в блок PID Controller інструмент для автоматизації процесу розрахунку параметрів регулятора PID Tuner (вікно цього інструменту показане на рис. 2.6).

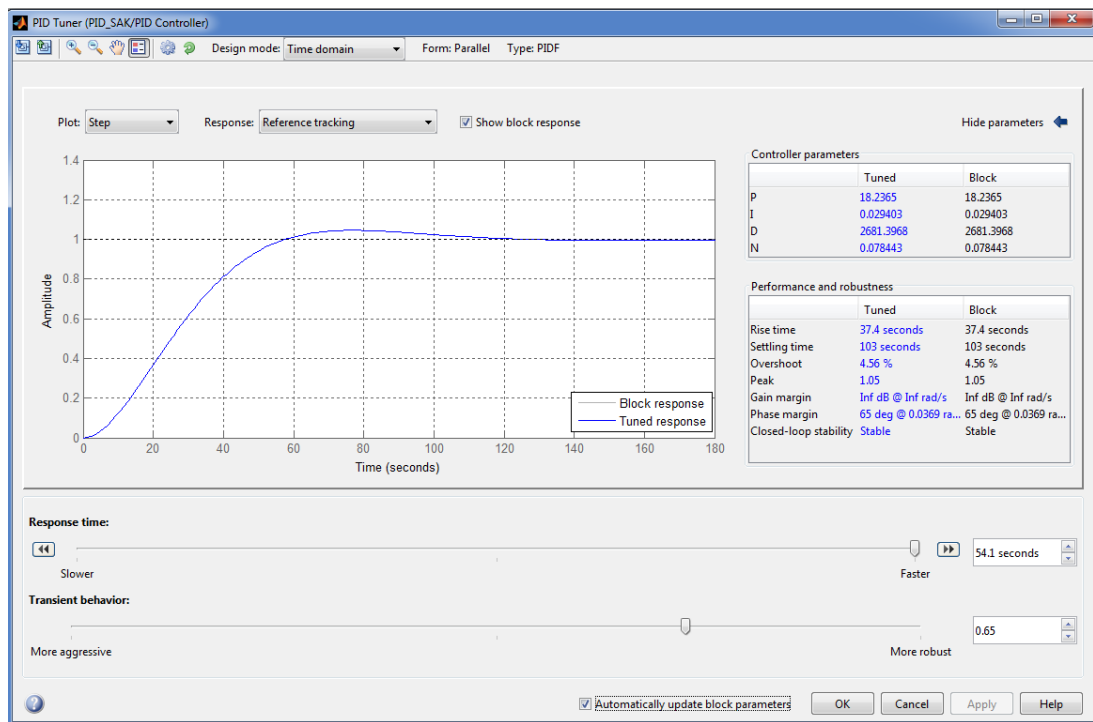


Рисунок 2.6 – Вікно налаштувань інструменту, що реалізує комп'ютеризований метод синтезу системи автоматичного керування у застосунку Simulink

За замовчанням інструмент PID Tuner визначає такі параметри регулятора, що забезпечують оптимальне співвідношення критеріїв швидкодії та стійкості системи автоматичного керування. Потім за допомогою повзунків Response Time та Transient Behavior можна параметри регулятора підкоригувати, спостерігаючи за основними критеріями якості роботи системи керування у полі Performance and robustness на рис. 2.6.

У нашому випадку в системі керування немає факторів, що негативно впливають на її стійкість. Параметри передаточної функції об'єкта керування залишаються практично незмінними (вважається, що об'єм води та напруга мережі живлення змінюються несуттєво). Транспортного запізнення також немає, крім того, сама модель об'єкта керування є структурно простою. Тож, при додатковому налаштуванні регулятора акцент зробимо на максимальній швидкодії системи керування (на рис. 2.6 відповідний повзунок встановлений у крайнє положення Faster). Положення повзунка Transient Behavior підберемо таким чином, щоб максимально збільшити інерційність диференційної

складової ПІД-регулятора (параметр N у вікні Controller Parameters має бути якомога менше).

З рис. 2.6 видно, що при обраних параметрах регулятора маємо перерегулювання 4,56% (поле Performance and robustness), але в абсолютних одиницях це складає менше 2 °С, що для даного технологічного процесу є цілком припустимим.

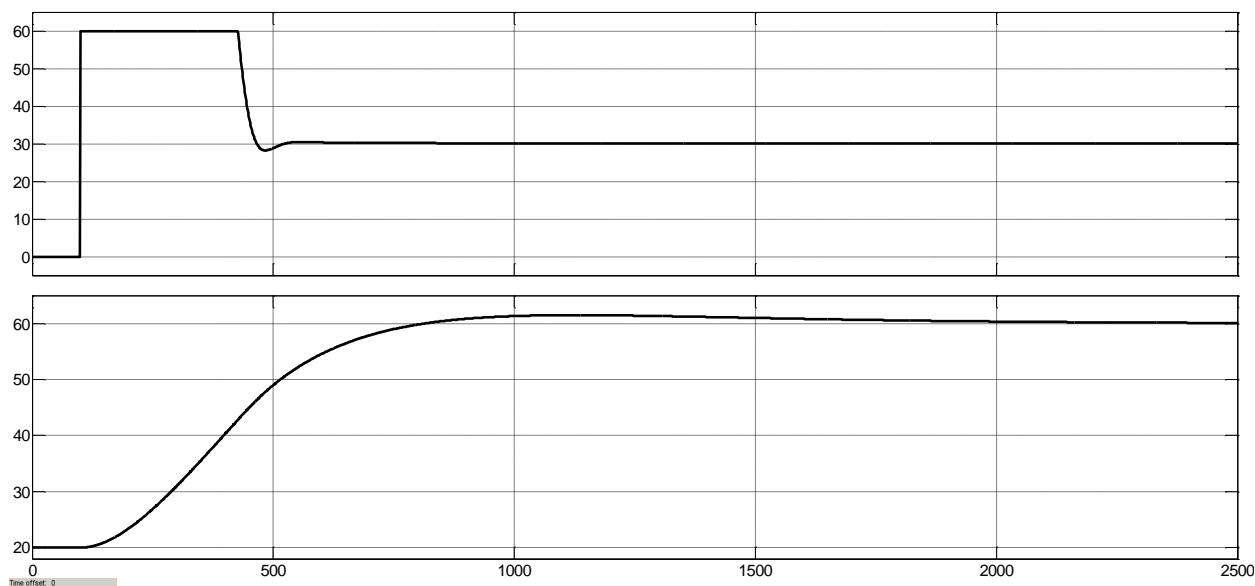


Рисунок 2.7 – Зміна у часі потужності ТЕН та температури води у пральній машині за умови використання ПІД-регулятора без обмеження потужності

Аналіз роботи імітаційної моделі системи автоматичного керування температурою води у пральній машині на рис. 2.7 показує, що регулятор налаштований коректно.

Те, що керуючий сигнал (рис. 2.7, а) за формою має досить тривалу ділянку з максимальним значенням (до приблизно 400 с моделювання) та подальшим різким зменшенням до рівня, який забезпечує задану температуру 60 °С, означає, що система має швидкодію, яка наближена до максимальної. Задана температура досягається при цьому за приблизно 700 с з перерегулюванням до 2 °С (рис. 2.7, б).

У цій кваліфікаційній роботі ставиться за мету синтез не простої системи автоматичного керування, а тієї, яка має ознаки кіберфізичної системи (див.

розділ 1). Оскільки кіберфізична система автоматичного керування температурою води у пральній машині має додаткову функцію забезпечення коректного нагрівання води в умовах обмеженого енергоресурсу, розрахований вище регулятор потрібно перевірити, як він буде працювати саме в цих умовах, коли потужність ТЕН може в будь який момент зменшитись. Обмеження щодо потужності, що споживає ТЕН пральної машини, за своїм характером є випадковою величиною, яка дискретно змінюється у часі з періодом, який також є випадковим. Це зумовлено тим, що інтелектуальна система енергетичного менеджменту в будинку верхнього рівня формує тактику розподілу потужності, що зберігається незмінною певний час, доки суттєво не зміняться умов енергоспоживання в будинку. З урахуванням цього, доопрацьована модель системи керування (рис. 2.8).

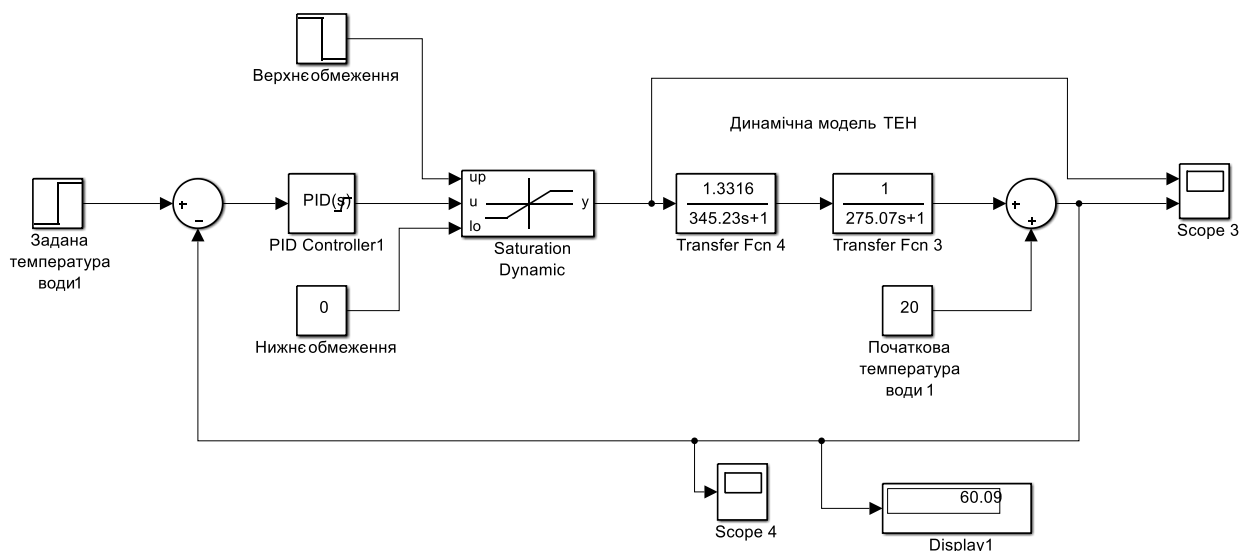


Рисунок 2.8 – Структурна схема системи автоматичного керування з ПІД-регулятором та введенням обмеження за потужністю (керуючим впливом)

В модель на рис. 2.8 введений блок, який динамічно змінює обмеження щодо керуючого сигналу на виході ПІД-регулятора, імітуючи таким чином зміну виділеної потужності для пральної машини системою енергетичного менеджменту. Так, на 300 с моделювання обмеження щодо потужності ТЕН зменшено з 60 до 40 кВт (рис. 2.9, а).

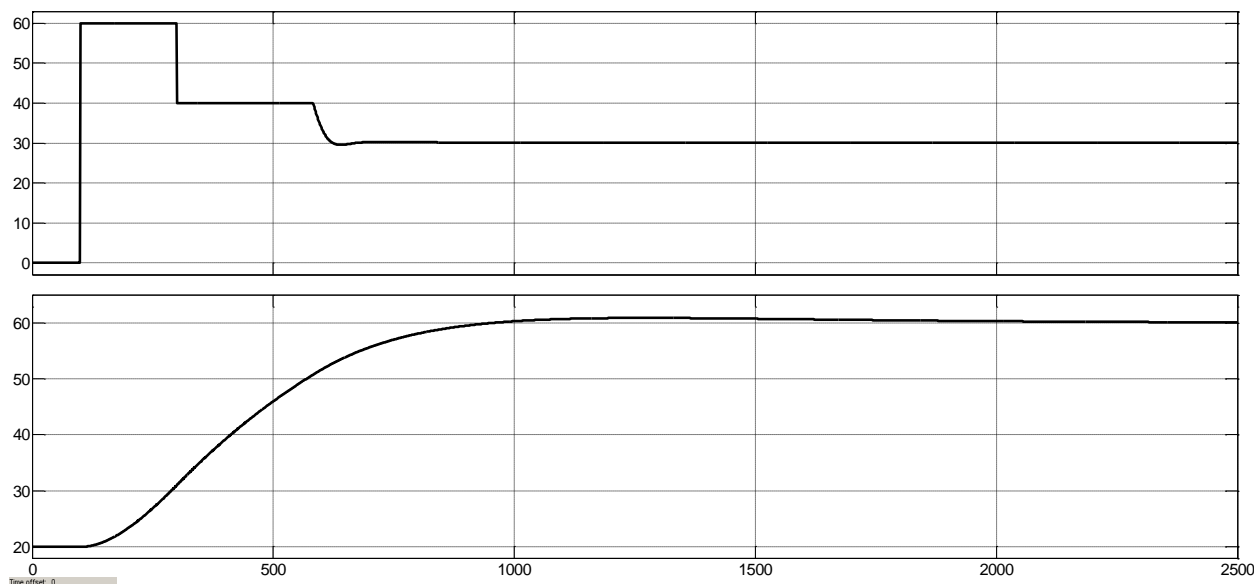


Рисунок 2.9 – Зміна у часі потужності ТЕН та температури води у пральній машині за умови використання ПІД-регулятора з обмеженням потужності

З аналізу рис. 2.9 можна зробити висновок, що ПІД-регулятор навіть за умови змінного обмеження щодо керуючого сигналу через зміну системою енергетичного менеджменту тактики розподілу потужності коректно відпрацьовує зміну уставки води. З рис. 2.9, б ми можемо помітити, що температура води збільшується монотонно, без коливань. Перерегулювання залишилося до 5 %, статична похибка відсутня. Таким чином, ПІД-регулятор міг би ефективно виконувати автоматичне керування температурою в умовах динамічна зміненого обмеження щодо потужності ТЕН, працюючи сумісно з інтелектуальною системою енергетичного менеджменту верхнього рівня.

Але, в роботі ПІД-регулятора можна виділити наступні недоліки, через які його робота сумісно з системою енергетичного менеджменту значно ускладнюється:

- наявність часових інтервалів, де керуючий сигнал змінюється неперервно (в районі 400 с моделювання на рис. 2.9, а), що ускладнює використання цього споживача електроенергії сумісно з іншими споживачами з точки зору вироблення певної тактики розподілу потужності, оскільки багато споживачів є за характером споживання електроенергії дискретними об'єктами;

- немає можливості спрогнозувати час, протягом якого буде мати місце незмінний рівень споживаної потужності, оскільки сам алгоритм формування керуючого впливу в ПІД-регуляторі це не передбачає.

2.3 Висновки за розділом

За результатами обробки експериментальних даних маємо досить простий за своїми статичними й динамічними властивостями об'єкт автоматичного керування другого порядку з від'ємними дійсними коренями характеристичного рівняння з лінійною статичною характеристикою та без транспортного запізнення.

Дослідження показали, що класичний ПІД-регулятор з обмеженням діапазону зміни значень вихідного сигналу та захистом від перенасичення його інтегральної складової, налаштований з використанням комп'ютеризованого методу синтезу системи керування, може коректно відпрацьовувати зміну уставки води за умови змінного обмеження щодо керуючого сигналу через зміну системою енергетичного менеджменту тактики розподілу потужності.

Але, в роботі ПІД-регулятора можна виділити наступні недоліки, через які його робота сумісно з системою енергетичного менеджменту значно ускладнюється:

- наявність часових інтервалів, де керуючий сигнал змінюється неперервно (в районі 400 с моделювання на рис. 2.9, а), що ускладнює використання цього споживача електроенергії сумісно з іншими споживачами з точки зору вироблення певної тактики розподілу потужності, оскільки багато споживачів є за характером споживання електроенергії дискретними об'єктами;

- немає можливості спрогнозувати час, протягом якого буде мати місце незмінний рівень споживаної потужності, оскільки сам алгоритм формування керуючого впливу в ПІД-регуляторі це не передбачає.

Тож, потрібний інший інноваційний підхід щодо синтезу системи автоматичного керування температурою води у пральній машині, в якому будуть усунуті перелічені недоліки.

3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Синтез кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у пральній машині

В основу синтезу кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у пральній машині покладено наступний інноваційний підхід:

- основну частину процесу нагрівання води у пральній машині пропонується здійснювати тоді, коли кіберфізична система керування визначила цифрову проекцію даного фізичного процесу з точки зору нагрівання води, на основі якої отримується інформація про кількість електроенергії, що необхідна на нагрівання води. Цю інформацію кіберфізична система керування температурою води передає інтелектуальній системі енергетичного менеджменту для зміни тактики перерозподілу потужності на найближчий час, після чого вона отримує від системи верхнього рівня обмеження за потужністю (виділену кількість електроенергії). Далі формування керуючого впливу під час процесу нагрівання води відбувається з врахуванням цього обмеження.

- для визначення цифрової проекції фізичного процесу нагрівання води спочатку температура води збільшується на незначну величину з одночасним споживанням незначної кількості електроенергії. При цьому формується експериментальна крива розгону, за результатом обробки якої отримується передаточна функція за каналом керування, де вхідна величина – потужність ТЕН, а вихідна – температура.

- для того, щоб нагрівання води після ідентифікації об'єкта керування відбувалося за заданими критеріями якості (монотонний перехідний процес з перерегулюванням не більше 5 % та статичною похибкою не більше 1%, який має мінімальну тривалість з оглядом на обмеження керуючого сигналу), а потужність змінювалася у часі дискретно для забезпечення сумісності роботи з іншими споживачами електроенергії (серед яких багато саме дискретних з

точки зору споживання електроенергії), на основному етапі нагрівання води пропонується використовувати оптимальний за швидкістю регулятор, при розрахунку якого діапазон зміни керуючого сигналу вказується з урахуванням встановленого обмеження за потужністю ТЕН.

З оглядом на описані основні положення підходу щодо синтезу кіберфізичної системи керування температурою води у пральній машині, розроблений алгоритм керування на базі графу переходів (рис.3.1).

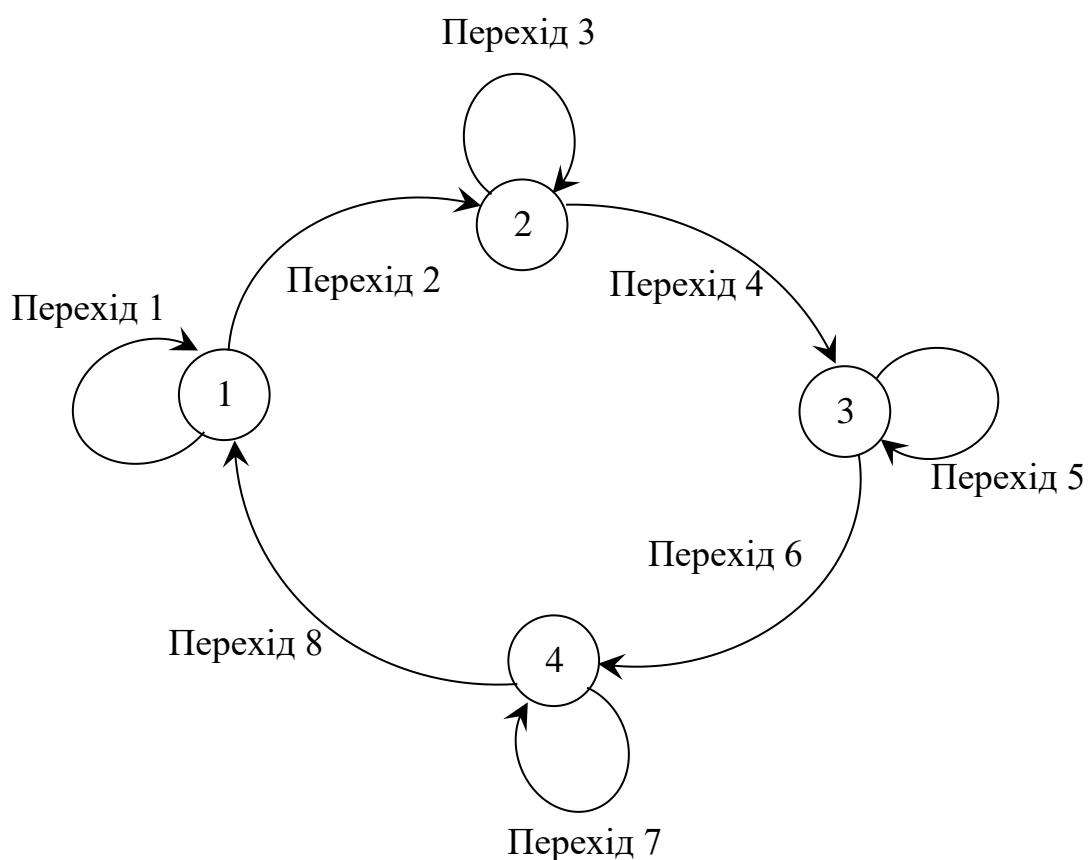


Рисунок 3.1 – Схема алгоритму автоматичного керування температурою води у пральній машині для кіберфізичної системи

Граф стану на рис. 3.1 має чотири вершини, які відповідають стану системи керування:

1 – стан підтримки заданої температури;

2 – стан збирання даних для визначення цифрової проєкції фізичного процесу нагрівання води;

3 – стан відпрацювання першого інтервалу перемикання оптимального за швидкодією регулятора;

4 – стан відпрацювання другого інтервалу перемикання оптимального за швидкодією регулятора.

Умова переходу 1 – відсутність зміни уставки температури, дія – формування керуючого впливу для підтримки заданого рівня температури.

Умова переходу 2 – завдання нової уставки температури, дія – підготовка масивів для накопичення експериментальних даних.

Умова переходу 3 – невиконання умови достатньої довжини експериментальної кривої розгону для ідентифікації об'єкта керування. Дія – додавання до масивів значень потужності ТЕН й температури води нового значення.

Умова переходу 4 – достатність експериментальних даних для ідентифікації об'єкта керування. Пропонується це визначати за критерієм, який характеризує віддаленість від точки перегину на кривій розгону. За цей критерій прийняте відношення поточного та максимального значень диференціалів температури за часом. Дія переходу 4 – проведення процедури ідентифікації, розрахунок прогнозованої кількості електроенергії, що необхідна для завершення відпрацювання системою керування нової уставки за температурою води. Передавання цієї інформації інтелектуальній системі верхнього рівня для формування нової тактики розподілу потужності. Розрахунок оптимального за швидкодією регулятора на основі отриманого від системи верхнього рівня обмеження щодо потужності ТЕН. Підготовка таймера для відпрацювання першого інтервалу перемикання оптимального за швидкодією регулятора.

Умова переходу 5 – відсутність завершення першого інтервалу перемикання оптимального за швидкодією регулятора. Дія – формування максимального керуючого впливу з урахуванням обмеження потужності ТЕН.

Умова переходу 6 – закінчення першого інтервалу перемикання оптимального за швидкодією регулятора, дія – підготовка таймеру для відпрацювання другого інтервалу перемикання.

Умова переходу 7 – відсутність завершення другого інтервалу перемикання оптимального за швидкодією регулятора. Дія – формування мінімального керуючого впливу.

Умова переходу 8 – завершення другого інтервалу перемикання оптимального за швидкодією регулятора. Дія – підготовка таймерів для наступного відпрацювання зміни уставки температури.

Описаний алгоритм керування температурою реалізований через s-функцію у застосунку Simulink. Програмний код наведений у Додатку А. Структурна схема системи керування, в якій реалізується запропонований алгоритм керування температурою води у пральній машині, показана на рис. 3.2.

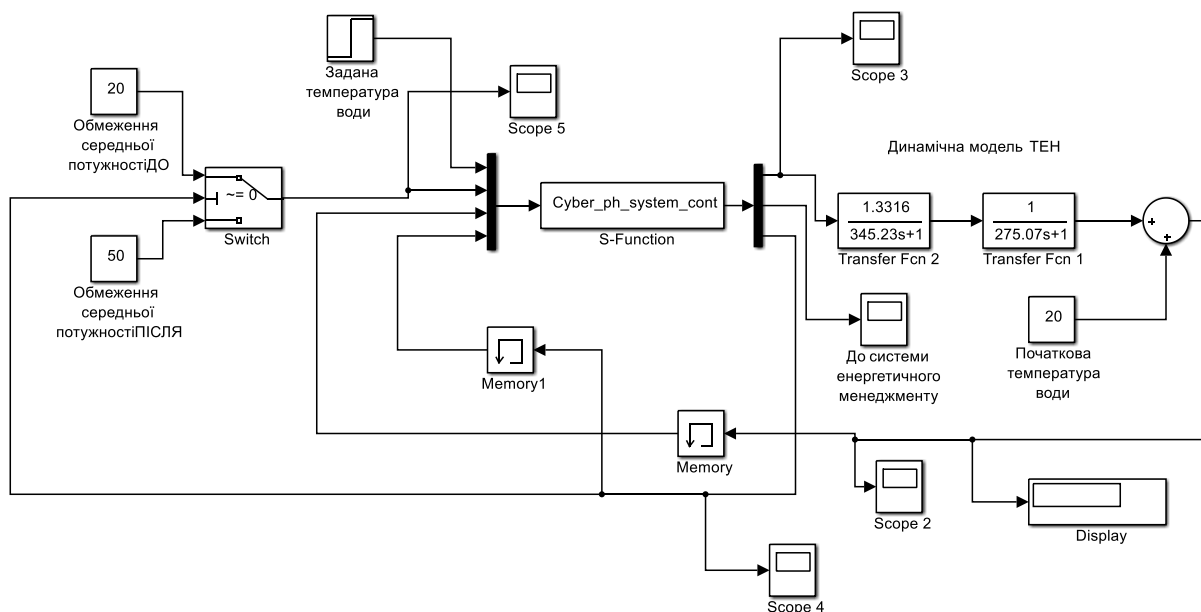


Рисунок 3.2 – Структурна схема кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у пральній машині за умови неперервного споживання електроенергії

На рис. 3.2 запропонований алгоритм керування реалізований через s-функцію “Cyber_ph_system_cont”. За допомогою блоку Switch здійснено

імітацію формування системою верхнього рівня нового обмеження щодо потужності ТЕН після того, як їй передається інформація про прогнозовану кількість електроенергії на збільшення температури води на задану величину.

На рис. 3.3 показаний проміжний результат роботи кіберфізичної системи керування температурою води у пральній машині, а саме – зміна у часі диференціалу температури води. Крок квантування у часі при визначенні диференціалу взятий 10 с (в 10 разів більше за час заміру температури), щоб зменшити вплив високочастотних перешкод.

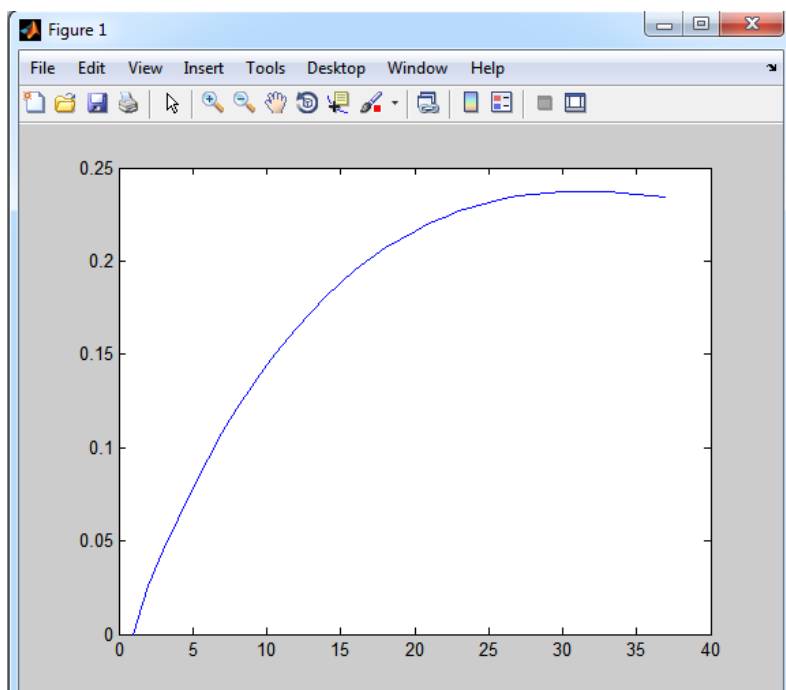


Рисунок 3.3 – Зміна у часі диференціалу температури води за умови неперервного споживання електроенергії

З рис. 3.3 видно, що графік зміни у часі диференціалу температури має чітко виражений максимальний екстремум, який відповідає перегину експериментальної кривої розгону, відносно якого в запропонованому алгоритмі визначається необхідна для точної ідентифікації об'єкта керування довжина кривої розгону.

Нижче на рис. 3.4 показаний результат ідентифікації об'єкта керування при роботі кіберфізичної системи керування температурою води у пральній машині для відношення поточного й максимального диференціалів

температури 0,45. При цьому амплітуда тестового східчастого сигналу прийнята 5 кВт, це біля 10 % від максимального значення керуючого впливу.

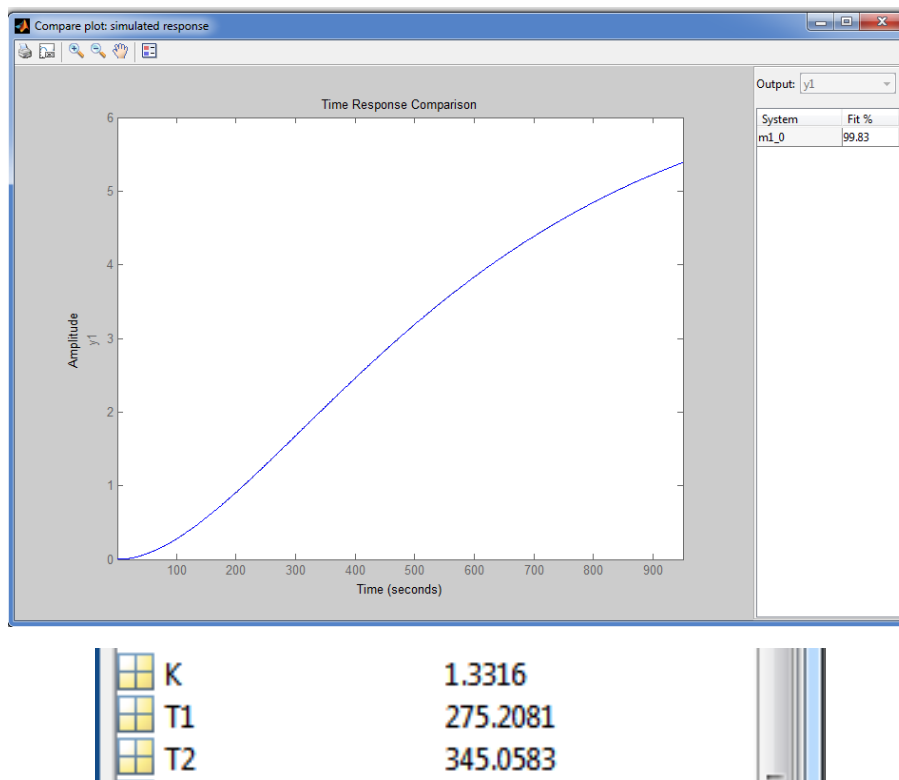


Рисунок 3.4 – Результат ідентифікації процесу нагріву води у пральній машині за умови неперервного споживання електроенергії (відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,45)

Результат моделювання роботи кіберфізичної системи керування за запропонованим алгоритмом показаний на рис. 3.5.

З рис. 3.5 можна простежити стани системи, що показані на рис. 3.1 та описані вище.

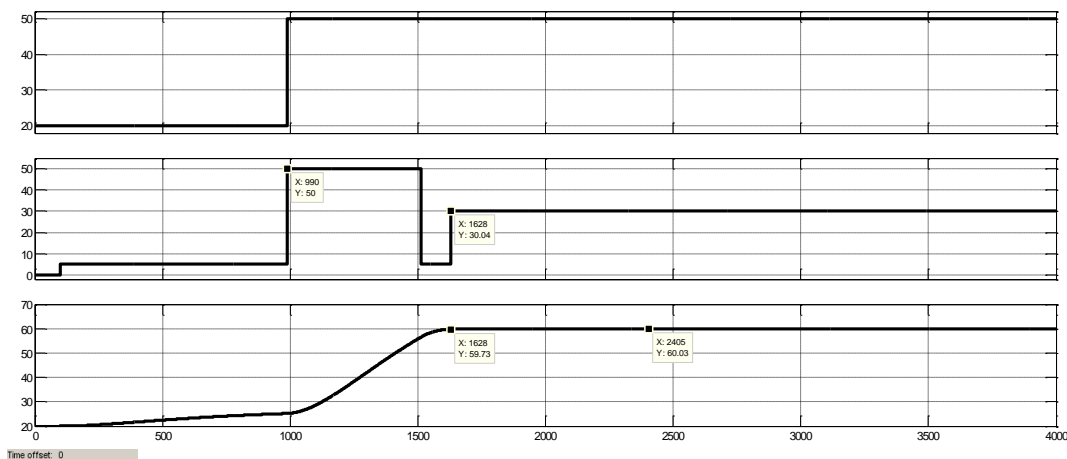


Рисунок 3.5 – Зміна у часі обмеження щодо потужності від системи енергетичного менеджменту, фактичної потужності ТЕН та температури води при роботі кіберфізичної системи керування в режимі неперервного споживання електроенергії

Так, до 990 с моделювання відбувається формування експериментальної кривої розгону (рис. 3.5, б). Робота оптимального за швидкодією регулятора відбувається з 990 до 1 628 с моделювання. На цьому часовому діапазоні ми бачимо як перший інтервал перемикавання з максимальною потужністю 50 кВт (рис.3.5, б), що відповідає обмеженню від системи верхнього рівня (рис. 3.5, а), так і другий інтервал з мінімальною потужністю ТЕН 5 кВт, яка спостерігалася під час формування експериментальної кривої розгону. Рис. 3.5, в підтверджує коректність відпрацювання зміни уставки – ми бачимо, що температура змінюється монотонно без перерегулювання, а статична похибка фактично дорівнює нулю.

На рис. 3.6 показаний результат визначенні прогнозованої кількості електроенергії на нагрівання води у третьому та четвертому станах системи керування. Коректність розрахунку підтверджена обчислювальними експериментами (відносна похибка складала до 1 %).

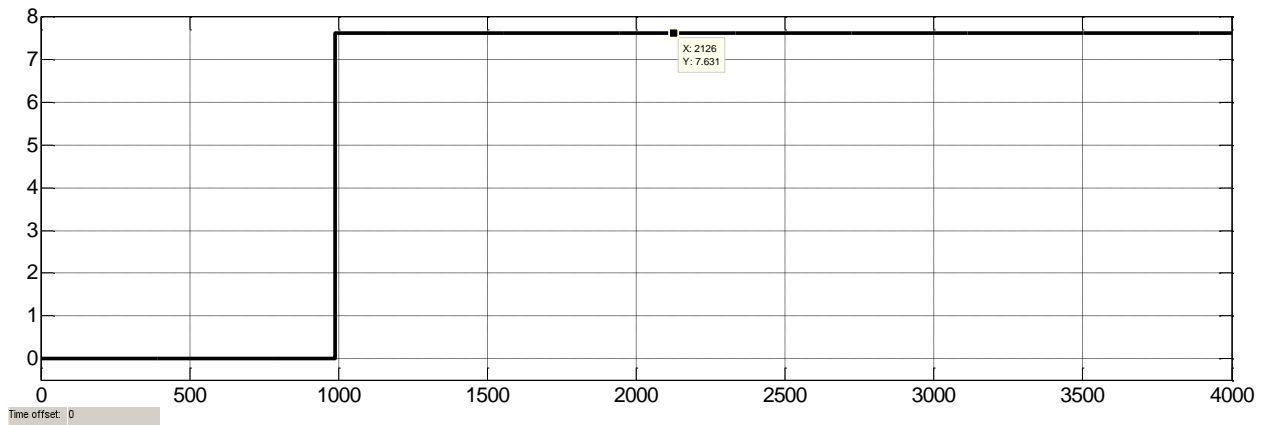


Рисунок 3.6 – Результат прогнозування кіберфізичною системою кількості електроенергії, що необхідна для підігрівання води в режимі неперервного споживання електроенергії

Недолік кіберфізичної системи, робота якої показана на рис. 3.5 та рис. 3.63.6, в тому, що вона передбачає неперервне споживання електроенергії ТЕН, у той час, як багато інших споживачів електроенергії в будинку мають періодичний дискретний характер споживання електроенергії (прилади вмикаються та вимикаються з певним періодом). Щоб запропоновану кіберфізичну систему керування більше адаптувати під сумісну роботу з такими споживачами електроенергії, запропоновано реалізувати так званий імпульсний режим споживання електроенергії ТЕН. Фактично йдеться про той самий алгоритм керування, але замість встановлення неперервного керуючого сигналу на певному рівні формується імпульсний керуючий сигнал, середнє значення якого відповідає цьому рівню. У зв'язку з цим доопрацьований алгоритм керування шляхом введення генераторів імпульсних сигналів за заданими параметрами (програмний код наведений в Додатку А). Параметри імпульсного керуючого сигналу під час нагрівання води визначаються системою верхнього рівня, яка задає як амплітуду імпульсів, так і їх шпаруватість. А максимальний керуючий вплив для оптимального за швидкістю регулятора визначається як середнє значення імпульсних сигналів.

Структурна схема кіберфізичної системи керування, в якій реалізований імпульсний характер споживання електроенергії ТЕН, показана на рис. 3.7.

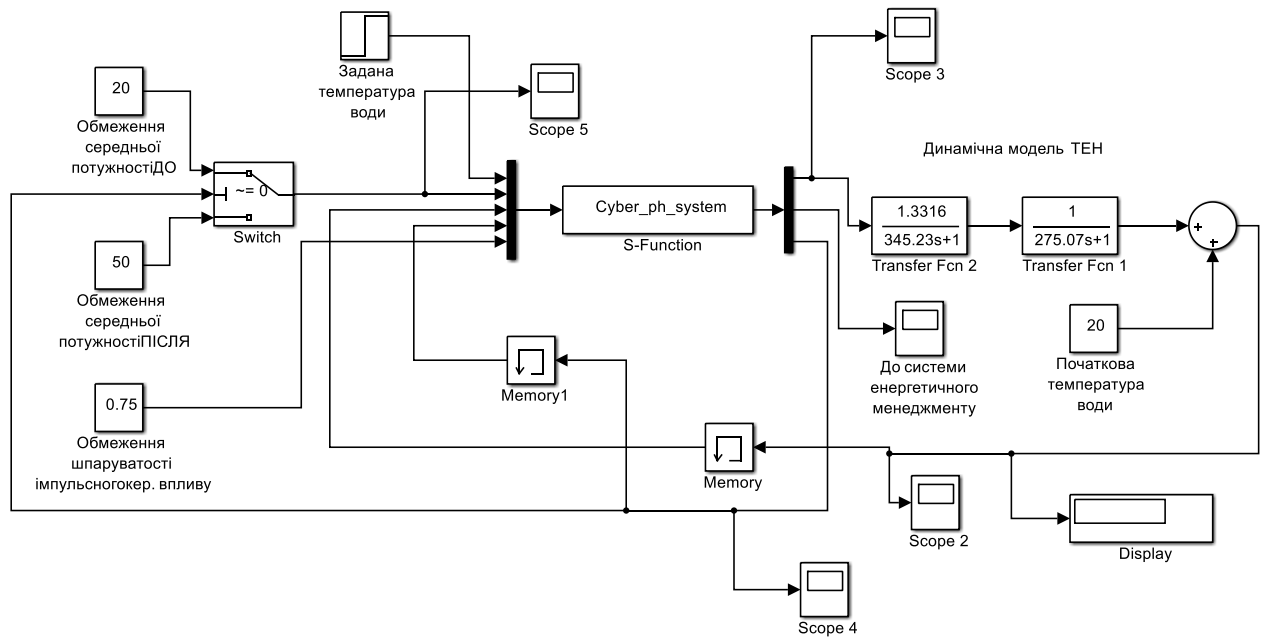


Рисунок 3.7 – Структурна схема кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у пральній машині за умови імпульсного споживання електроенергії

Як бачимо з рис. 3.7, у якості додаткового аргументу s-функції додана задана шпаруватість імпульсного керуючого сигналу.

Але, обчислювальні експерименти показали, що через імпульсний характер керуючого сигналу в динаміці температури з'являються коливання, які стають особливо помітні при взятті диференціалу з малим кроком квантування за часом (рис. 3.8). Через це критерій для визначення необхідної довжини експериментальної кривої розгону, заснований на диференціалі температури, стає непридатним.

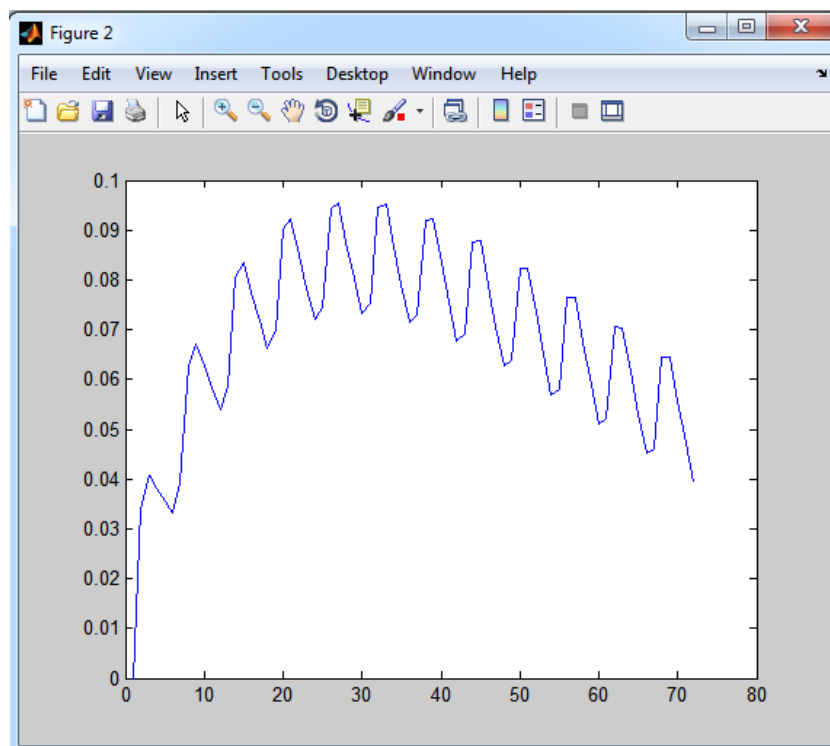


Рисунок 3.8 – Зміна у часі диференціалу температури води за умови імпульсного споживання електроенергії (крок квантування за часом – 10 с)

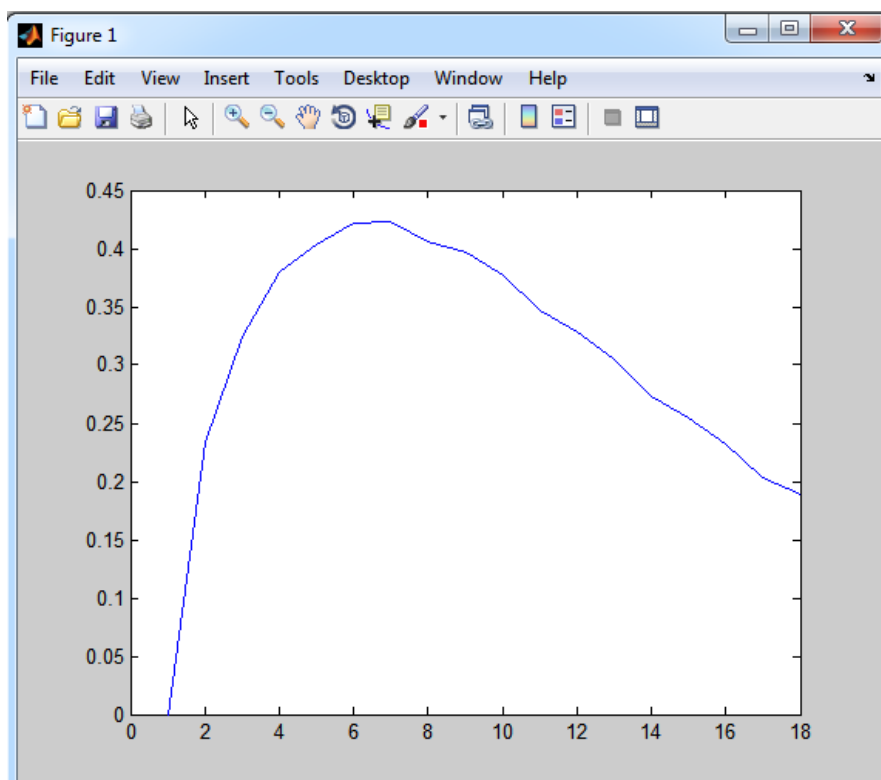


Рисунок 3.9 – Зміна у часі диференціалу температури води за умови імпульсного споживання електроенергії (крок квантування за часом – 50 с)

Щоб виправити описану проблему, проведено дослідження характеру зміни у часі диференціалу температури від кроку квантування за часом при взятті диференціалу. За підсумками цього дослідження встановлено, що за умови імпульсного керуючого впливу мінімальний крок квантування за часом при взятті диференціалу температури, при якому спостерігається один чітко виражений максимальний екстремум (рис. 3.9), що відповідає перегину експериментальної кривої розгону, дорівнює близько 50 с. Тож за умови реалізації імпульсного режиму споживання електроенергії ТЕН прийнятий саме такий крок квантування за часом при визначенні диференціалу температури.

Результат ідентифікації об'єкта керування для імпульсного режиму споживання електроенергії ТЕН показаний на рис. 3.10.

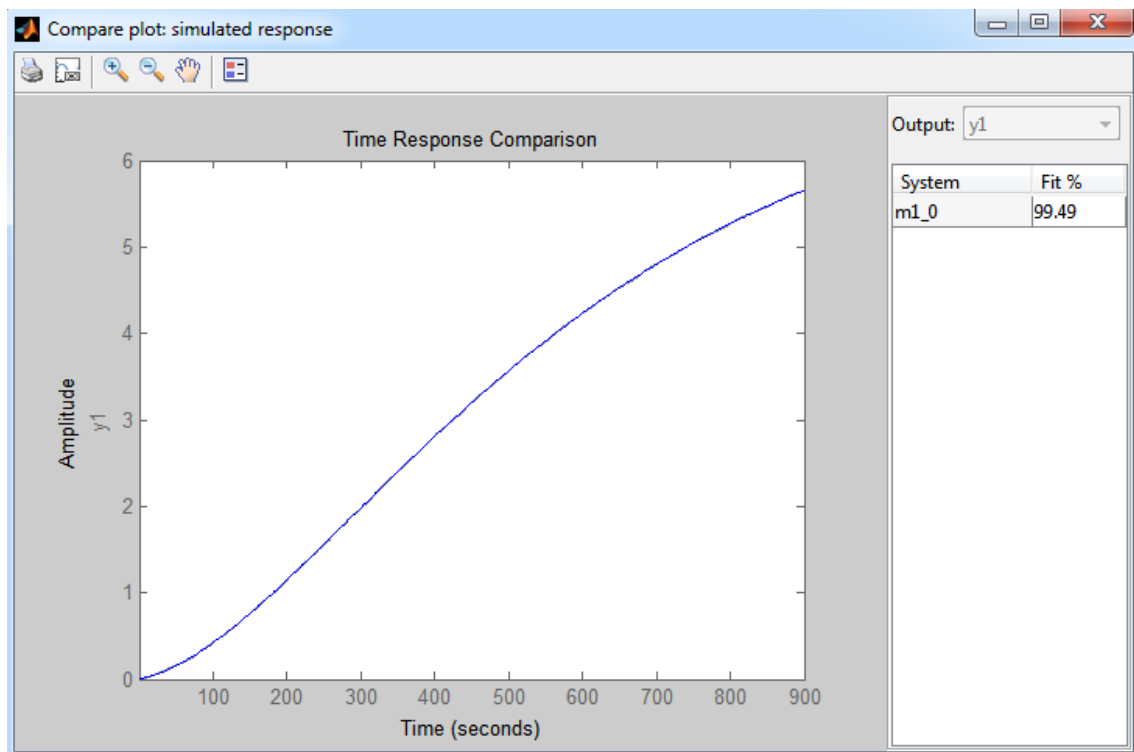


Рисунок 3.10 – Результат ідентифікації процесу нагріву води у пральній машині за умови імпульсного споживання електроенергії (середня потужність тестового сигналу – 5 кВт, амплітуда імпульсів відповідає обмеженню, період – 60 с, відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,45)

Порівнюючи рис. 3.4 та рис. 3.10, можна зробити висновок, що при переході від неперервного до імпульсного режиму споживання електроенергії ТЕНом за умови прийняття періоду імпульсного сигналу 60 с точність ідентифікації об'єкта керування залишилася такою ж високою (зменшилася з 99,83 до 99,49 %).

Результат моделювання роботи кіберфізичної системи керування температурою води у пральній машині за умови забезпечення імпульсного споживання електроенергії ТЕН показаний на рис. 3.11.

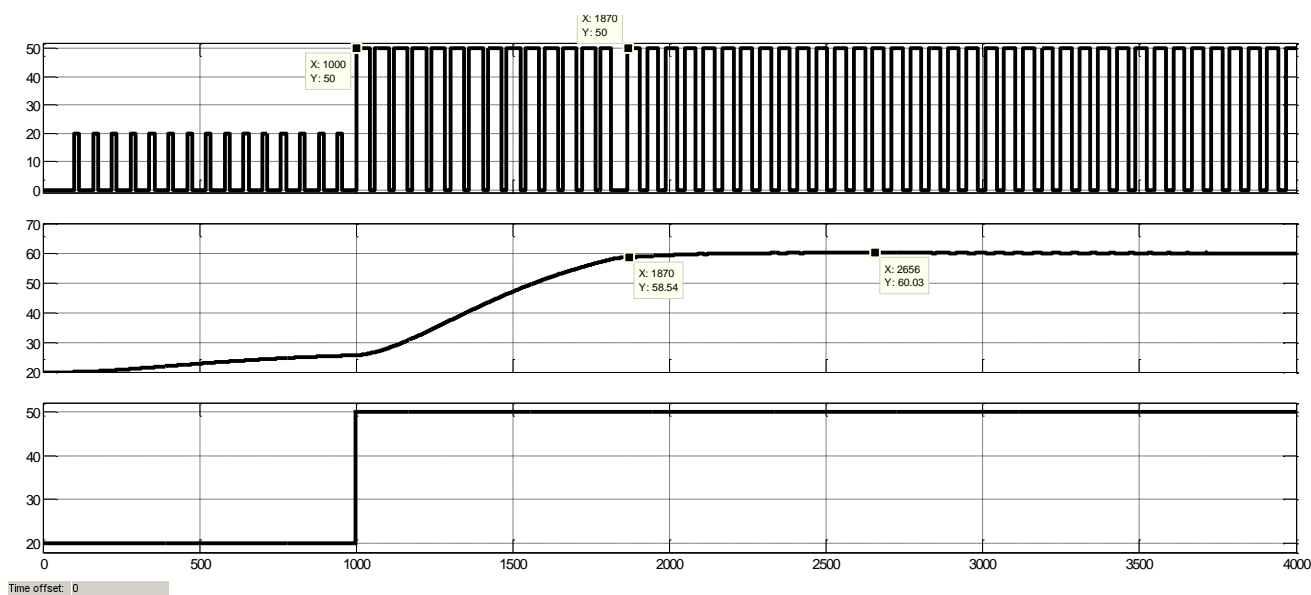


Рисунок 3.11 – Зміна у часі фактичної потужності ТЕН, температури води та обмеження щодо потужності від системи енергетичного менеджменту при роботі кіберфізичної системи керування в режимі імпульсного споживання електроенергії (відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,45)

З рис. 3.11 видно, що кіберфізична система, з однієї сторони, забезпечує імпульсний керуючий сигнал, що відповідає встановленим обмеженням щодо амплітуди та шпаруватості системою енергетичного менеджменту верхнього рівня (рис. 3.11, а, в), а з іншої сторони – дозволяє отримати перехідний процес за температурою з заданими критеріями якості щодо перерегулювання та статичної похибки (рис. 3.11, б). Таким чином доведено, що запропонований

алгоритм є дієвим й для режиму імпульсного споживання електроенергії ТЕН, принаймні з періодом імпульсів 60 с.

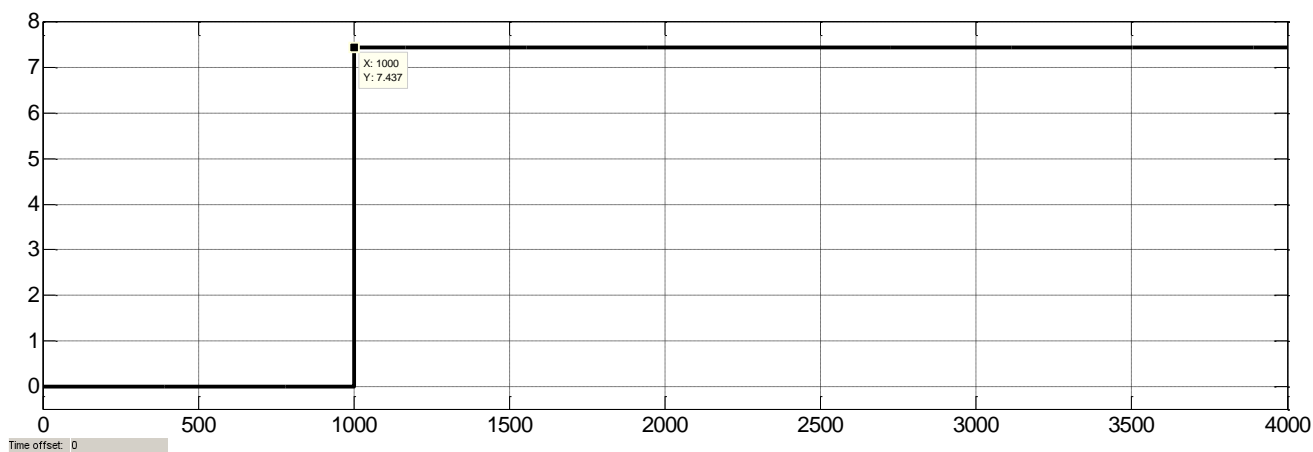


Рисунок 3.12 – Результат прогнозування кіберфізичною системою кількості електроенергії, що необхідна для підігрівання води в режимі імпульсного споживання електроенергії (відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,45)

Результат моделювання на рис. 3.12 також підтверджує дієвість запропонованого алгоритму керування за умови імпульсного споживання електроенергії ТЕН й по відношенню до прогнозування кількості електроенергії на нагрівання води в пральній машині. Порівняння рис.3.6 та рис.3.12 дозволяє зробити висновок, що прогнозована кількість електроенергії на нагрівання води для режимів неперервного та імпульсного споживання електроенергії є практично однаковою – 7,63 кВт/г для першого випадку та 7,44 кВт/г для другого випадку.

3.2 Дослідження кіберфізичної системи керування температурою води у пральній машині

У підрозділі 3.1 отримані позитивні результати дослідження роботи кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у пральній машині за запропонованим алгоритмом керування з оглядом на обмежений енергоресурс та сумісну роботу з інтелектуальною системою енергетичного менеджменту у будинку. Але, з рис. 3.5 та рис. 3.11 можна побачити, що другий

стан системи керування, який відповідає збору інформації для формування експериментальної кривої розгону, є дуже тривалим та займає близько 50% всього часу відпрацювання системою зміни уставки температури. Тож, проведені дослідження щодо точності ідентифікації об'єкта керування для інших відношень поточного та максимального диференціалу температури за часом, які визначають довжину експериментальної кривої розгону, та, відповідно, тривалість другого стану системи керування.

На рис. 3.13 показаний результат ідентифікації об'єкта керування для збільшеного відношення поточного та максимального диференціалів температури до 0,75. З рис. 3.13 ми бачимо, що експериментальна крива розгону стала коротшою, вона закінчується майже біля точки перегину. Але, якщо порівнювати з рис.3.4, це майже не позначилося на точності ідентифікації – вона зменшилася з 99,83 до 99,74% (рис. 3.13). Також з рис. 3.13 ми бачимо, що визначені параметри передаточної функції є досить близькими до параметрів моделі об'єкта керування, що імітує роботу ТЕН (рис. 3.2). Це також підтверджує високу точність ідентифікації об'єкта керування.

Аналіз результатів моделювання кіберфізичної системи керування для нової умови завершення часу формування експериментальної кривої розгону на рис. 3.14 дозволяє зробити висновок, що система й за таких умов працює ефективно – температура під час нагрівання води змінюється монотонно, статична похибка відсутня, оптимальний за швидкодією регулятор працює коректно.

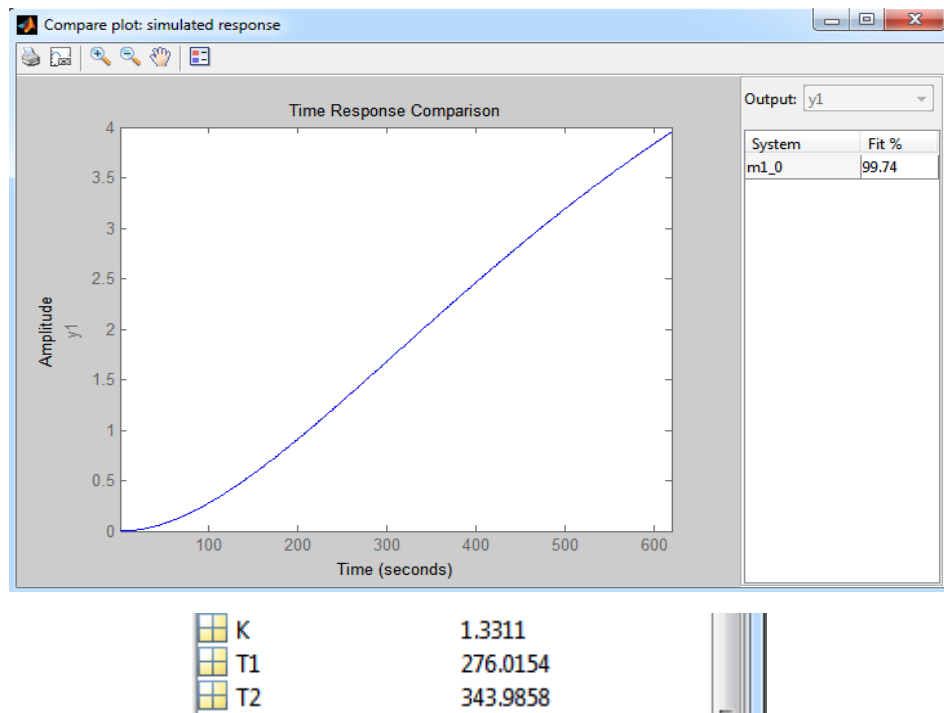


Рисунок 3.13 – Результат ідентифікації процесу нагріву води у пральній машині за умови неперервного споживання електроенергії (амплітуда тестового східчастого сигналу – 5 кВт, прийняте відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,75)

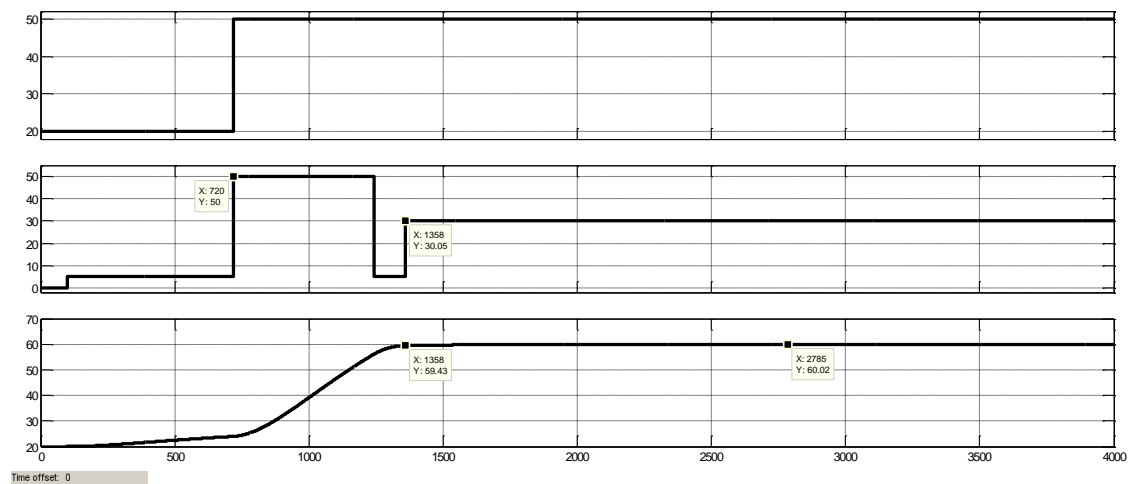


Рисунок 3.14 – Зміна у часі обмеження щодо потужності від системи енергетичного менеджменту, фактичної потужності ТЕН та температури води при роботі кіберфізичної системи керування в режимі неперервного споживання електроенергії (відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,75)

Також з рис. 3.14 можна зробити висновок, що час на формування експериментальної кривої розгону зменшився з 890 (рис. 3.4) до 620 с (рис. 3.14, б).

Крім того, з рис. 3.15 підтверджує коректність роботи кіберфізичної системи для нової довжини експериментальної кривої розгону й по відношенню до прогнозованої кількості електроенергії на нагрівання води. Якщо порівнювати рис. 3.6, коли крива розгону є тривалішою, ми бачимо що прогнозована кількість електроенергії не змінилася.

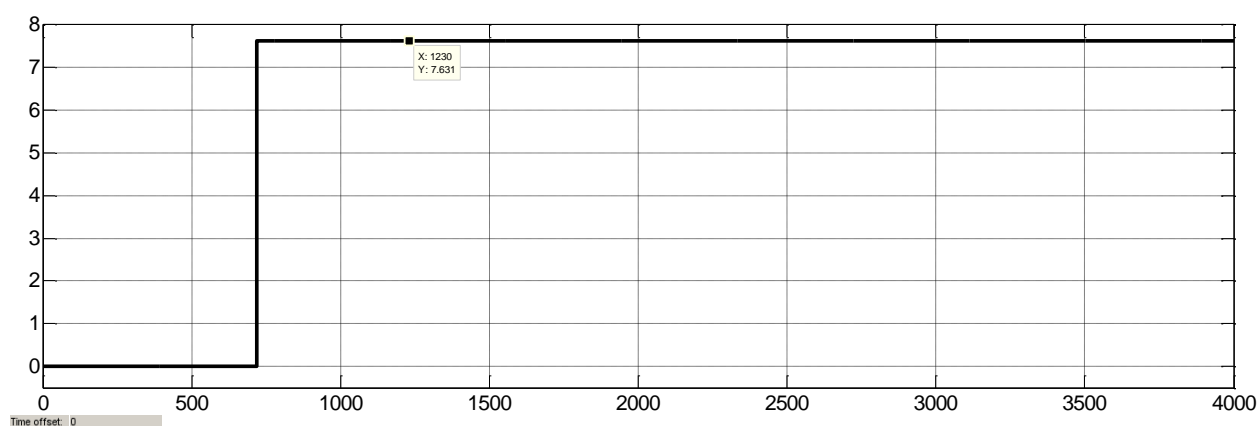


Рисунок 3.15 – Результат прогнозування кіберфізичною системою кількості електроенергії, що необхідна для підігрівання води в режимі неперервного споживання електроенергії (відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,75)

З урахуванням отриманих позитивних результатів моделювання кіберфізичної системи на рис. 3.14 та рис. 3.15, було вирішено дослідити ефективність роботи системи за умови подальшого зменшення довжини кривої розгону.

На рис. 3.16 представлений результат ідентифікації об'єкта керування, коли за умову завершення формування експериментальної кривої розгону взятий факт зменшення відношення поточного та максимального диференціалу температури нижче 0,99. Тобто, фактично закінчення експериментальної кривої розгону припадає на її перегин (рис. 3.16).

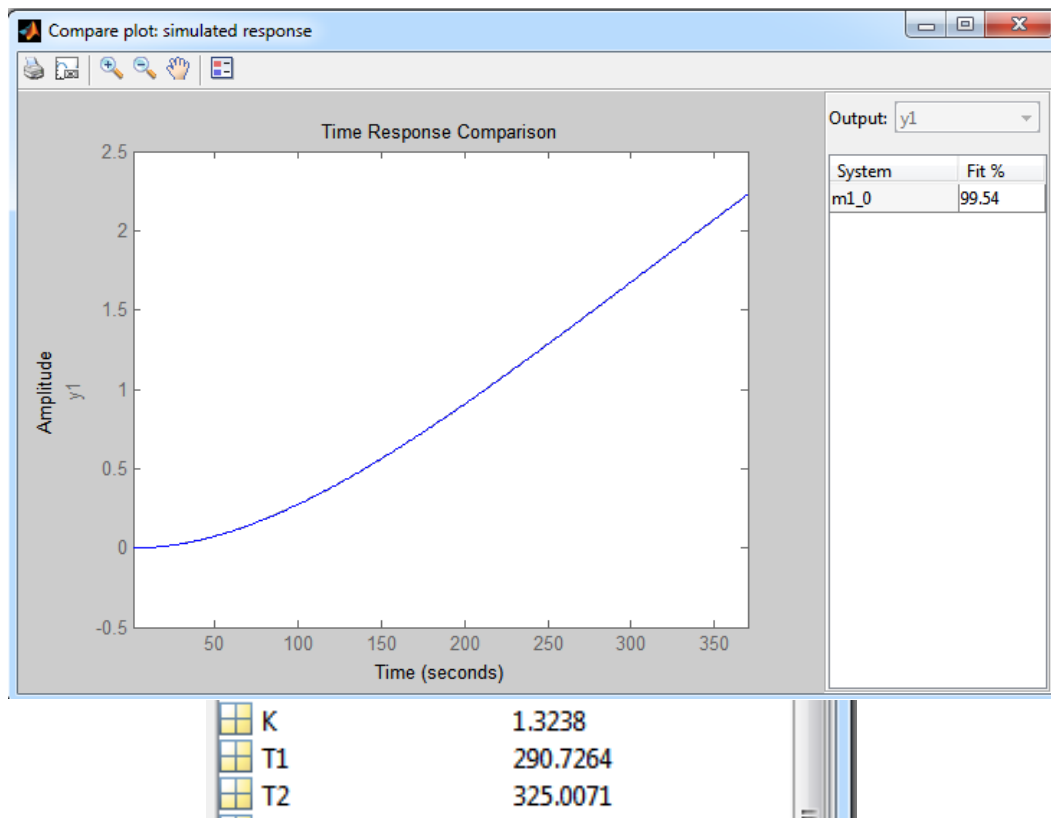


Рисунок 3.16 – Результат ідентифікації процесу нагріву води у пральній машині за умови неперервного споживання електроенергії (амплітуда тестового східчастого сигналу – 5 кВт, прийняте відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,99)

З аналізу рис.3 .16 можна зробити висновок, що незважаючи на високу точність ідентифікації (99,54%) точність визначення параметрів передаточної функції об'єкта керування все ж таки стала суттєво гіршою (замість 275 с визначена перша постійна часу дорівнює 291 с, а друга постійна часу замість 345 с дорівнює 325 с).

Незважаючи на це результати обчислювального експерименту (рис. 3.17) показали, що навіть з такою похибкою визначення постійних часу моделі процесу нагрівання води оптимальний за швидкодією регулятор продовжує ефективно відпрацьовувати зміну уставки температури.

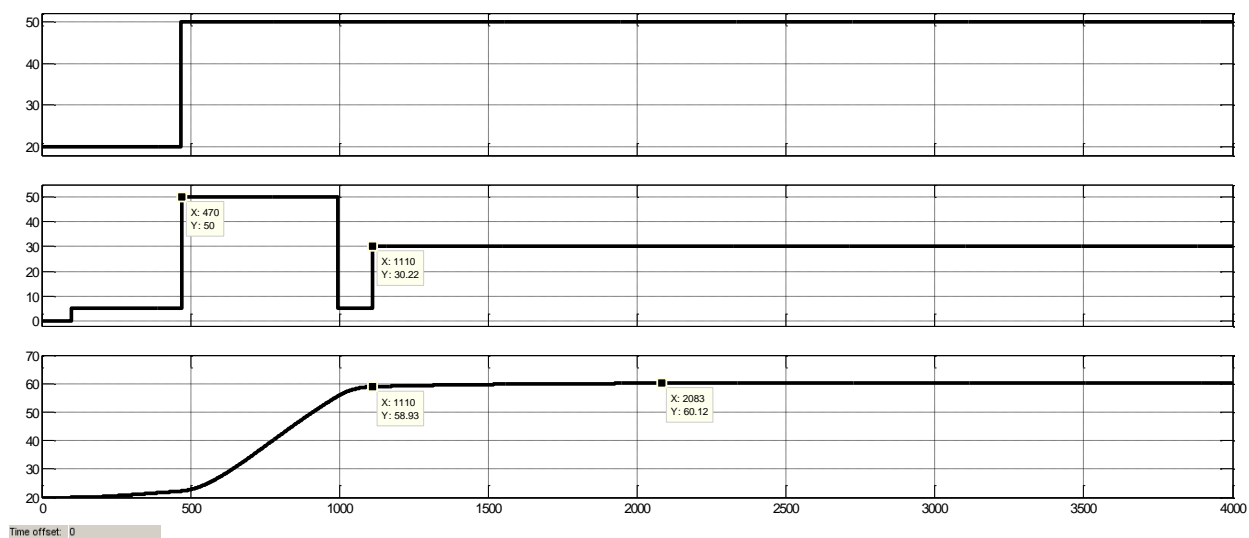


Рисунок 3.17 – Зміна у часі обмеження щодо потужності від системи енергетичного менеджменту, фактичної потужності ТЕН та температури води при роботі кіберфізичної системи керування в режимі неперервного споживання електроенергії (відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,99)

З рис. 3.17, в видно, що температура змінюється монотонно, без перерегулювання. Через погіршення точності визначення параметрів моделі нагрівання води маємо похибку щодо виходу на задану уставку в кінці другого інтервалу перемикавання оптимального за швидкодією регулятора – температура замість 60 дорівнює 58,93 °С. Також маємо статичну похибку 0,12 °С. Але, ці похибки є незначними та прийнятними для цього технологічного процесу. Крім того, з рис. 3.17, б видно, що за рахунок подальшого збільшення критерію завершення формування експериментальної кривої розгону до 0,99 тривалість періоду формування кривої суттєво зменшився – до 370 с. Це забезпечує збільшення продуктивності роботи системи керування навіть за умови обмеженого енергоресурсу.

Аналіз рис. 3.18 показує, що для відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення на рівні 0,99 трохи погіршилася точність прогнозування кількості електроенергії, яка необхідна

для нагрівання води у пральній машині, але на дуже незначну величину (замість 7,63 кВт/г дорівнює 7,64 кВт/г).

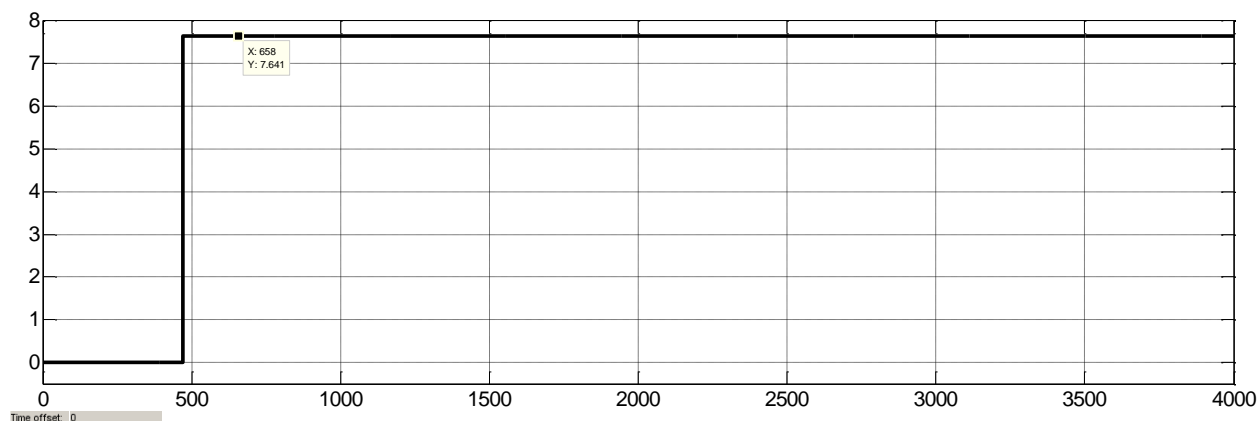


Рисунок 3.18 – Результат прогнозування кіберфізичною системою кількості електроенергії, що необхідна для підігрівання води в режимі неперервного споживання електроенергії (відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,99)

У ході досліджень встановлено, що подальше скорочення довжини експериментальної кривої розгону за умови прийняття відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення на рівні одиниці (тобто, крива розгону обрізається до точки її перегину) призводить до різкого зменшення точності ідентифікації об'єкта керування, яка вже не гарантує точне прогнозування кількості електроенергії на нагрівання води та коректну роботу оптимального за швидкістю регулятора (рис. 3.19). З рис. 3.19 видно, що як коефіцієнт підсилення, так і постійні часу, що визначені в ході ідентифікації, в сотні раз відрізняються від істинних значень.

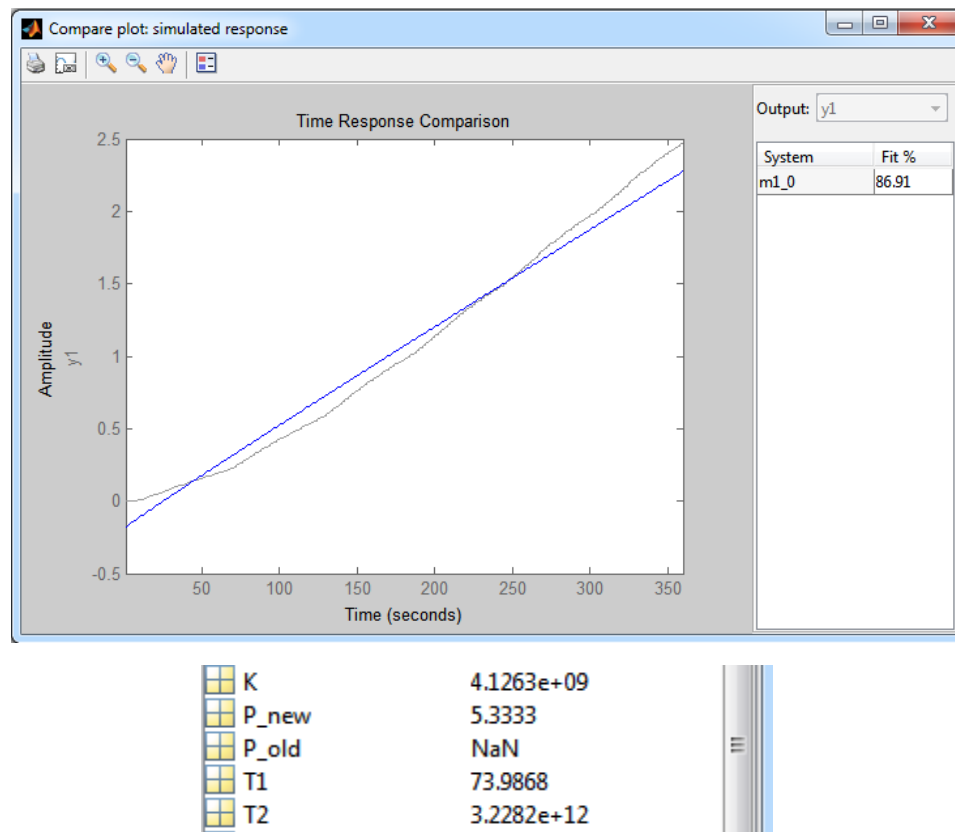


Рисунок 3.19 – Результат ідентифікації процесу нагріву води у пральній машині за умови неперервного споживання електроенергії (амплітуда тестового сінусоїдального сигналу – 5 кВт, прийняте відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – більше 1)

Таким чином, можна зробити висновок, що оптимальною умовою завершення етапу формування експериментальної кривої розгону для ідентифікації моделі процесу нагрівання води за критеріями мінімальної тривалості цього етапу та мінімальних похибок при відпрацюванні оптимальним за швидкодією регулятором зміни уставки є зменшення відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення нижче рівня 0,99, що відповідає точці перегину кривої розгону.

Перевіримо встановлене наукове положення по відношенню до кіберфізичної системи керування температурою води у пральній машині, в якій реалізований імпульсний режим споживання електроенергії ТЕН.

Результати досліджень на рис. 3.20 показали, що за умови введення імпульсного режиму споживання електроенергії та, відповідно, характеру

керуючого впливу з'являється досить суттєва статична похибка $4,27\text{ }^{\circ}\text{C}$, що є неприйнятним.

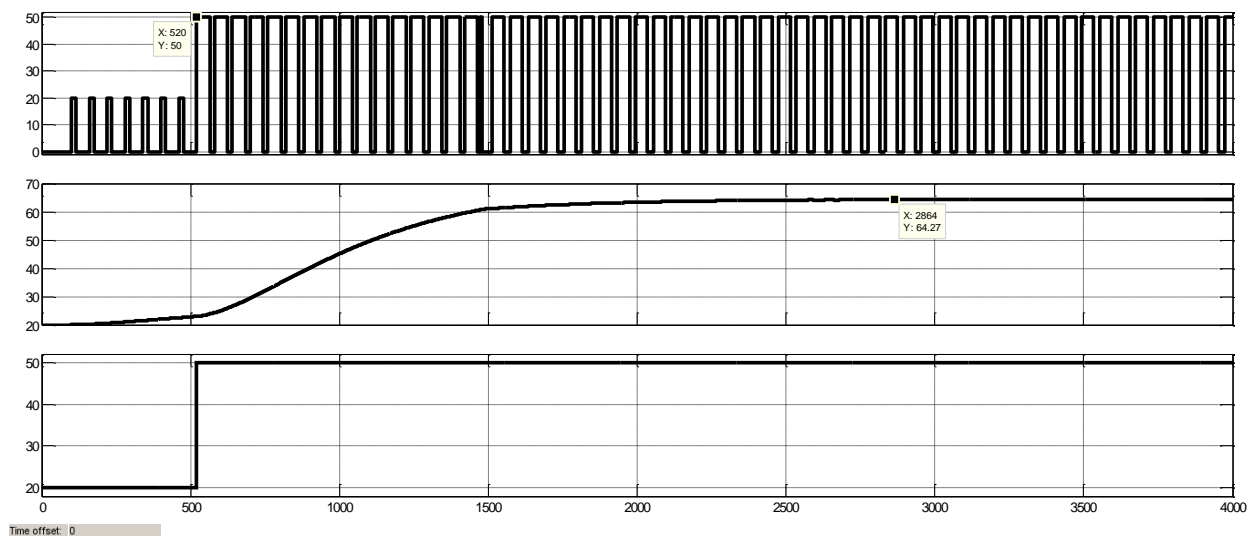


Рисунок 3.20 – Зміна у часі фактичної потужності ТЕН, температури води та обмеження щодо потужності від системи енергетичного менеджменту при роботі кіберфізичної системи керування в режимі імпульсного споживання електроенергії (відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,99)

Було висунуте припущення, що це пов'язано з суттєвим періодом імпульсного сигналу під час формування вибірки потужності для ідентифікації об'єкта керування, через що маємо велику похибку визначення середнього значення вхідної величини по відношенню до моделі об'єкта керування. Щоб це перевірити, проведений обчислювальний експеримент, при якому період імпульсного керуючого сигналу на етапі формування експериментальних вибірок для ідентифікації моделі об'єкта керування був зменшений з 60 до 30 с.

Результат ідентифікації моделі об'єкта керування за результатом цього експерименту показаний на рис. 3.21.

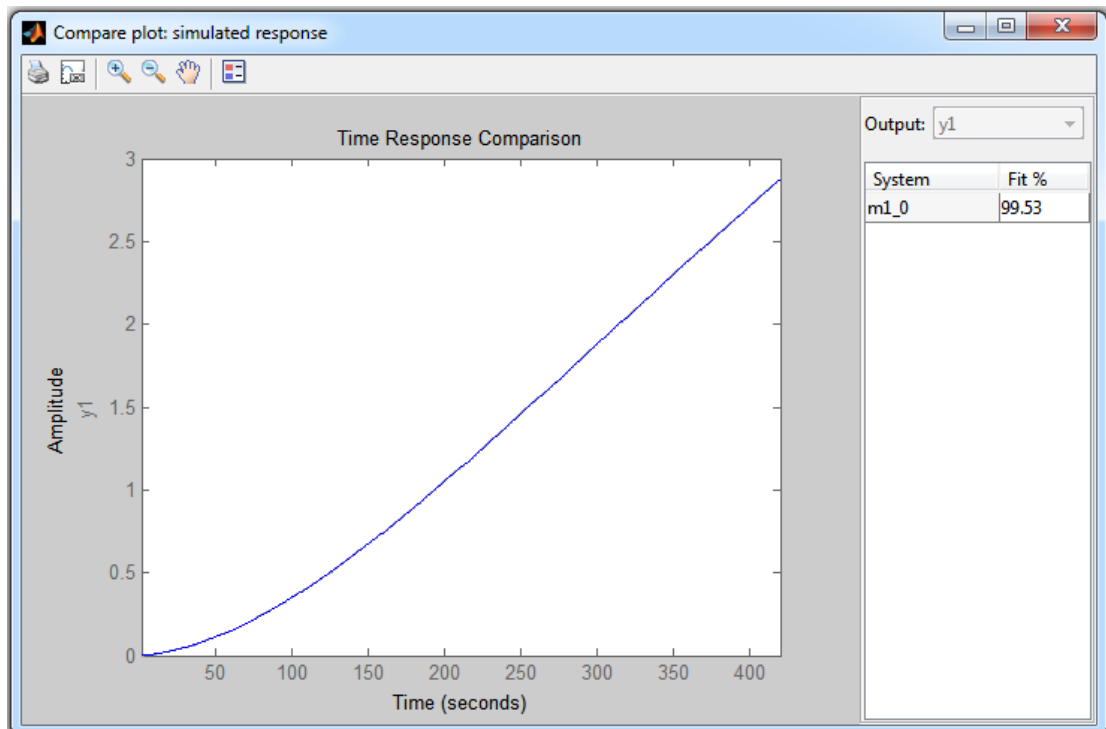


Рисунок 3.21 – Результат ідентифікації процесу нагріву води у пральній машині за умови імпульсного споживання електроенергії (середня потужність тестового сигналу – 5 кВт, амплітуда імпульсів відповідає обмеженню, період – 30 с, відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,99)

Аналіз результатів моделювання кіберфізичної системи керування температурою води у пральній машині в режимі імпульсного споживання електроенергії (рис.3.22) показав, що при зменшенні періоду імпульсного керуючого сигналу до 30 с на етапі формування експериментальних вихідних вибірок для процедури ідентифікації маємо коректну роботу кіберфізичної системи керування, при якій критерії якості практично не відрізняються від тих, що спостерігаються при роботі кіберфізичної системи в режимі неперервного споживання електроенергії ТЕН (рис. 3.17).

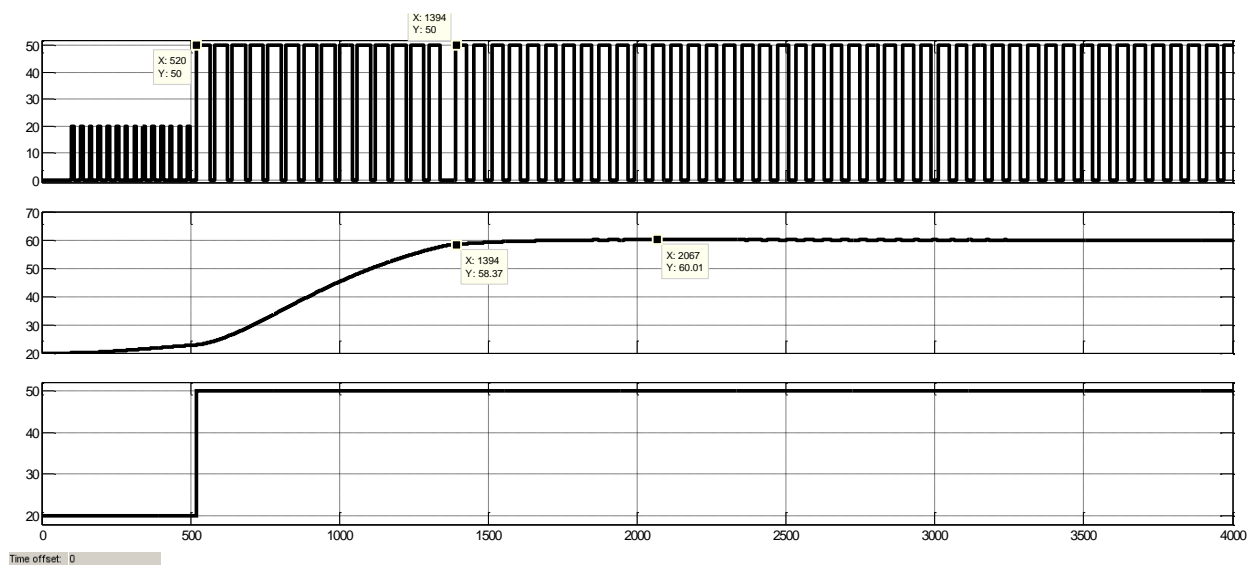


Рисунок 3.22 – Зміна у часі фактичної потужності ТЕН, температури води та обмеження щодо потужності від системи енергетичного менеджменту при роботі кіберфізичної системи керування в режимі імпульсного споживання електроенергії (відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,99)

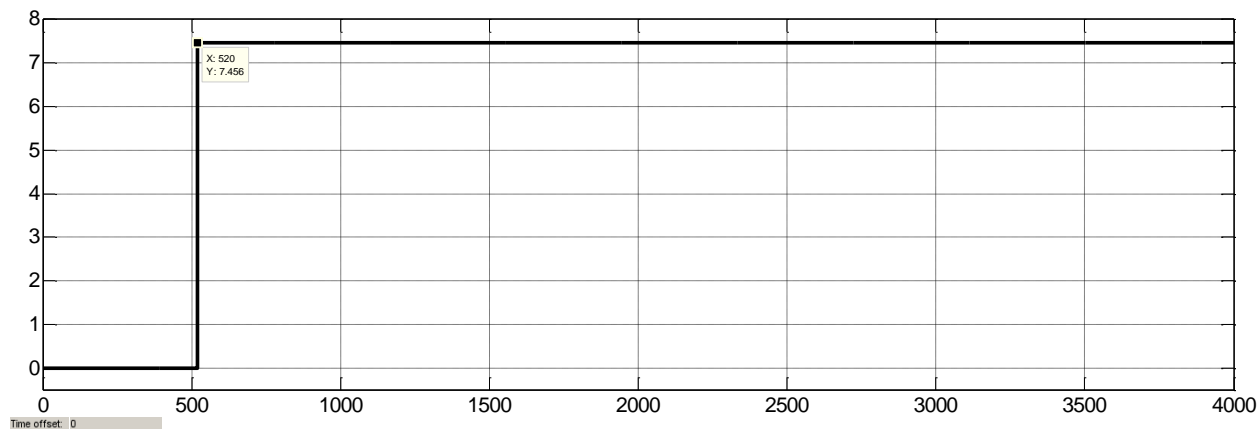


Рисунок 3.23 – Результат прогнозування кіберфізичною системою кількості електроенергії, що необхідна для підігрівання води в режимі імпульсного споживання електроенергії (відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,99)

Прогнозована кількість електроенергії на нагрівання води у пральній машині у режимі імпульсного споживання електроенергії ТЕН (7,46 кВт/г на

рис. 3.23) також не набагато відрізняється від аналогічного параметру в режимі неперервного споживання електроенергії (7,64 кВт/г на рис. 3.18).

Таким чином, можна зробити висновок про те, що точність ідентифікації динамічної моделі нагрівання води при роботі кіберфізичної системи керування температурою води у пральній машині зворотно залежить від періоду імпульсного керуючого впливу при імпульсному режимі споживання електроенергії ТЕН.

Далі проведені ще одні дослідження, метою яких було встановити ефективність роботи кіберфізичної системи керування при подачі керуючого впливу під час формування експериментальної кривої розгону значно більшої амплітуди (у разі, якщо це дозволяють обмеження, встановлені системою енергетичного менеджменту в будинку верхнього рівня).

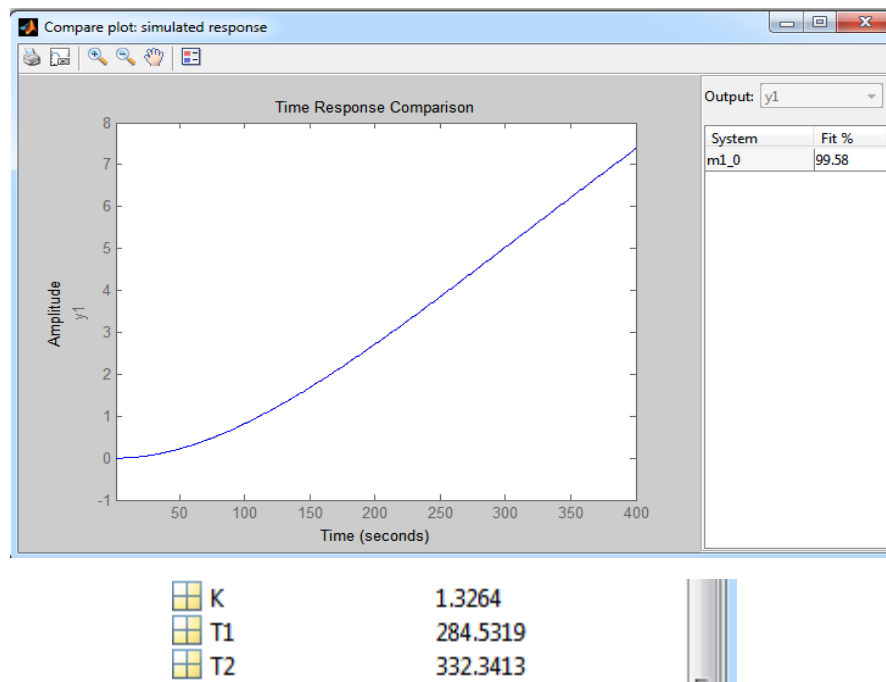


Рисунок 3.24 – Результат ідентифікації процесу нагріву води у пральній машині за умови неперервного споживання електроенергії (амплітуда тестового східчастого сигналу – 15 кВт, прийняте відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,99)
 Це б, імовірно, дало б змогу зменшити час відпрацювання уставки та збільшити продуктивність системи керування.

З аналізу рис. 3.24 можна зробити висновок, що ідентифікація моделі нагрівання води за умови подачі керуючого впливу з більшою амплітудою проходить успішно. Точність ідентифікації залишається високою, а точність визначення параметрів моделі приблизно така сама, як і для випадку подачі тестового керуючого впливу відносно невеликої амплітуди.

Але, аналіз результатів моделювання роботи кіберфізичної системи на рис. 3.25 показує, що неточність визначення параметрів моделі проявляється у більшій мірі, коли зменшується діапазон зміни керуючого впливу при відпрацюванні оптимальним за швидкодією регулятором збільшення температури після етапу ідентифікації.

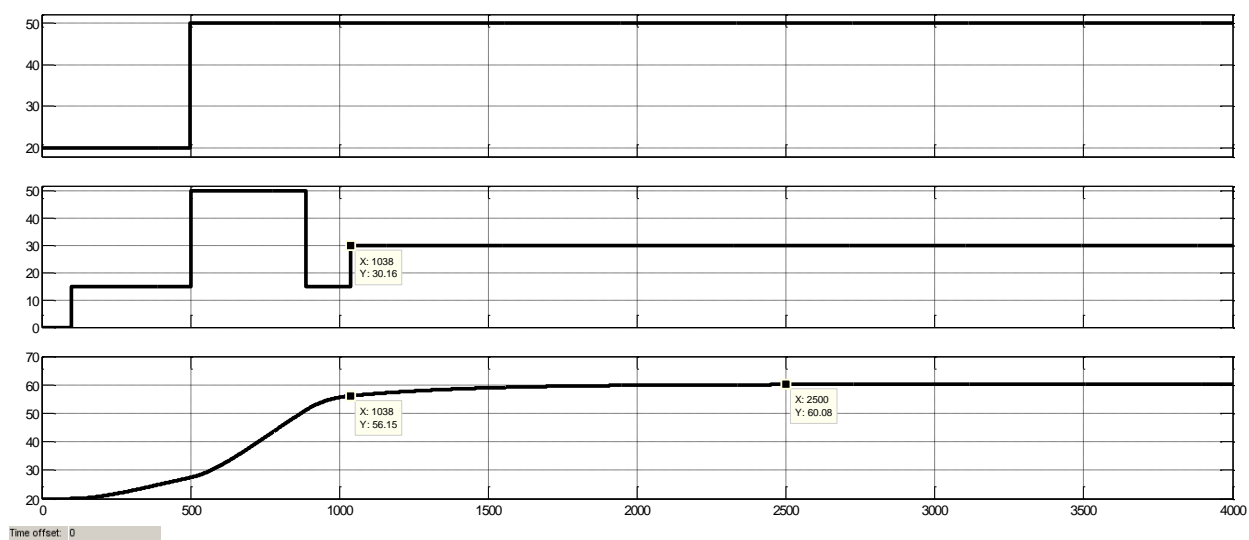


Рисунок 3.25 – Зміна у часі обмеження щодо потужності від системи енергетичного менеджменту, фактичної потужності ТЕН та температури води при роботі кіберфізичної системи керування в режимі неперервного споживання електроенергії, тестовий сигнал – 15 кВт (відношення поточного диференціалу температури води до його максимального значення – 0,99)

Тож, можна зробити висновок про те, що точність ідентифікації динамічної моделі нагрівання води при роботі кіберфізичної системи керування температурою води у пральній машині зворотно залежить від амплітуди тестового керуючого впливу при формуванні експериментальної кривої розгону для процедури ідентифікації.

3.3 Висновок за розділом

Встановлено, що ідентифікацію динамічної моделі нагрівання води в пральній машині при роботі кіберфізичної системи керування з прийнятною точністю можна проводити за половиною експериментальної кривої розгону – до точки її перегину. Фактично довжина експериментальної кривої розгону до точки її перегину є оптимальною для проведення процедури ідентифікації моделі об'єкта керування за критеріями тривалості етапу формування кривої (продуктивність системи керування) та точності визначення параметрів моделі (точність відпрацювання системою зміни уставки температури).

Встановлено, що зі збільшенням амплітуди тестового керуючого сигналу при формуванні експериментальної кривої розгону збільшується похибка при розрахуванні інтервалів перемикання оптимального за швидкодією регулятора, через що збільшується статична похибка на момент закінчення нагрівання води (закінчення другого інтервалу перемикання регулятора).

Встановлено, що точність ідентифікації динамічної моделі нагрівання води при роботі кіберфізичної системи керування температурою води у пральній машині залежить зворотно від періоду імпульсного керуючого впливу при імпульсному режимі споживання електроенергії ТЕН на етапі формування експериментальної кривої розгону.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель системи керування

Згідно з завданням необхідно розробити програмне забезпечення системи керування та НМІ для SCADA системи zenon Supervisor 7.10. Отриману безперервну модель системи керування, яку попередньо отримали, замнемо на цифрову, для цього поділимо її на 2 підсистеми – модель регулятора та модель об'єкта керування (рис. 4.1).

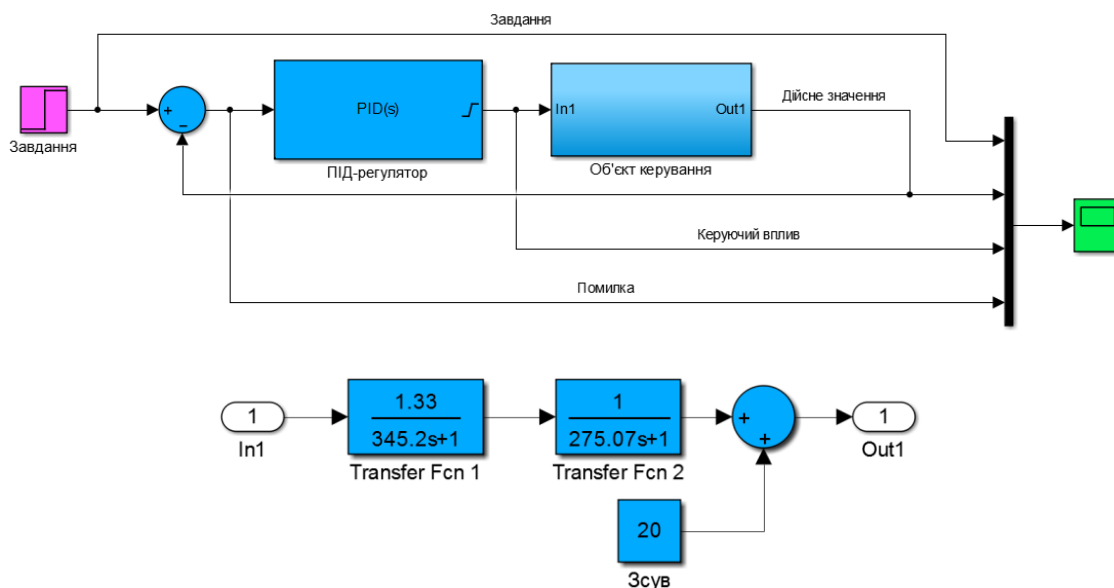


Рисунок 4.2 – Безперервна модель об'єкта керування

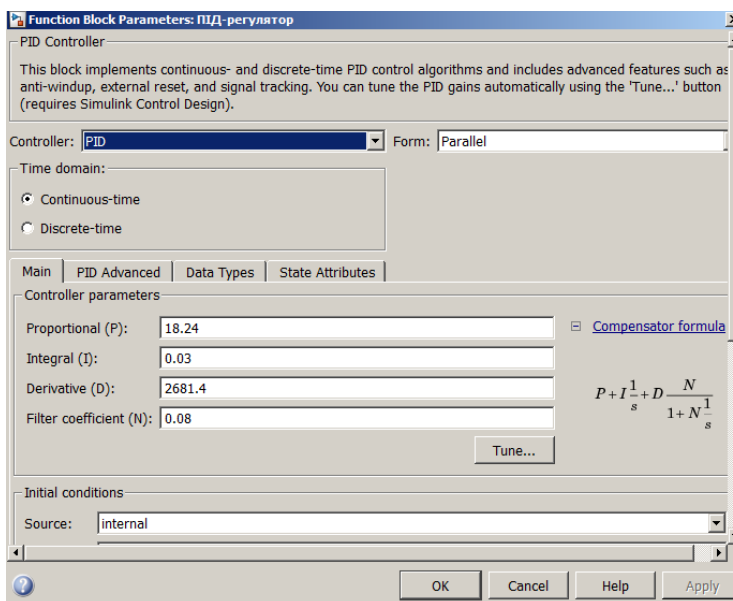


Рисунок 4.3 – Безперервна модель ПІД-контролера

За допомогою скрипа перетворимо цю безперервну модель об'єкта керування (рис. 4.2) до цифрового виду (рис. 4.4).

Аперіодична ланка 1

$K1 = 1.3$ $T1 = 345.2$
 0.0003852

 $z - 0.9997$

Sample time: 0.1 seconds

Аперіодична ланка 2

$K2 = 1.0$ $T2 = 275.1$
 0.0003634

 $z - 0.9996$

Sample time: 0.1 seconds

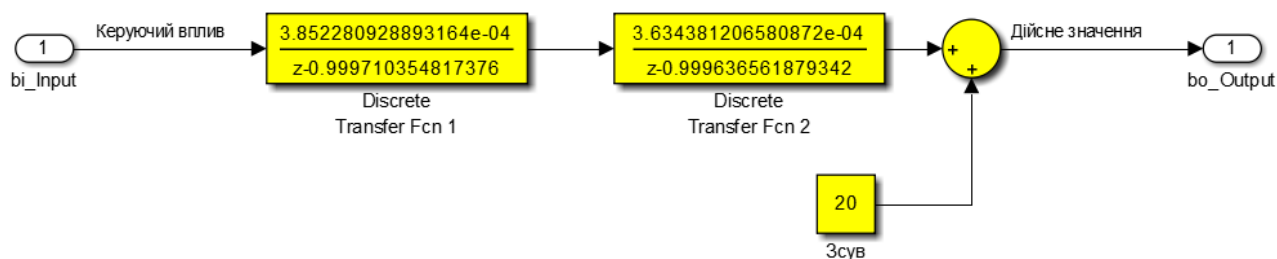


Рисунок 4.4 – Цифрова модель об'єкта керування

Далі з метою полегшення отримання PLC коду програми, структуру стандартного контролера PID(s) змінили з паралельної форми на ідеальну (так як цю форму детально вивчали у теоретичному та практичному курсі), здійснили певні маніпуляції з параметрами цього контролера та отримали його цифровий варіант у вигляді схеми рис. 4.5.

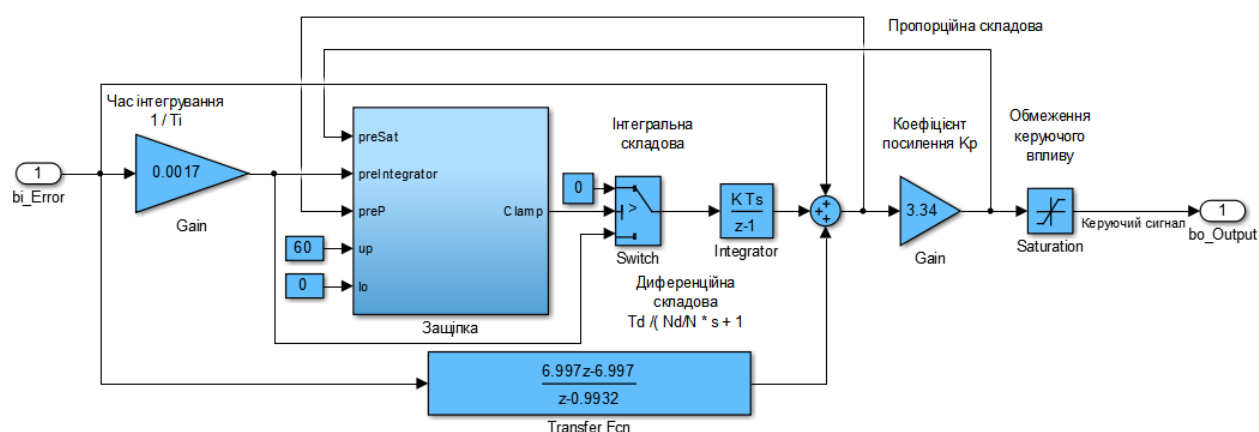


Рисунок 4.5 – Цифрова модель системи керування

Схема порівняння параметрів безперервної і цифрової САР наведена на рис. 4.6.

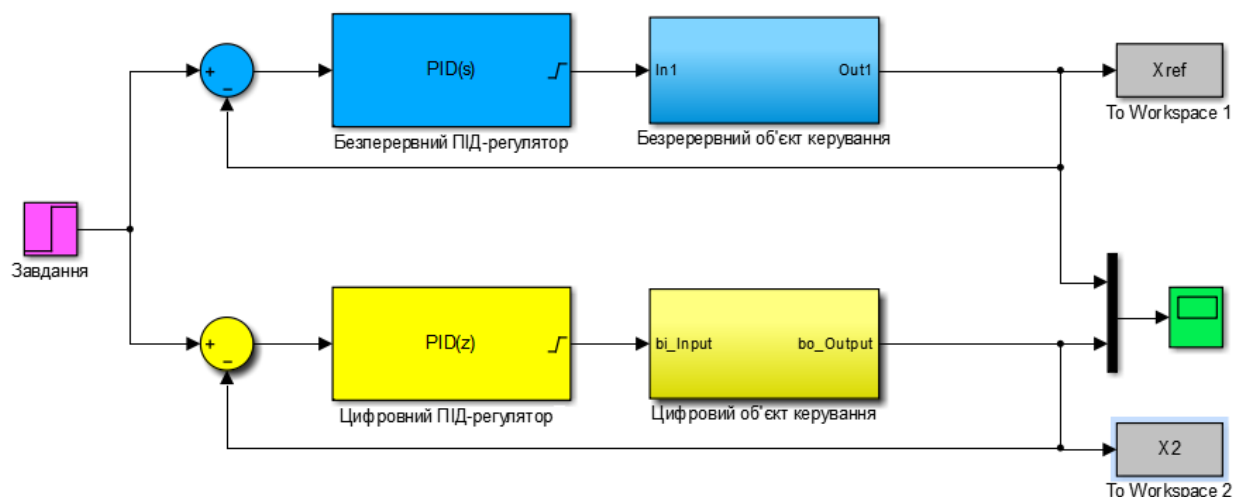


Рисунок 4.6 – Схема порівняння параметрів безперервної і цифрової САР

Результати моделювання для безперервної та цифрових моделей системи керування наведено на рис. 4.7.

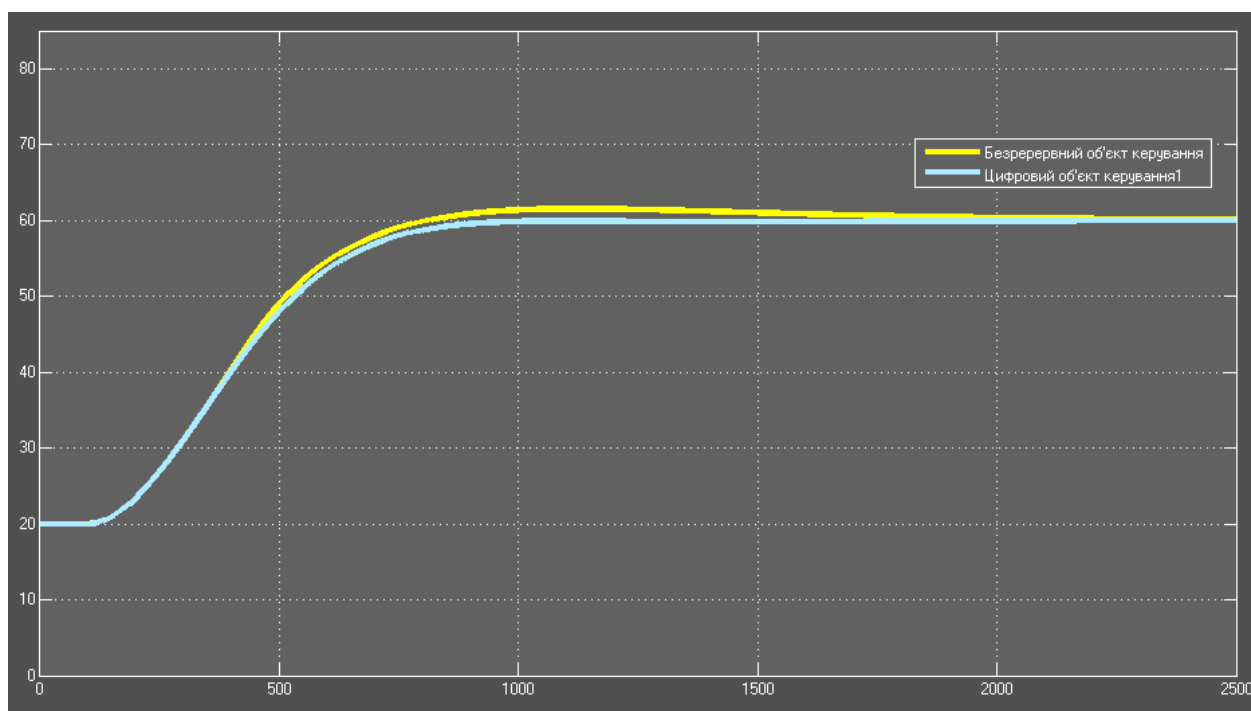


Рисунок 4.7 – Результати моделювання для безперервної та цифрових моделей системи керування

Результати розрахунку параметрів для цифрової моделі і перевірка їх у Matlab на адекватність до безперервної наведено нижче. Розрахунок здійснювався за рахунок відповідних скриптів.

Відповідність характеристик для безперервної і цифрової моделей:
Відповідність характеристик безперервної і цифрової моделей САР

Відповідність безперервної і цифрової моделей САР: 92.69 %
 Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0
 Коефіцієнт кореляції: 0.999
 Статистичний критерій Фішера: 20015990.425
 Критичне значення статистичного критерію Фішера: 2.706
 Статистичний критерій Фішера більший критичного значення.
 Модель є адекватною до об'єкта керування.

Далі за допомогою функції "PLC Code -> Generate Code for Subsystem" було згенеровано програмні модулі, що наведені у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Відповідно до завдання необхідно розробити програмне забезпечення яке реалізує об'єкт керування та програмне забезпечення яке реалізує регулятор.

Спочатку буде розроблено програмне забезпечення яке реалізує об'єкт керування. Для цього в SCADA системі zenon додамо драйвер "S7 TCP-IP driver" для підключення до програмованого логічного контролеру "VIPA" за допомогою інтерфейсу Ethernet, а також відповідні змінні які наведені на рис. 4.7.

State	Name	Id...	Measur...	Net address	D...	Offset	Bit number	Alignment	Sym...	Driver	Data type	D...	Start ...
Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter ...	Filter...	Filter...
	Temperature		°C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	SetPoint		°C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Heater		кВт	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0

Рисунок 4.8 – Змінні програмованого логічного контролеру

Програмне забезпечення об'єкта керування буде функціонувати на програмному програмованому логічному контролері zenon Logic який в режимі симуляції буде реалізувати програмований логічний контролер VIPA та об'єкт керування. На базі отриманого тексту програми з математичного пакету MATLAB розроблено користувацький функціональний блок об'єкту керування "Object". Текст програми якого розроблено на мові програмування Structured Text:

```
DiscreteTransferFcn1      :=          LREAL#0.0003852280928893164      *
DiscreteTransferFcn1_states;

bo_Output  :=  (LREAL#0.0003634381206580872  *  DiscreteTransferFcn2_states)  +
LREAL#20.0;

DiscreteTransferFcn1_states  :=  u  -  (LREAL#-0.999710354817376  *
DiscreteTransferFcn1_states);
```

```
DiscreteTransferFcn2_states := DiscreteTransferFcn1 - (LREAL#-0.999636561879342
* DiscreteTransferFcn2_states);
```

На рис. 4.9 і рис. 4.10 показана схема і результат перевірки роботи об'єкта керування.

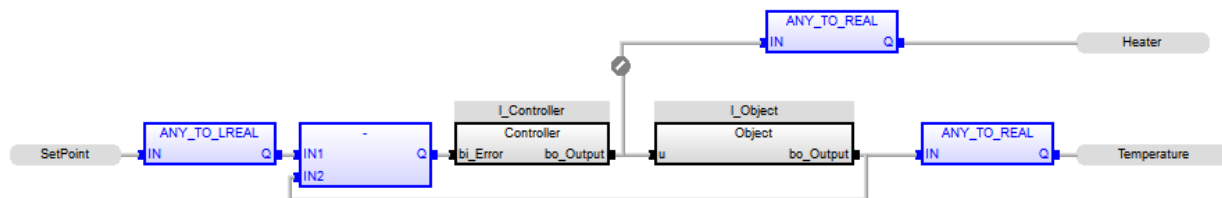


Рисунок 4.9 – Схема об'єкту керування



Рисунок 4.10 – Результат моделювання роботи об'єкту керування

На базі отриманого тексту програми з математичного пакету MATLAB розроблено користувацький функціональний блок ПІД-регулятора - "Control".

Текст програми якого розроблено на мові програмування Structured Text:

```
rtb_Gain_f := LREAL#0.0017 * bi_Error;

TransferFcn_tmp := bi_Error - (LREAL#-0.9932 * TransferFcn_states);

rtb_Sum7 := ((LREAL#6.997 * TransferFcn_tmp) + (LREAL#-6.997 *
TransferFcn_states)) + (bi_Error + Integrator_DSTATE);

rtb_Gain1 := LREAL#3.34 * rtb_Sum7;

IF rtb_Gain1 >= LREAL#60.0 THEN
    bo_Output := LREAL#60.0;
ELSIF rtb_Gain1 > LREAL#0.0 THEN
    bo_Output := rtb_Gain1;
ELSE
    bo_Output := LREAL#0.0;
```

```

END_IF;

IF Memory_PreviousInput THEN
    rtb_Switch := LREAL#0.0;
ELSE
    rtb_Switch := rtb_Gain_f;
END_IF;

IF rtb_Gain1 >= LREAL#60.0 THEN
    rtb_Switch1 := LREAL#60.0;
ELSE
    IF rtb_Gain1 > 0.0 THEN
        rtb_Switch1 := rtb_Gain1;
    ELSE
        rtb_Switch1 := LREAL#0.0;
    END_IF;
END_IF;

rtb_Switch1 := rtb_Gain1 - rtb_Switch1;

IF rtb_Switch1 < 0.0 THEN
    y := LREAL#-1.0;
ELSIF rtb_Switch1 > 0.0 THEN
    y := 1.0;
ELSE
    y := rtb_Switch1;
END_IF;

IF rtb_Gain_f < LREAL#0.0 THEN
    rtb_Gain_f := LREAL#-1.0;
ELSIF rtb_Gain_f > LREAL#0.0 THEN
    rtb_Gain_f := LREAL#1.0;
END_IF;

rtb_Equal1 := y = rtb_Gain_f;

IF rtb_Gain1 < LREAL#0.0 THEN
    rtb_Gain1 := LREAL#-1.0;
ELSIF rtb_Gain1 > LREAL#0.0 THEN
    rtb_Gain1 := LREAL#1.0;
END_IF;

IF rtb_Sum7 < LREAL#0.0 THEN
    rtb_Sum7 := LREAL#-1.0;
ELSIF rtb_Sum7 > LREAL#0.0 THEN
    rtb_Sum7 := LREAL#1.0;
END_IF;

rtb_Equal2 := rtb_Gain1 = rtb_Sum7;

Integrator_DSTATE := (LREAL#0.1 * rtb_Switch) + Integrator_DSTATE;

TransferFcn_states := TransferFcn_tmp;

Memory_PreviousInput := (LREAL#0.0 <> rtb_Switch1) AND ((rtb_Equal1 AND
rtb_Equal2) OR ((NOT rtb_Equal1) AND (NOT rtb_Equal2)));

```

На рис. 4.11 і рис. 4.12 показана схема і результат перевірки роботи системи керування в симуляторі zenon Logic.

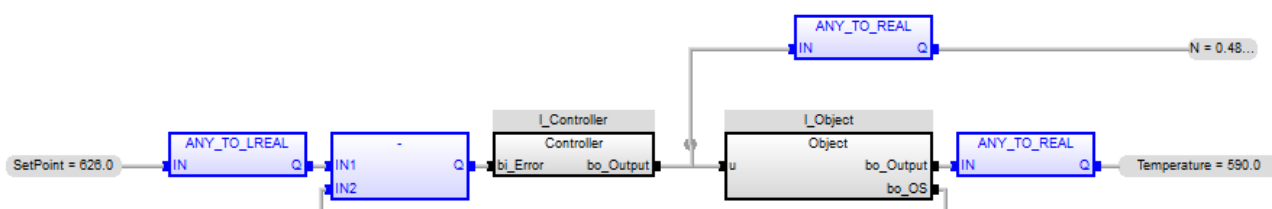


Рисунок 4.11 – Схема системи керування

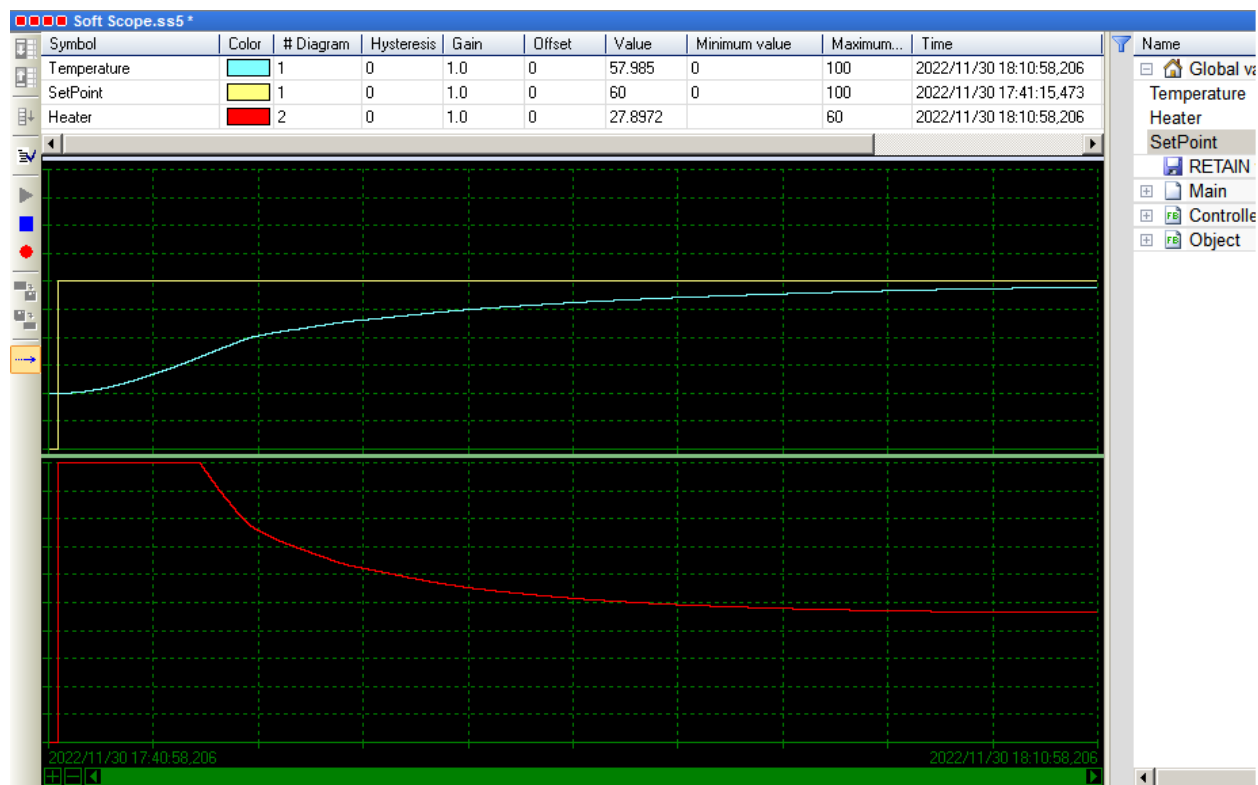


Рисунок 4.12 – Результат моделювання роботи системи керування в симуляторі zenon Logic

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Людино-машинний інтерфейс надає можливість спостерігати за перехідним процесом у реальному часі, зміни параметрів об'єкта керування у реальному часі, отримувати повідомлення у разі якихось непередбачуваних ситуацій під час перехідного процесу. В рамках цієї роботи інтерфейс дає можливість задавати режим прання (уставку температури), спостерігати дійсне значення температури у пральній машині, надає поточну інформацію про потужність нагрівача.

Було створено 2 шаблони для людино-машинного інтерфейсу, один відображає всю основну інформацію, другий призначений для кнопок навігації (рис. 4.13).

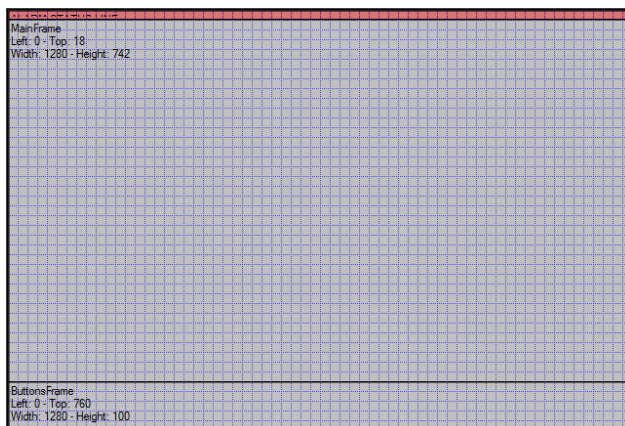


Рисунок 4.13 – Шаблони для людино-машинного інтерфейсу - для основної інформації та для кнопок навігації

Далі було створено кнопки навігації для перезапуску SCADA системи та завершення роботи людино-машинного інтерфейсу (рис. 4.14).

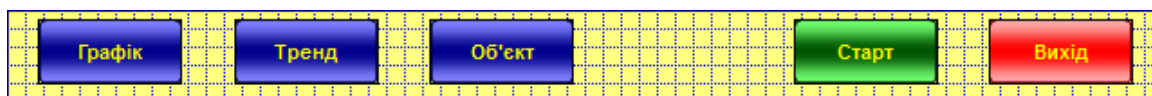


Рисунок 4.14 – Кнопки навігації

Вікно «Графік» призначено для відображення інформації про параметри роботи пральної машини у виносних одиницях у графічному вигляді на протязі 30 хвилинного відрізка часу (рис. 4.15).

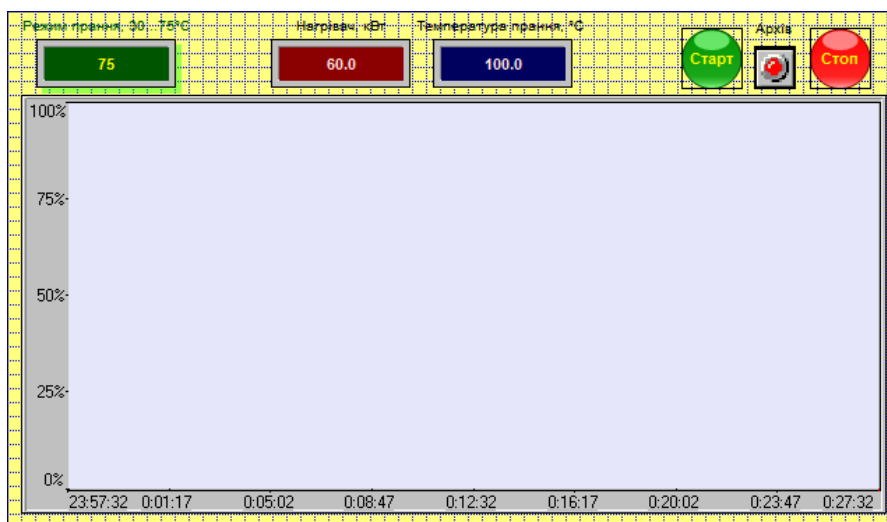


Рисунок 4.15 – Вікно з графіком режиму нагріву пральної машини

Вікно «Тренд» призначено для відображення інформації про параметри роботи пральної машини та «Тренд» у графічному вигляді на протязі 30 хвилинного відрізка часу з виказанням одиниць виміру та шкалою виміру (рис. 4.17).

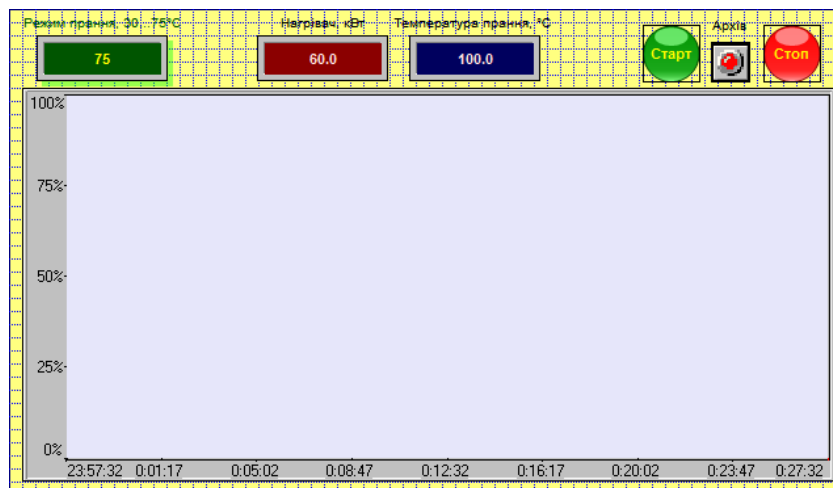


Рисунок 4.17 – Вікно з графіком режиму нагріву пральної машини

Вікно «Технологія» призначено для відображення інформації про параметри роботи пральної машини на структурній схемі системи керування нагрівом у пральній машині (рис. 4.18).

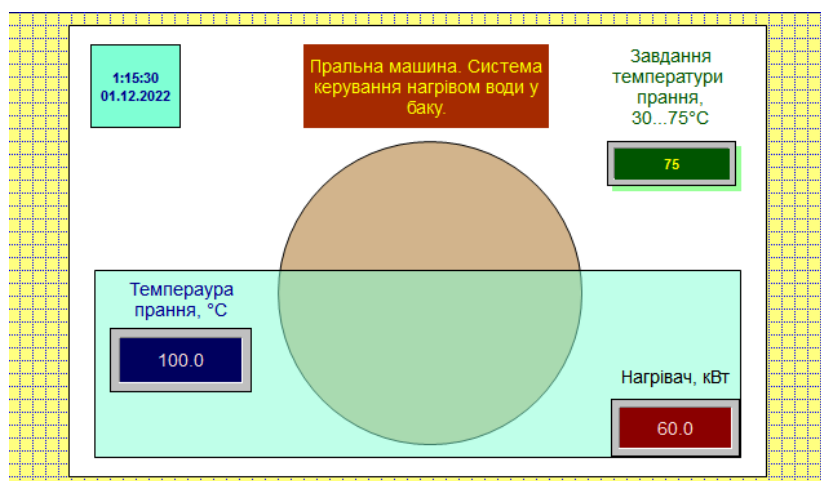


Рисунок 4.18 – Вікно зі структурою системи керування нагрівом у пральній машині

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом завдання режиму прання у 45°C на вхід об'єкта керування (уставки

температури). Після спостережень у часі за змінами режиму нагріву води у пральній машині можна зробити висновок, що об'єкт та регулятор працює адекватно, перерегулювання не перевищує межі допуску у 10%. Усі кнопки виконують свої функції.

На рис. 4.19...рис. 4.21 показані результат роботи системи керування в SCADA system zenon Logic.

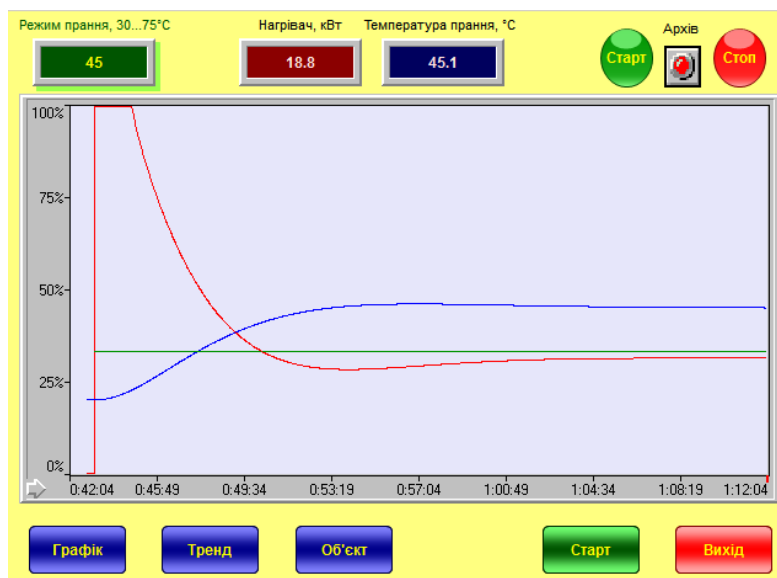


Рисунок 4.19 – Результат моделювання роботи системи керування у вікні «Графік»

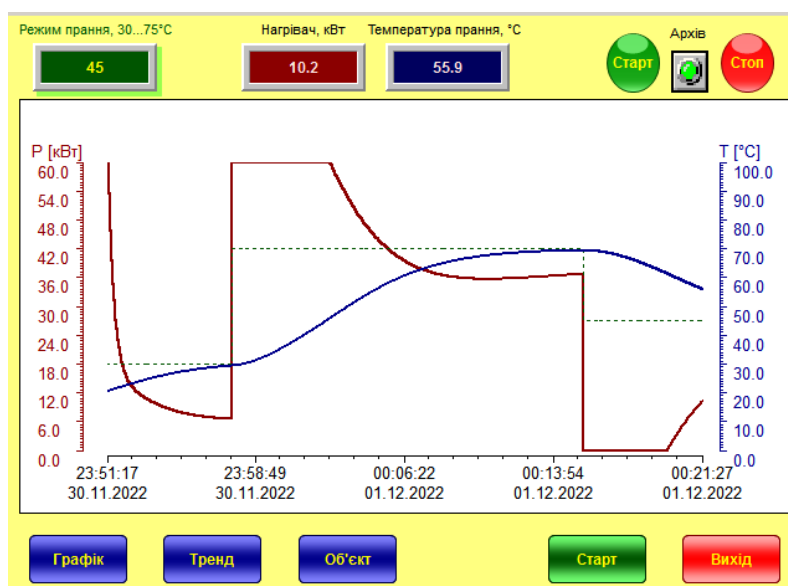


Рисунок 4.20 – Результат моделювання роботи системи керування у вікні «Тренд»

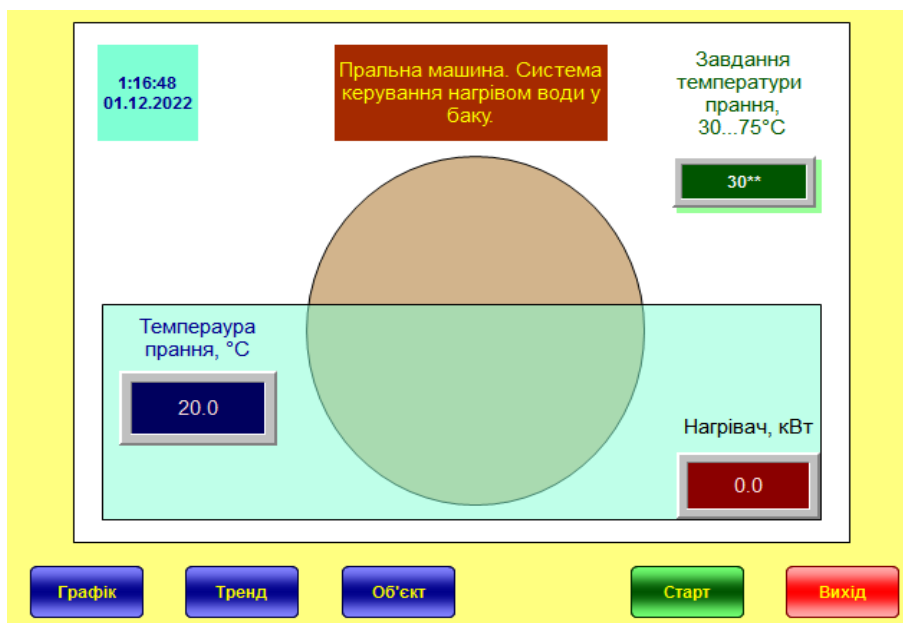


Рисунок 4.21 – Результат моделювання роботи системи керування у вікні «Технологія»

4.5 Висновки по розділу

На основі безперервної моделі системи керування було розроблено цифрову модель системи керування, яку розділено на дві смислові складові - на 2 підсистеми, а саме на систему керування (регулятор) та підсистему об'єкта керування. Далі було імпортовано ці підсистеми у середовище SCADA системи Zenon, то розроблено програмне забезпечення для моделі регулятора та моделі об'єкта керування. Розроблено людино-машинний інтерфейс. Проведено перевірку функціональності роботи системи керування та людино-машинного інтерфейсу.

На підставі вище зазначеного можна зробити висновок, що програмне забезпечення функціонує у відповідності до заданих алгоритмів роботи та забезпечує виконання поставлених завдань забезпечуючи при цьому належну якість керування.

5 ЕКОНОМІКА

5.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у барабані промислової пральної машини

У даному розділі кваліфікаційної роботи виконано економічне обґрунтування доцільності використання системи автоматичного керування промисловою пральною машиною.

Система забезпечує:

- збільшення енергоефективності;
- спостереження процесу прання за допомогою людино-машинного інтерфейсу;
- збереження отриманих даних.

Розрахуємо економічні показники розробки і впровадження даної системи керування.

5.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Розрахуємо капітальні витрати, що пов'язані з виготовленням та впровадженням кіберфізичної системи автоматичного керування температурою води у барабані промислової пральної машини. Визначення проектних капітальних витрат виконується відповідно до:

$$K_{\text{ПКВ}} = C_{\text{ОБ}} + D_{\text{ТР}} + M_{\text{МН}} + K_{\text{ПЗ}}, \quad (5.1)$$

де $K_{\text{ПКВ}}$ – проектні капітальні витрати (грн.);

$C_{\text{ОБ}}$ – вартість основного та допоміжного обладнання (грн.);

$D_{\text{ТР}}$ – транспортно-заготівельні витрати (грн.);

$M_{\text{МН}}$ – витрати на монтаж і налагодження системи (грн.), $K_{\text{ПЗ}}$ – витрати на розробку програмного забезпечення (грн.).

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вартість основного та допоміжного обладнання

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	ПЛК VIPA 214-2BS33	од.	1	23 848,50	23 848,50
2	Модуль лічильника VIPA 250-1BA00	од.	1	23 278,06	23 278,06
3	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40	од.	1	16 454,10	16 454,10
4	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	од.	1	11 715,60	11 715,60
5	Персональний комп'ютер	од.	1	57 937,10	57 937,10
6	Перетворювач Delta VFD210CP4EA-21	од.	1	89 709,10	89 709,10
7	Джерело живлення Autonics DPU 33C150R	од.	1	2 672,80	2 672,80
8	Поплавкий магнітний рівнемір ОВЕН ПДУ	од.	1	6 966,18	6 966,18
9	Датчик ТЄРА ТЖК-У-1-5-J-1-И	од.	1	881,40	881,40
10	Датчик Autonics E40H8-1800-3-N-24	од.	1	7 810,40	7 810,40
11	НМІ-панель Weintek MT8071iE, 7"	од.	1	4 106,70	4 106,70
12	Датчика зачиненого люка XS9C2A2A2M12	од.	1	637,00	637,00
13	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	1	16 776,63	16 776,63
14	Кабель КПВВ-ВП 4x2x0.51	м	100	25,35	2 535,00
15	Програмне забезпечення	од.	1	95 485,00	95 485,00
16	Програмне забезпечення ПЛК	од.	1	84 331,00	84 331,00
17	Персональний комп'ютер	од.	1	53 131,00	53 131,00
18	SCADA система zenon	од.	1	106 451,80	106 451,80
	Разом				580 878,87

Вартість основного та допоміжного обладнання $C_{OB} = 580\,879,87$ грн.

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи визначаються в залежності від вартості обладнання, як 8 % від загальної вартості:

$$D_{TP} = C_{OB} \cdot 0,08. \quad (5.2)$$

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 580\,879,87 \cdot 0,08 = 46\,470,39 \text{ (грн.)}$$

Вартість монтажна-налагоджувальних робіт приймаються на рівні 7 % від вартості обладнання:

$$M_{MH} = C_{OB} \cdot 0,07. \quad (5.3)$$

Витрати на монтажна-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MH} = 580\,879,87 \cdot 0,07 = 40\,661,60 \text{ (грн.)}$$

5.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

5.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення розраховується як:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{OT} + t_g. \quad (5.4)$$

де t – трудомісткість розробки програмного забезпечення (люд.-год.);
 t_o – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання (люд.-год.);
 t_u – витрати праці на дослідження алгоритму керування (люд.-год.);
 t_a – витрати праці на розробку схеми алгоритму (люд.-год.);
 t_n – витрати праці на програмування по готовій схемі алгоритму (люд.-год.);
 t_{OT} – витрати праці на налаштування програмного забезпечення (люд.-год.);
 t_g – витрати праці на підготовку документації по завданню (люд.-год.).

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (5.5)$$

де Q – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні;
 q – кількість операторів у програмному забезпеченні ($q = 245$ виходячи з програмного забезпечення розробленого на мові Structured Text);
 c – коефіцієнт складності програми (приймаємо $c = 1,35$);
 p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (приймаємо $p = 0,1$).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Q = 245 * 1,35 * (1 + 0,1) = 364.$$

Витрат праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають $t_o = 60$ (люд. – год.).

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста як:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \div 85) \cdot k} \quad (5.6)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці (приймаємо $B = 1,5$);

k – коефіцієнт кваліфікації програміста (приймаємо $k = 1,2$).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 364 \cdot 1,5 / (80 \cdot 1,2) \approx 6 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \div 25) \cdot k} \quad (5.7)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 364 / (20 \cdot 1,2) \approx 16 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

$$t_n = \frac{Q}{(4 \div 5) \cdot k} \quad (5.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 364 / (4 \cdot 1,2) \approx 76 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються як:

$$t_g = t_{др} + t_{до}, \quad (5.9)$$

де $t_{др}$ – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;

$t_{до}$ – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{др} = \frac{Q}{(15 \div 20) \cdot k} \quad (5.10)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{др} = 364 / (17 \cdot 1,2) \approx 18 \text{ (люд. – год.)}.$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

$$t_{до} = 0,75 \cdot t_{др}. \quad (5.11)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0,75 \cdot 18 = 14 \text{ (люд. – год.)}.$$

Для розробленого програмного забезпечення витрати праці на підготовку документації по завданню:

$$t_g = 18 + 14 = 32 \text{ (люд. – год.)}.$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 60 + 6 + 16 + 76 + 32 = 348 \text{ (люд. – год.)}.$$

5.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку програмного забезпечення визначається як:

$$K_{пз} = З_{зп} + З_{мі}, \quad (5.12)$$

де $З_{зп}$ – витрати на заробітну плату розробника програмного забезпечення;

$З_{мі}$ – вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми (грн.).

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

$$З_{зп} = t \cdot C_{пр}, \quad (5.13)$$

де $C_{пр}$ – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо $C_{пр} = 115,00$ (грн./год.)).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$З_{зп} = 364 \cdot 115 = 41\,860,00 \text{ (грн.)}.$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$З_{мі} = t_n \cdot C_{мч}, \quad (5.14)$$

де $C_{мч}$ – вартість машинного часу приймаємо $C_{мч} = 18$ (грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$З_{MI} = 76 * 18 = 1\,368,00 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{ПЗ} = 41\,860,00 + 1\,368,00 = 43\,228,00 \text{ (грн.)}.$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \quad (5.15)$$

де T – тривалість розробки програмного забезпечення (міс.), B_k – кількість розробників (приймаємо $B_k = 1$);

F_p – місячний фонд робочого часу (приймаємо $F_p = 176$ (год./міс.).

$$T = 145 / (1 * 176) \approx 0,85 \text{ (міс.)}.$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{П} = 580\,879,87 + 46\,470,39 + 40\,661,60 + 43\,228,00 \\ \approx 711\,239,86 \text{ (грн.)}.$$

Базові проектні капітальні витрати з урахуванням інфляції становитиме приблизно:

$$K_{Б} = 590\,000,00 \text{ (грн.)}.$$

Таким чином, економія на капітальних витратах становитиме:

$$ДК = K_{П} - K_{Б} = 711\,239,86 - 590\,000,00 = 121\,239,86 \text{ (грн.)}.$$

5.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_3 + C_c + C_{PO} + C_{ee} + C_{ІНШ}, \quad (5.16)$$

де C_e – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування (грн.);

C_a – амортизація основних фондів (грн.);

C_3 – заробітна плата обслуговуючого персоналу (грн.); C_c – відрахування на соціальні заходи (грн.);

C_{PO} – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання (грн.);

C_{ee} – вартість електроенергії, $C_{інш}$ – інші витрати.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

5.4.1 Амортизація основних фондів

Залежно від групи, до якої віднесено той, чи інший об'єкт основних засобів, встановлено мінімально-допустимі строки їх амортизації.

Обладнання, розробленої в кваліфікаційній роботі системи керування, належить до 4 групи (машини та обладнання). Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається як:

$$H_a = \frac{2}{T} \cdot 100 \%, \quad (5.17)$$

де H_a – норма амортизації (%), T – термін корисного використання об'єкта (років).

Амортизація основних фондів визначається як:

$$C_a = \frac{ПВ \cdot H_a}{100 \%}, \quad (5.18)$$

де C_a – річна амортизація основних фондів (грн.);

ПВ – первинна вартість (ПВ = $K_{ПКВ}$) (грв).

Отже, норма амортизації для проектової системи керування складає:

$$H_a = \frac{2}{5} \cdot 100 \% = 40 \%.$$

Сума амортизації для проектової і базової системи становить:

$$C_{aП} = 711\,239,86 \cdot 40 / 100 = 284\,495,95 \text{ (грн.)},$$

$$C_{aБ} = 590\,000,00 \cdot 40 / 100 = 236\,000,00 \text{ (грн.)},$$

де $C_{aП}$ – річна амортизація основних фондів проектної системи (грн.);

$C_{aБ}$ – річна амортизація основних фондів базової системи (грн.).

5.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{НР}} = (T_{\text{К}} - T_{\text{ВС}} - T_{\text{В}}) \cdot T_{\text{З}}, \quad (5.19)$$

де $T_{\text{НР}}$ – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника (год.);

$T_{\text{К}}$ – календарний фонд робочого часу ($T_{\text{К}} = 365$ днів);

$T_{\text{ВС}}$ – вихідні дні та свята ($T_{\text{ВС}} = 114$ (днів));

$T_{\text{В}}$ – відпустка ($T_{\text{В}} = 21$ день);

$T_{\text{З}}$ – тривалість зміни ($T_{\text{З}} = 8$ год.).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{НР}} = (365 - 114 - 21) * 8 = 1\,840 \text{ (год.)}.$$

У процесі керування задіяний 1 оператор людино-машинного інтерфейсу, 1 технологи та 1 спеціаліст з електроустаткування. Режим роботи – одна зміна. Після впровадження проектованої системи керування штат персоналу не зміниться, отже заробітна плата і відрахування на соціальні заходи будуть однакові. Розрахунок річного фонду заробітної плати робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	1	112,50	1 840	207 000,00	16 560,00	14 490,00	238 050,00
2	Інженер-технолог	1	125,00		230 000,00	18 400,00	16 100,00	264 500,00
3	Наладчик	1	106,88		196 650,00	15 732,00	13 765,50	226 147,50
Разом								728 697,50

$$C_{\text{ЗП}} = C_{\text{ЗБ}} = 728\,697,50 \text{ (грн.)},$$

де $C_{\text{ЗП}}$ – заробітна плата персоналу проектної системи керування (грн.);

$C_{\text{ЗБ}}$ – заробітна плата персоналу базової системи керування (грн.).

5.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3. \quad (5.20)$$

де $C_{СП}$ – відрахування на соціальні заходи проектної системи керування (грн.);

$C_{СБ}$ – відрахування на соціальні заходи базової системи керування (грн.).

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_{СП} = C_{СБ} = 0,22 \cdot 728\,697,50 = 160\,313,45 \text{ (грн.)}.$$

5.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{РО} = 0,05 \cdot K_{КВ}. \quad (5.21)$$

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{РОП} = 0,05 \cdot 711\,239,86 = 35\,561,00 \text{ (грн.)},$$

$$C_{РОБ} = 0,05 \cdot 590\,000,00 = 29\,500,00 \text{ (грн.)},$$

де $C_{РОП}$ – витрати на технічне обслуговування проектної системи керування (грн.);

$C_{РОБ}$ – витрати на технічне обслуговування базової системи керування (грн.).

5.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{РД} \cdot T_3 \cdot T_e, \quad (5.22)$$

де K_e – кількість електроенергії, спожите проектною системою керування приймаємо $K_e = 0,3 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$, проектною системою керування приймаємо $K_e = 1,2 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$;

$K_{РД}$ – кількість робочих днів у році ($K_{РД} = 251$ день);

T_e – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,26 грн.-кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф $T_e = 2,712$ грн.).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{eeП} = 0,3 * 251 * 8 * 2,712 = 1\,633,71 \text{ (грн.)},$$

$$C_{eeБ} = 1,2 * 251 * 8 * 2,712 = 6\,534,84 \text{ (грн.)},$$

де $C_{eeП}$ – вартість електроенергії споживаної проектною системою керування (грн.);

$C_{eeБ}$ – вартість електроенергії споживаної базовою системою керування (грн.).

5.4.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{ІНШ} = 0,04 \cdot C_3. \quad (5.23)$$

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{ІНШП} = C_{ІНШБ} = 0,04 * 728\,697,50 = 29\,147,90 \text{ (грн.)}.$$

де $C_{ІНШП}$ – інші витрати проектної системи керування (грн.);

$C_{ІНШБ}$ – інші витрати базової системи керування (грн.).

Річні експлуатаційні витрати становлять (5.17), (табл. **Error! Reference source not found.**):

$$C_{П} = 284\,495,95 + 728\,697,50 + 160\,313,45 + 35\,561,00 + 1\,633,71 + 29\,147,90 = 1\,239\,849,51 \text{ (грн.)},$$

$$C_{Б} = 236\,000,00 + 728\,697,50 + 160\,313,45 + 29\,500,00 + 6\,534,84 + 29\,147,90 = 1\,190\,193,69 \text{ (грн.)}.$$

де $C_{П}$ – річні експлуатаційні витрати проектної системи керування (грн.);

C_B – річні експлуатаційні витрати базової системи керування (грн.).

Таблиця 5.3 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Базовий варіант, грн.	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	284 495,95	284 495,95
2	Фонд заробітної плати	728 697,50	728 697,50
3	Відрахування на соціальні виплати	160 313,45	160 313,45
4	Ремонт та технічне обслуговування	29 500,00	35 561,00
5	Електроенергія	6 534,84	1 633,71
6	Інше	29 147,90	29 147,90
7	Загалом	1 190 193,69	1 239 849,51

Таким чином, економія експлуатаційних витрат становитиме:

$$\Delta C = C_{\Pi} - C_B = 1\,239\,849,51 - 1\,190\,193,69 = 49\,655,82 \text{ (грн.)}.$$

5.5 Оцінка економічної ефективності проекту

Основні показники економічної ефективності проектованої системи керування:

– річний економічний ефект:

$$E = \Delta\Pi - \Delta C - \Delta K \cdot E_{\Pi} > 0, \quad (5.24)$$

– економічна ефективність:

$$E_{\Gamma} = \Delta\Pi - \Delta C, \quad (5.25)$$

– термін окупності розробки:

$$T_{OK} = \frac{\Delta K}{E_{\Gamma}}, \quad (5.26)$$

$$E_{\Pi} = \frac{N_{KP} - N_{INF}}{100}, \quad (5.27)$$

де N_{KP} – річна відсоткова ставка (%);

N_{INF} – річний рівень інфляції (%).

В якості нормативного значення прийнято величину банківської кредитної ставки ($N_{KP} = 25\%$) з урахуванням інфляції ($N_{INF} = 20,0\%$), таким чином:

$$E_{\Pi} = \frac{(25,0 - 20,0)}{100} = 0,05,$$

Промислова пральна машина забезпечує прибуток приблизно 10 млн. грн / рік. Автоматизація підвищує рівень прибутку в середньому на 0,5...1,5 % в залежності від обсягів виробництва, таким чином економія буде складати 50 000...150 000 грн. Оберем для подальших розрахунків середній показник прибутку $\Delta\Pi = 100\ 000$ грн.

Річний економічний ефект:

$$E = 100\ 000 - 49\ 655,82 - 0,05 * 121\ 239,86 = 44\ 282,19 \text{ (грн.)}$$

Економічна ефективність:

$$E_{\Gamma} = 100\ 000 - 49\ 655,82 = 50\ 344,18 \text{ (грн.)}$$

Термін окупності розробки:

$$T_{OK} = 49\ 931,38 / 86\ 979,69 = 0,6 \text{ (року)}.$$

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$K_E = \frac{E_{\Gamma}}{\Delta K}, \quad (5.28)$$

де K_E – коефіцієнт ефективності капітальних витрат.

Таким чином, коефіцієнт ефективності капітальних витрат становить:

$$K_E = 50\ 344,18 / 121\ 239,86 = 0,42$$

Отже, при впровадженні системи керування 1 гривня капітальних витрат приносить 0,42 гривні прибутку на рік.

Економічні показники, що характеризують ефективність створення і використання проектної системи керування відображені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Економічні показники

Найменування показників	Од. вимірювання	Показники базового варіанту системи	Показники проектного варіанту системи
Капітальні витрати	грн.	590 000,00	711 239,86
Експлуатаційні витрати, всього	грн.	1 190 193,69	1 239 849,51
В тому числі: - амортизація	грн.	284 495,95	284 495,95
- заробітна плата обслуговуючого персоналу	грн.	728 697,50	728 697,50
- відрахування на соціальні заходи	грн.	160 313,45	160 313,45
- технічне обслуговування та поточний ремонт системи керування	грн.	29 500,00	35 561,00
- вартість споживаної електроенергії	грн.	6 534,84	1 633,71
- інші витрати	грн.	29 147,90	29 147,90
Додатковий прибуток	грн.	-	100 000
Коефіцієнт ефективності			0,42
Термін окупності капітальних вкладень	роки	-	0,6

5.6 Висновки по розділу

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають 712 тис. грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи 1,24 млн. грн. Очікується швидкий термін окупності 0,6 року.

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що впровадження автоматизованої системи керування є економічно доцільно.

6 РОЗДІЛ ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів у промисловій пральні

В даному кваліфікаційній роботі розробляється система автоматизації процесів керування температурою води у барабані промислової пральної машини. Шкідливі фактори та заходи, щодо охорони праці розглядаються для промислової пральні, у якій знаходиться промислова пральна машина.

Промислова пральна розділена на багато зон відповідно до видів робіт:

- зона прийому білизни: це зона, де приймається та розділяється білизна з різних відділів;
- загальний зал: це великий зал, де відбувається збір неvipраного одягу. Крім того, в іншій зоні цього залу відбувається прання, сушіння та прасування;
- зона прання брудної білизни: зона, де забруднена/брудна білизна промивається водою перед перенесенням у зону прання;
- зона прання: місце, де перуть одяг, вона використовується для прання одягу, а також для його дезінфекції;
- зона віджиму білизни: це зона, де вода з vipраного одягу витягується за допомогою машини «гідроекстрактор».
- зона сушіння/розкладання: Є три різні навіси для сушіння одягу на сонці
- кімната для складання: це місце, де складається та розкладається vipраний одяг
- комора: у цій кімнаті vipраний і vipрасуваний одяг збирає персонал операційної (ОТ) і ЦССР.
- секція ремонту: у цій кімнаті зшивається пошкоджений одяг.

У зоні прийому білизни працівники, які займаються підрахунком та розділенням білизни, піддаються потенційному ризику інфікування через контакт шкіри з білизною, забрудненою рідинами організму, та вдихання

аерозолів, що утворюються внаслідок роботи з білизною. мокра білизна. Працівники не постійно носять ЗІЗ.

Під час транспортування брудної білизни із зони прийому до зони прання брудної білизни було встановлено, що одяг і передпліччя працівника контактували з рідинами організму, присутніми на одязі.

На ділянці прання брудної білизни працівники були залучені до полоскання забрудненої білизни (згустки крові, блювотні маси, спинномозкова рідина та фекалії), яка використовується в різних стаціонарних палатах, відділеннях невідкладної допомоги, відділеннях інтенсивної терапії. Тут працівник вручну очищає забруднення, підставляючи білизну проти потужного потоку води. Під час цієї діяльності утворюється багато аерозолів і бризок, які змочують одяг і тіло працівника, а також підлогу. Працівник також піддається впливу фекалій і рідин організму під час перенесення білизни з візка в резервуар для дезінфекції.

Працівники у зоні прання брудної білизни використовували усі відповідні ЗІЗ перед початком процесу прання, за винятком рукавичок. Виявилось, що рукавички не тільки пошкоджені, але й неякісні. Працівник продовжував працювати в тих самих рукавичках, через що руки контактували з рідинами організму (і, отже, з патогенними мікроорганізмами в них).

Працівники мийної зони також піддаються впливу аерозолів, що утворюються під час процесу миття, а також, можливо, через ковтання крапель, які утворюються внаслідок бризок.

В середньому відділення отримує білизну в межах 9000...11000 од./добу. Більшість з них вручну перераховує працівник на приймальному відділі. Помічник ризикує отримати скелетно-м'язову травму м'язів спини, особливо в поперековій області, коли він згинає та розгинає спину, рахуючи білизну, і в плечовому суглобі через повторювані рухи.

У зоні миття працівники мали потенційний ризик падіння. Підлога в цій зоні була слизькою через розлив розчину мильної олії та зливої води. Відповідно журналу реєстрації нещасних випадків один із працівників отримав

перелом стегнової кістки внаслідок падіння в мийній зоні. Це падіння сталося під час завантаження білизни в промислову пральну машину.

Було помічено, що білизна в пральній машині заплуталася після завершення прання, і працівникам було важко її вивантажити. Тут працівник піддається фізичній небезпеці ушкодження опорно-рухового апарату (м'язів руки, грудей і плеча) під час вилучення одягу з машини. Працівники повідомили про травми ліктя та кисті під час удару по поверхнях машини внаслідок ковзання сплутаної мокрої білизни в рукавичках. Тому ніхто з них не використовував рукавиці.

Працівники піддавалися постійному шуму в зоні прання та віджиму білизни. Кришка «гідровитяжної машини» була ослаблена та створювала шум. Щоб зменшити шум, працівники зазвичай тиснуть на кришку руками, що, у свою чергу, наражає їх на небезпеку вібрації.

У зоні розстилання працівник нахиляється, щоб взяти білизну, підняти її над головою та розкласти одяг на нитці. Вони потенційно можуть спричинити розлади опорно-рухового апарату (МСЗ) Працівник на пресовій ділянці піддається небезпеці опіків.

Пральні відділення бере участь у підготовці миючих засобів, порошку та розчину для відбілювання. Контакт з хімічними речовинами триває від 4-6 годин на день. Під час підготовки працівники скаржилися на сильне подразнення та печіння очей, носа, рота, горла та обличчя після діяльності.

Працівники піддаються впливу бавовняного пилу, особливо в зоні збору білизни, швейному відділі та зоні складання. Вони піддаються впливу пилу під час збирання висушеного одягу із зони розкладання та зони складання білизни.

Візок, який використовувався працівником для транспортування білизни від місця зберігання білизни до стійки прийому, був перевантажений, і працівник напружувався, щоб штовхати візок. Вантаж одягу блокував бачення працівника, в результаті чого він нахилявся вбік, щоб візуалізувати шлях. Це робить його схильним до травм опорно-рухового апарату.

Працівники мийних зон (як брудної, так і мийної) працювали у незручній позі або положенні тіла під час перенесення білизни з візка до мийної та навпаки.



Рисунок 6.1 - Зона прийому білизни

Висота гідровідсмоктувачів, що використовуються для сушіння випраної білизни, знаходиться на рівні середини стегна, завдяки чому працівники під час завантаження та розвантаження машини багаторазово згинають і розгинають спину, що призводить до навантаження на поперековий відділ хребта. Вони також більш схильні до болю в попереку та напруги в боці під час витягування сплутаної білизни з екстрактора.

Часто повторювані завдання можуть складатися з швидких і частих високошвидкісних скорочень м'язів. Такі завдання змушують м'язи розвивати меншу напругу, ніж при повільному скороченні, і тому вимагають більше м'язового зусилля та відновлення, ніж менш повторювані завдання. Недостатній час відновлення може сприяти частоті випадків кумулятивних травматологічних розладів і посилювати симптоми опорно-рухового апарату через повторювані завдання. Незручні або стійкі пози можуть становити ризик біомеханічного стресу для тіла, особливо для суглобів верхніх кінцівок і навколишніх м'яких тканин.

Ергономічні фактори ризику в галузі хімчистки в основному виникають серед працівників, які виконують операції пресування, які є динамічними та повторюваними завданнями, що вимагають дотягування, точного захоплення та збереження незручної пози. Ці незручні пози також присутні під час обробки матеріалів, коли можливе підняття важких речей. Крім того, працівники

проводять більшу частину дня стоячи, що створює потенційний ризик для нижніх кінцівок. Дослідження показали, що для повного відновлення після втоми м'язам, які піддаються статичній роботі, потрібно більше ніж у 12 разів довше, ніж початкова тривалість м'язового скорочення.

Ергономічні фактори ризику, пов'язані з прасуванням одягу, оцінюються шляхом вивчення часу та оцінки дизайну робочої станції та антропометрії. Велика кількість повторень/недостатній час відновлення, незручні пози та інші фактори ризику сприяють кумулятивним травмам. Повторюваність і час відновлення оцінюються відповідно до тривалості циклу. Роботи з низьким рівнем повторюваності класифікуються як такі, якщо тривалість циклу перевищує 30 секунд або менше половини часу циклу, залученого для виконання такого ж завдання. Роботи з високим рівнем повторюваності - це роботи з тривалістю циклу менше 30 с або більше половини циклу, присвяченого подібним завданням.

У пральні за допомогою розчинників на основі нафти суттєво відрізняється від хімчистки за допомогою PERC. Різниця виходить за рамки того факту, що розчинники на основі нафти легкозаймисті, а PERC – ні. Однак, коли розглядають небезпеку для здоров'я та безпеки розчинників на основі нафти, горючість є найважливішою властивістю.

Займистість розчинників на основі нафти. - Приблизно 10 % магазинів хімчисток використовують традиційні розчинники на основі нафти, такі як розчинник Stoddard/мінеральний спирт. Усі ці розчинники є легкозаймистими або горючими рідинами. Мінеральний спирт - горюча рідина класу II з температурою спалаху 49°C (120°F). Його нижня межа вибуховості становить 0,7 %.

Вплив продуктів згоряння становить численні небезпеки для людини. Найпомітнішими серед них є вплив тепла, погіршення зору через щільність диму або подразнення очей, наркоз від вдихання задушливих речовин і подразнення верхніх або нижніх дихальних шляхів. Ці ефекти часто виникають одночасно під час пожежі та можуть сприяти фізичній непрацездатності, втраті

рухової координації, неправильному судженню, дезорієнтації, обмеженню зору та паніці. Дим і гази є причиною приблизно 70% смертей під час пожежі.

Чадний газ, як правило, є найпоширенішим токсичним газом, який утворюється під час пожежі. Оксид вуглецю утворюється під час випадкової пожежі, коли частина вуглецю, присутнього в органічних матеріалах, не повністю окислюється. Через велику кількість текстилю, присутнього в цехах хімічистки, утворення ціаніду водню є ще однією причиною для занепокоєння під час пожежі. Ціаністий водень виробляється із горіння матеріалів, що містять азот. Азот присутній у природних і синтетичних матеріалах, таких як вовна, шовк, акрилонітрильні полімери та нейлон. Ціаністий водень є швидкодіючим токсикантом, який приблизно в 20 разів токсичніший за чадний газ.

Оскільки працівники сортують білизну, здоров'я та безпека є головними проблемами. Вони можуть контактувати з предметами, які були забруднені сечею, кров'ю, слиною та іншими рідинами організму. Небезпеки під час прання також включають голки, скальпелі та інші гострі предмети, випадково змішані із забрудненою білизною з медичних установ. Працівники пралень повинні завжди надягати рукавички під час роботи із забрудненими речами, оскільки рукавички зменшують ризик впливу шкідливих організмів. Також рекомендуємо працівникам пралень розуміти основні протоколи боротьби з патогенними мікроорганізмами, що передаються через кров, і навчитися захищати себе від потенційних наслідків роботи з білизною, забрудненою рідинами організму. Патогени, що передаються через кров, - це крихітні організми, які викликають такі захворювання, як гепатит і ВІЛ.

Працівники промислових пралень можуть піддаватися впливу бензолу, етиленгліколю та інших хімічних речовин, які підвищують ризик професійних захворювань. Носіння рукавичок захистить працівників від контакту зі шкірою, але ці хімікати також можуть потрапити в дихальні шляхи під час вдихання. Роботодавці повинні забезпечити респіраторні маски для захисту працівників від такого типу впливу. Працівники також повинні носити захисні окуляри та

захисний одяг, якщо це необхідно. Це захисне спорядження допомагає запобігти травмам очей і шкірі.

Деякі машини, що використовуються для промислових прань, виділяють тепло і підвищують вологість на робочому місці. Роботодавці повинні встановити захисні огороження на лініях гарячої води та поверхнях машин, щоб зменшити ризик опіків. Працівники пралень повинні захистити себе від впливу тепла, одягнувши одяг з легких тканин; робити додаткові перерви при роботі в сильну спеку; і уникати одягу з синтетичних тканин. Також рекомендуємо випивати приблизно одну чашку води кожні 15...20 хв. під час роботи в сильну спеку.

Промислові пральні машини містять рухомі частини, які можуть спричинити серйозні травми. Співробітники повинні проводити регулярні перевірки, щоб переконатися, що всі машини в робочому стані. Якщо машина потребує технічного обслуговування або ремонту, працівники повинні від'єднати машину від джерела живлення та встановити попереджувальний пристрій, який повідомляє іншим працівникам, що їм не слід працювати з машиною, доки попередження не буде знято. Роботодавці повинні встановлювати захисні пристрої для захисту працівників від іскор, частин, що обертаються, та інших небезпек. Створення контрольного списку безпеки прання та перевірки може допомогти машинам залишатися в найкращому робочому стані та гарантувати, що кожна зміна розуміє, на які проблеми безпеки слід звернути увагу.

6.2 Вимоги охорони праці перед початком роботи

Надіти засоби індивідуального захисту, халат застібнути на всі гудзики, волосся сховати під головний убір. Упевнитися в наявності дерев'яної решітки та діелектричного килимка на підлозі біля пральної машини.

Упевнитися в справному стані обладнання, заземлюючих пристроїв, при виявленні дефектів – терміново доповісти прямого керівника. Провести

перевірку на справність та ефективність роботи припливно-витяжної вентиляції.

Прибрати з робочого місця сторонні предмети. Пральна машина повинна стояти на рівній поверхні. При невеликих нерівностях, положення пральної машини можна відрегулювати, змінюючи висоту ніжок. Перевірити, щоб шланги і шнур живлення пральної машини не перетинались, з'єднання з водопроводом і вентилі не пропускали воду. Упевнитися в тому, що замок кришки внутрішнього барабана і зовнішнього люка (дверцята) надійно закриваються, виключити можливість їх самовільного відкриття. Заборонено включати пральну машину в мережу через перехідники і подовжувачі, так як це може спричинити перегрів і загоряння.

Перед пранням необхідно переконатися, що сторонні предмети з кишень спецодягу, який здали у прання, не потрапили в барабан. Підодіяльники й наволочки рекомендується вивернути навиворіт. Кількість білизни не повинна перевищувати максимальну норму завантаження пральної машини, зазначеної в технічній документації.

Необхідно впевнитися в тому, що спускові клапани пральної машини забезпечать швидкий злив рідини до каналізації, виключаючи можливість попадання її на підлогу в області роботи.

6.3 Особливості оцінки ризику під час роботи з хімічними речовинами

Оцінку ризику виникнення професійних захворювань (пневмоконіозів, пилових бронхітів, хімічних опіків (дерматитів), онкологічних захворювань та ін.) від дії різноманітних шкідливих (хімічних) речовин, що погіршують здоров'я працівників, можна провести за допомогою рекомендацій, наведених у Медико-санітарних правилах за контролем небезпечних речовин (COSHH – Control of Substances Hazardous to Health), затверджених у 2002 р. у Великобританії. Процедура передбачає визначення наслідків для здоров'я через потенційний вплив хімічних речовин, оцінку ризику та обґрунтування

адекватного рівня захисту. Зауважено, що не оцінюється вплив свинцю та радіоактивних речовин. Крім того, цей підхід може застосовуватися для обґрунтування вибору засобів індивідуального захисту.

Процедура передбачає п'ять кроків (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 - Опис кроків для оцінки ризику під час роботи з хімічними речовинами

Крок	Назва	Опис
1	Класифікація небезпеки	Проводимо відповідно до R-фрази або класифікації GHS: відносимо речовини до групи небезпеки <i>A (низька небезпека), B, C, D (висока небезпека)</i> та/або <i>S (небезпека для шкіри)</i>
2	Визначення фізичних властивостей хімічних речовин	Найчастіше використовують шкалу для оцінки запиленості: незначний, помірний, високий рівень
3	Оцінка потрапляння рідких речовин у повітря робочої зони	Визначення летючості хімічної речовини залежно від температури кипіння і температури під час технологічного процесу, концентрації та інших параметрів. Також використовують просту шкалу: незначний, помірний, високий рівень
4	Визначення ризику і запобіжних заходів	Обґрунтування запобіжних заходів, виходячи з рівня ризику і гранично допустимої концентрації
5	Контроль і моніторинг	Визначення концентрацій небезпечних речовин і постійний їх моніторинг для відстежування перевищення

Зауважимо, що оцінка згідно з COSHH Essentials не передбачає встановлення експозиції поглинання небезпечної речовини людиною, але все-таки дає змогу обґрунтувати запобіжні заходи для захисту працівників. Для проведення оцінки бажано знайти відповіді на запитання щодо наслідків дії хімічної речовини на здоров'я працівників (у який спосіб потрапляє в організм людини: через дихальні шляхи, кишківник, унаслідок контакту зі шкірою); чи виникають у процесі виробництва шкідливі пари, туман чи дим, тривалість виробничого процесу. Потрібно звернути увагу на тривалість перебування в робочій зоні, яка кількість хімічної речовини використовується, її токсичність. Також може знадобитися інформація про стаж роботи працівника, кількість робочих змін, про особливості його легеневої вентиляції. Для ідентифікації хімічних речовин використовують піктограми.

6.3.1 Визначення небезпеки для людини від взаємодії з хімічною речовиною

Базується на Директиві Європейського Союзу 67/548/ЕЕС, згідно з якою всі шкідливі речовини поділяються на п'ять груп – від А до Е, виходячи з характеристик небезпеки хімічної речовини (R-фази чи H-фази), яка визначається відповідно до Правил про хімічні речовини (інформація про небезпеки і упаковка до транспортування) (The Chemicals (Hazard Information and Packaging for Supply) Regulations (CHIP)).

У табл. 6.3 наведено діапазон розподілу хімічних речовин за класами небезпеки за R-фазою та H-фазою. Також береться до уваги відношення поглиненої дози до безпечної в цільовій зоні впливу. Вважають, що, якщо отримане співвідношення перевищує одиницю, це спричинює несприятливі наслідки для здоров'я працівників. Однак цей підхід не описаний у COSHH Essentials докладно, і для його застосування потрібна консультація фахівців.

Таблиця 6.2 - Піктограми хімічних речовин

	Вибухонебезпечні речовини	Вибухові речовини, суміші та предмети, зокрема вироблені для створення практичного вибухового або піротехнічного ефекту		Вогненебезпечні речовини	Займистими вважаються гази, які мають певний діапазон займистості з повітрям при 20°C і 101,3 кПа
	Окислювальні речовини	Окисниками вважаються речовини, які підтримують горіння інших речовин за рахунок виділення кисню		Стиснений газ	До цієї категорії належать стиснуті, зріджені, розчинені та охолоджені скраплені гази
	Небезпечні і хімічні речовини	Речовини, які завдають шкоду здоров'ю		Їдкі речовини	Речовини, які роз'їдають ушкоджують шкіру
	Сильнодіючі отруйні речовини	Речовини і суміші з різною токсичною дією на конкретні органи або хронічною шкідливою дією		Токсичні речовини	Хімічні речовини, що викликають смерть у разі ковтання, вдихання або поглинання через шкіру
	Екологічні небезпеки	Речовини, які мають гострий або довгостроковий негативний вплив на організми		Біологічна небезпека	

Таблиця 6.3 - Розподіл хімічних речовин за групами небезпеки за R-фазою /H-фазою

Група небезпеки	Тип аерозолю	Концентрація, мг/м ³	Одиниці вимірювання	R-фаза	H-фаза
A	Пил	> 1 до 10	мг/м ³	R36, R38 та R-фази, які не ввійшли до інших груп	H303, H304, H305, H313, H315, H316, H318, H319, H320, H333, H336
	Газ	> 50 до 500	ppm		
B	Пил	> 0,1 до 1	мг/м ³	R20/21/22 і R68/20/21/22	H302, H312, H332, H371
	Газ	> 5 до 50	ppm		
C	Пил	> 0,01 до 0,1	мг/м ³	R23/24/25, R34, R35, R37, R39/23/24/25, R41, R43, R48/20/21 R68/23/24/25	H301, H311, H314, H317, H318, H331, H335, H370, H373
	Газ	> 0,5 до 5	ppm		
D	Пил	< 0,01	мг/м ³	R26/27/28, R60, R40 R39/26/27/28, R63 R61, R48/23/24/25, R62, R64	H300, H310, H330, H351, H360, H361, H362, H372
	Газ	< 0,5	ppm		
E	Пил		мг/м ³	R42, R45, R46, R49, R68	H334, H340, H341, H350
	Газ		ppm		

6.3.2 Визначення рівня ризику при роботі з твердими хімічними речовинами.

Передбачає оцінку ризику, виходячи з утворення (виділення) пилових частинок під час переробки (взаємодії) з твердими хімічними речовинами за трьома рівнями (низький, помірний, високий) (табл. 6.4).

Таблиця 6.4 - Ранжування ризику перетворення твердих речовин на пил

Рівень ризику утворення пилу	Опис
Незначний	Нерозсіпчасті тверді речовини (пелети), під час роботи з ними пил майже не утворюється і візуально не спостерігається. Наприклад, пелети ПВХ
Помірний	Кристалічні, гранульовані тверді речовини, які під час їх використання утворюють пил, який швидко осідає та залишає на робочій поверхні забруднювальний шар. Наприклад, пральний порошок, цукор-порошок
Високий	Дрібні легкі порошки, під час використання яких утворюється пилова хмара, яка залишається в повітрі протягом деякого часу. Наприклад, цемент, діоксид титану, тонер для копіювального апарата

6.3.3 Визначення рівня ризику при роботі з рідкими хімічними речовинами

Передбачає оцінку ризику, виходячи з летючості хімічних речовин, залежно від точки кипіння та температури використання (табл. 6.5).

Таблиця 6.5 - Ранжування ризику за летючістю рідких речовин

Летючість (перетворення в газоподібний стан)	За кімнатної температури	За інших робочих температур процесу (Тп)	Тиск пари
Низька	Точка кипіння більше ніж 150 ⁰ С	Точка кипіння більше ніж 5•Тп + 50	Менше ніж 0,5 кПа
Середня	Температура кипіння від 50 до 150 ⁰ С	Інші точки кипіння	0,5–0,25 кПа
Висока	Точка кипіння менше ніж 50 ⁰ С	Точка кипіння менше ніж 2•Тп + 10	Більше ніж 0,25 кПа

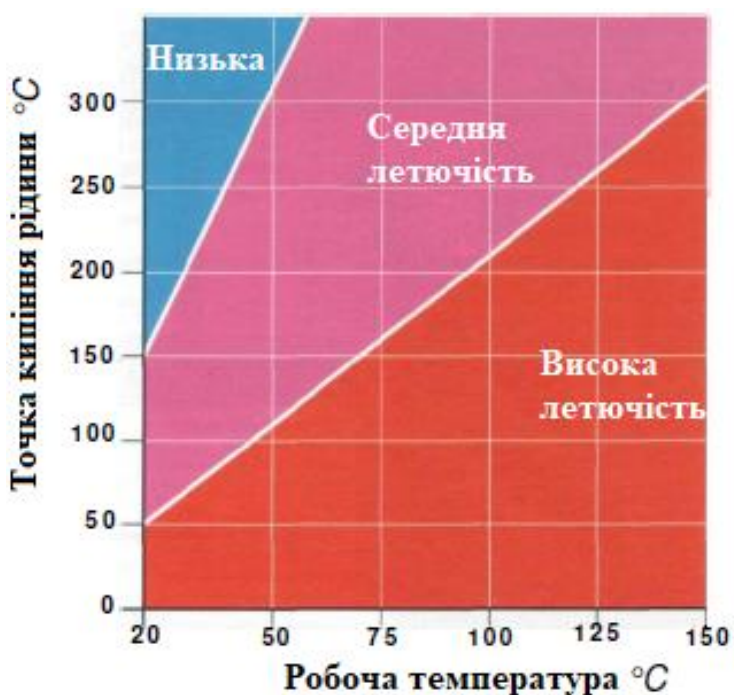


Рисунок 6.2 - Діаграма летючості рідин залежно від температури кипіння і температури процесу

Значна кількість необхідної інформації міститься в паспорті безпеки хімічної продукції (SDS/MSDS), інформаційних листках, в яких виробник наводить дані щодо хімічної речовини відповідно до Регламенту реєстрації, оцінки, дозволів і обмеження на використання хімічних речовин (Registration,

Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals Regulations (REACH). REACH передбачає ідентифікацію речовини та зазначення небезпеки, яку вона становить, захисні заходи, дії в аварійних ситуаціях, фізичні/хімічні властивості речовини тощо. За даними із зазначених документів доцільно визначати шкоду від хімічних речовин для організму людини.

Для оцінки ризику також необхідно розуміти, з якою кількістю хімічної речовини контактує працівник (табл. 6.6).

Таблиця 6.6 - Визначення кількості використовуваної хімічної речовини

Кількість хімічної речовини, що застосовується	Опис
Невелика	Грами або мілілітри (до 1 кг для твердих речовин або 1 л для рідин)
Середня	Кілограми або літри (розмір партії від 1 до 1000 кг для твердих речовин і від 2,5 до 1000 л для рідин)
Значна	Тонни або кубічні метри (розмір партії понад 1 тону для твердих речовин і 1 м ³ для рідин)

6.3.4 Визначення ризику і запобіжних заходів

Результати попередніх оцінок вносять у **табл. 6**, в якій наведено номер запобіжних заходів відповідно до рівня ризику, визначеного залежно від класифікації небезпеки, фізичних властивостей та кількості використовуваної хімічної речовини. Чотири рівні запобіжних заходів, які рекомендовано застосовувати для зменшення ризику виникнення травмування чи професійного захворювання, наведено в **табл. 6.7**.

Таблиця 6.7 - Рекомендації щодо вибору запобіжних заходів

Група небезпеки	Кількість використання	Фізичні властивості твердих і рідких хімічних речовин (виділення пилю, летючість)			
		Незначне утворення пилю/низька летючість	Середня летючість	Помірне утворення пилю	Висока кількість утворення пилю/висока летючість
А (подразник)	Невелика	1	1	1	1
	Середня	1	1	1	2
	Значна	1	1	2	2
В (шкідливий вплив)	Невелика	1	1	1	1
	Середня	1	2	2	2
	Значна	1	2	3	3
С (токсичний вплив)	Невелика	1	2	1	2
	Середня	2	3	3	3
	Значна	2	4	4	4
D (вплив на репродуктивну функцію)	Невелика	2	3	2	3
	Середня	3	4	4	4
	Значна	3	4	4	4
Е (викликає рак, астму інші складні захворювання)		Застосовують запобіжні заходи 4-го рівня			

Таблиця 6.8 - Розподіл запобіжних заходів

Рівень захисту	Тип запобіжного заходу	Ефективність	Опис
1	Загальна вентиляція	1	Використовується штучна система вентиляції для зменшення кількості шкідливих речовин до безпечного рівня, за рахунок подачі необхідної кількості чистого повітря в приміщення. Визначається і контролюється обсяг і швидкість повітряного потоку
2	Місцева витяжна вентиляція	Не нижче ніж 10 ГДК (гранично допустима концентрація)	Використовується місцева витяжна вентиляція, яка забезпечує очищення повітря в певній точці приміщення. Визначається швидкість всмоктування та потужність установки
3	Герметичні системи	Не нижче ніж 100 ГДК	Використовуються герметичні ізольовані системи, які забезпечують уникнення потрапляння шкідливих речовин у повітря робочої зони
4	Спеціальні системи захисту	-	Вибір спеціальних заходів захисту проводять з огляду на умови праці та поставлені завдання за допомогою експертних рішень

6.3.5 Контроль і моніторинг

Останній крок передбачає перевірку ефективності вибраних запобіжних заходів та за потреби внесення відповідних корегувань для зменшення рівня небезпеки. Рівні залишкової концентрації пилу та летючості хімічних речовин після застосування запобіжних заходів для твердих речовин наведено в табл. 6.8, для рідких – у табл. 6.9.

Таблиця 6.8 - Контрольні рівні концентрації пилу, яких має бути досягнуто в разі застосування запобіжних заходів, виходячи з кількості використовуваної хімічної речовини

Кількість хімічної речовини, що застосовується	Рівні концентрації пилу (мг/м ³) у разі застосування запобіжних заходів відповідного типу		
	1	2	3
Значна	0,01–0,1	0,001–0,01	< 0,001
Середня	0,1–1	0,01–0,1	0,001–0,01
Незначна	1–10	0,1–1	0,01–0,1

Таблиця 6.9 Контрольні рівні летючості, яких має бути досягнуто в разі застосування запобіжних заходів, виходячи з кількості використовуваної хімічної речовини

Кількість хімічної речовини, що застосовується	Рівні концентрації пилу (ppm) у разі застосування запобіжних заходів відповідного типу		
	1	2	3
Значна	< 5	<0,5	<0,05
Середня	5–50	0,5–5	0,05–0,5
Незначна	50–500	5–50	0,5–5

Відповідно до статті 8 Закону України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ на роботах зі шкідливими або небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненнями або несприятливими метеорологічними умовами, працівникам видаються безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також мийні та знешкоджувальні засоби. Наказом Мінсоцполітики від 29.11.2018 № 1804 затверджено Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці, відповідно до яких вибір ЗІЗ повинен проводитися

виходячи з оцінки ризиків. ЗІЗ мають відповідати вимогам Технічного регламенту засобів індивідуального захисту щодо безпеки та стандартам стосовно конструкції і виготовлення.

Для проведення оцінки ризиків при роботі з хімічними речовинами можна скористатись рекомендаціями, наведеними у Медико-санітарних правилах за контролем небезпечних речовин (COSHH – Control of Substances Hazardous to Health), затверджених у 2002 році у Великобританії. Всі шкідливі речовини поділяються на п'ять груп – від А до Е, виходячи з характеристик небезпеки хімічної речовини (R-фази чи H-фази), яка визначається відповідно до Правил про хімічні речовини (інформація про безпеки і упаковка до транспортування) (The Chemicals (Hazard Information and Packaging for Supply) Regulations (CHIP). Однак, у загальному алгоритмі COSHH Essentials немає пояснень щодо обґрунтування використання ЗІЗОД. Водночас є певна спрощена процедура вибору ступеня захисту газо-пилозахисних ЗІЗОД, яка надана експертами-гігієністами на основі співвіднесення з групами небезпеки та взаємозв'язку з визначеною межею небезпечних концентрацій хімічних речовин. Відповідно до типу хімічної речовини можна підібрати відповідний клас фільтра (А, В, Е, К та інші), який забезпечить належний рівень захисту. Важливим моментом є визначення строку захисної дії ЗІЗОД. Для його визначення рекомендовано скористатися або графіком заміни засобу захисту, наданим виробником (розробляється відповідно до вихідної концентрації та умов праці, кліматичних параметрів та інших показників), або спеціальними програмами.

Схожий підхід застосовується і для визначення засобів захисту шкіри з урахуванням виду діяльності працівників (захист від можливого осідання бризок, нанесення аерозолю, у разі звичайного контакту із забрудненими поверхнями). Тобто для вибору захисного одягу та захисних рукавичок важливо зрозуміти діапазон небезпек, який також визначається за R-фазою. Також можна скористатися певними рекомендаціями для вибору захисних рукавичок залежно від хімічної речовини. Також можна скористатись

інфографікою для вибору матеріалу захисних рукавичок, виходячи із забезпечення ними найкращої хімічної стійкості.

6.4 Рекомендації щодо вибору ЗІЗОД при роботі з хімічними речовинами

Після запровадження запобіжних заходів виникає необхідність контролю ефективності їх роботи, який передбачає забезпечення періодичного відбору проб повітря, різноманітні перевірки працездатності засобів колективного (вентиляції) та індивідуального захисту. Крім того, потрібно також організувати медичні огляди працівників. Ця процедура передбачає необхідність постійного перегляду оцінки ризиків, оскільки з часом відбуваються різноманітні зміни в технологічному процесі, з'являються нові хімічні речовини, змінюється законодавство тощо.

Таблиця 6.10 - Рекомендації щодо вибору ЗІЗОД

Група безпеки	Кількість використання хімічної речовини	Рекомендації щодо ступеня захисту фільтрувальних газо-пилозахисних ЗІЗОД відповідно до фізичних властивостей твердих і рідких хімічних речовин (виділення пилу, летючість)			
		Незначне утворення пилу/низька летючість	Середня летючість	Помірне утворення пилу	Висока кількість утворення пилу/висока летючість
А	Невелика	-	-	-	-
	Середня	-	-	-	2
	Значна	1	2	2	3
В	Невелика	-	-	1	1
	Середня	-	2	2	3
	Значна	2	2	3	Автономний дихальний апарат
С	Невелика	-	2	1	2
	Середня	2	3	2	3
	Значна	3	3	Автономний дихальний апарат	Автономний дихальний апарат
D	Невелика	2	2	3	Автономний дихальний апарат
	Середня	3	3	Автономний дихальний апарат	Автономний дихальний апарат
	Значна	3	Автономний дихальний апарат	Автономний дихальний апарат	Автономний дихальний апарат
Е	Невелика	2	3	Автономний дихальний апарат	Автономний дихальний апарат
	Середня	3	Автономний дихальний апарат	Автономний дихальний апарат	Автономний дихальний апарат
	Значна	3	Автономний дихальний апарат	Автономний дихальний апарат	Автономний дихальний апарат

Таблиця 6.11 - Класи захисту протигазових фільтрів для респіраторів

Марка фільтра, колір	Призначення	Ефективність фільтрів		
		низька	середня	висока
А	Захист від органічних газів і парів з температурою кипіння вище 65°C	А1	А2	А3
В	Захист від неорганічних газів і парів, за винятком оксиду вуглецю	В1	В2	В3
Е	Захист від діоксиду сірки та інші кислих газів і парів	Е1	Е2	Е3
К	Захист від аміаку і його органічних похідних	К1	К2	К3

Підводячи підсумок проведеної роботи зазначимо, що роботодавець несе повну відповідальність за правильний вибір обслуговування і застосування ЗІЗОД, а також за правильне і своєчасне їх використання на робочому місці.

6.5 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях

В аварійних (екстремальних) ситуаціях необхідно:

- у разі пожежі – евакуювати присутніх у приміщенні людей, викликати пожежну охорону за телефоном 101, доповісти про подію безпосередньому керівникові, вжити усіх необхідних заходів з ліквідації пожежі наявними засобами пожежогасіння;
- у разі виходу з ладу пральної машини або її пошкодження – відключити машину від електромережі, припинити роботу та доповісти про подію безпосередньому керівникові;
- у разі появи стороннього шуму, запаху горілого, диму, іскріння, відключення електричної енергії, слід негайно зупинити роботу пральної машини і не приступати до виконання робіт до повного усунення несправності або заміни обладнання на нове;
- у разі аварії або мимовільної зупинки обладнання – негайно вимкнути
- пральну машину з електромережі.

Роботу пральної машини слід припинити:

- у разі будь-якої несправності, виходу з ладу контрольних приладів і засобів автоматики;
- у випадку несправності запобіжно-блокувальних пристроїв;
- у разі несправності або відсутності захисного занулення (заземлення);
- якщо несправні чи в неповній кількості кріпильні деталі барабанів, кришки пральної машини;
- при несподіваній появі на корпусі устаткування відчутного електричного струму;
- при виникненні пожежі.

При нещасному випадку:

- при отриманні травми, скориставшись медичною аптечкою, надати собі першу долікарську допомогу, звернутися до медичного пункту та поставити до відома безпосереднього керівника;
- при отриманні травм іншим працівником, негайно вжити всіх заходів щодо запобігання впливу травмуючих чинників на потерпілого та надання потерпілому першої долікарської допомоги, викликати на місце події медпрацівників або викликати «швидку медичну допомогу»;
- доповісти про подію керівникові (за його відсутності - іншій посадовій особі), забезпечити збереження обставин до початку розслідування, якщо це не несе загрози життю та здоров'ю людей.

У разі погіршення самопочуття, появи різі в очах, різкому погіршенні видимості, неможливості сфокусувати погляд або навести його на різкість, появі болю в пальцях і кистях рук, посиленні серцебиття, негайно вимкнути пральну машину, залишити робоче місце, звернутися до медичного пункту та повідомити про випадок безпосереднього керівника.

Інструкція з охорони праці при роботі з пральною машиною вимагає, щоб про кожний нещасний випадок або аварію, потерпілий або очевидець

зобов'язаний негайно сповістити свого безпосереднього керівника (у разі відсутності – іншу посадову особу закладу).

6.6 Висновки за розділом

В розділі охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях детально розглянуті наступні питання:

- аналіз шкідливих та небезпечних факторів у промисловій пральні ;
- вимоги охорони праці перед початком роботи;
- особливості оцінки ризику під час роботи з хімічними речовинами;
- рекомендації щодо вибору ЗІЗОД при роботі з хімічними речовинами;
- вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – бар'єрна пральна машина. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування машиною, завданням керування якої є забезпечення заданого рівня температури води у барабані. Предметом дослідження є закономірності процесу керування температурою води в пральній машині.

Процес нагрівання води в барабані є дуже енерговитратним, а пральна машина через це є одним з найбільших споживачів електроенергії. І якщо здійснювати одну з головних функцій системи енергетичного менеджменту, що передбачає розподіл електроенергії між споживачами, то пральна машина має бути адаптована під сумісну роботу з системою енергетичного менеджменту, що є одною з систем розумного будинку.

Отже, необхідно обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування за умови присутності динамічна змінюваного обмеження за керуючим впливом. Після цього потрібно дослідити залежність критеріїв якості керування від параметрів запропонованого алгоритму керування, та визначити такі параметри алгоритму, які забезпечують оптимальні критерії якості автоматичного керування температурою води в барабані пральної машини в умовах обмеженого енергоресурсу.

За результатами обробки експериментальних даних маємо досить простий за своїми статичними й динамічними властивостями об'єкт автоматичного керування другого порядку з від'ємними дійсними коренями характеристичного рівняння з лінійною статичною характеристикою та без транспортного запізнення.

Дослідження показали, що класичний ПД-регулятор з обмеженням діапазону зміни значень вихідного сигналу та захистом від перенасичення його інтегральної складової, налаштований з використанням комп'ютеризованого методу синтезу системи керування, може коректно відпрацьовувати зміну

уставки води за умови змінного обмеження щодо керуючого сигналу через зміну системою енергетичного менеджменту тактики розподілу потужності.

Але, в роботі ПІД-регулятора можна виділити наступні недоліки, через які його робота сумісно з системою енергетичного менеджменту значно ускладнюється:

- наявність часових інтервалів, де керуючий сигнал змінюється безперервно, що ускладнює використання цього споживача електроенергії сумісно з іншими споживачами з точки зору вироблення певної тактики розподілу потужності, оскільки багато споживачів є за характером споживання електроенергії дискретними об'єктами;

- немає можливості спрогнозувати час, протягом якого буде мати місце незмінний рівень споживаної потужності, оскільки сам алгоритм формування керуючого впливу в ПІД-регуляторі це не передбачає.

Тож, потрібний інший інноваційний підхід щодо синтезу системи автоматичного керування температурою води у пральній машині, в якому будуть усунуті перелічені недоліки.

На основі безперервної моделі системи керування було розроблено цифрову модель системи керування, яку розділено на дві смислові складові - на 2 підсистеми, а саме на систему керування (регулятор) та підсистему об'єкта керування. Далі було імпортовано ці підсистеми у середовище SCADA системи Zenon, то розроблено програмне забезпечення для моделі регулятора та моделі об'єкта керування. Розроблено людино-машинний інтерфейс. Проведено перевірку функціональності роботи системи керування та людино-машинного інтерфейсу.

На підставі вище зазначеного можна зробити висновок, що програмне забезпечення функціонує у відповідності до заданих алгоритмів роботи та забезпечує виконання поставлених завдань забезпечуючи при цьому належну якість керування.

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають 712 тис. грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи 1,24 млн. грн. Очікується швидкий термін окупності 0,6 року.

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що впровадження автоматизованої системи керування є економічно доцільно.

В розділі охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях детально розглянуті наступні питання:

- аналіз шкідливих та небезпечних факторів у промисловій пральні ;
- вимоги охорони праці перед початком роботи;
- особливості оцінки ризику під час роботи з хімічними речовинами;
- рекомендації щодо вибору ЗІЗОД при роботі з хімічними речовинами;
- вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях.

Ім'я користувача:
Олег Бойко

ID перевірки:
1013281838

Дата перевірки:
12.12.2022 18:57:04 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
12.12.2022 18:57:53 EET

ID користувача:
100008838

Назва документа: 01_151м-21-1_-_Рибачук_І_С_-_ПЗС

Кількість сторінок: 107 Кількість слів: 18102 Кількість символів: 134905 Розмір файлу: 2.37 MB ID файлу: 1013040401

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

24.2% Схожість

Найбільша схожість: 7.95% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1013025644)

8.36% Джерела з Інтернету

224

Сторінка 109

17% Джерела з Бібліотеки

158

Сторінка 111

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

123

Підозріле форматування

21
сторінка