

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 Соловйова Максима Олексійовича
(ПІБ)

академічної групи 151М-20-1
(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 Дослідження та синтез системи автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Бубліков А.В.			
розділів:				
Синтез системи керування	доц. Бубліков А.В.			
Експериментальний розділ	доц. Бубліков А.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 Соловйову М.О. академічної групи 151М-20-1
(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 Дослідження та синтез системи автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 15.11.2021 № 969-с

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	01.10.21 – 07.10.21
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.10.21 – 15.10.21
Синтез системи керування	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	15.10.21 – 15.11.21
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	15.11.21 – 01.12.21
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та впровадження системи керування	01.12.21 – 15.12.21
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	15.12.21 – 30.12.21

Завдання видано _____ доц. Бубліков А.В.
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 01.09.2021

Дата подання до атестаційної комісії 10.01.2022

Прийнято до виконання _____ Соловйов М. О.
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 114 с., 54 рис., 7 табл., 3 додатки, 17 джерел.

Об'єкт дослідження: система автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів.

Мета роботи: підвищення якості процесу нагріву фруктових джемів у варильному котлі за рахунок вдосконалення алгоритму автоматичного керування температурою теплоносія.

Вдосконалення алгоритму автоматичного керування температурою забезпечується через визначення нових закономірностей при дослідженні залежностей критеріїв якості перехідного процесу на виході системи автоматичного управління від параметрів закону автоматичного управління.

З урахуванням особливостей технологічного процесу, сформовані наступні критерії якості роботи системи автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів:

- час наростання повинен прагнути до мінімального значення. Причому за час наростання приймається час входу температури воду у діапазон $\pm 2,0$ °C навколо уставки;

- перегулювання не повинне перевищувати 2,0 °C в абсолютних одиницях керованої величини.

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра отримані наступні результати:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів;

- проведений синтез системи автоматичного керування з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості роботи системи, та визначене ефективне налаштування регулятора температури на основі встановлених залежностей критеріїв якості перехідного процесу на виході системи автоматичного управління від параметрів закону автоматичного управління;

- розроблене програмне забезпечення системи автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів.

ВАРИЛЬНИЙ КОТЕЛ, ВИГОТОВЛЕННЯ ДЖЕМУ, ТЕМПЕРАТУРА ТЕПЛОНОСІЯ, СИНТЕЗ, РЕГУЛЯТОР, ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	7
Вступ	8
1 Стан питання та постановка завдання	11
1.1 Галузь промисловості	11
1.2 Технологічний процес	12
1.3 Об'єкт керування	15
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	15
1.3.2 Структура об'єкту керування	16
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	19
1.4 Структура системи керування	19
1.5 Формулювання завдань дослідження	21
1.6 Висновки до розділу	21
2 Теоретичний розділ	23
2.1 Створення імітаційної моделі системи автоматичного керування	23
2.2 Використання аналітичних й комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування	25
2.3 Обґрунтування критеріїв якості роботи системи автоматичного управління	32
2.4 Висновки до розділу	34
3 Синтез та дослідження системи автоматичного керування	36
3.1 Синтез та дослідження системи автоматичного керування теплоносієм у паровій сорочці котла комп'ютеризованим методом	36
3.2 Синтез та дослідження системи автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці котла аналітичним методом	42
3.3 Порівняльний аналіз роботи систем автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці котла за умови синтезу аналітичним та комп'ютеризованим способами	47
3.4 Висновки до розділу	53

	6
4 Експериментальний розділ	55
4.1 Цифрова модель системи керування	55
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	59
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса ...	61
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	64
4.5 Висновки до розділу	67
5 Економічна частина	68
5.1 Розрахунок капітальних інвестицій	68
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	69
5.3 Визначення річної економії від впровадження об'єкта проектування....	73
5.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності об'єкта керування	77
5.5 Висновки до розділу	77
6 Охорона праці та безпека надзвичайних ситуацій	78
6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників	78
6.2 Інженерно-технічні заходи щодо охорони праці	80
6.3 Розрахунок нормування розмірів приміщення, що оснащено комп'ютерною технікою	86
6.4 Пожежна профілактика	91
6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях	93
6.6 Висновки по розділу	96
Висновки	97
Перелік посилань	99
Додаток А Програмні модулі системи керування	101
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування	106
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу	111

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

САК	– Система автоматичного керування;
ЛМІ	– Людино-машинний інтерфейс;
ПК	– Персональний комп'ютер;
РТ	– Регулятор температури
ПЗ	– Програмне забезпечення
ОУ	– Об'єкт управління
ОК	– Об'єкт керування

ВСТУП

Актуальність теми. Серед галузей промислового сектору України харчова галузь є одною з головних, тому що гарантування продовольчої безпеки держави напряду залежить від розвитку харчової промисловості. Попри наявні труднощі, харчова промисловість є одним з найбільш конкурентоздатних секторів економіки, стрімкий розвиток якого важливий для української промисловості. Обсяги реалізації від виробництва харчових продуктів, напоїв та тютюнових виробів становить більше 20% від загального обсягу реалізованої промислової продукції України.

Однією з головних проблем харчової галузі України є недостатні обсяги фінансування й інвестиційних вкладень у її розвиток. Було встановлено, що гальмування розвитку харчової промисловості пояснюється неналежним рівнем фінансового забезпечення. Низьке фінансування не дозволяє оновити застаріле обладнання, забезпечити впровадження інновацій, розкрити потенціал, який історично закладений у розвитку вказаної галузі України.

Придбання сучасного обладнання для підприємств харчової галузі України потребує значних коштів, яких наразі більшість підприємств не мають, як і не мають можливість взяти на гідних умовах позику для модернізації обладнання. У такому разі одним з дієвих компромісних рішень цієї проблеми є часткове вдосконалення існуючого старого обладнання.

Дослідження показують, що навіть в обладнанні старого покоління його ефективність у значній мірі визначає якість роботи систем управління і автоматики, у тому числі раціональність законів та алгоритмів керування технологічними процесами. Тому підвищення ефективності автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів на основі дослідження законів та алгоритмів автоматичного керування температурою теплоносія є дійсно актуальним науково-практичним завданням.

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості процесу нагріву фруктових джемів у варильному

котлі за рахунок вдосконалення алгоритму автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування температурою теплоносія є час наростання та перерегулювання перехідного процесу на виході системи.

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

- аналіз процесу автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці варильного котла, у ході якого визначені причини незадовільної якості автоматичного керування температурою з використанням класичних законів автоматичного керування;
- визначення залежностей критеріїв якості роботи системи від параметрів регулятора, та встановлення на їх основі умови ефективного налаштування регулятора температури з предіктором Сміта та динамічним коректором.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів.

Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів.

Методи дослідження. Для дослідження системи автоматичного керування використані методи сучасної теорії автоматичного керування. Дослідження проведені за допомогою обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування. Оцінювання якості роботи синтезованої системи автоматичного керування здійснене на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Вперше встановлено, що час наростання перехідного процесу на виході системи автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці варильного котла для виготовлення фруктових джемів з ПІ-регулятором та

динамічним коректором залежить від постійної часу еталонної динамічної моделі прямо й нелінійно. Ця залежність близька до параболічної.

Також вперше виявлено, що залежність між перерегулюванням перехідного процесу на виході системи автоматичного керування з ПІ-регулятором й динамічним коректором та постійною часу еталонної динамічної моделі має параболічний характер з наявністю максимального екстремуму, але на всьому діапазоні зміни значень постійної часу еталонної динамічної моделі перерегулювання не перевищує максимальне допустиме значення 2,5%.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

В економіці України роль промисловості залишається ведучою. В промисловому секторі виробляється близько 40% загальноукраїнського випуску товарів і послуг, 80% їх експорту, створюється понад 30% валової доданої вартості [1]. В цьому секторі сконцентрована приблизно третина основних засобів виробництва зайнятих в економіці.

Серед галузей промислового сектору України слід виділити харчову галузь. Гарантування продовольчої безпеки держави напряму залежить від розвитку харчової промисловості [2]. Необхідність реалізації потенціалу вказаної галузі в нинішніх соціально-політичних умовах є серйозним викликом для усіх суб'єктів забезпечення інноваційного розвитку промисловості. Попри наявні труднощі, харчова промисловість є одним з найбільш конкурентоздатних секторів економіки, стрімкий розвиток якого важливий для української промисловості. Прогресивність розвитку харчової промисловості підтверджується статистичними даними. Так, обсяги реалізації від виробництва харчових продуктів, напоїв та тютюнових виробів становить більше 20% від загального обсягу реалізованої промислової продукції України [3].

Однією з головних проблем харчової галузі України є недостатні обсяги фінансування й інвестиційних вкладень у її розвиток [2].

Було встановлено, що гальмування розвитку харчової промисловості, відсутність інноваційного оновлення, недостатність ефективних технологій пояснюється неналежним рівнем фінансового забезпечення [4]. Низьке фінансування не дозволяє оновити застаріле обладнання, забезпечити впровадження інновацій, розкрити потенціал, який історично закладений у розвитку вказаної галузі України.

Покупка сучасного обладнання для підприємств харчової галузі України потребує значних коштів, яких наразі більшість підприємств не мають, як і не мають можливість взяти на гідних умовах позику для модернізації обладнання.

У такому разі одним з дієвих компромісних рішень цієї проблеми є часткове вдосконалення існуючого старого обладнання.

Дослідження показують, що навіть в обладнанні старого покоління його ефективність у значній мірі визначає якість роботи систем управління і автоматики, у тому числі раціональність законів та алгоритмів керування технологічними процесами. Тому підвищення ефективності автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів на основі дослідження законів та алгоритмів автоматичного керування температурою теплоносія є дійсно актуальним науково-практичним завданням.

1.2 Технологічний процес

Джем, як і варення, виготовляють уварюванням з цукром цілих або нарізаних плодів чи ягід. Уварювання продовжують до одержання такої концентрації цукру в готовому продукті, як і при виготовленні варення. При концентрації сухих розчинних речовин 69% готовий джем треба пастеризувати, а при концентрації 73 % його можна виготовляти непастеризованим.

Джем – це желеподібний продукт, для виготовлення якого необхідно брати плоди з високим вмістом пектинових речовин та кислот: кислі тверді яблука, агрус, смородину, аличу, деякі сорти слив і абрикос. Якщо варять джем з плодів з невеликим вмістом пектину (суниці, малина, вишні), то додають 15% агрусового або смородинового соку, який містить багато пектинових речовин. Дозволяється додавати харчовий пектин. На відміну від варення, у готовому джемі не обов'язково повинні бути цілі плоди або частинки певної форми. Крім того, у джемі не тільки не обов'язково, щоб сироп вільно відокремлювався від плодів, а навпаки, потрібно, щоб він був желеподібний, в'язкий, як і вся маса плодів, джем не повинен розтікаться, якщо його викласти з банки. Враховуючи ці особливості, під час варіння джему необхідно дотримуватись дещо іншої технології, ніж при виготовленні варення. Плоди перед варінням не обов'язково повинні бути цілими, а навпаки, їх подрібнюють на різальних машинах або на дробарках, а в деяких випадках до них додають небагато протертої м'якоти (пюре), особливо якщо вона виготовлена з плодів, багатих на пектин.

Для виготовлення джему можна використовувати сульфітовані плоди та ягоди.

Варити можна у великих котлах місткістю до 100 л за один раз, але краще його виготовляти у вакуум-апараті (також за один раз) без вистоювання. Процес варіння не повинен тривати довше 30—40 хв. Варять джем так. Спочатку завантажують підготовлену масу плодів і ягід, додають небагато води або слабого розчину цукрового сиропу і бланшують. Потім додають всю необхідну кількість цукру і варять до готовності. Для виготовлення джему можна використовувати також сульфітовані, заморожені плоди та ягоди, що сприяє подовженню тривалості періоду переробки сировини.

Не дозволяється додавати до джему штучні барвники та есенції.

Розфасовують джем у скляні або металеві банки місткістю не більше 3 л.

Зберігають джем так, як і варення: пастеризований при температурі 0-20 °С, непастеризований –10-20 °С, відносна вологість повітря 75%.

Технологічна схема виготовлення джему представлена на рис.1.1 [5].

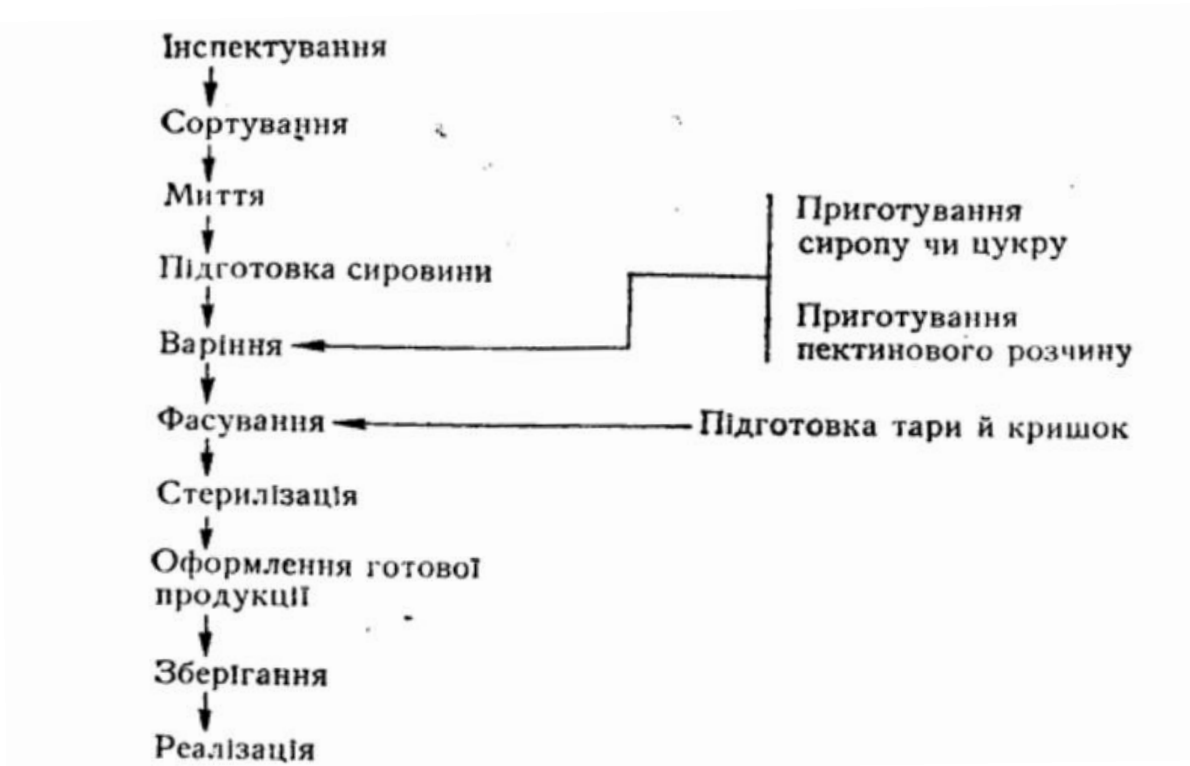


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення джему

Джем виробляють з достиглих свіжих, заморожених чи сульфітованих плодів і ягід. Інспектування, сортування, миття сировини і приготування сиропу проводять, як і при варінні варення.

Сировину, що надійшла у цех на переробку, інспектують, сортують за якістю, калібрують за роз-міром, подрібнюють (ріжуть).

Сировину *інспектують* для видалення дефектних плодів і ягід — гнилих, битих, м'ятих, запліснявілих, а сортують – для розділення за ступенем стиглості, кольором, плямистістю, опіками. Для сортування плодів використовують конвейери інспекційні.

Калібрування проводять для розподілу сировини за розміром на спеціальних машинах (шнековій калібрувальній чи валиково-стрічкової калібрувальній машині).

Миття проводять для видалення з поверхні сировини забруднень, механічних домішок, пестицидів і мікрофлори. Найчастіше сировину миють за два прийоми: на початку технологічного про-цесу (після цього плоди краще розглядати) і після інспектування і сортування. Сировину миють чистою водою чи водою з хімічними препаратами.

Очищення проводять для видалення неїстівних чи малопродатних у харчовому відношенні частин плодів і ягід: шкірки, шкірочки, чашолистиків, плодоніжок та ін. Плодоніжки і чашолистки у малини, смородини чорної, агрусу, журавлини, вишень, черешень, слив видаляють за допомогою спеціальної машини. Робочі органи машини — валики у гумовій оболонці. Здвоєні, обертаючись назустріч один одному, валики захоплюють плодоніжки і відривають їх. Для очищення від шкірочки персиків, груш, айви, яблук іноді застосовують хімічний спосіб.

Подрібнення. Сировину ріжуть на шматочки і подрібнюють для порушення структури плодів і ягід, що значно збільшує вихід соку, а різання надає сировині певної форми і розміру. Плоди і ягоди подрібнюють на дробарці.

Термічна обробка сировини. Окремі види плодово-ягідної сировини спочатку піддають тепловій обробці, а потім фасують у тару. Попередня

теплова обробка включає бланшування, уварювання і обсмажування. При виробництві консервів із плодів і ягід застосовують бланшування і уварювання, а обжарювання в основному використовують для окремих видів овочів.

Бланшування – короткочасна теплова обробка сировини при повному температурному режимі парою, у воді чи водних розчинах солей, цукру, органічних кислот чи лугів. При бланшуванні плодово-ягідної сировини в результаті руйнування ферментів у сировині припиняються біохімічні процеси, що запобігає потемнінню продукції і погіршенню її якості.

Уварювання проводять для видалення значної частини води із продукту і підвищення концентрації сухих речовин (наприклад, у виробництві екстрактів). Сировину уварюють як при атмосферному тиску, так і під вакуумом. Перший спосіб застосовують широко, але він має недоліки. Перероблювані продукти залежно від концентрації у них сухих речовин закипають при температурі 100-104 °С, з підвищенням концентрації речовин підвищується і температура кипіння. При такій високій температурі і тривалому нагріванні виникають небажані зміни цукрів, вітамінів, барвних та інших речовин.

1.3 Об'єкт керування

Об'єктом управління у цій кваліфікаційній роботі є варильний котел для виготовлення джему.

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Монтаж спеціального харчоварильного обладнання дозволяє оптимізувати виробничі процеси на кухні. Стандартні промислові плити хоч і відрізняються високою потужністю, проте не забезпечують потреби закладу з великою пропускну здатністю. Харчоварильні котли можуть використовуватися як окреме обладнання або у складі специфічних технологічних ліній для приготування не лише перших страв та гарнірів, а й соусів, напоїв, відварювання риби та м'яса, джемів, сиропів. За їх допомогою можна швидко закип'ятити велику кількість води або інших рідин.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд парового варильного котла

Котли мають досить просту конструкцію (зовнішній вигляд показаний на рис.1.2). Їх основні частини – одна або дві варильні ємності, під якими встановлено парогенератори на металевій основі (парогенератори іноді встановлюються окремо на певній відстані). Обладнання відрізняється довговічністю, оскільки основні робочі частини виготовлено з харчової нержавіючої сталі. Вона є інертною до речовин з будь-яким рівнем кислотності, тому не піддається корозії та не деформується під дією високих температур.

1.3.2 Структура об'єкту керування

Зробимо аналіз основних функціональних елементів парового варильного котла з позиції автоматичного управління його режимами роботи на основі рис. 1.3.

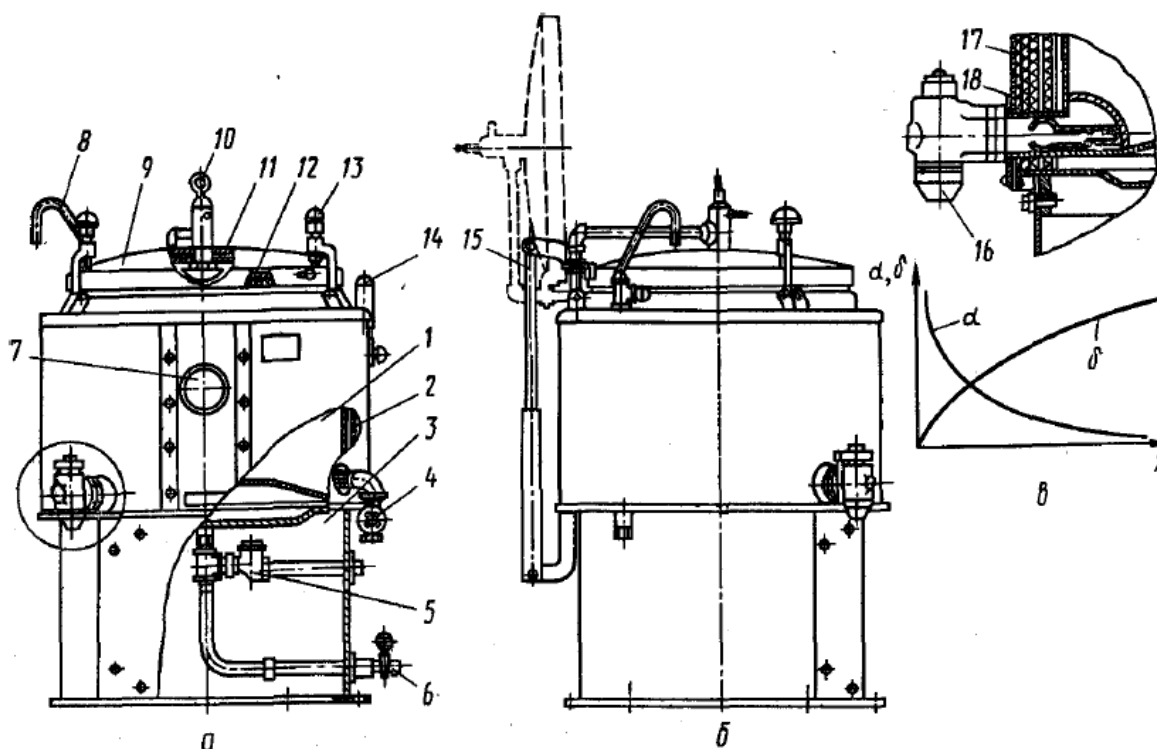


Рисунок 1.3 – Котел варильний паровий КПП-100: а - загальний вигляд; б - зливний кран; в - зміна товщини плівки конденсатора та коефіцієнта тепловіддачі вздовж вертикальної стінки; 1 - варильна посудина; 2 – зовнішній корпус; 3 - основа; 4 - вентиль; 5 - конденсатовідвідник; 6 – кран; 7 – мановакуумметр; 8 - перекидний кран; 9 - кришка; 10 - клапан-турбіна; 11 - відбивач клапана-турбінки; 12 - гумовий ущільнювач; 13 - накидний важіль; 14 - подвійний запобіжний клапан; 15 – важіль; 16 - зливний кран; 17 – теплова ізоляція; 18 - облицювання

Котел КПП-100 (рис. 1.3. а, б) складається з варильного посуду та зовнішнього котла, покритого ізоляцією. Простір між варильною судиною і зовнішнім котлом заповнений паровою сорочкою, в яку подається по паропроводу пар. Кількість пари, що подається, регулюється за допомогою парозапірного вентиля.

Варильна посудина герметично закривається відкидною кришкою з гумовим ущільнювачем. На кришці встановлюється клапан-турбінка. Котел має подвійний запобіжний клапан, манометр, повітряний клапан,

конденсатовідвідник і продувний кран. Подвійний запобіжний клапан та манометр, що показує тиск пари в паровій сорочці, встановлені на арматурній стійці. Конденсатовідвідник та продувний кран розташовані в порожнині між дном парової сорочки та днищем облицювального кожуха та призначені для відведення з парової сорочки конденсату.

Нагрівання варильного посуду парового котла здійснюється за рахунок теплоти пароутворення. Пара, потрапляючи в сорочку котла, стикається з холодними стінками варильного посуду й зовнішнього котла та конденсується. При цьому виділяється прихована теплота пароутворення, яка йде нагрівання вмісту котла.

Парові котли мають цілу низку переваг перед іншими типами котлів. Використання централізовано приготовленої пари як теплоносія дозволяє спростити конструкцію котлів (відсутність парогенератора). Коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується, досить високий, що також підвищує експлуатаційні показники парового котла.

Таким чином у випадку вирішення завдання автоматичного управління температурою теплоносія у варильному котлі маємо об'єкт неперервного управління (рис.1.4), де вхідною величиною є керуючий сигнал на блок керування положенням парозапірного вентиля, а вихідною – температура теплоносія у паровій сорочці.

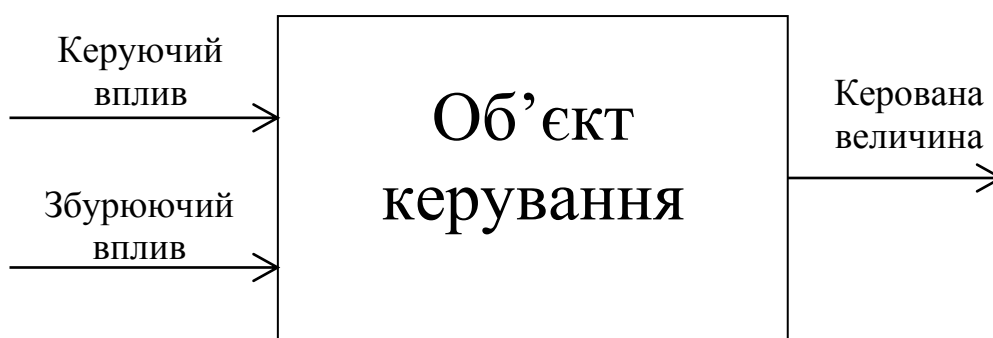


Рисунок 1.4 – Структурна схема об'єкта керування

До збурень відносяться:

- зміна продуктивності роботи насосу й, відповідно, зміна швидкості переміщення енергоносія по трубах, що призводить до зменшення або збільшення до 30% часу транспортного запізнення;

- зміна кількості матеріалів у котлі, що призводить до зміни постійної часу, яка визначає інерційність теплообмінних процесів у котлі, до 30%.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

З аналізу варильного котла для виготовлення фруктових джемів як об'єкта автоматизації, що був проведений у першому розділі, була виділена наступна особливість керування процесом нагріву джему: температуру джему потрібно підтримувати у певному діапазоні біля значення 85 °С. Відповідно, температуру теплоносія у паровій сорочці також потрібно підтримувати у певному діапазоні навколо значення 85 °С.

Таким чином, можна виділити такі режими роботи системи, як нагрів джему та підтримка температури джему на заданому рівні. Причому у режимі підтримки температури джему коригування теплового режиму можна проводити не постійно, а за умови наближення температури води до допустимих меж заданого діапазону зміни значень. Це є доцільним, оскільки теплові процеси у котлі протікають досить повільно. Отже, можна зробити висновок, що тактика керування нагрівом джему зводиться до періодичних і різких змін уставки температури теплоносія у паровій сорочці котла.

1.4 Структура системи керування

З урахуванням того, що для вирішення завдання автоматичного управління температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів маємо об'єкт неперервного управління, де вхідною величиною є керуючий сигнал на блок керування положенням парозапірного вентиля, а вихідною – температура теплоносія у котлі, розроблена структурна схема системи керування (рис.1.5).

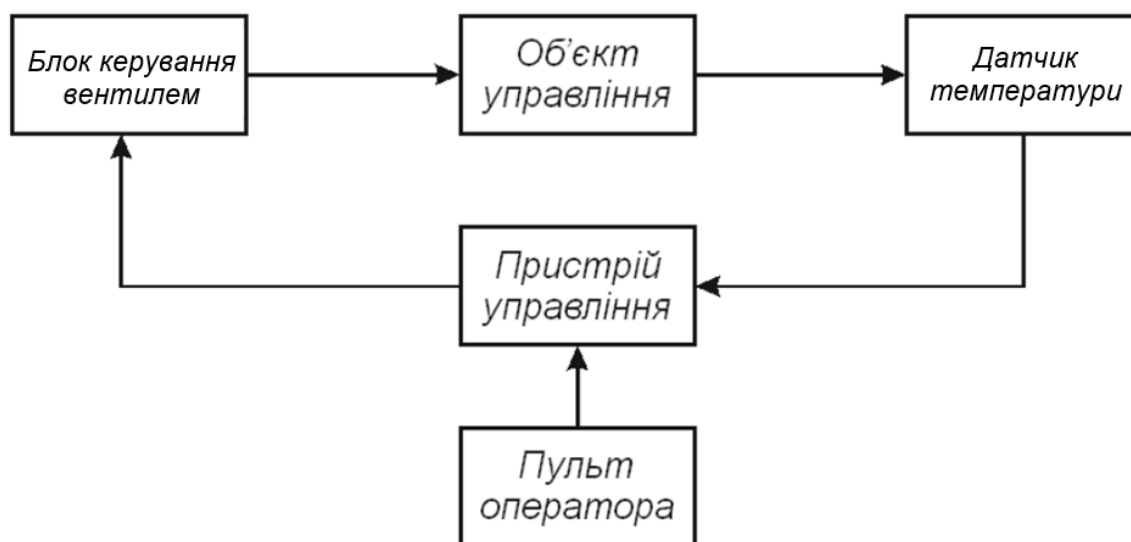


Рисунок 1.5 – Структурна схема системи автоматичного керування

Величина керуючого сигналу подається на блок керування положенням вентиля у паропроводі, що забезпечує необхідне положення вентиля. Зміна керуючого сигналу як відносної нормованої величини здійснюється в діапазоні від 0 до 100%, де 0% відповідає закритому вентилю і відсутності подачі пара, а 100% – повністю відкритому клапану і максимальній подачі пара у сорочку котла. Вихідним параметром об'єкта управління є температура теплоносія у паровій сорочці котла, яка становить 0-95 °С.

Основним завданням розробленої системи керування є підтримання температури теплоносія у паровій сорочці котла на заданому рівні в залежності від технології виготовлення джему.

Виходячи з цього, система автоматичного керування повинна включати: датчик вимірювання температури теплоносія у паровій сорочці котла, пристрій управління, що задає положення вентиля у паропроводі на підставі виміряного значення температури і пульт оператора, за допомогою якого задається режим роботи системи (рис. 1.5). Усі ці технічні засоби автоматизації обґрунтовані у кваліфікаційній роботі бакалавра при розробці апаратного забезпечення системи керування. Також у кваліфікаційній роботі бакалавра розроблена схема електрична принципова системи автоматичного керування.

1.5 Формулювання завдань дослідження

Для досягнення основної мети – забезпечення оптимальних значень обґрунтованих критеріїв якості роботи системи автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів, необхідно виконати наступні завдання дослідження:

- для проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів;

- обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та визначених критеріїв якості роботи системи, та згідно з ним провести розрахунок регулятора температури теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів;

- виконати дослідження залежностей критеріїв якості роботи синтезованої системи автоматичного керування від параметрів регулятора, та на основі порівняльного аналізу результатів досліджень визначити найбільш ефективні настройки регулятора температури теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів.

.

1.6 Висновки по розділу

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – варильний паровий котел для виготовлення джемів. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування котлом, завданням керування якої є забезпечення заданого рівня температури теплоносія у паровій сорочці. Предметом дослідження є закони автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів.

Варильний паровий котел з точки зору керування температурою теплоносія у паровій сорочці є складним об'єктом автоматизації через нестационарність його динамічних властивостей. Зміна продуктивності роботи

насосу призводить до зміни швидкості переміщення теплоносія по трубах, що викликає зменшення або збільшення до 30% часу транспортного запізнення. З іншої сторони, зміна кількості матеріалів у котлі призводить до зміни постійної часу, яка визначає інерційність теплообмінних процесів у котлі, до 30%.

З урахуванням цього, проведене дослідження ефективності синтезованої системи керування за обґрунтованими критеріями якості роботи не тільки для номінального режиму котла, а й за умови суттєвої дії описаних збурень.

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим входом (керуючий сигнал на блок керування положенням вентиля у паропроводі) та одним керованим виходом (температура теплоносія у паровій сорочці), але дія збурюючих впливів призводить до “плавання” параметрів передаточної функції об'єкта керування, що робить його складним для керування.

Отже, необхідно провести дослідження впливу різних налаштувань регулятора температури теплоносія у паровій сорочці котла на критерії якості роботи синтезованої системи автоматичного керування з урахуванням нестационарності параметрів передаточної функції об'єкта керування. Дослідження дозволять визначити ефективні налаштування регулятора температури в умовах нестационарності динамічних властивостей об'єкта керування.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Створення імітаційної моделі системи автоматичного керування

Імітаційна модель системи автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці варильного котла для виготовлення фруктових джемів створюється на основі імітаційної моделі об'єкта управління, що отримана за результатами структурної й параметричної ідентифікації на основі заданої експериментальної кривої розгону. Результати проведеної ідентифікації на основі додатку програми MATLAB "System Identification Toolbox" наведені на рис.2.1.

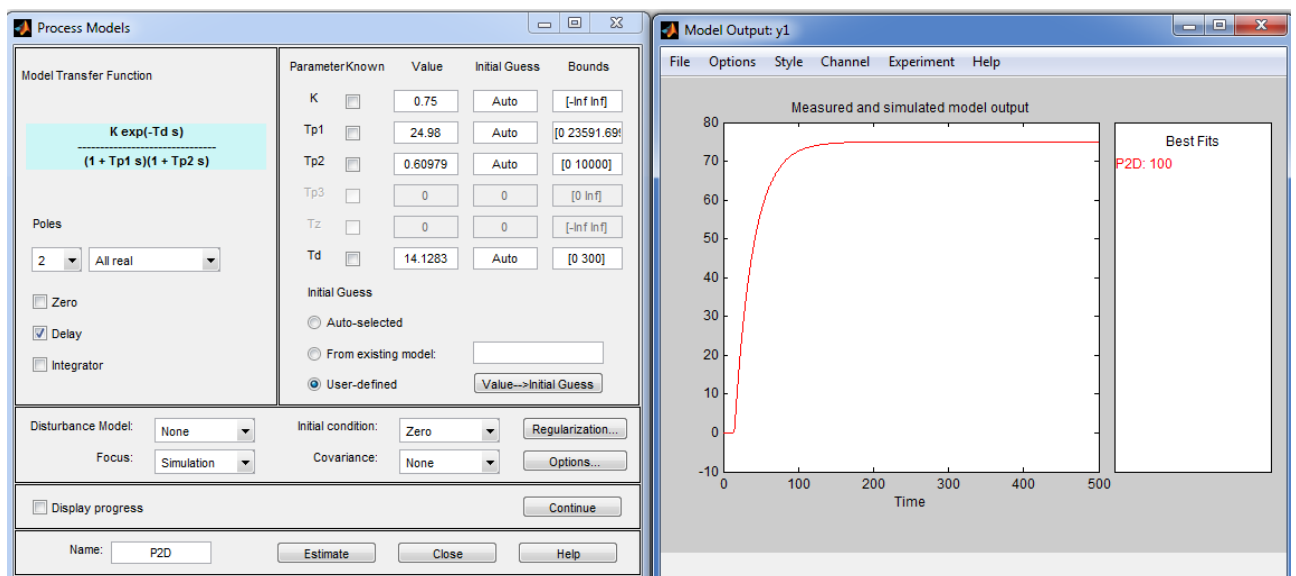


Рисунок 2.1 – Результати параметричної ідентифікації об'єкта управління

З рис.2.1 ми бачимо, що передаточна функція об'єкта управління має вигляд:

$$W(s) = \frac{0,75 \cdot e^{-14,1 \cdot s}}{(24,98 \cdot s + 1) \cdot (0,61 \cdot s + 1)}$$

З урахуванням відомої передаточної функції об'єкта управління, запропонована імітаційна модель системи автоматичного управління температурою теплоносія у паровій сорочці варильного котла для виготовлення фруктових джемів, яка реалізована у спеціалізованому додатку Simulink програми MATLAB (рис.2.2).

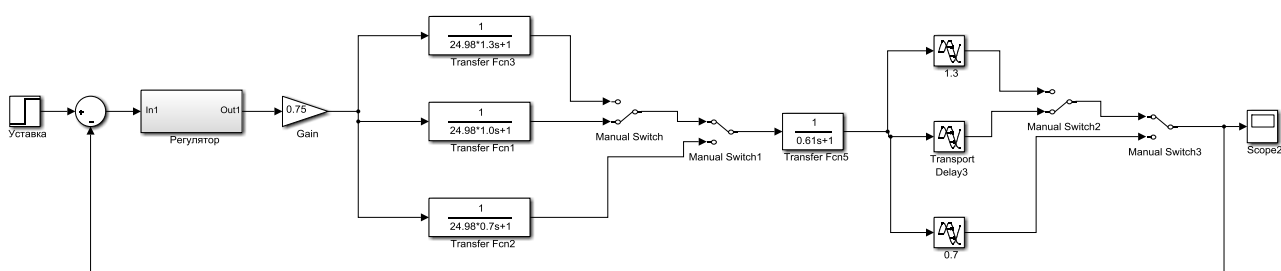


Рис. 2.2 – Схема імітаційна модель системи автоматичного управління температурою теплоносія у паровій сорочці котла

В імітаційній моделі системи автоматичного управління температурою води як теплоносія на рис.2.2 управління ведеться за принципом від'ємного зворотного зв'язку за відхиленням фактичної температури води від заданої.

Коефіцієнт підсилення об'єкта керування розрахований з урахуванням того, що при повністю відкритому клапані (керуючий вплив – 100 %) за умови заповненого котла маємо температуру води на виході сорочки 95 °С, а при повністю закритому тривалий час клапані (керуючий вплив – 0 %) маємо температуру зовнішнього середовища 20 °С:

$$K_0 = \frac{95 - 20}{100} = 0,75 \text{ , } ^\circ\text{C} / \%.$$

Також на рис.2.2 за допомогою блоків “Manual Switch” реалізований механізм зміни постійної часу та часу транспортного запізнення з суттєвим (на 30%) збільшенням та зменшенням цих параметрів. Це зроблено для зручності

проведення дослідження синтезованої системи автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці котла на робастність. Причому, змінюється більша постійна часу, за допомогою якої описується процес теплообміну між паром та стінами варочного посуду через теплову сорочку котла (змінюється через зміну рівня наповненості котла). У свою чергу, транспортне запізнення змінюється через зміну типу котла, коли маємо сорочку іншої конструкції (теплоносій проходить шлях іншої довжини), або через зміну тиску у паропроводі.

Блок “Регулятор” на рис.2.2 є підсистемою, в якій знаходиться схема, що реалізує закон формування керуючої величини на об’єкт керування.

Менша постійна часу об’єкта керування приймається незмінною величиною, оскільки за допомогою її описується інерційність зміни витрат теплоносія. Ця інерційність залежить від інерційності двигуна приводу насоса парогенератора, що у процесі експлуатації варильного котла для виготовлення фруктових джемів суттєво не змінюється.

2.2. Використання аналітичних й комп’ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування

Оскільки у ланки з транспортним запізненням зсув фаз $\varphi = -\omega\tau$ збільшується зі збільшенням величини запізнення τ , а частота ω_{180} збільшується зі зменшенням тривалості перехідного процесу $(\tau + T)$, то відношення $\frac{\tau}{(\tau + T)}$ характеризує складність керування об’єктом із запізненням.

Для керування об’єктами з великим транспортним запізненням, зазвичай при $\frac{\tau}{(\tau + T)} > 0,2 \dots 0,5$, використовуються спеціальні структури регуляторів, що містять блоки для передбачення поведінки об’єкта через час τ .

Для нашого випадку через значну розбіжність інерційність об’єкта керування визначає більша постійна часу. І взагалі, якщо говорити про

відпрацювання різких та східчастих змін уставки, тобто зосередитися лише на часових динамічних властивостях об'єкта керування, то через розбіжність постійних часу більш ніж у 40 разів можна знехтувати меншою постійною часу й вважати модель об'єкта керування аперіодичною ланкою з запізненням. Це підтверджує рис.2.3.

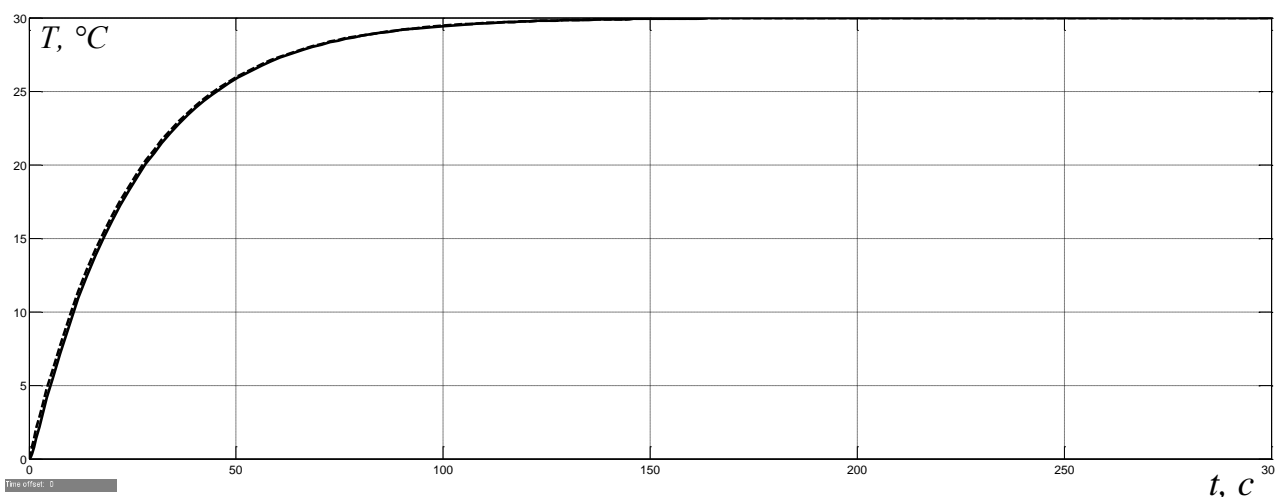


Рис. 2.3 – Перехідний процес на виході об'єкта керування другого (суцільна лінія) та першого (пунктирна лінія) порядків

З рис.2.3 ми бачимо, що аперіодична ланка з постійною часу 24,98 с реагує на східчасту зміну вхідного сигналу практично так само, як послідовно з'єднані дві аперіодичні ланки з постійними часу 24,98 с та 0,61 с.

Отже, умовно прийнявши, що модель об'єкту керування першого порядку, визначимо умову його складності керування через транспортне запізнення:

$$\frac{14,1}{(14,1 + 24,98)} = 0,361.$$

Оскільки число 0,361 належить до діапазону від 0,2 до 0,5, то робимо висновок, що для керування нашим об'єктом керування потрібні спеціальні

структури регуляторів для об'єктів керування з великим запізненням. Класичним прикладом такої структури є предіктор Сміта (рис.2.4).

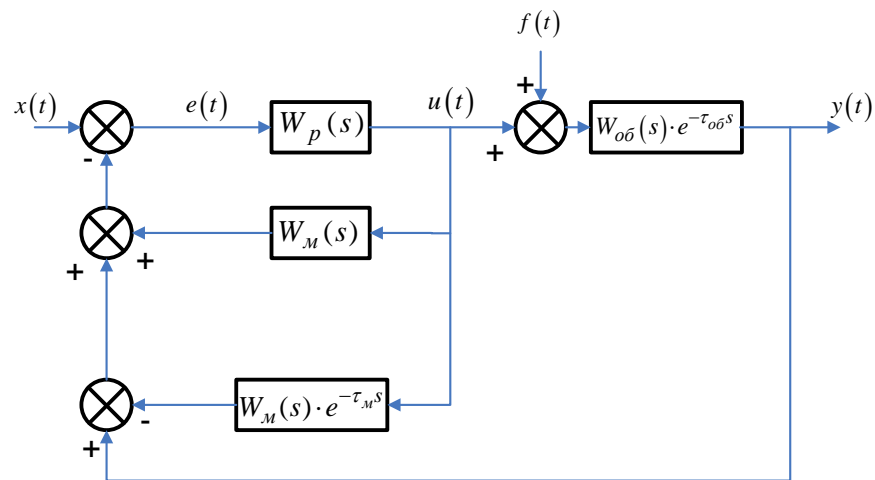


Рисунок 2.4 – Структурна схема САР з предіктором Сміта

На рис.2.4 прийняті наступні позначення: $x(t)$ – задане значення керованої величини; $f(t)$ – збурення; $e(t)$ – відхилення фактичної керованої величини від уставки; $u(t)$ – керуючий сигнал; $y(t)$ – фактична керована величина; $W_p(s)$ – передаточна функція регулятора; $W_{об}(s) \cdot e^{-\tau_{об}s}$ – передаточна функція об'єкта керування; $W_M(s) \cdot e^{-\tau_M s}$ – передаточна функція моделі об'єкта з запізненням; $W_M(s)$ – передаточна функція моделі об'єкта без запізнення.

Предіктор Сміта являє собою регулятор, що містить допоміжний внутрішній контур від'ємного зворотного зв'язку з модельним блоком, в якому присутня оцінка передаточної функції об'єкта управління з запізненням й без нього (рис.2.4). Додатковий від'ємний зворотний зв'язок формує сигнал, ідентичний такому, який з часом з'явиться на виході системи, та подає його на вхід регулятора до того часу, доки не з'явиться сигнал від головної ланки зворотного зв'язку. Як тільки він з'явиться, сигнал з предіктора стане рівним нулю. Передаточна функція такого зворотного зв'язку має вигляд:

$$W_{33}(s) = W_m(s) - W_m(s) \cdot e^{-\tau_m s} = W_m(s) \cdot (1 - e^{-\tau_m s}) .$$

Основною перевагою предіктора Сміта є те, що він містить модельний блок, який дозволяє передбачити поведінку об'єкта керування через час, рівний запізненню об'єкта керування, і таким чином знівелювати негативний вплив запізнення, виключивши його при розрахунку регулятора. Це дає можливість вибирати великі значення коефіцієнта підсилення регулятора, без огляду на умову стійкості замкненої системи. Але при цьому залишається завдання визначення передаточної функції регулятора.

Для вирішення цього завдання буде використаний комп'ютеризований метод синтезу на основі спеціального додатку програми MATLAB "PID Tuner". Цей додаток за необхідністю проводить лінеарізацію об'єкта керування та пропонує настройки регулятора з оптимальним сполученням швидкодії системи, її стійкості та ширини діапазону робочих частот. Також цей додаток дозволяє користувачеві проводити додаткове налаштування ПІ-регулятора, надаючи перевагу або швидкодії системи (повзунок "Response time" на рис.2.5), або показникам її стійкості (повзунок "Transient behavior" на рис.2.5).

У процесі додаткового налаштування у правій верхній частині вікна на рис.2.5 є можливість спостерігати як за часовими критеріями якості роботи САК (час наростання, перерегулювання тощо), так і за частотними (запас стійкості САК за амплітудою та фазою тощо).

Недоліком використання предіктора Сміта з комп'ютеризованим методом синтезу системи автоматичного керування є неможливість перевірки досягання критеріїв якості перехідного процесу на виході системи найкращих показників через обмеження щодо можливих варіацій додаткових настройок ПІ-регулятора, що задаються через повзунки "Response time" та "Transient behavior" на рис.2.5.

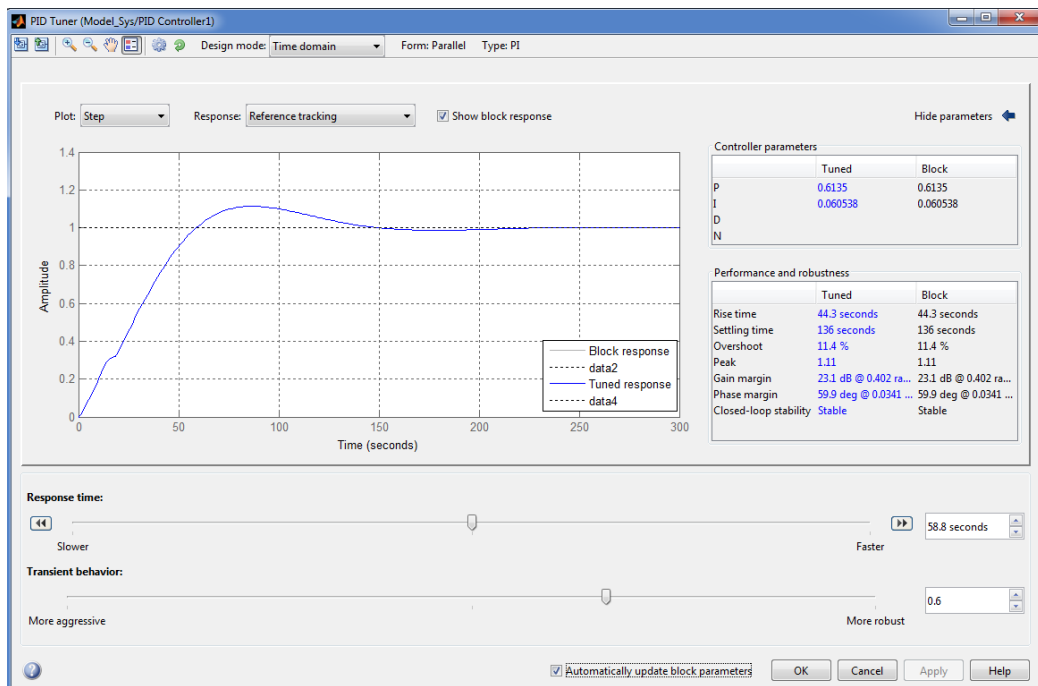


Рис. 2.5 – Вікно настройки ПІ-регулятора додатку “PID Tuner”

Тому в атестаційній роботі магістра планується використання ПІ-регулятора з динамічним коректором з аналітичним розрахунком його параметрів на основі еталонної динамічної моделі. Найкращі показники критеріїв якості перехідного процесу досягаються завдяки дослідженню їх залежності від постійної часу еталонної динамічної моделі.

ПІ-регулятор з динамічним коректором має інтегруючу складову з часовою затримкою:

$$W_{peg}(p) = K_P + \frac{e^{-\tau_p \cdot p}}{T_I \cdot p}, \quad (2.1)$$

де K_P – коефіцієнт підсилення пропорціональної складової регулятора; T_I – постійна інтегрування регулятора; τ_p – час затримки підключення інтегруючої складової регулятора.

Представимо експоненціальну складову передаточної функції регулятора, що задає транспортне запізнення, рядом Тейлора, обмежившись першими двома членами:

$$e^{-\tau_p \cdot p} = 1 - \tau_p \cdot p.$$

Тоді передаточна функція ПІ-регулятора з динамічним коректором прийме вигляд:

$$W_{pez}(p) = K_p + \frac{e^{-\tau_p \cdot p}}{T_I \cdot p} = \frac{e^{-\tau_p \cdot p} + K_p \cdot T_I \cdot p}{T_I \cdot p} = \frac{1 - \tau_p \cdot p + K_p \cdot T_I \cdot p}{T_I \cdot p} = \frac{(K_p \cdot T_I - \tau_p) \cdot p + 1}{T_I \cdot p}$$

Визначимо передаточну функцію розімкненої системи автоматичного керування, знехтувавши меншою постійною часу об'єкта керування:

$$W_{раз}(p) = \frac{(K_p \cdot T_I - \tau_p) \cdot p + 1}{T_I \cdot p} \cdot \frac{K_o \cdot e^{-\tau_o \cdot p}}{T_o \cdot p + 1}.$$

Настройку системи автоматичного керування під еталонну динамічну модель виконаємо за умови забезпечення монотонного перехідного процесу на виході замкненої системи. Це можливо, якщо передаточна функція розімкненої системи являє собою інтегруючу ланку з запізненням. Виходячи з цієї умови, прийmemo:

$$K_p \cdot T_I - \tau_p = T_o.$$

Тоді передаточна функція розімкненої системи буде:

$$W_{раз}(p) = \frac{e^{-\tau_o \cdot p}}{T_I' \cdot p},$$

де $T_I' = T_I / K_o$.

Таким чином, коефіцієнт підсилення пропорціональної складової ПІ-регулятора з динамічним коректором розраховується за формулою:

$$K_P = \frac{T_o + \tau_p}{T_I}. \quad (2.2)$$

З урахуванням нової форми передаточної функції розімкненої системи виведемо передаточну функцію замкненої системи:

$$W_{зам}(p) = \frac{W_{раз}(p)}{1 + W_{раз}(p)} = \frac{e^{-\tau_o \cdot p}}{T_I' \cdot p + e^{-\tau_o \cdot p}} = \frac{e^{-\tau_o \cdot p}}{(T_I' - \tau_o) \cdot p + 1} = \frac{e^{-\tau_o \cdot p}}{T_{дин} \cdot p + 1},$$

де $T_{дин}$ – постійна часу, що коригує динаміку системи автоматичного керування.

Отже, щоб характеристичне рівняння передаточної функції замкненої системи мало дійсний від'ємний корінь, повинно виконуватись вимога:

$$T_I' > \tau_o;$$

$$T_I > \tau_o \cdot K_o.$$

З передаточної функції замкненої системи маємо:

$$T_{дин} = T_I' - \tau_o = \frac{T_I}{K_o} - \tau_o;$$

$$T_I = K_o \cdot (T_{дин} + \tau_o). \quad (2.3)$$

Отже, для налаштування ПІ-регулятора з динамічним коректором необхідно лише задатися бажаним часом перехідного процесу, тобто, постійною часу, що коригує динаміку системи автоматичного керування $T_{дин}$, й далі за формулами (2.2) та (2.3) розрахувати параметри ПІ-регулятора.

2.3. Обґрунтування критеріїв якості роботи системи автоматичного управління

Під якістю роботи системи автоматичного керування розуміють сукупність властивостей, що забезпечують її ефективне функціонування. Властивості, які складають цю сукупність, називають показниками якості. Частіше всього, ці показники якості повинні однозначно корелювати з економічними, технологічними або технічними показниками, які визначають ефективність роботи об'єкта керування.

З аналізу варильного котла для виготовлення фруктових джемів як об'єкта автоматизації, що був проведений у першому розділі, була виділена наступна особливість керування процесом нагріву джему: температуру джему потрібно підтримувати у певному діапазоні біля значення 85 °С. Відповідно, температуру теплоносія у паровій сорочці також потрібно підтримувати у певному діапазоні навколо значення 85 °С. Таким чином, можна виділити такі режими роботи системи, як нагрів джему та підтримка температури джему на заданому рівні. Причому у режимі підтримки температури джему коригування теплового режиму можна проводити не постійно, а за умови наближення температури води до допустимих меж заданого діапазону зміни значень. Це є доцільним, оскільки теплові процеси у котлі протікають досить повільно. Отже, можна зробити висновок, що тактика керування нагрівом джему зводиться до періодичних і різких змін уставки температури теплоносія у паровій сорочці котла. Тому акцент робиться, перш за все, на часових критеріях якості перехідного процесу на виході системи за умови східчастої зміни уставки.

Основні показники якості протікання перехідного процесу на виході системи автоматичного керування можна сформулювати, користуючись рис. 2.6.

За даними цього рисунка можна виділити такі основні показники:

– час перехідного процесу t_0 – це час, протягом якого керована величина стає рівною або меншою за величину деякого значення Δ ;

- величина максимального перерегулювання δ_m (для технічних систем приймають $\delta_m = 5 \div 30\%$);
- час максимального перерегулювання t_m – це час, за який керована величина досягає першого максимуму;
- час наростання перехідного процесу t_n – це час, за який керована величина досягає усталеного значення;
- кількість перерегулювань n на інтервалі часу $0 < t < t_0$ (звичайно прийнятним є $n = 1 \div 2$);
- усталена (статична) похибка системи $x_{уст}$ – це різниця між заданим та дійсним значеннями керованої величини в усталеному режимі.

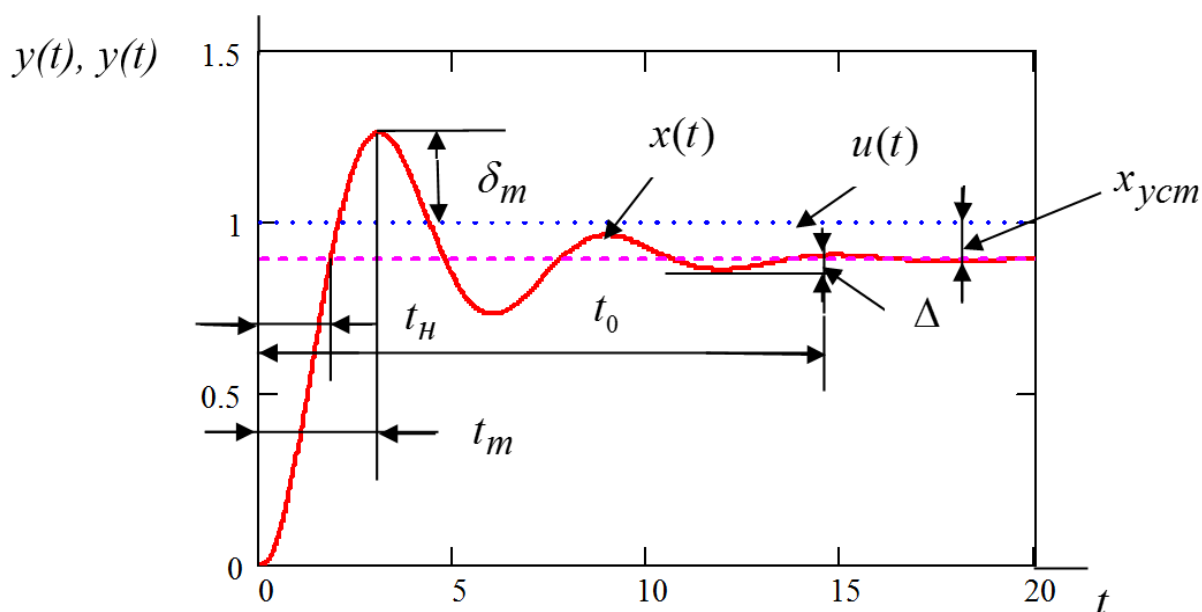


Рисунок 2.6 – Перехідний процес на виході САК за умови східчастої зміни уставки

Процес нагрівання джему з точки зору протікання технологічного процесу його виготовлення повинен протікати швидко. Отже, перехідний процес також має бути швидкоплинним. Оскільки з точки зору технологічного процесу виготовлення джему його температура може коливатися у певних

межах, головним завданням системи є вивести керовану величину не на точне задане значення, а у певний заданий діапазон біля уставки. Прийmemo цей діапазон, за результатами аналізу об'єкта керування, рівним $\pm 2,0$ °C в абсолютних одиницях ($\pm 2,4\%$ у відносних одиницях). Аналогічні вимоги прийmemo й для теплоносія.

Таким чином, на основі аналізу варильного котла для виготовлення фруктових джемів як об'єкта автоматизації, що був проведений у першому розділі, а також з оглядом на особливості керування процесом нагріву джему пріоритет наданий часовим критеріям якості протікання перехідного процесу за умови східчастої зміни уставки. На основі вимог щодо керування температурою джему з точки зору технології його виготовлення й за результатами аналізу існуючих критеріїв якості перехідного процесу, виділимо наступні критерії якості роботи системи автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці варильного котла для виготовлення фруктових джемів:

- час наростання повинен прагнути до мінімального значення. Причому за час наростання приймається час входу температури воду у діапазон $\pm 2,0$ °C навколо уставки;

- перерегулювання не повинне перевищувати $2,0$ °C в абсолютних одиницях керованої величини.

2.4. Висновки по розділу

1. Об'єкт управління описується передаточною функцією у вигляді двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок, що мають постійні часу $24,98$ с та $0,61$ с, а також ланки транспортного запізнення з часом запізнення $14,1$ с. Аналіз відношення часу запізнення до більшої постійної часу об'єкта керування показав, що для керування температурою теплоносія у паровій сорочці варильного котла для виготовлення фруктових джемів потрібні спеціальні структури регуляторів для об'єктів керування з великим запізненням.

2. У випадку відпрацювання рідких та східчастих змін уставки через розбіжність постійних часу більш ніж у 40 разів можна знехтувати меншою

постійною часу й вважати модель об'єкта керування аперіодичною ланкою з запізненням.

3. Аналіз існуючих способів керування об'єктами із значним транспортним запізненням дозволив виділити два способи синтезу системи, що планується використати в кваліфікаційній роботі магістра. Перший спосіб оснований на використанні предіктора Сміта з комп'ютеризованим методом синтезу системи автоматичного керування. Другий спосіб заснований на використанні ПІ-регулятора з динамічним коректором з аналітичним розрахунком його параметрів на основі еталонної динамічної моделі. Найкращі показники критеріїв якості перехідного процесу досягаються завдяки дослідженню їх залежності від постійної часу еталонної динамічної моделі.

4. На основі вимог щодо керування температурою джему з точки зору технології його виготовлення, й за результатами аналізу існуючих критеріїв якості перехідного процесу, виділимо наступні критерії якості роботи системи автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці варильного котла для виготовлення фруктових джемів:

- час наростання повинен прагнути до мінімального значення. Причому за час наростання приймається час входу температури води у діапазон $\pm 2,0$ °C навколо уставки;

- перерегулювання не повинне перевищувати 2,0 °C в абсолютних одиницях керованої величини.

3. СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Синтез та дослідження системи автоматичного керування теплоносієм у паровій сорочці котла комп'ютеризованим методом

З оглядом на структурну схему системи автоматичного керування з предиктором Сміта (рис.2.4) у додатку Simulink програми MATLAB розроблена схема імітаційної моделі системи автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці варильного котла для виготовлення фруктових джемів (рис.3.1), в основі якої лежить модель об'єкта керування на рис.2.2 (підсистема “W_ok” на рис.3.1).

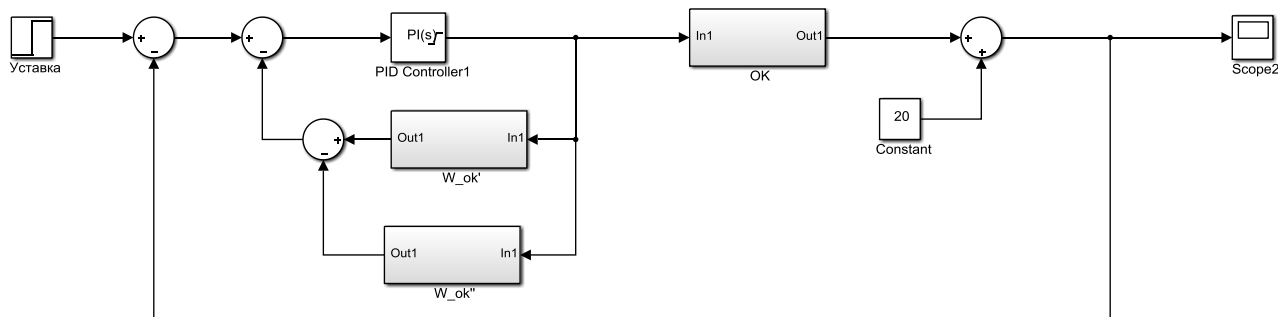


Рис. 3.1 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування з предиктором Сміта у додатку Simulink програми MATLAB

На рис.3.1, згідно зі структурою регулятора з предиктором Сміта, у підсистемі “W_ok’” знаходиться передаточна функція об’єкта управління без ланки транспортного запізнення, а у підсистемі “W_ok” – передаточна функція об’єкта управління з ланкою транспортного запізнення.

Отже, завданням синтезу САК є визначення параметрів ПІ-регулятора, що реалізований на рис.3.1 на основі блоку “PID Controller”.

Для цього використаємо комп’ютеризований метод синтезу на основі спеціального додатку програми MATLAB “PID Tuner”.

З метою проведення процедури додаткового налаштування ПІ-регулятора засобами спеціального додатку програми MATLAB “PID Tuner” таким чином, щоб мали місце найкращі показники критеріїв якості перехідного процесу на виході САК, проведемо дослідження залежності цих показників від різних додаткових налаштувань ПІ-регулятора, що задаються положенням повзунків “Response time” та “Transient behavior” на рис.3.2. При цьому, з оглядом на вимогу щодо швидкодії САК, більш високий пріоритет має положення повзунка “Response time”, що задає час наростання перехідного процесу. Тому при дослідженні визначаються залежності критеріїв якості перехідного процесу на виході САК саме від положення цього повзунка, або, якщо переходити до чисельного показника швидкодії САК, – від часу наростання перехідного процесу, що задає положення повзунка “Response time”.

Але обов’язковою вимогою за умови визначення залежності критеріїв якості перехідного процесу на виході САК від часу наростання перехідного процесу є відсутність перевищення перерегулюванням значення $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в абсолютних одиницях керованої величини. Ця вимога досягається встановленням такого положення повзунка “Transient behavior” на рис.3.2 для різних положень повзунка “Response time”, при якому має місце мінімальне перерегулювання перехідного процесу на виході САК.

Приклад додаткового налаштування ПІ-регулятора за допомогою спеціального додатку програми MATLAB “PID Tuner” для часу наростання перехідного процесу $49,6\text{ с}$ показаний на рис.3.2. При цьому розглядається зміна уставки на половину діапазону зміни її значень з 20 до $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, тому у відносних одиницях за умови зміни уставки до $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ допустиме перерегулювання перехідного процесу на виході САК буде складати $2,5\%$.

З рис.3.2 ми бачимо, що положення повзунка “Transient behavior”, що відповідає мінімальному перерегулюванню, також забезпечує, як правило, прийнятні показники запасу стійкості САК за амплітудою ($19,2\text{ Дб}$ для випадку на рис.3.2 при рекомендованому не нижче 10 Дб) та фазою ($74,9\text{ град.}$ при рекомендованому не нижче 40 град.).

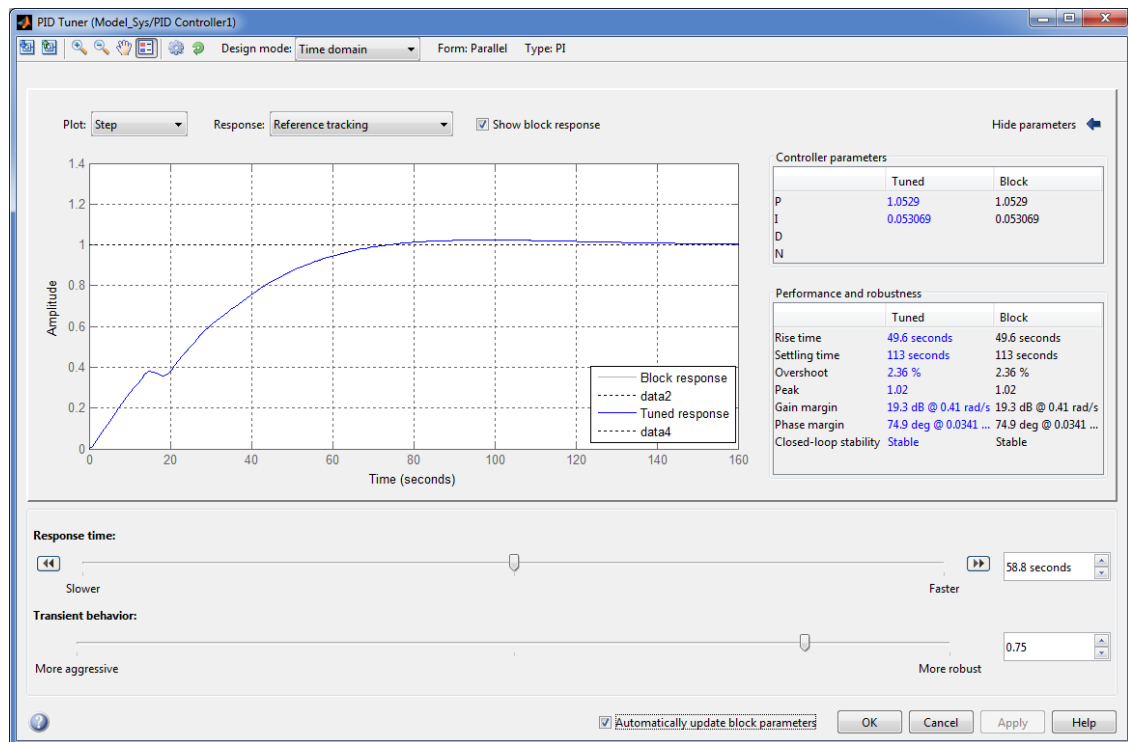


Рис. 3.2 – Вікно настройки ПІ-регулятора додатку “PID Tuner”

З рис.3.2 також видно, що за умови часу наростання перехідного процесу 49,6 с додаткове налаштування ПІ-регулятора за допомогою спеціального додатку програми MATLAB “PID Tuner” забезпечує мінімальне перерегулювання перехідного процесу 2,36%, що не перевищує прийнятне значення 2,5%.

На рис.3.3 та рис.3.4 наведені результати дослідження залежності критеріїв якості перехідного процесу на виході САК від часу наростання перехідного процесу за допомогою обчислювальних експериментів на основі імітаційної моделі САК.

З аналізу рис.3.3 та рис.3.4 можна зробити висновок, що за умови додаткової настройки ПІ-регулятора у додатку програми MATLAB “PID Tuner” потрібно обирати за допомогою повзунка “Response time” найбільшу швидкодію САК – їй, з одного боку, відповідає найменше значення часу наростання 63,85 с (рис.3.3), а з іншого боку – при цьому перерегулювання не буде перевищувати допустимий рівень 2,5% (рис.3.4).

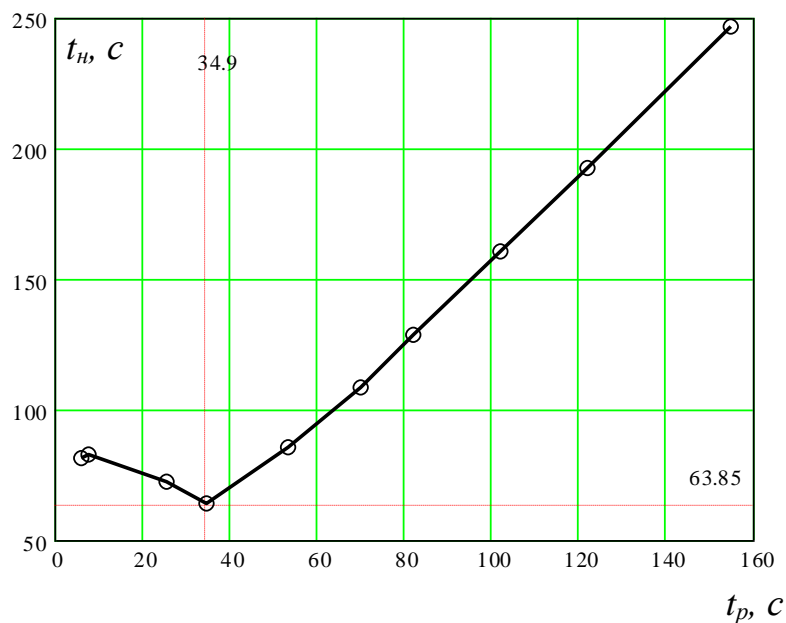


Рис. 3.3 – Залежність між часом наростання перехідного процесу на виході САК та часом регулювання, що задається у додатку програми MATLAB “PID Tuner” за умови додаткового налаштування ПІ-регулятора

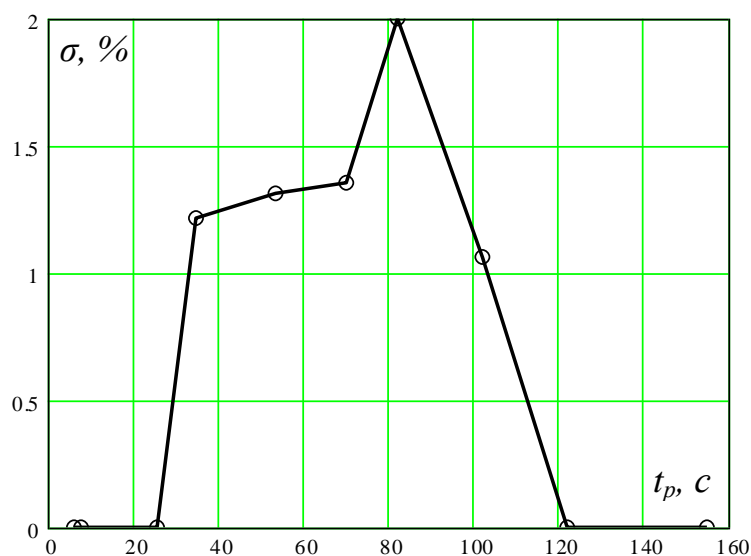


Рис. 3.4 – Залежність між перерегулюванням перехідного процесу на виході САК та часом регулювання, що задається у додатку програми MATLAB “PID Tuner” за умови додаткового налаштування ПІ-регулятора

Результат налаштування ПІ-регулятора за допомогою додатку програми MATLAB “PID Tuner” за умови завдання швидкодії системи за допомогою повзунка “Response time” відповідно мінімальному екстремуму залежності на рис.3.3 показаний на рис.3.5.

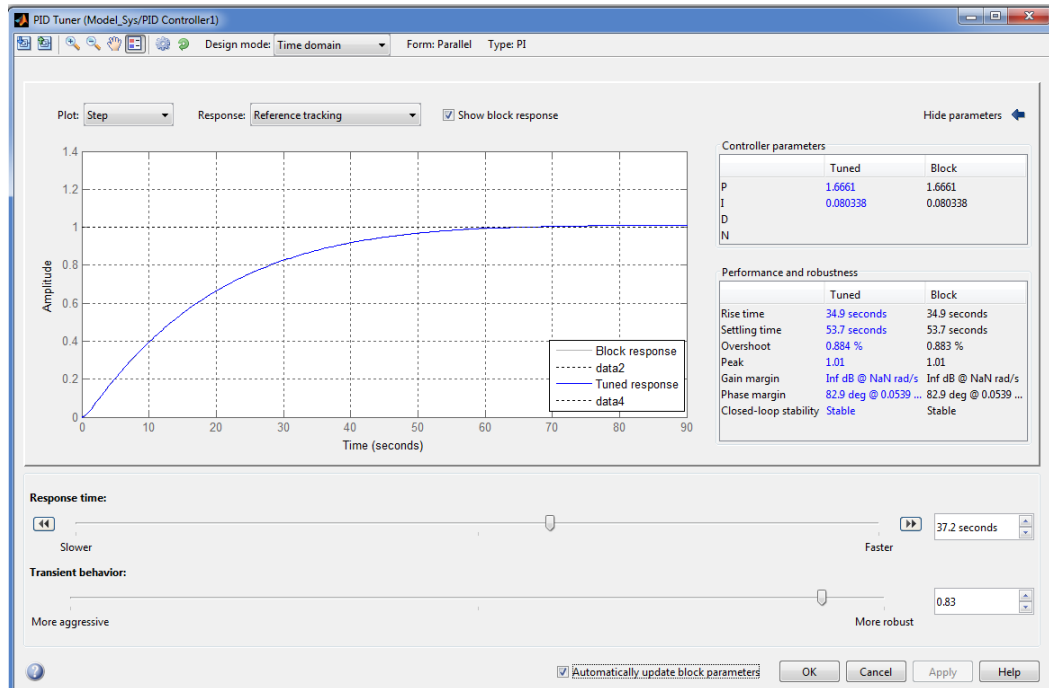


Рис. 3.5 – Вікно настройки ПІ-регулятора додатку “PID Tuner” за умови завдання максимальної швидкодії САК

Результат моделювання роботи САК з предиктором Сміта та ПІ-регулятором, налаштованим за допомогою додатку програми MATLAB “PID Tuner”, показаний на рис.3.6 та рис.3.7. Передаточна функція ПІ-регулятора при цьому має вигляд (у блоці “PID Controller” використовується форма ПІ-регулятора з паралельним завданням коефіцієнтів пропорційності складових):

$$W_{\text{ПІД}}(p) = 1,67 + 0,08 \cdot \frac{1}{p}.$$

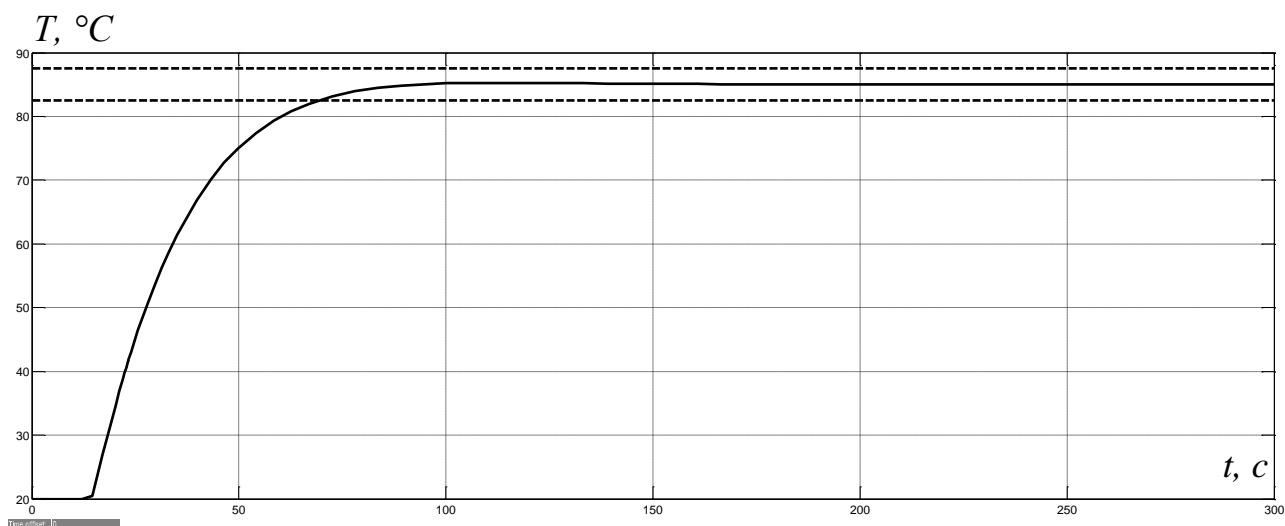


Рис. 3.6 – Перехідний процес на виході синтезованої САК з предіктором Сміта

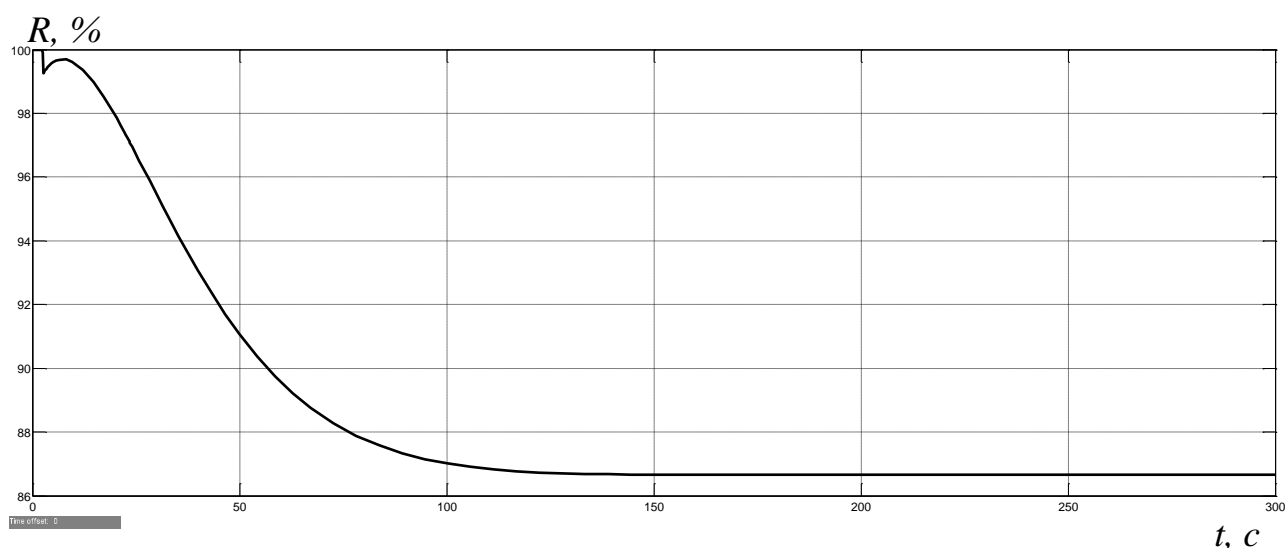


Рис. 3.7 – Зміна у часі керуючого сигналу на виході ПІ-регулятора з предіктором Сміта

Як видно з рис.3.6, перехідний процес на виході синтезованої САК з предіктором Сміта має допустиме перерегулювання до 2,5%.

З рис.3.7 ми бачимо, що керуючий сигнал на початку перехідного процесу сягає 100%. Це говорить про те, що отримані параметри ПІ-регулятора з предіктором Сміта забезпечують швидкодію системи автоматичного керування, що близька до максимальної.

3.2 Синтез та дослідження системи автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці котла аналітичним методом

З оглядом на передаточну функцію ПІ-регулятора з динамічним коректором, що наведена у другому розділі (2.1), у додатку Simulink програми MATLAB розроблена схема імітаційної моделі системи автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці варильного котла для виготовлення фруктових джемів (рис.3.8), в основі якої лежить модель об'єкта керування на рис.2.2 (підсистема “W_ok” на рис.3.8).

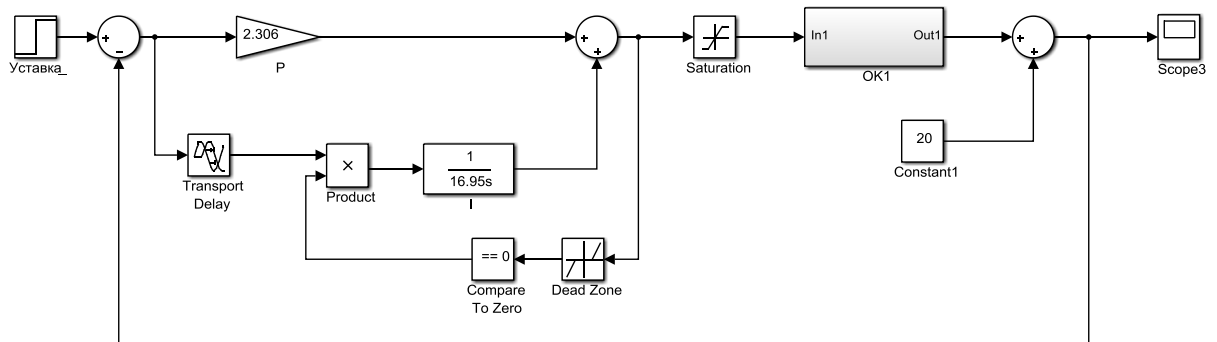


Рис. 3.8 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування з ПІ-регулятором та динамічним коректором у додатку Simulink програми MATLAB

На рис.3.8 у блоці “P” реалізована пропорційна складова ПІ-регулятора, у блоці “I” – інтегральна складова, а за допомогою блоку “Transport Delay” реалізована затримка підключення інтегральної складової.

Крім того, блоком “Saturation” задається обмеження зміни керуючого впливу на виході регулятора від 0 до 100%, а за допомогою блоків “Dead Zone” та “Compare To Zero” реалізується захист інтегратора від перенасичення.

Параметри ПІ-регулятора на рис.3.8 розраховані для постійної часу еталонної динамічної моделі 8,5 с. При цьому параметри інтегруючої та пропорційної складових ПІ-регулятора розраховуються за формулами (2.2) та (2.3):

$$T_I = K_o \cdot (T_{дин} + \tau_o) = 0,75 \cdot (8,5 + 14,1) = 16,95;$$

$$K_P = \frac{T_o + \tau_p}{T_I} = \frac{24,98 + 14,1}{16,95} = 2,306.$$

Відповідно, передаточна функція ПІ-регулятора з динамічним коректором буде наступною:

$$W_{pez}(p) = K_P + \frac{e^{-\tau_p \cdot p}}{T_I \cdot p} = 2,306 + \frac{e^{-14,1 \cdot p}}{16,95 \cdot p}.$$

Час затримки підключення інтегруючої складової ПІ-регулятора прийнятий рівний часу транспортної затримки об'єкта керування.

Результат моделювання роботи САК з динамічним коректором та ПІ-регулятором, налаштованим на еталонну динамічну модель, показаний на рис.3.9 та рис.3.10.

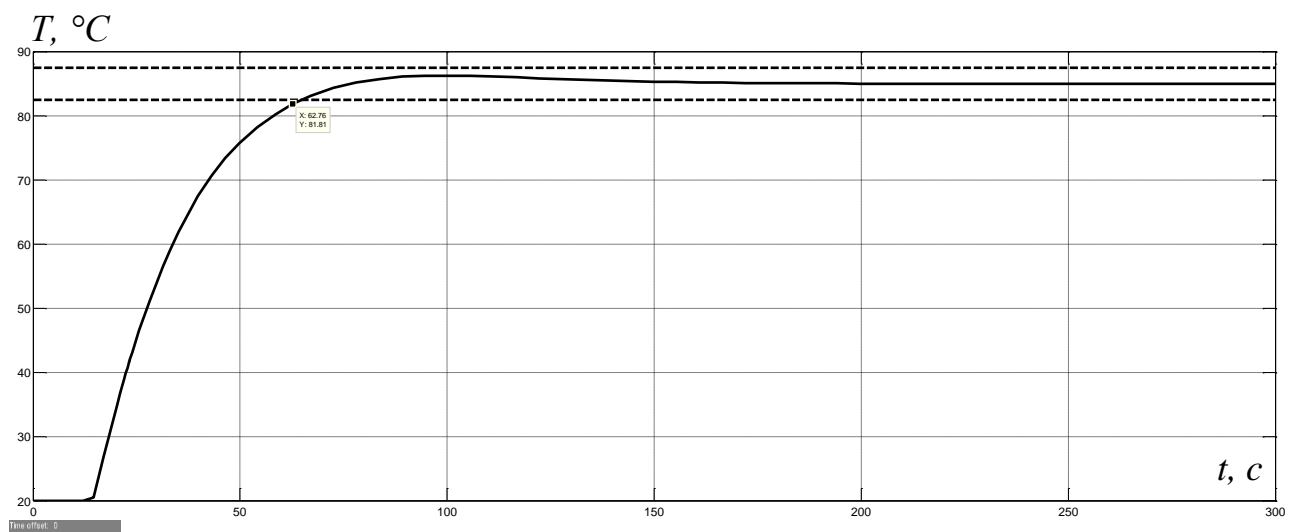


Рис. 3.9 – Перехідний процес на виході синтезованої САК з ПІ-регулятором та динамічним коректором

З рис.3.9 видно, що температура води входить до заданого діапазону зміни значень $\pm 2,0$ °C на 62,76 с. При цьому маємо незначне перерегулювання на 100,2 с біля 1,2 °C, але воно не перевищує допустимий рівень 2,0 °C.

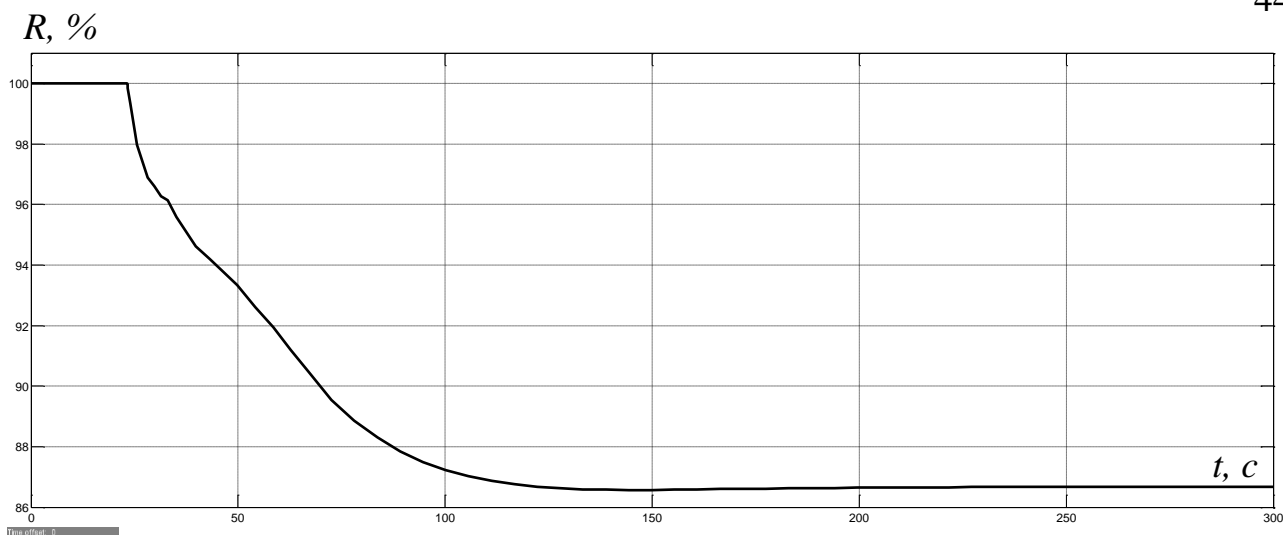


Рис. 3.10 – Зміна у часі керуючого сигналу на виході ПІ-регулятора з динамічним коректором

Аналіз рисунку 3.10 показує, що для даних налаштувань ПІ-регулятора маємо кращу швидкодію системи, оскільки на початку перехідного процесу використовується більший запас системи за швидкодією (керуючий сигнал 100% триває довший час).

Але не зрозуміло, чи весь запас системи керування за швидкодією використовується. Таким чином, потрібне дослідження впливу постійної часу еталонної динамічної моделі на критерії якості перехідного процесу на виході САК. Дослідження будемо проводити за допомогою обчислювальних експериментів на основі імітаційної моделі системи автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці варильного котла для виготовлення фруктових джемів.

Результати досліджень наведені на рис.3.11 та рис.3.12.

З рис.3.11 ми бачимо, що час наростання перехідного процесу на виході системи автоматичного керування з ПІ-регулятором та динамічним коректором залежить від постійної часу еталонної динамічної моделі прямо й нелінійно. Ця залежність близька до параболічної.

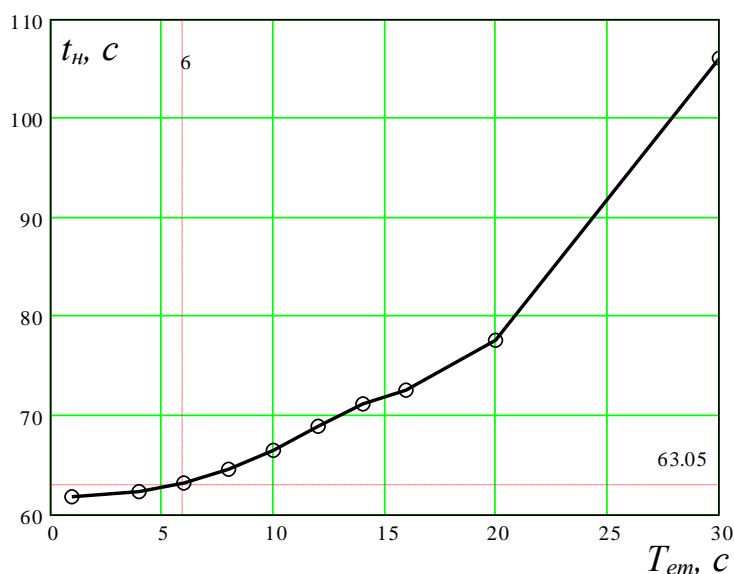


Рис. 3.11 – Графік залежності часу наростання переходного процесу на виході системи автоматичного керування з ПІ-регулятором та динамічним коректором від постійної часу еталонної динамічної моделі

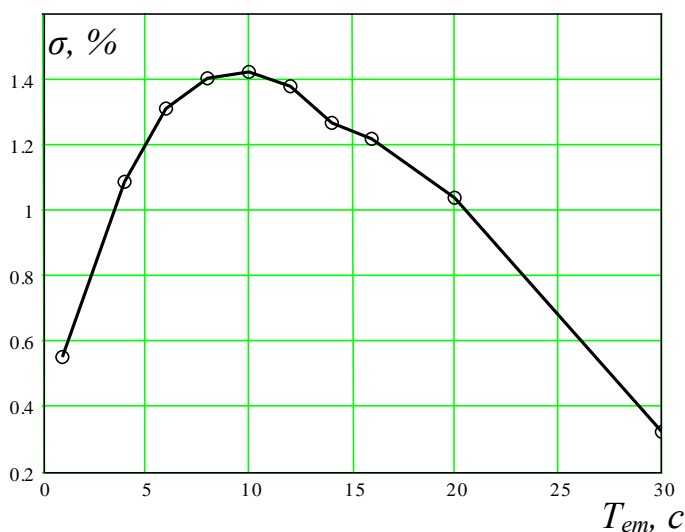


Рис. 3.12 – Графік залежності перерегулювання переходного процесу на виході системи автоматичного керування з ПІ-регулятором та динамічним коректором від постійної часу еталонної динамічної моделі

У свою чергу, з рис.3.12 видно, що залежність між перерегулюванням переходного процесу на виході системи автоматичного керування з ПІ-регулятором й динамічним коректором та постійною часу еталонної динамічної моделі також має параболічний характер з наявністю максимального

екстремуму, але на всьому діапазоні зміни значень постійної часу еталонної динамічної моделі перерегулювання не перевищує максимальне допустиме значення 2,5%.

З рис.3.11 можна зробити висновок, що постійну часу еталонної динамічної моделі потрібно задавати якомога менше – чим менший цей показник, тим менше час наростання й, відповідно, більша швидкодія САК. Але, зі збільшенням швидкодії САК зменшується її ступінь робастності й з'являються коливання у перехідних процесах. У той же час, з рис.3.11 видно, що при подальшому зменшенні постійної часу еталонної динамічної моделі нижче рівня 6 с час наростання перехідного процесу практично перестає зменшуватися. Тому, за умови налаштування ПІ-регулятора з динамічним коректором постійна часу еталонної динамічної моделі з точки зору досягнення оптимального балансу між швидкістю й рівнем робастності системи керування обирається рівною 6 с.

Таким чином, отримані залежності на рис.3.11 та рис.3.12 допомагають визначити постійну часу еталонної динамічної моделі, за умови якої спостерігається найбільша швидкодія САК без перевищення перерегулювання допустимого значення 2,5% та з забезпеченням достатнього рівня робастності системи керування.

Перерахуємо параметри ПІ-регулятора з динамічним коректором за значенням постійної часу еталонної динамічної моделі 6 с:

$$T_I = K_o \cdot (T_{дин} + \tau_o) = 0,75 \cdot (6 + 14,1) = 15,075 ;$$

$$K_p = \frac{T_o + \tau_p}{T_I} = \frac{24,98 + 14,1}{15,075} = 2,592 .$$

Відповідно, передаточна функція ПІ-регулятора з динамічним коректором буде наступною:

$$W_{pez}(p) = K_p + \frac{e^{-\tau_p \cdot p}}{T_I \cdot p} = 2,592 + \frac{e^{-14,1 \cdot p}}{15,075 \cdot p}.$$

3.3 Порівняльний аналіз роботи систем автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці котла за умови синтезу аналітичним та комп'ютеризованим способами

Порівняльний аналіз роботи систем автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці котла за умови синтезу аналітичним та комп'ютеризованим способами будемо робити на основі обґрунтованих у розділі 2 критеріїв якості роботи САК – часу наростання й перерегулювання перехідного процесу на виході системи.

На рис.3.13 показані суміщені графіки перехідного процесу на виході САК за умови використання ПІ-регулятора з предиктором Сміта та ПІ-регулятора з динамічним коректором.

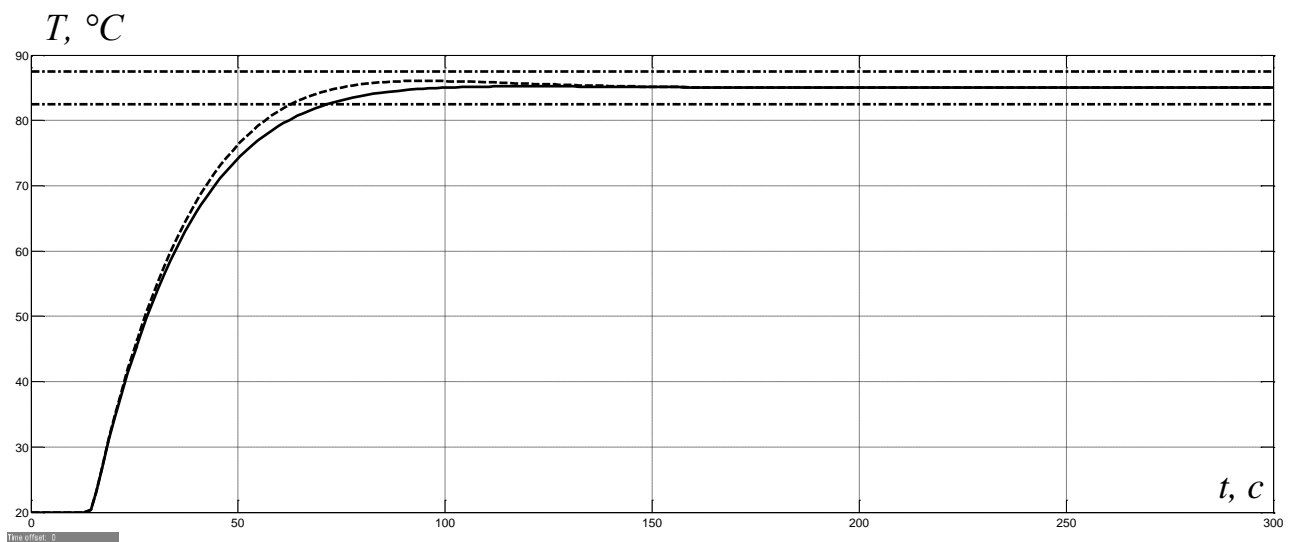


Рис. 3.13 – Перехідні процеси на виході синтезованої САК за умови використання ПІ-регулятора з предиктором Сміта (суцільна лінія) та ПІ-регулятора з динамічним коректором (пунктирна лінія)

Отже, як видно з рис.3.13, за основним критерієм якості перехідного процесу на виході синтезованої САК (її швидкодія) синтез за умови використання ПІ-регулятора з динамічним коректором дає трохи кращий результат у порівнянні з випадком синтезу на основі ПІ-регулятора з предіктором Сміта. За умови використання ПІ-регулятора з динамічним коректором перерегулювання дорівнює 1,3% в той час, як за умови використання ПІ-регулятора з предіктором Сміта перерегулювання становить 1,21%. Щодо часу наростання перехідного процесу, то за умови використання ПІ-регулятора з предіктором Сміта він становить 63,85 с (рис.3.13), а за умови використання ПІ-регулятора з динамічним коректором – 63,05 с, що на 1,3% менше.

Тепер проаналізуємо якість роботи синтезованої різними способами САК за умови зменшеної та збільшеної більшої постійної часу, що описує інерційність теплообмінних процесів у котлі, на 30%. Така зміна більшої постійної часу може бути пов'язана з різною кількістю матеріалів у котлі.

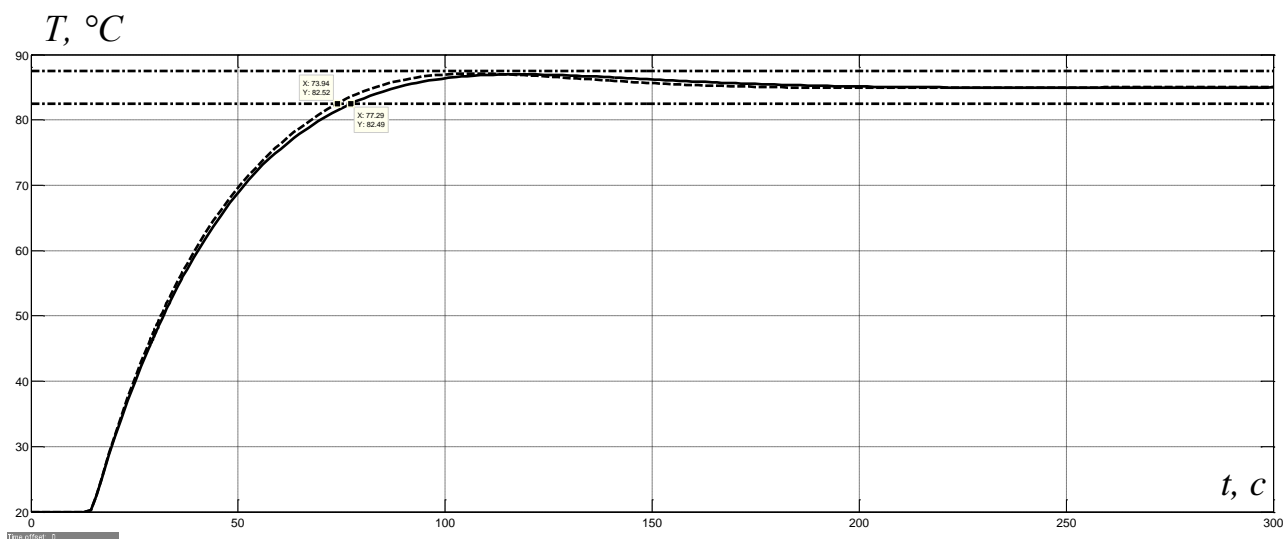


Рис. 3.14 – Перехідні процеси на виході синтезованої САК за умови використання ПІ-регулятора з предіктором Сміта (суцільна лінія) та ПІ-регулятора з динамічним коректором (пунктирна лінія) при збільшеній на 30% більшої постійної часу об'єкта керування

З рис.3.14 можемо зробити висновок, що збільшення на 30% більшої постійної часу об'єкта керування призводить до збільшення перерегулювання, але в обох випадках перерегулювання не виходить за допустимі межі $\pm 2,5\%$ (штрих-пунктирні лінії на рис.3.14). Час наростання в обох випадках збільшився й є практично рівним, варіант ПІ-регулятора з предіктором Сміта – 77,29 с, ПІ-регулятор з динамічним коректором – 73,94 с.

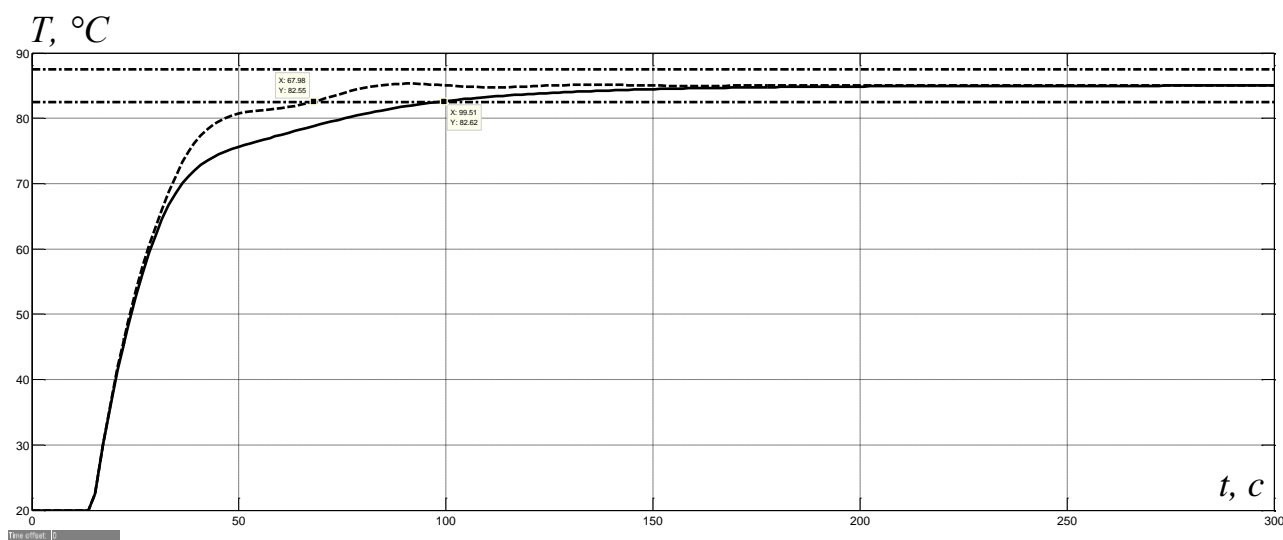


Рис. 3.15 – Перехідні процеси на виході синтезованої САК за умови використання ПІ-регулятора з предіктором Сміта (суцільна лінія) та ПІ-регулятора з динамічним коректором (пунктирна лінія) при зменшеній на 30% більшої постійної часу об'єкта керування

З рис.3.15 можемо зробити висновок, що зменшення на 30% більшої постійної часу об'єкта керування призводить до різних наслідків в залежності від способів синтезу САК. За умови використання ПІ-регулятора з предіктором Сміта перерегулювання зменшується до нуля, але суттєво збільшується час наростання переходного процесу – до 99,51 с. А за умови використання ПІ-регулятора з динамічним коректором у переходному процесі з'являються коливання, але перерегулювання не виходить за допустимі межі $\pm 2,5\%$. При цьому час наростання переходного процесу залишається практично таким же – 67,98 с.

Таким чином, у цьому випадку варіант з ПІ-регулятором та динамічним коректором забезпечує значно більшу швидкодію системи керування.

Тепер проаналізуємо якість роботи синтезованої різними способами САК за умови зменшеного та збільшеного на 30% часу транспортного запізнення. Така зміна часу транспортного запізнення може бути пов'язана зі зміною продуктивності роботи насосу й, відповідно, зміною швидкості переміщення енергоносія по трубах.

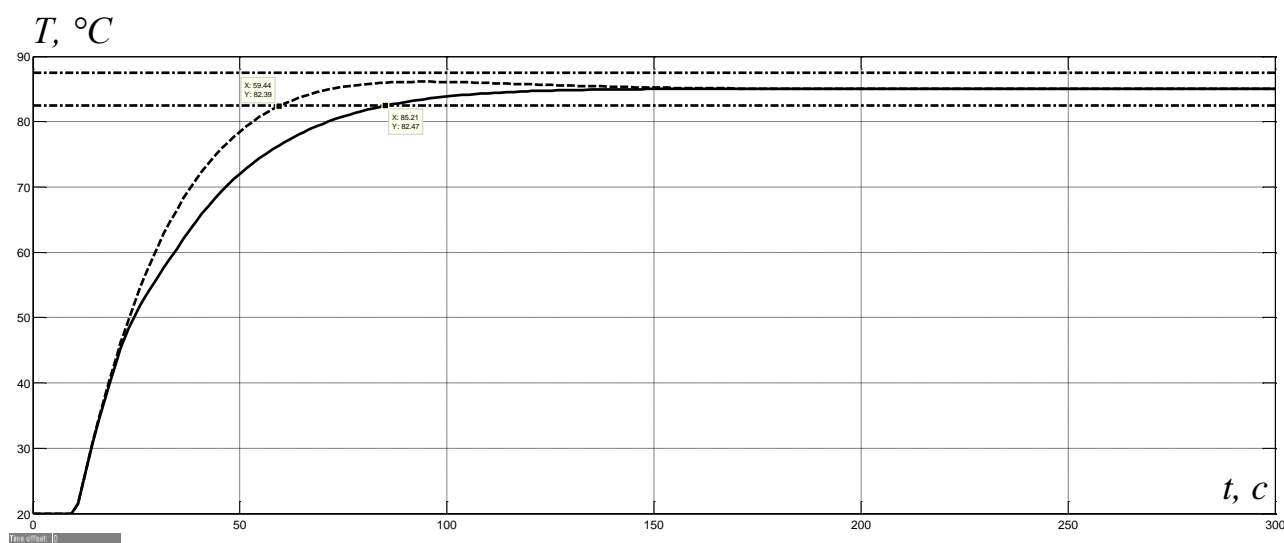


Рис. 3.16 – Перехідні процеси на виході синтезованої САК за умови використання ПІ-регулятора з предиктором Сміта (суцільна лінія) та ПІ-регулятора з динамічним коректором (пунктирна лінія) при зменшеному на 30% часу транспортного запізнення об'єкта керування

З рис.3.16 можемо зробити висновок, що зменшення на 30% часу транспортного запізнення об'єкта керування призводить до суттєвого збільшення часу наростання переходного процесу на виході САК у випадку використання ПІ-регулятора з предиктором Сміта (до 85,21 с), що є неприйнятним. За умови використання ПІ-регулятора з динамічним коректором САК залишається швидко діючою – час наростання дорівнює 59,44 с, у той же час максимальне перерегулювання не перевищує допустиме значення 2,5%.

У разі збільшення на 30% часу транспортного запізнення об'єкта керування (рис.3.17) маємо аналогічну картину – суттєво зменшується швидкодія САК з ПІ-регулятором та предиктором Сміта (час наростання перехідного процесу – 76,45 с), а САК з ПІ-регулятором та динамічним коректором залишається швидко діючою (час наростання перехідного процесу – 65,94 с), перерегулювання при цьому в обох випадках не виходить за допустимі межі $\pm 2,5\%$.

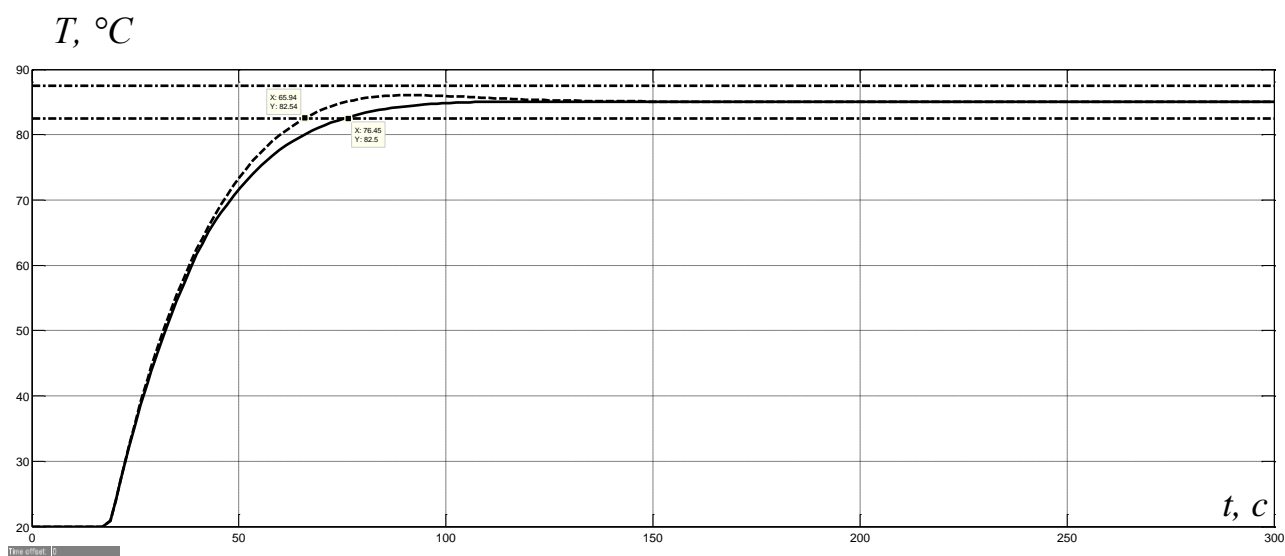


Рис. 3.17 – Перехідні процеси на виході синтезованої САК за умови використання ПІ-регулятора з предиктором Сміта (суцільна лінія) та ПІ-регулятора з динамічним коректором (пунктирна лінія) при збільшеному на 30% часу транспортного запізнення об'єкта керування

Нижче усі результати порівняльного аналізу роботи систем автоматичного управління температурою теплоносія у паровій сорочці котла за умови синтезу аналітичним та комп'ютеризованим способами зібрані у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати порівняльного аналізу роботи систем автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці котла за умови синтезу аналітичним та комп'ютеризованим способами

Критерії якості роботи САК	ПІ-регулятор з предиктором Сміта	ПІ-регулятор з динамічним коректором	Результат порівняння
Початкові параметри об'єкта керування			
Перерегулювання, %	Вимога виконується	Вимога виконується	Обидва випадки є прийнятними
Час наростання, с	63,85	63,05	Обидва випадки є прийнятними
Збільшення більшої постійної часу об'єкта керування на 30%			
Перерегулювання, %	Вимога виконується	Вимога виконується	Обидва випадки є прийнятними
Час наростання, с	77,29	73,94	ПІ-регулятор з динамічним коректором краще
Зменшення більшої постійної часу об'єкта керування на 30%			
Перерегулювання, %	Вимога виконується	Вимога виконується	Обидва випадки є прийнятними
Час наростання, с	99,51	67,98	ПІ-регулятор з динамічним коректором краще
Збільшення часу транспортного запізнення об'єкта керування на 30%			
Перерегулювання, %	Вимога виконується	Вимога виконується	Обидва випадки є прийнятними
Час наростання, с	85,21	59,44	ПІ-регулятор з динамічним коректором краще
Зменшення часу транспортного запізнення об'єкта керування на 30%			
Перерегулювання, %	Вимога виконується	Вимога виконується	Обидва випадки є прийнятними
Час наростання, с	76,45	65,94	ПІ-регулятор з динамічним коректором краще

Таким чином, можна зробити висновок, що використання ПІ-регулятора з динамічним коректором дає кращий результат за основним критерієм якості роботи САК – часом наростання перехідного процесу на її виході як за умови

зміни у широкому діапазоні більшої постійної часу об'єкта керування, так і за умови зміни транспортного запізнення. Це пов'язано з недоліком предіктора Сміта щодо використання в алгоритмі формування керуючого впливу моделі об'єкта керування.

Отже, для найбільш несприятливих умов роботи об'єкта керування, коли його параметри змінюються на значну величину, рекомендується використовувати ПІ-регулятор з динамічним коректором.

3.4 Висновки по розділу

1. За умови додаткової настройки ПІ-регулятора з предіктором Сміта у додатку програми MATLAB "PID Tuner" найбільшій швидкодії системи автоматичного керування відповідає значення часу наростання перехідного процесу на виході системи 63,85 с, при цьому перерегулювання не перевищує допустимий рівень 2,5%.

2. Час наростання перехідного процесу на виході системи автоматичного керування температурою теплоносія у паровій сорочці варильного котла для виготовлення фруктових джемів з ПІ-регулятором та динамічним коректором залежить від постійної часу еталонної динамічної моделі прямо й нелінійно. Ця залежність близька до параболічної.

3. Залежність між перерегулюванням перехідного процесу на виході системи автоматичного керування з ПІ-регулятором й динамічним коректором та постійною часу еталонної динамічної моделі має параболічний характер з наявністю максимального екстремуму, але на всьому діапазоні зміни значень постійної часу еталонної динамічної моделі перерегулювання не перевищує максимальне допустиме значення 2,5%.

4. За основним критерієм якості роботи системи автоматичного керування – часом наростання перехідного процесу на її виході, використання ПІ-регулятора з динамічним коректором дає кращий результат як за умови зміни у широкому діапазоні більшої постійної часу об'єкта керування, так і за умови зміни транспортного запізнення. Це пов'язано з недоліком предіктора

Сміта щодо використання в алгоритмі формування керуючого впливу моделі об'єкта керування.

Отже, для найбільш несприятливих умов роботи об'єкта керування, коли його параметри змінюються на значну величину, рекомендується використовувати ПІ-регулятор з динамічним коректором.

4 Експериментальний розділ

4.1 Цифрова модель системи управління

У результаті синтезу системи автоматичного управління у третьому розділі отримано безперервну модель системи, що відповідає сформульованим критеріям якості (рис.4.1).

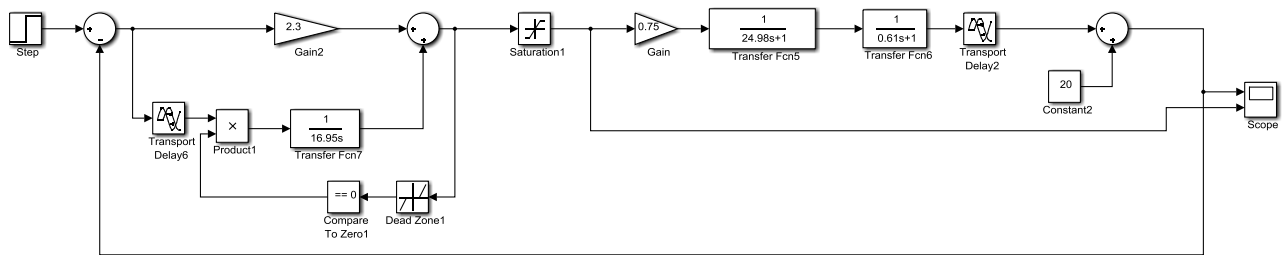


Рисунок 4.1 – Схема моделі синтезованої системи автоматичного управління

Проведемо заміну безперервних елементів моделі системи автоматичного управління на цифрові. Для цього скористаємося відповідними функціями пакету MATLAB.

Для об'єкта управління:

```
%Перетворення у цифрову форму першої аперіодичної ланки
wa1=tf([1], [24.98 1]);
wa1z=c2d(wa1, 0.1);
[a_a1, b_a1]=tfdata(wa1z);
a_a1=cell2mat(a_a1)
b_a1=cell2mat(b_a1)
%Перетворення у цифрову форму другої аперіодичної ланки
wa2=tf([1], [0.61 1]);
wa2z=c2d(wa2, 0.1);
[a_a2, b_a2]=tfdata(wa2z);
a_a2=cell2mat(a_a2)
b_a2=cell2mat(b_a2)
```

Результат:

a_a1 =

0 0.003995200428289

```

b_a1 =
    1.0000000000000000 -0.996004799571711
a_a2 =
    0 0.151202321080443
b_a2 =
    1.0000000000000000 -0.848797678919557

```

Для регулятора:

%Перетворення у цифрову форму інтегруючої ланки

```

wi=tf([1], [1 0]);
wiz=c2d(wi, 0.1);
[a_i, b_i]=tfdata(wiz);
a_i=cell2mat(a_i)
b_i=cell2mat(b_i)

```

Результат:

```

a_i =
    0 0.1000000000000000
b_i =
    1 -1

```

З урахуванням z-перетворення розроблена імітаційна модель цифрової системи автоматичного керування.

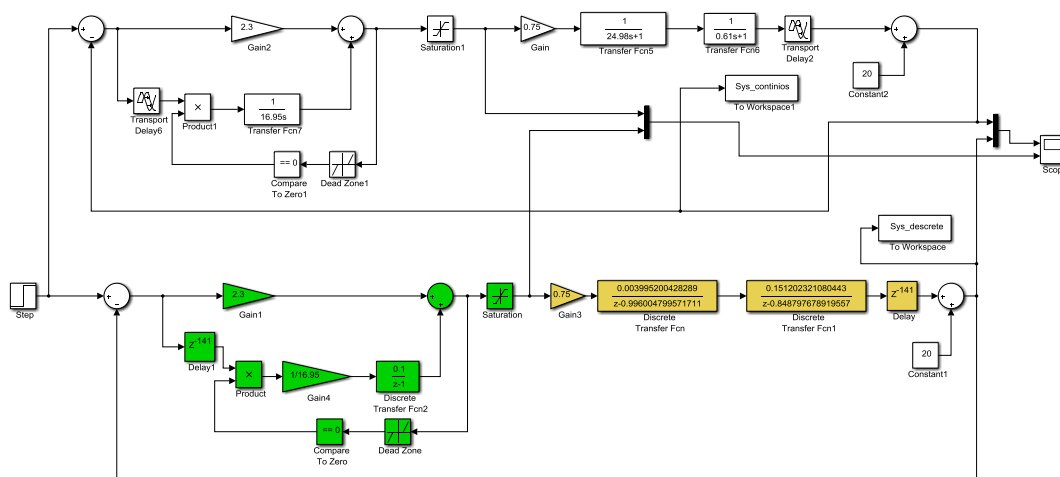


Рисунок 4.2 – Цифрова модель системи автоматичного управління

Згрупуємо елементи об'єкта керування й регулятора у підсистемі.

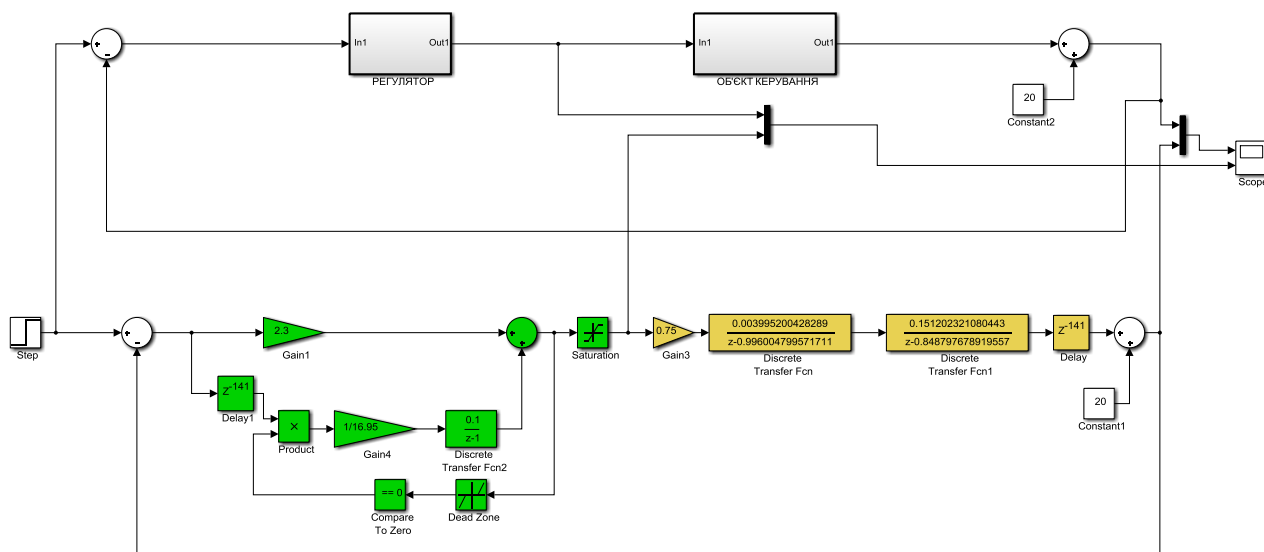


Рисунок 4.3 – Згрупована модель цифрової системи автоматичного управління

Розкриємо зміст підсистем на рис.4.3.

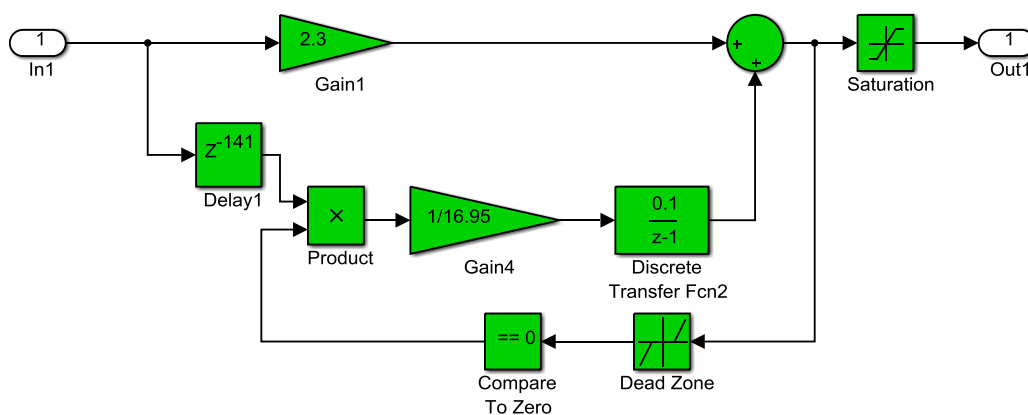


Рисунок 4.4 – Цифрова модель регулятора

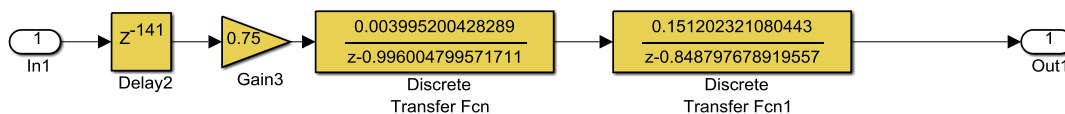


Рисунок 4.5 – Блок «Subsystem» цифрової моделі об'єкта керування

Результати моделювання неперервної і цифрової систем автоматичного управління показані на рис.4.6.

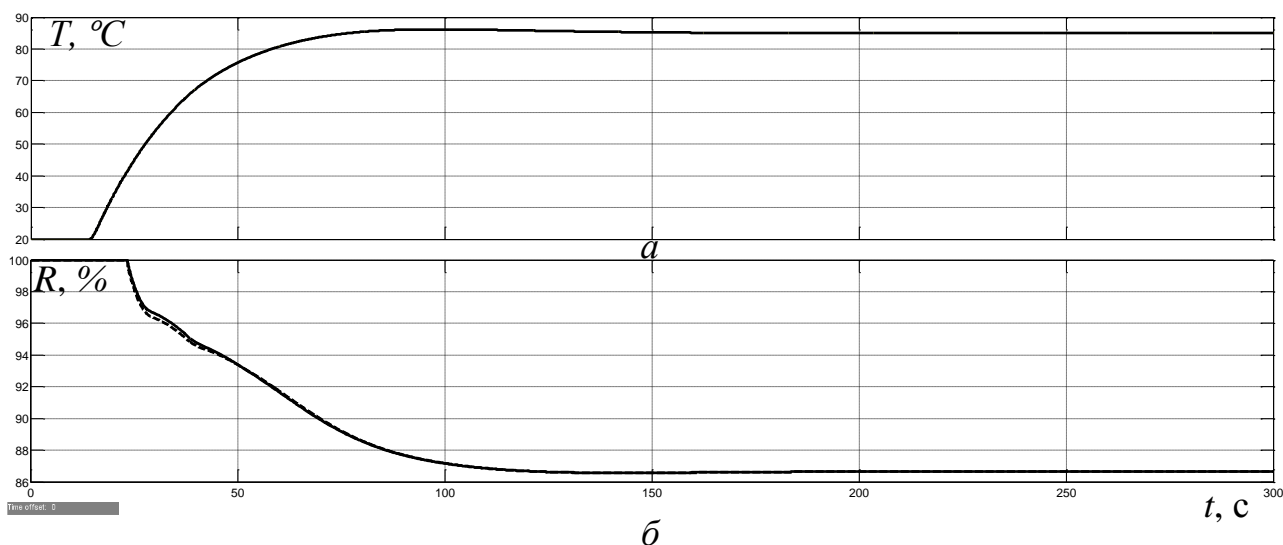


Рисунок 4.6 – Графіки перехідного процесу та керуючі впливи неперервної (суцільна лінія) та цифрової (пунктирна лінія) САУ

Також оцінимо відповідність цифрової моделі системи автоматичного управління неперервній моделі САУ за нормованим середньо-квадратичним відхиленням:

```
>> goodnessOfFit(Sys_continuos, Sys_descrete, 'NRMSE')*100
```

```
ans = 99.743218630497694
```

Як видно за результатами перевірки, маємо дуже високий нормований показник збіжності перехідних процесів на виходах неперервної та цифрової САУ, що говорить про відповідність цифрової моделі неперервній.

Згенеровані програмні модулі програмного забезпечення системи автоматичного управління наведені у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи управління

Програмне забезпечення системи автоматичного управління поділено на два окремих програмних блоки: регулятор та об'єкт управління.

Програмне забезпечення регулятора розроблено під програмований логічний контролер zenon Logic, що входить до складу SCADA системи Zenon. Програмне забезпечення об'єкту управління розроблено як ПЗ перевірки функціонування системи управління для драйверу пристрою управління.

Для розробки ПЗ об'єкта управління було створено драйвер пристрою управління з налаштуванням, що показано на рисунку 4.7.

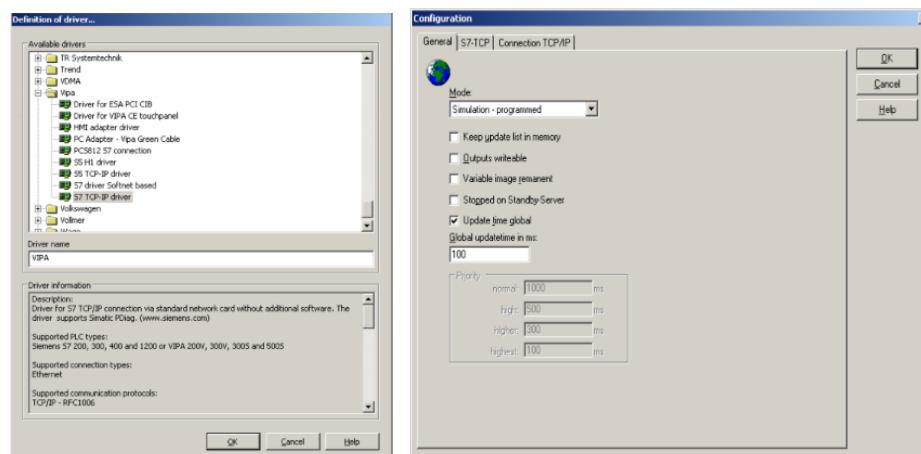


Рисунок 4.7 – Вибір драйверу пристрою управління та його налаштування

Для драйвера пристрою управління було створено такі змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів об'єкта управління (рис. 4.8).

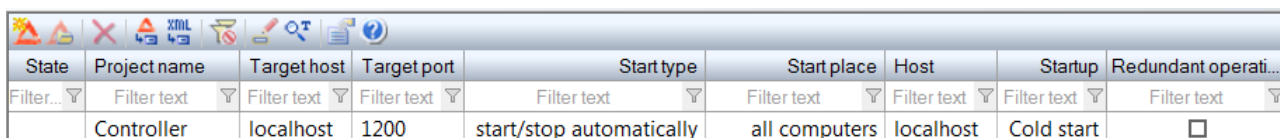
State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter...	Filter...	Filter text
	Temperature		град.	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Valve		%	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0

Рисунок 4.8 – Змінні драйверу пристрою управління

У середі розробки Zenon Logic Workbench для драйверу пристрою управління було реалізовано модель об'єкта управління на базі раніше

отриманого програмного модуля. Далі, на основі отриманого користувальницького функціонального блоку, було розроблено програмне забезпечення об'єкту управління. Більш докладно список програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення ОУ наведено у додатку Б1.

Для реалізації програмного забезпечення регулятора спочатку було створено проект регулятора (рис. 4.9).



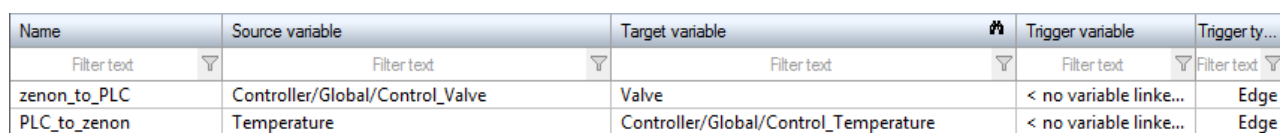
State	Project name	Target host	Target port	Start type	Start place	Host	Startup	Redundant operati...
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.9 – Проект регулятора

Також, було створено змінні регулятора, що відповідають значенню уставки, дійсному значенню та керуючому впливу (додаток Б2).

Крім того, у процесі розробки програмного забезпечення регулятора було виконано нормалізацію значень уставки, температури та положення засувки, а також розрахунок значення помилки управління.

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єктом управління був реалізований через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.10).



Name	Source variable	Target variable	Trigger variable	Trigger ty...
Filtertext	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
zenon_to_PLC	Controller/Global/Control_Valve	Valve	< no variable linke...	Edge
PLC_to_zenon	Temperature	Controller/Global/Control_Temperature	< no variable linke...	Edge

Рисунок 4.10 – Механізм розподілу «Allocations»

Таким чином, створено два механізми розподілу. Перший копіює значення температури з об'єкту управління до регулятора, а другий – значення керуючого впливу з регулятора до об'єкту управління. Більш докладно список

програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення регулятора наведено у додатку Б2.

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Невід’ємною частиною розробки системи автоматичного управління є створення програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу.

Для забезпечення повної функціональності системи управління, необхідно розробити ЛМІ, що буде забезпечувати:

- моніторинг перехідного процесу;
- моніторинг параметрів об’єкта;
- моніторинг стану протікання технологічного процесу.

Таким чином, можна сформулювати основні вимоги до ЛМІ:

- мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
- кількість зображень: 5 – зображення з кнопками, що дозволять без проблем переходити між іншими зображеннями, технологічна схема, графік перехідного процесу, список подій, список тривоги.

На рис. 4.11 показано зображення кнопок у складі ЛМІ. Кожна з них має свою функцію.

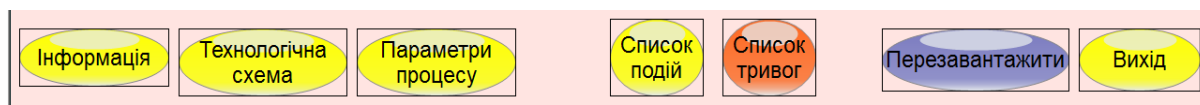


Рисунок 4.11 – Зображення кнопок

Кнопка «Об’єкт керування»: при натисканні цієї кнопки відбувається перехід на наступне зображення (рис. 4.12), де можна спостерігати сам об’єкт керування – варильний котел для виготовлення фруктових джемів, розташування датчиків, та основну інформацію про об’єкт. Реалізація роботи цієї кнопки була виконана за допомогою функції “switch screen”, що дозволяє

перейти на наступне зображення. Інші кнопки («Діаграма зміни параметрів», «Список тривог», «Список подій») були реалізовані аналогічно та дозволяють перейти на зображення на рис. 4.13, рис. 4.14 та рис.4.15 відповідно.

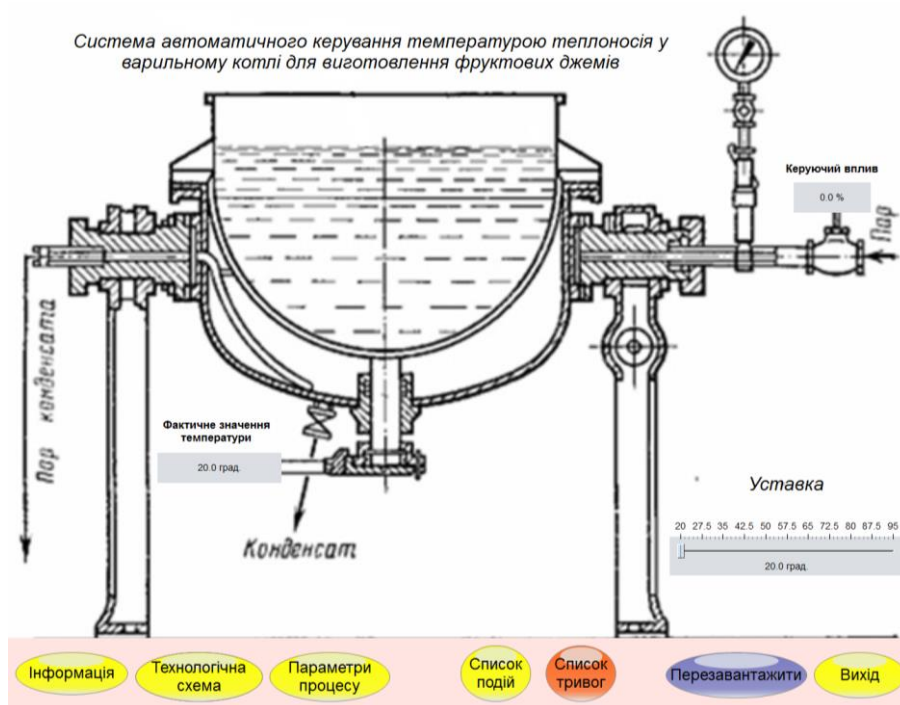


Рисунок 4.12 – Зображення технологічної схеми

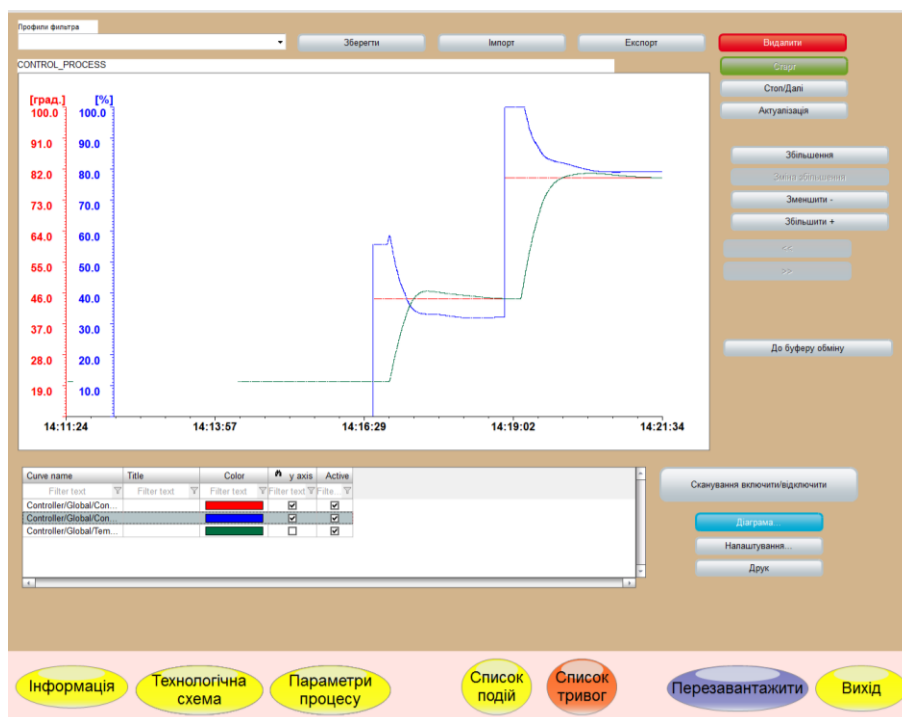


Рисунок 4.13 – Зображення графіку перехідного процесу

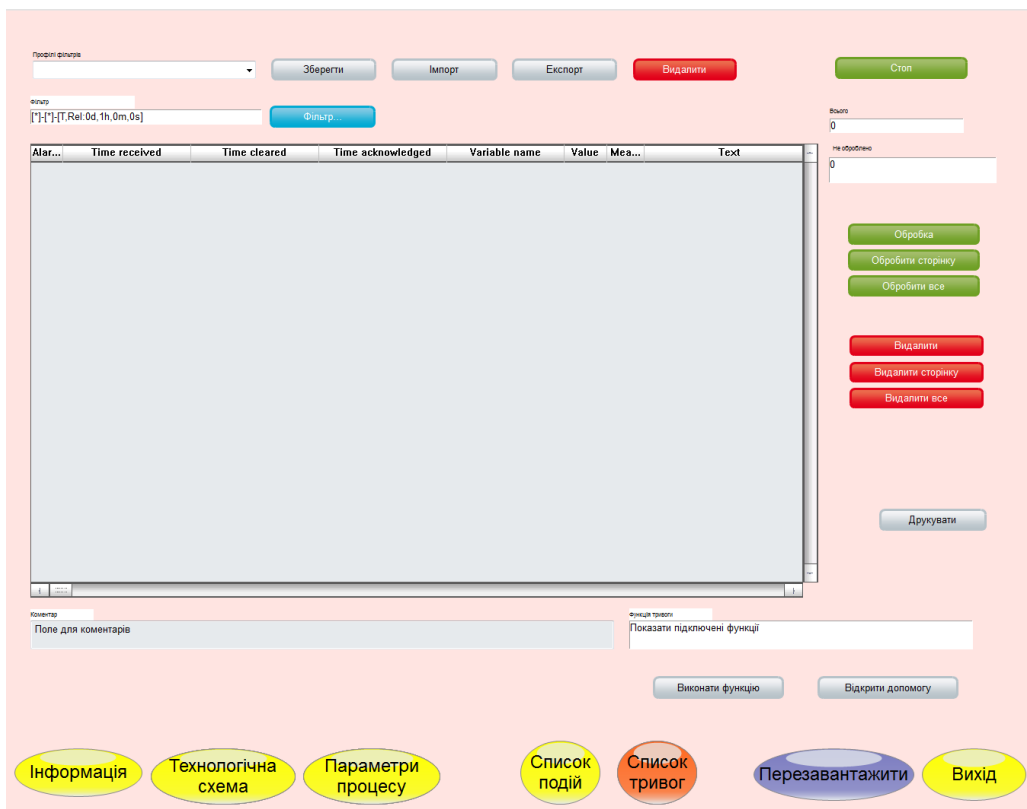


Рисунок 4.14 – Зображення списку тривог

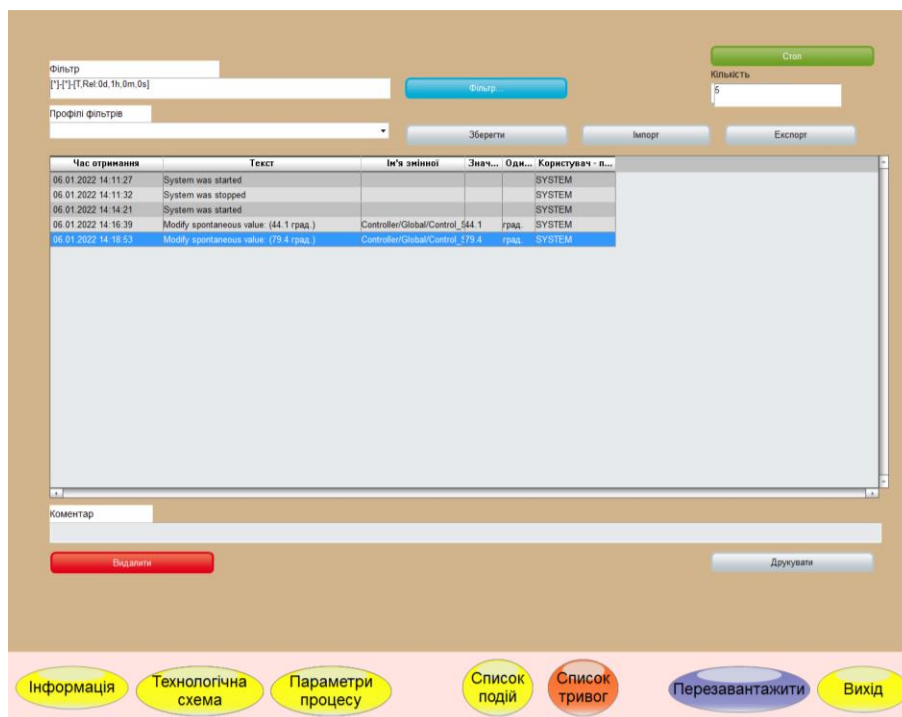


Рисунок 4.15 – Зображення списку подій

Кнопки «Вихід» та «Перезавантажити» реалізовані за допомогою функцій «exit runtime» та «reload project» відповідно.

Усі зображення розташовано згідно шаблону на рисунку 4.16.

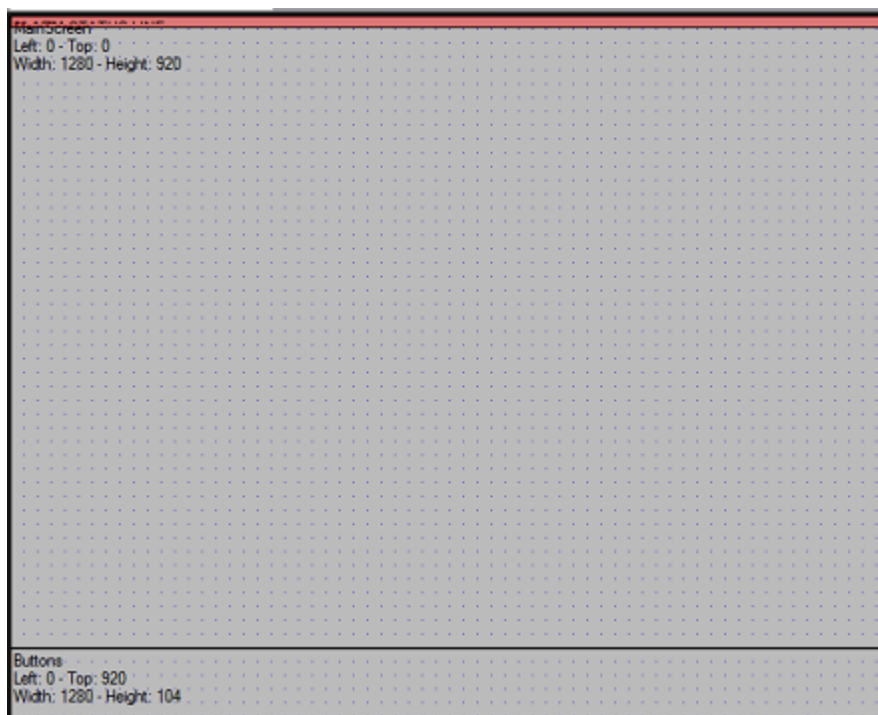


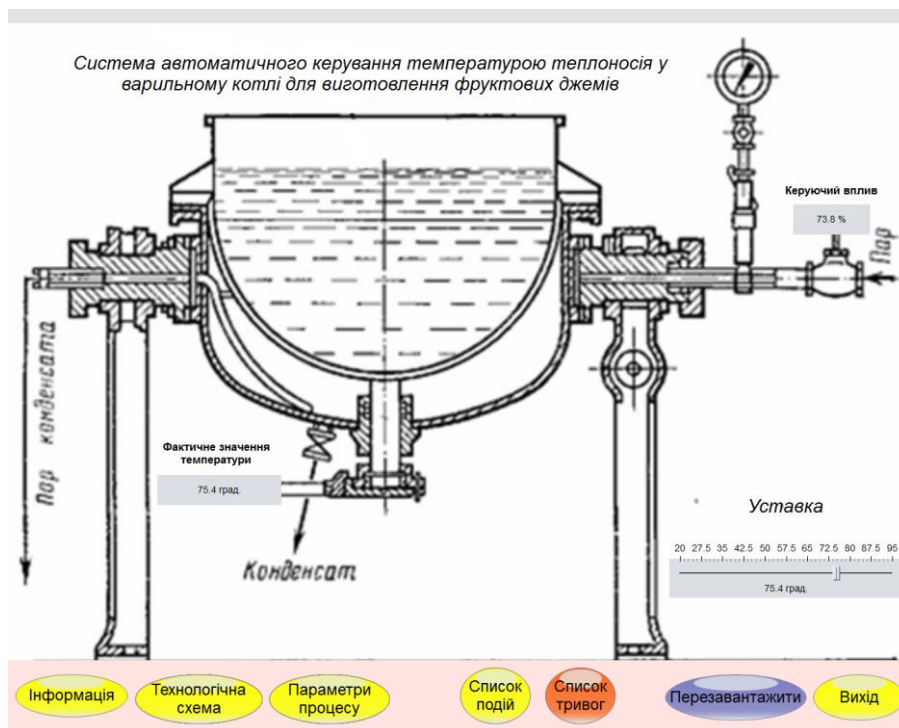
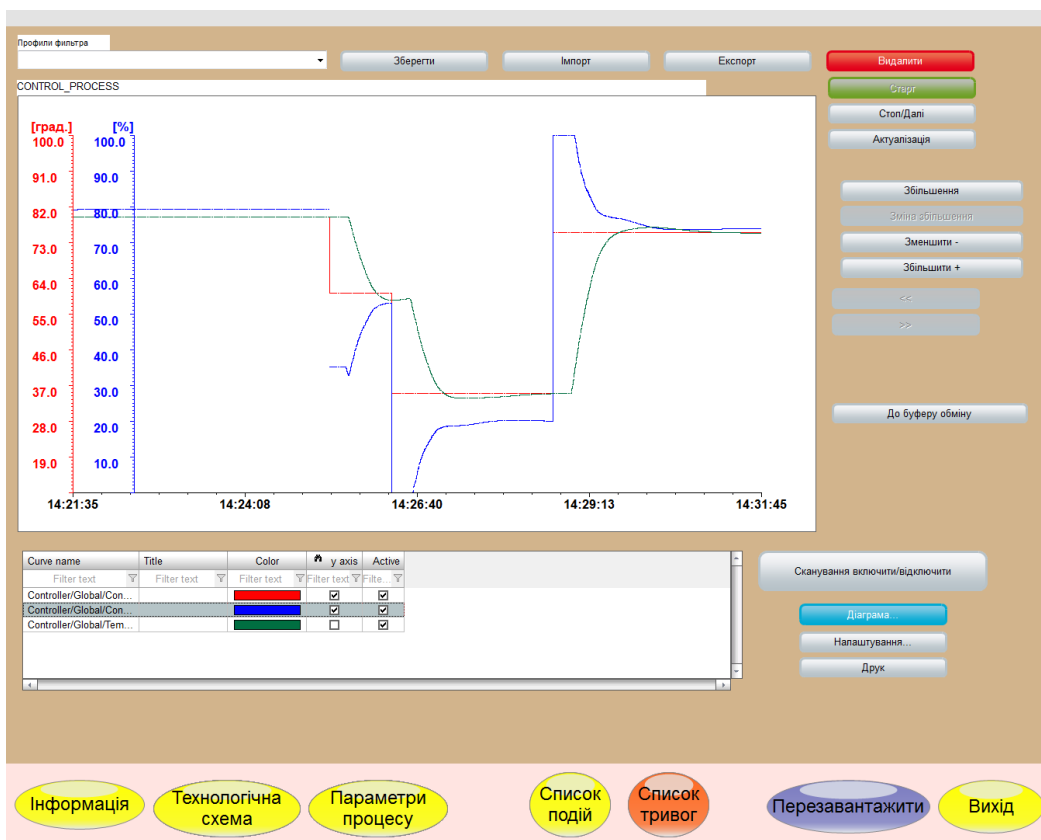
Рисунок 4.16 – Шаблон

Основні зображення розташовано в основному фреймі, зображення з кнопками є окремим фреймом, проте статичним, та відображається постійно. Для розробки таких зображень, як «Список подій» та «Список тривоги» були використані шаблони SCADA системи Zenon.

Розроблене програмне забезпечення наводиться у додатку В.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі уставки температури 75,4 °C на вхід об'єкта (рис.4.17). З рисунків 4.12-4.15 видно, що об'єкт та регулятор працюють згідно з результатами моделювання у підрозділі 4.1.



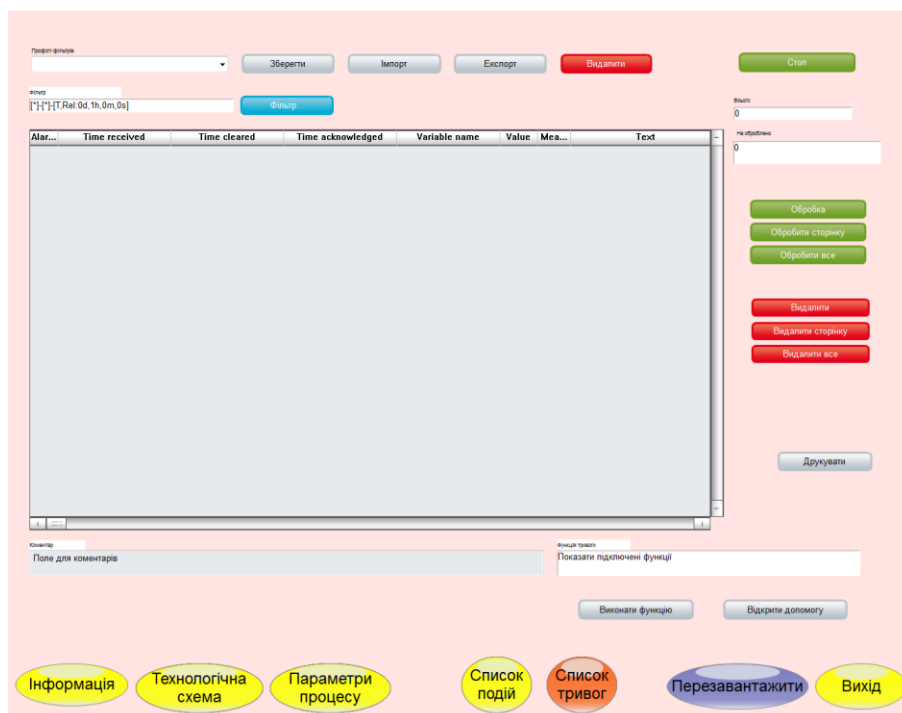
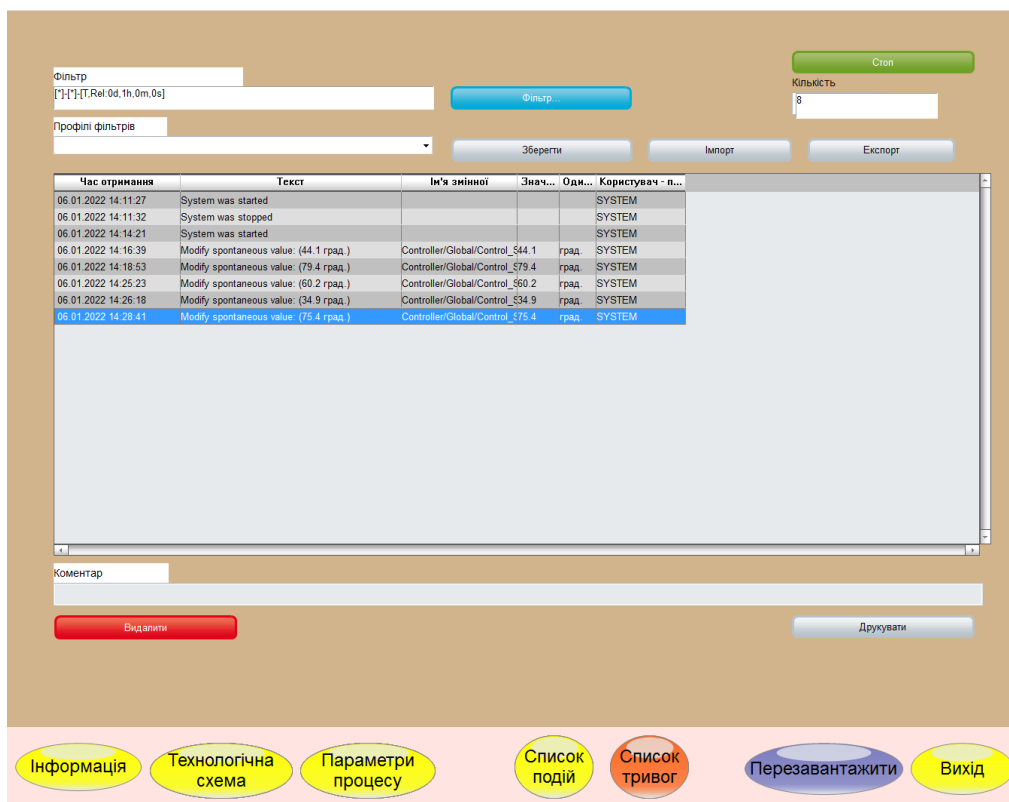


Рисунок 4.18 – Перевірка функціонування ЛМІ

Усі кнопки виконують свої функції, на технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи автоматичного

управління. До списку подій вносяться дані про зміну уставки. Оскільки система працює згідно з вимогами, список тривог порожній.

У результаті проведеної перевірки можна зробити висновок, що програмне забезпечення ЛМІ функціонує згідно з вимогами та може бути використане на виробництві.

4.5 Висновки до розділу

У результаті проведеної роботи було розроблено програмне забезпечення об'єкта управління, регулятора, та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. Проведено перевірку функціональності роботи системи автоматичного управління температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів та ЛМІ.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок капітальних інвестицій

У кваліфікаційній роботі розробляється система автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів. Дані про капітальні витрати на устаткування наведені у табл. 5.1.

$$K = K_{об} + K_{тр} + K_{мн}, \quad (5.1)$$

де $K_{об}$ – витрати на придбання устаткування,

$K_{тр}$ – витрати на транспортування;

$K_{мн}$ – монтаж і налагодження системи.

Таблиця 5.1 - Капітальні витрати

№	Найменування витрат	Кількість	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	ПЛК VIRA	1	14316,6	14316,6
2	Газовий пальник	2	74 888	149 776
3	Блок живлення	1	2500	2500
4	Датчик температури	1	4 567,72	4 567,72
5	НМІ панель керування	1	6 549,0	6 549,0
Усього				177 709.32

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт приймається за договірними розцінками на монтаж і налагодження електротехнічного устаткування, що приблизно становить 8...10 % від вартості устаткування. Оскільки обладнання має високу ціну, тому його налагодження дуже важливе, приймаємо вартість монтажних-налагоджувальних робіт на рівні 10 % від вартості устаткування:

$$K_{мн} = Q_y \times 0,1, \text{ грн.} \quad (5.2)$$

де Q_y – вартість устаткування

$$K_{мн} = 177\,709.32 \times 0.1 = 17\,770.93 \text{ грн.}$$

Транспортно-заготівельні витрати за спрощеним методом визначаються у відсотках від вартості устаткуванням, виробів, матеріалів (5...7 %) або за фактичними витратами. Затверджуємо транспортно-заготівельні витрати на рівні 7 % від вартості устаткування.

$$K_{\text{тр}} = Q_{\text{у}} \times 0.07 \quad (5.3)$$

$$K_{\text{тр}} = 177\,709.32 \times 0.7 = 124\,396.52 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати складуть:

$$K = 177\,709.32 + 124\,396.52 + 17\,770.93 = 319\,876.77 \text{ грн.}$$

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Транспортно-заготівельні витрати за спрощеним методом визначаються До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню та енергомережам відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ($C_з$);
- єдиний соціальний внесок (C_c);
- витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт устаткування та електромереж ($C_{\text{пр}}$);
- вартість витраченої електроенергії (C_e);
- інші витрати ($C_{\text{ін}}$).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати будуть складати:

$$C = C_a + C_з + C_c + C_{\text{пр}} + C_e + C_{\text{ін}}, \text{ грн.} \quad (5.4)$$

5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Обладнання, яке використовується у даному проекті належить до 4 групи за нормами нарахування амортизації основних фондів. Термін експлуатації такого обладнання складає 5 років.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації буде визначатися за формулою:

$$H_a = (2/T) \cdot 100\%, \quad (5.5)$$

де H_a - норма амортизації, T — термін корисного використання обладнання.

Для даної системи норма амортизації складає:

$$H_a = (2/5) \cdot 100\% = 40 \%$$

У свою чергу амортизація основних фондів:

$$C_a = (ПВ \cdot H_a) / 100\%, \quad (5.6)$$

де C_a — амортизація основних фондів, $ПВ$ — первинна вартість, що дорівнює капітальним витратам.

Для даної системи сума амортизації становитиме:

$$C_a = \frac{319\,876.77 \cdot 40\%}{100} \% = 127\,950.70 \text{ (грн.)}$$

5.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{ном.рік}} = (T_k - T_{\text{вих.св}} - T_{\text{відп}}) \cdot T_{\text{зм}}, \text{ ГОДИН} \quad (5.7)$$

де T_k – календарний фонд робочого часу, 365 днів;

$T_{\text{вих.св}}$ – вихідні дні та свята, 114 днів;

$T_{\text{відп}}$ – відпустка, 21 день;

$T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, 8 год.

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{ном.рік}} = (365 - 114 - 21) \cdot 8 = 1\,840 \text{ годин.}$$

У керуванні процесом задіяні дві персони: оператор та спеціаліст з устаткування.

Розрахунок заробітної плати персоналу наведено у табл. 5.2

Таблиця 5.2 — Розрахунок заробітної плати персоналу

Найменування професії	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн/гол	Номінальний річний фонд робочого часу, год	Пряма заробітна плата, грн	Додаткова заробітна плата (10%), грн	Доплати (7%), грн	Загальна заробітна плата, грн
Оператор ЕОМ	2	28	1840	103040	10304	7212,8	120557
Налагодж. електроустаткув.	1	32	1840	58880	5888	4121,6	68889,6
Усього							189446,6

5.2.3 Розрахунок єдиного соціального внеску

Відрахування на соціальні заходи складуть:

$$C_c = 0.22 \times C_z \quad (5.8)$$

$$C_c = 0.22 \times 189446,6 = 41678,25 \text{ грн}$$

5.2.4 Розрахунок річних витрат на поточний ремонт та технічне обслуговування

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

$$C_{p.o.} = 0,05 \times K_{ПР}, \quad (5.9)$$

та складають:

$$C_{p.o.} = 0.05 \times 177\,709.32 = 8\,885.46 \text{ грн}$$

5.2.5 Розрахунок вартості електроенергії

Система працює неперервно упродовж року.

Вартість електроенергії, споживаної системою керування визначається як:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{др} \cdot ds \cdot T, \quad (5.10)$$

де K_e - кількість електроенергії, спожитої системою керування за годину (0,1 кВт·год);

$K_{др}$ – кількість робочих днів у році (365 день);

ds – тривалість зміни (24 годин);

T – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1.68 грн. за кВт з ПДВ).

Виходячи з технічних характеристик, споживання електроенергії становить 0,6 кВт.

$$C_{ee} = 0.6 \times 365 \times 24 \times 1.68 = 10\,596,09 \text{ грн.}$$

5.2.6 Визначення інших витрат

Інші витрати з експлуатації системи включають витрати з охорони праці, витрати на спецодяг та інше. Згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{інш} = 0,04 \times C_z, \quad (5.11)$$

та складають:

$$C_{інш} = 0,04 \times 189446,6 = 7577,86 \text{ (грн.)}$$

Експлуатаційні витрати за рік наведені у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 — Вартість експлуатаційних витрат за рік

№	Найменування показника	Показник
1	Амортизація	127 950.70
2	Фонд заробітної плати	189446,6
3	Відрахування на соц. виплати	41678,25
4	Ремонт і тех. обслуговування	8 885.46
5	Електроенергія	10596,09
6	Інші	7577,86
	Разом	386 134.96

5.3 Визначення річної економії від впровадження об'єкта проектування

Річна економія від впровадження системи керування підрозділяється на пряму і непрямую в залежності від факторів, що її визначають, та розраховується за формулою:

$$\epsilon_r = \epsilon_{\text{п}} + \epsilon_{\text{к}}, \quad (5.12)$$

де $\epsilon_{\text{п}}$ – підсумкова пряма економія (грн.);

$\epsilon_{\text{к}}$ – підсумкова непрямая економія (грн.).

Повна річна економія від впровадження об'єкту керування визначається з урахуванням експлуатаційних витрат:

$$\mathcal{E}_{\text{пол}} = \mathcal{E}_r - C_e, \quad (5.13)$$

де \mathcal{E}_r – річна економія (грн);

C_e – експлуатаційні витрати (грн).

Визначимо річну економію та повну річну економію при впровадженні системи керування.

5.3.1 Визначення прямої та непрямой економії від впровадження об'єкта керування

Пряма економія пов'язана з зниженням втрат активної електроенергії в системі електропостачання:

$$\epsilon_{\text{п}} = \Delta W \cdot \text{Ц}_{\epsilon}, \quad (5.14)$$

де ΔW – річна економія електроенергії в результаті впровадження об'єкту керування (кВт*годин);

Ц_{ϵ} – тариф на електроенергію, (1.68 грн * кВт*годин).

Непряма економія пов'язана зі зниженням втрат заробітної плати від проведення понаднормових робіт у зв'язку з специфікою роботи (час простою має бути відшкодований у вигляді понаднормових робіт з підвищеною оплатою):

$$\epsilon_{\text{к}} = C_3 \times \Delta t_{\text{про}} / T_r \times \beta_{\text{су}}, \quad ($$

5.15)

де $C_з$ – заробітна плата обслуговуючого персоналу (189446,6 грн);

$\Delta t_{\text{про}}$ – різниця часу простою до та після впровадження (1200 год);

T_r – понаднормовий час робіт (1500 год);

$\beta_{\text{су}}$ – коефіцієнт, що враховує підвищення оплати за понаднормовий час ($\beta_{\text{су}} = 1,625$).

Тому вона дорівнює:

$$C_k = 189446,6 \times \frac{1200}{1500 \times 1,625} = 93\,266,01 \text{ грн.}$$

5.3.2 Визначення річної економії електроенергії від впровадження об'єкта керування

$$\Delta W = C_{e1} - C_e, \quad (5.16)$$

де C_e – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування;

C_{e1} – річні поточні витрати, до застосування системи керування.

Річні експлуатаційні витрати до застосування системи керування розраховуються за формулою:

$$C_{e1} = C_{a1} + C_з + C_c + C_{\text{р.о.1}} + C_{ee1} + C_{\text{інш.}} \quad (5.17)$$

де C_{e1} – річні поточні витрати, до застосування системи керування;

C_{a1} – амортизація основних фондів;

$C_з$ – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

C_c – відрахування на соціальні заходи;

$C_{\text{р.о.1}}$ – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт до впровадження нової системи;

C_{ee1} – вартість електроенергії до системи керування;

$C_{\text{інш}}$ – інші витрати.

Визначимо експлуатаційні витрати до впровадженні системи керування.

Обладнання використане до розробки системи керування належить до 4 групи за нормами нарахування амортизації основних фондів. Передбачений термін експлуатації обладнання становить 5 років. При використанні прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визнається як:=

$$H_a = (2/T) \cdot 100\%, \quad (5.18)$$

де H_a – норма амортизації;

T – термін корисного використання об'єкту.

Норма автоматизації для розроблюваної системи керування складає:

$$H_a = (2/5) \cdot 100\% = 40 \%$$

У свою чергу амортизація основних фондів:

$$C_{a1} = (K_{\text{пр1}} \cdot H_a) / 100\%, \quad (5.19)$$

де C_{a1} – амортизація основних фондів (річна);

$K_{\text{пр1}}$ – первинна вартість обладнання, яка дорівнює капітальним витратам 177 709.32(грн).

Таким чином сума амортизації до впровадження системи керування становить:

$$C_{a1} = \frac{177\,709.32 \cdot 40\%}{100\%} = 71083.27 \text{ грн}$$

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника з впровадженням нової системи керування залишається не змінним і складає:

$$T_{\text{ном.рік}} = (365 - 114 - 21) \cdot 8 = 1840(\text{годин}).$$

Для керування технологічним процесом до впровадження системи керування задіяні 2 оператори ЕОМ та 1 спеціаліст з електроустаткування.

Річний фонд заробітної плати виробничих робітників дорівнює:

$$C_z = 189446,6 \text{ (грн.)}$$

Відрахування на соціальні заходи складають:

$$C_c = 0,22 \cdot 189446,6 = 41678,25 \text{ (грн).}$$

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

$$C_{p.o.1} = 0,05 \cdot K_{ПР1}, \quad (5.$$

20)

та складають:

$$C_{p.o.1} = 0,05 \cdot 177\,709,32 = 8885,46 \text{ (грн).}$$

Вартість електроенергії, споживаної до розробки системи керування визначається як:

$$C_{ee1} = K_{e1} \cdot K_{др} \cdot ds \cdot T, \quad ($$

4.21)

де K_{e1} – кількість електроенергії, спожитої до системи керування (0.6 кВт·год);

$K_{др}$ – кількість робочих днів у році (365 день);

ds – тривалість зміни (24 годин);

T – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1.68 грн. за кВт з ПДВ).

Таким чином витрати на електроенергію до розробки системи керування:

$$C_{ee1} = 0,6 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 1,68 = 10\,596,09 \text{ грн.}$$

Інші витрати з експлуатації до розробки системи керування включають витрати з охорони праці, витрати на спецодяг та інше. Згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу, та складають:

$$C_{інш} = 0,04 \cdot 189446,6 = 7577,86 \text{ грн.}$$

Річна економія електроенергії згідно з (5.16).

$$\Delta W = 1 \cdot 365 \cdot 24 - 0,6 \cdot 365 \cdot 24 = 8760 - 5256 = 3504 \text{ кВт} \times \text{год.}$$

З цього пряма економія пов'язана зі зниженням витрат активної електроенергії в системі електропостачання згідно з формулою (5.14):

$$\mathcal{E}_n = 3504 \times 1.68 = 5886.72 \text{ грн.}$$

Річна економія від впровадження згідно з формулою (5.12) дорівнює:

$$\mathcal{E}_r = 5886.72 + 93\,266,01 = 99152.73 \text{ грн}$$

5.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності об'єкта керування

Оцінка економічної ефективності розглянутих у спеціальній частині дипломного проекту технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення та аналізу розрахункового коефіцієнта ефективності капітальних витрат E_p та терміну окупності капітальних витрат T_p що розраховуються за формулами:

$$E_p = \mathcal{E}/K, \text{ частки од.,} \quad (5.22)$$

де \mathcal{E} - загальна річна економія від впровадження об'єкта керування дорівнює **99152.73 грн.**

K - капітальні витрати за варіантами що викликали цю економію **319 876.77 грн.**

$$T_p = K/\mathcal{E}, \text{ років} \quad (5.23)$$

Згідно формул (5.22) та (5.23) отримаємо такі розрахунки:

$$E_p = 99152.73 / 319\,876.77 = 0.309$$

$$T_p = \frac{319\,876.77}{99152.73} = 3,2 \text{ років.}$$

5.5 Висновки до розділу

Виходячи з розрахунків, видно, що капітальні витрати склали **319 876.77 грн.**, а річні експлуатаційні витрати 386 134.96 грн. Таким чином, впровадження нового обладнання та його експлуатація є дуже коштовними в матеріальному плані, але необхідними, оскільки встановлення нової системи керування дозволить зменшити витрати на всіх етапах технологічного процесу.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників

В кваліфікаційній роботі об'єктом дослідження з погляду питань охорони праці, є приміщення з обладнанням лінії виробництва фруктових джемів у варильному котлі. Тут аналізуються рівень небезпеки процесів роботи і обслуговування котельних агрегатів. Існує ряд факторів, які сприяють підвищенню рівня небезпеки для судин, що працюють під тиском, а саме:

- температура поверхонь обладнання, що перевищує норми, а також вмісту котла;
- підвищений показник напруги в електричному ланцюзі;
- слабка освітленість робочої зони;
- фізичні перевантаження, слизька підлога.

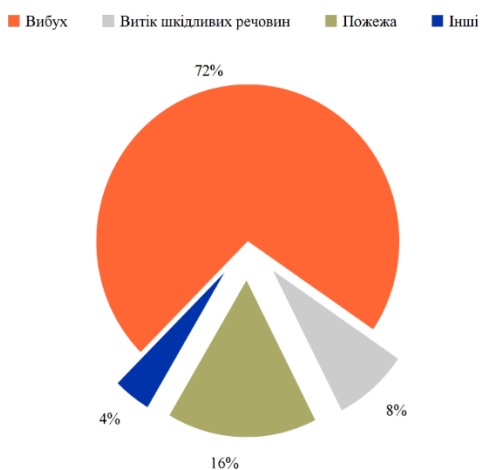


Рис. 6.1 Види аварій у котельнях

Найпоширенішими небезпечними ситуаціями відповідно частоти їх виникнення при експлуатації котельних агрегатів виявились наступні (рис. 6.1): витік шкідливих речовин, пожежа, вибух, а також опіки в результаті контакту з паром або водою.

При оцінці чинників виникнення аварій було встановлено, що найчастішою причиною є помилкові дії персоналу – 43% з усіх чинників аварій, до інших 57% належать такі причини як руйнування конструкції котельного агрегату, нещільності в трубопроводі та пожежі на котельній чи прилеглих до неї місцях.

Табл. 6.1 – Перелік основних небезпечних і шкідливих виробничих чинників, які зустрічаються на робочому місці:

Найменування чинників	Джерела виникнення	Характер дії на організм	Нормований параметр
Недостатня освітленість місця проведення робіт	Робоча зона	Вплив на функціонування зорового апарату, на психіку людини, його емоційний стан, викликає втому нервової системи	Освітленість приміщень і споруд котельнь потрібно приймати відповідно до вимог ДБН В.2.5-2.8-18
Підвищена температура поверхонь обладнання і матеріалів	Нагріті стінки і склепіння	Опіки незахищених ділянок тіла	Інтенсивність опромінення не повинна перевищувати 0,35 кДж / м ² с. (ГОСТ 12.3.004-75)
Підвищена запиленість	Внесення частинок пилу разом з повітрям, застосування в цеху сипучих і легко роздрібнюваних матеріалів	Кисневе голодування, прискорене дихання, ушкодження слизових оболонок	Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої зони, 10 мг/м ³
Монотонність праці	Безперервна робота на ЕОМ	Підвищення стомлюваності, зниження уваги	Гігієнічна оцінка за напруженістю трудового процесу (Наказ МОЗ України 08.04.2014 № 248)

При неправильному монтажі та експлуатації обладнання, воно може бути джерелом небезпеки для обслуговуючого персоналу.

Основним небезпечним фактором при експлуатації обладнання лінії виробництва фруктових джемів є підвищене значення напруги в електричній мережі (електричне обладнання технологічних апаратів). Замикання напруги може відбутися через контакт людини з корпусами електрообладнання.

В деяких апаратах лінії наявний різально-вимішувальний інструмент, тому один з небезпечних факторів є пошкодження та травмування кінцівок. Розповсюдженні причини цього є недбалість та не дотримання вимог експлуатації апарату. Персонал повинен виконувати тільки ту роботу, по якій пройдений інструктаж і на яку видано завдання. Передоручати свою роботу іншим особам заборонено. При виявленні несправностей доповісти про них безпосереднього керівнику і не приступати до роботи до їх усунення.

Також, ще одним з шкідливих виробничих є небезпека впливу біологічних і мікробіологічних речовин. Це може бути пов'язано з вдиханням або потраплянням в організм речовин, які використовуються в технологічному процесі.

Поширеною небезпека при роботі з апаратами лінії виробництва фруктових джемів є опіки. Опіки бувають поверхневого характеру (це взаємодія шкіряного покриву людини з нагрітою зовнішньою поверхнею елемента нагріву) та опіки окропом (контакт з гарячою водою та ін.).

6.2 Інженерно-технічні заходи щодо охорони праці

Електробезпека. Приміщення, в якому розташована лінія виробництва фруктових джемів, згідно з діючими правилами устрою електроустановок (ПУЕ), можна віднести до категорії приміщень із підвищеною небезпекою поразки електричним струмом, тому що присутні кілька умов, що створюють підвищену небезпеку: висока температура, більш 35°C, струмопровідні підлоги й можливість одночасного дотику до металевих частин обладнання й металевих конструкцій будівлі.

У приміщенні є споживачі, як на лінійну (технологічне обладнання), так і на фазну напругу (освітлення, витяжна вентиляція).

Для забезпечення приміщення електричною енергією до нього підведена трифазна чотирипровідна електрична мережа із заземленої нейтраллю, напругою 380/220 В.

Для забезпечення захисту персоналу від поразки електричним струмом у приміщенні використовується схема заземлення TN-C-S.

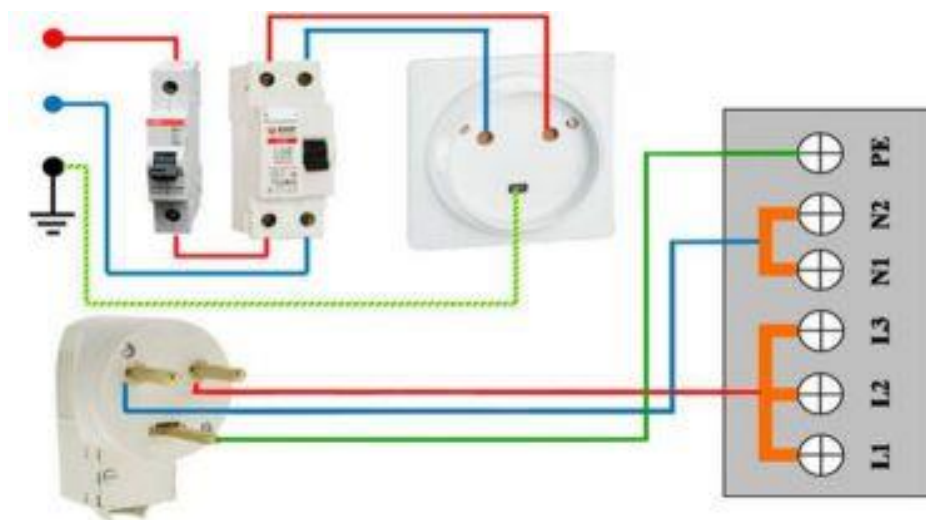


Рис 6.2 Підключення варильного котла

Система заземлення TN-C-S являє собою спрощений варіант система заземлення TN-S: від підстанції до вступного щитка споживача прокладений сполучений нульовий і заземлюючий провідник, інакше кажучи, нуль на підстанції заземлений; але вже із щитка до споживача надходить окремо робочий нуль і заземлюючий провідник.

Для забезпечення захисного відключення використовуємо УЗВ диференціального типу, основним призначенням якого є забезпечення безпеки людину у випадку дотику до занульованого (заземленого) корпусу при замиканні на нього фази, а також при безпосередньому дотику до струмоведучої частини електроустановки.

Захист повинний забезпечувати відключення пошкодженої ділянки при КЗ в кінці лінії що захищається. Автоматичні вимикачі і запобіжники

пробочного типу повинні приєднуватися до мережі так, щоб при викрученій пробці запобіжника (автоматичного вимикача) гвинтова гільза запобіжника (автоматичного вимикача) залишалася без напруги. Виходячи з цього було встановлено автоматичний вимикач Moeller PLHT C 30 A. Схема підключення автомата зображена на рис. 6.2.

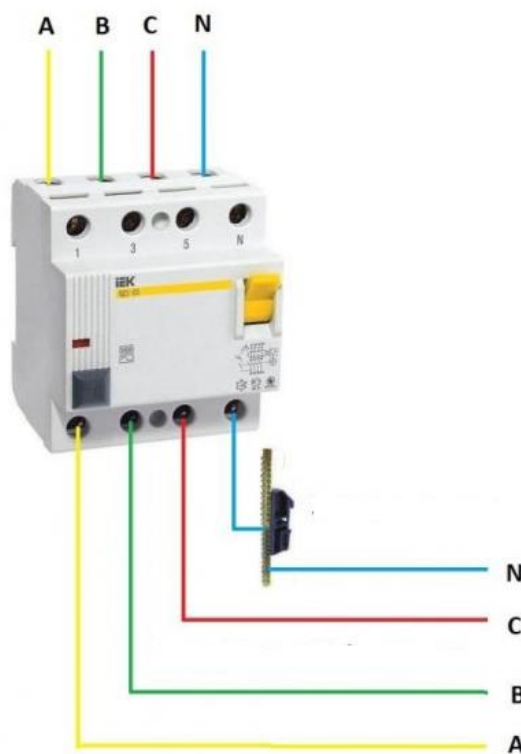


Рис. 6.2 Схема підключення трьох фазного автомата

У цілому для забезпечення електробезпеки в приміщенні необхідно регулярно пропарити інструктажі й перевірки всіх співробітників на предмет знання техніки безпеки. Для трифазної мережі з потужністю обладнання 7 кВт і більше потрібен п'ятижильний кабель з переріз проводу $2,5 \text{ мм}^2$.

Для робітника, який безпосередньо контактує з котлом, передбачені спеціальні рукавички які забезпечують захист від опіку при короткочасному контакті з розпеченої поверхнею. Виготовляються з шкіряного спилка товщиною 1,1...1,3 мм, всередині - м'яка х/б підкладка, шви прошиті міцною негорючої ниткою.



Рис. 6.3 Рукавички-краги

Зниження запиленості повітря робочої зони досягається герметизацією формувального і паливно-заготівельного обладнання, а також пристроєм загальна-обмінної і місцевої витяжної вентиляції в місцях подачі вугільного пилу. Відсмоктуване з ділянок котельні повітря перед випуском в атмосферу очищається пилоочисними пристроями.

Виконано запобігання проникнення шкідливих речовин в повітря робочої зони за рахунок герметизації обладнання, ущільнення з'єднань, люків та отворів.

Передбачено використання системи пилопригнічення, що змочує дрібні частинки, які потрапляють в повітря. Це дозволяє виключити пил з повітря шляхом розпилення дрібних крапель води в хмарі пилу.

Для мінімізації монотонності роботи, вводиться чимала кількість автоматизованих систем, що зводить до мінімуму участь людини в роботі котельного агрегату, знижуючи тим сам одноманітність і тривалість робіт з присутністю людини. У нашому випадку, ми вводимо систему автоматичної

стабілізації температури перегрітої пари, що дозволяє людині працювати у вільному ритмі і темпі, дозволяючи знизити монотонність процесу праці.



Рис. 6.4 Водяна гармата для систем пилопригнічення

Завантаження сировини до здрібнювальної машини при роботі мішалки слід пропарити обережно, не допускаючи контакту з різально-вимішувальним інструментом. Для забезпечення усунення травмування кінцівок та інших частин тіла, апарати повинні мати:

- системи автоматичної зупинки різально-вимішувальних інструментів та об'єкта управління в цілому;
- контрольно-вимірювальні прилади (датчики температури, датчики тиску, термометри, датчики верхнього та нижнього рівня фруктового пюре, і ін.) звукові сигналізатори в випадку аварій;
- редукційні клапани та відвідники конденсату;
- прилади автоматичного регулювання живлення та пристрої автоматики безпеки.

Попадання окропу на шкіру, або взаємодія з гарячою поверхнею, провокує появу на ній опіку, що супроводжується зморщуванням шкіри і покриттям її пухирцями. В деяких випадках шкіра навіть злазить - зокрема розвиток подій визначається виходячи з конкретного ступеня опіку.

Щоб запобігти цьому, потрібно перед роботою перевіряти працездатність елементів нагріву та самого апарату, потрібно встановлювати датчики для регулювання температури та тиску; усі стінки апарату, мають бути покриті тепловою сорочкою, щоб температура зовнішнього покриття не перевищувала 25°C.

Перед роботою, перевіряти всі прилади та установки на працездатність. Не допускати контакту шкіри з гарячими поверхнями та рідинами.

Запах. Основні джерела запаху на підприємствах пов'язані з розташованими на їх території установками по очищенню стічних вод. Нестійкі запахи утворюються в процесі заповнення /спорожнення емностей сировини і бункерів для зберігання. До рекомендованих методів запобігання виникненню запаху і зменшення його інтенсивності відносяться:

- забезпечення належного проектування і технічного обслуговування установок з очищення стічних вод з урахуванням передбачуваного навантаження;
- утримання в чистоті всіх виробничих і складських приміщень;
- часте вивантаження і очищення жируловлювачів (наприклад, щоденне вивантаження і щотижневе очищення);
- мінімізація обсягу зберігаються відходів і побічних продуктів і їх короткострокове зберігання в холодних, закритих і добре вентильованих приміщеннях;
- ізолювання технологічних процесів, в результаті яких утворюється запах, і проведення їх під розрядженням.

Викиди пилу в процесі роботи обладнання включають залишки тонко-дисперсного фруктово-сахарного шару, або порошку в відпрацьованому повітрі систем технологічних ліній і в процесі розфасовки продукції. До числа рекомендованих заходів щодо запобігання або скорочення обсягу викидів пилу, в першу чергу, відноситься:

- установка системи витяжної вентиляції обладнаної пиловловлюючими системами (наприклад, циклонні або рукавні пиловловлювачі);
- застосування рукавних пиловловлювачів, в цілому, є більш кращим у порівнянні з використанням методу мокрого очищення, оскільки вони споживають значно менше енергії, утворюють менше стічних вод або взагалі їх не утворюють і створюють менше шуму.

Присутність гарячого повітря і дрібного пилу створює небезпеку пожежі або вибуху. Всі сучасні розпилювальні сушарки та технологічні лінії повинні бути обладнані механізмами скидання тиску вибуху і протипожежними системами.

Також на надійність та безаварійність роботи працюючих впливає вентиляція приміщення. Забруднене повітря при видаленні не повинно проходити через зону дихання працівника. Місцеві відсмоктувачі, парасолі і укриття повинні надійно кріпитися і не створювати незручностей працівникам. Вентиляційний агрегат повинен бути зблокований з приводам технологічного обладнання, конструктивна пов'язаного з ним, і виключати пуск і роботу обладнання при непрацюючому вентиляційному агрегаті.

6.3 Розрахунок нормування розмірів приміщення, що оснащено комп'ютерною технікою

Завдання — визначити кількість комп'ютеризованих робочих місць, оснащених широкоформатними моніторами, які можуть бути у даному приміщенні. Виконати розрахунок та зробити план оптимального розташування робочих місць відповідно до чинних норм та правил з охорони праці.

Розміри приміщення наведені в табл. 6.3.

Табл. 6.2 Вихідні дані приміщення

Найменування параметру	Умовне позначення	Параметр, мм
Довжина приміщення	a	6000
Ширина приміщення	b	4000
Висота приміщення	H	3500

Вибране приміщення відповідає вищезазначеним вимогам ДНАОП 0.00-1.31-99.

Площа приміщення визначається за формулою:

$$S_{пр} = a \cdot b \quad (6.1)$$

$$S_{пр} = 6 \cdot 4 = 24 \text{ м}^2$$

Площа приміщення становить $S_{пр} = 24 \text{ м}^2$.

Об'єм приміщення визначається за формулою:

$$V_{пр} = S_{пр} \cdot H \quad (6.2)$$

$$V_{пр} = 24 \cdot 3,5 = 84 \text{ м}^3$$

Об'єм приміщення становить $V_{пр} = 84 \text{ м}^3$.

Відповідно до норм мінімальна площа, на якій розташовується одне комп'ютеризоване робоче місце, оснащене монітором з рідкокристалічним екраном повинна становити не менше $4,5 \text{ м}^2$, то в даному приміщенні можна розмістити щонайбільше два комп'ютеризованих робочих місць.

Визначення максимальної кількості комп'ютеризованих робочих місць, що відповідають нормативним вимогам за площею приміщення визначається по формулі:

$$K_{рм} = \frac{S_{пр}}{S_{норм}} \quad (6.3)$$

$$K_{рм} = \frac{24}{4,5} = 5,3 \approx 5$$

Розрахунок показав, що в даному приміщенні допустима організація комп'ютеризованих робочих місць в максимальній кількості - 5.

Визначення максимальної кількості комп'ютеризованих робочих місць, що відповідають нормативним вимогам за об'ємом приміщення визначається по формулі:

$$K_{\text{рм}} = \frac{V_{\text{пр}}}{V_{\text{норм}}} \quad (5.4)$$

$$K_{\text{рм}} = \frac{84}{(15 + 20) \div 2} = 4,8 \approx 5$$

Розрахунок підтверджує, що в даному приміщенні допустима організація комп'ютеризованих робочих місць в максимальній кількості - 5.

6.3.1 Планування оптимального розміщення комп'ютеризованих робочих та розрахунок освітленості

Під час планування оптимального розміщення комп'ютеризованих робочих місць, необхідно також урахувати розміри меблів, зокрема, робочого столу та крісла. Відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99, рекомендовані розміри столу для комп'ютеризованого робочого місця становлять: висота - 725 мм, ширина — від 600 до 1400 мм, глибина — від 800 до 1000 мм.

Приймаємо, що робочий стіл має такі розміри: ширина - 1 200 мм, глибина - 800 мм.

Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо із урахуванням таких вимог:

- робочі місця розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями має бути не менше 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5 м;

- прохід між рядами робочих місць має бути не менше 1 м.

З урахуванням наявності необхідних периферійних пристроїв та офісних меблів (полиць, тумб, шаф), прийнято рішення щодо оптимальної організації комп'ютеризованих робочих місць. Оптимальна кількість комп'ютеризованих робочих місць з урахуванням ергономічних факторів становить 4 місця.

На рис. 6.5 наведено план оптимальної організації комп'ютеризованих робочих місць.

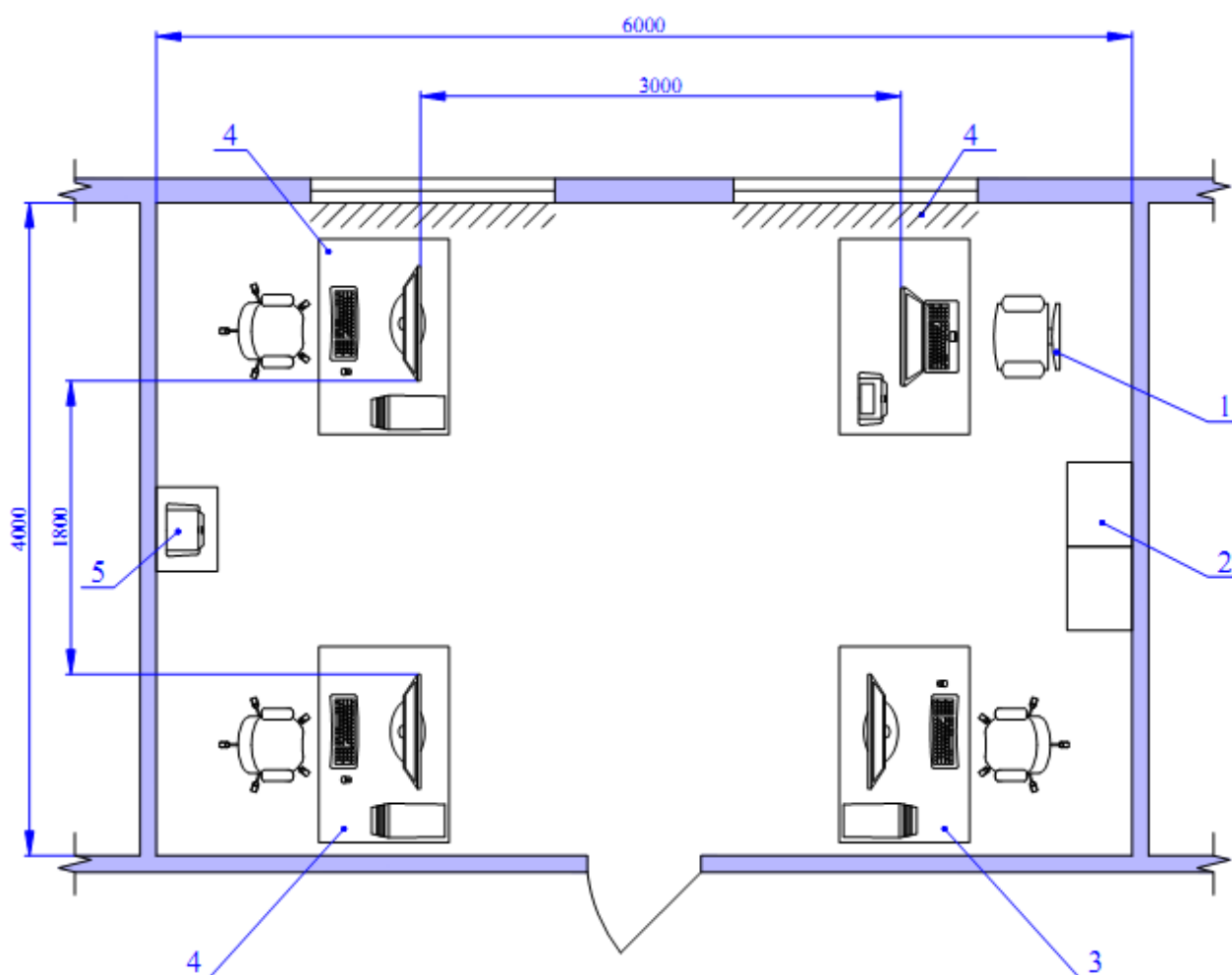


Рис. 6.5 План оптимальної організації робочих місць

- 1 – комп'ютеризоване робоче місце; 2 – стілець офісний; 3 – шафи офісні; 4 – сонцезахисні жалюзі

Отже дане приміщення повністю задовольняє умовам та нормативам щодо розташування комп'ютеризованих робочих місць.

6.3.2 Розрахунок освітлення

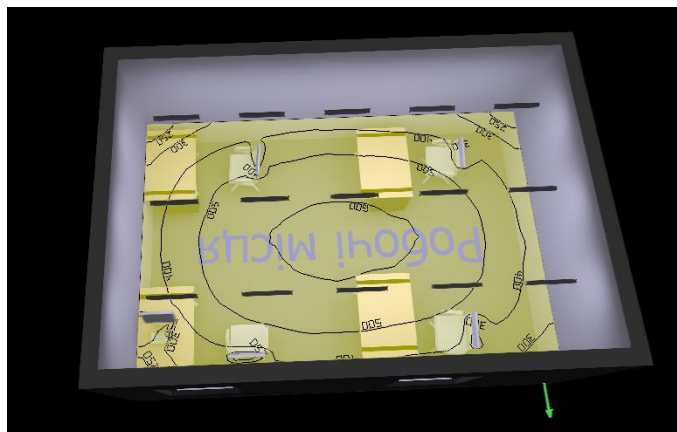


Рис. 6.6 Модель кімнати з розрахунком освітлення

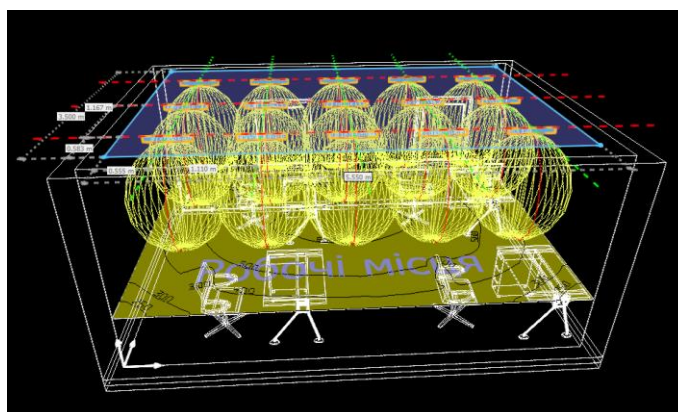


Рис. 6.7 Крива сили світла

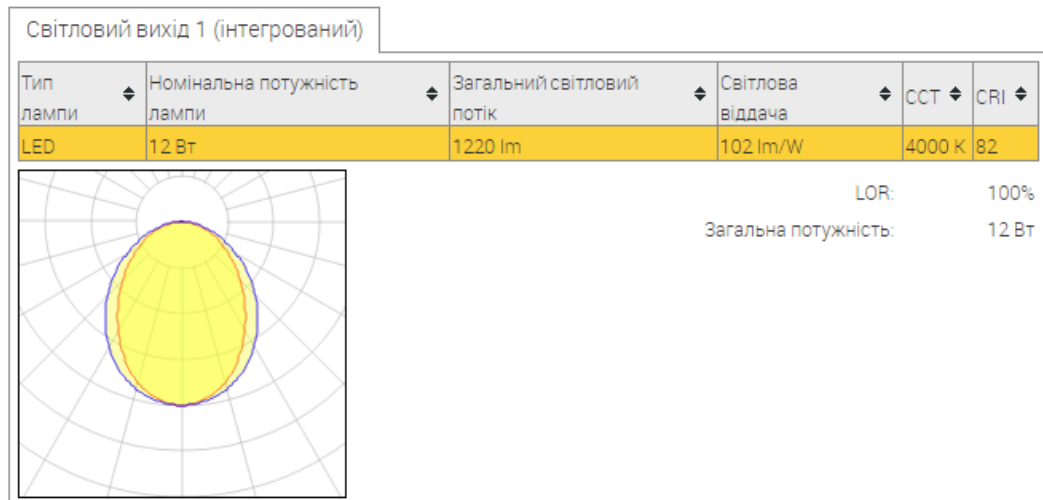


Рис. 6.8 Характеристика освітлювального пристрою

6.4 Пожежна профілактика

Пожежна безпека на підприємстві повинна забезпечуватися системами запобігання пожежі і протипожежного захисту, в тому числі організаційно-технічними заходами.

Приміщення, де встановлені технологічні лінії повинні мати систему пожежної безпеки, спрямовану на запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожежі, в тому числі їх вторинних проявів на необхідному рівні.

Будівля, в якому знаходиться лінія виробництва фруктових джемів відноситься до категорії Г приміщень з вибухопожежної та пожежної небезпеки (негорючі речовини та матеріали в розжареному та гарячому стані, процес підігріву та обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор або полум'я; горючі гази, рідини та тверді речовини, які нагріваються або використовуються як паливо).

Запобігання пожежі повинне досягатися запобіганням утворення горючого середовища і/або запобіганням виникнення її в займистому середовищі (або внесення до неї) джерел запалювання.

Для гасіння пожежі в приміщеннях такого типу, використовують воду, повітряно-механічну піну, порошки, або пар. Воду, як основний засіб для гасіння більшості горючих матеріалів, у вогнище пожежі можна подавати за

допомогою звичайних пожежних стволів, а розпорошені - через спеціальні стовбури розпилювачі або головки спринклерних або дренчерних установок пожежогасіння.

Джерелом водопостачання в приміщенні, де виготовляють фруктових джемів є внутрішній протипожежний водогін, обладнаний пожежними кранами з рукавами і стволами.

Щодо використання вогнегасників, вони повинні бути призначені для локалізації та гасіння пожежі на початковій стадії її розвитку.

Для запобігання небезпеки пожежі в котельному відділенні необхідно:

- підтримувати в справності обмурівку котлів, поду, а також ізоляцію кожуха котла, трубопроводів і механізмів, особливо працюючих на перегрітому парі;
- не залишати горючих матеріалів на гарячих частинах котла, паропроводів і механізмах;
- не допускати скупчення під плитами води, на поверхні якої може плавати паливо, і т. д.;
- не допускати скупчення сміття в топках.

Табл. 6.3 Вихідні дані для розрахунку вогнегасників

№ варіанта	Призначення приміщення	Розмір приміщення, м			Вид вогнегасної речовини	Характеристика вогнегасної речовини				Характеристики внутрішнього пожежного водопроводу		
		А	В	Н		$q_{\text{в}}$ кг/м	ρ , кг/л	K_z	$V_{\text{б.ст.}}$ л	$n_{\text{с}}$ шт.	$q_{\text{с}}$ л/с	$t_{\text{мт}}$ с
1	Склад комплектуючих запчастин	60	12	10	БФ-1	0,2	1,57	1,15	25	1	2,0	150
2		70	14	12	БФ-2	0,19	1,65	1,17	30	1	2,0	180
3		80	16	14	БМ	0,18	1,86	1,2	40	2	2,5	240
4		90	18	16	4НД	0,2	1,45	1,2	40	2	2,5	300
5	Приміщення з технічними засобами зв'язку	65	14	12	Фреон-13	0,27	1,58	1,3	25	2	2,5	150
6		75	16	10	4НД	0,2	1,45	1,2	30	2	2,5	180
7		80	10	11	БФ-1	0,2	1,57	1,15	40	2	2,0	240
8		90	12	13	БФ-2	0,19	1,65	1,17	40	2	2,5	300

Необхідна кількість вогнегасної речовини:

$$Q=q_v \cdot V \cdot K_{\Gamma} = 0.2 \cdot (80 \cdot 10 \cdot 11) \cdot 1.3 = 5280$$

Кількість балонів з вогнегасним составом:

$$N = Q / (V_{\delta} \cdot p \cdot 0.9) = 5280 / (40 \cdot 1.57 \cdot 0.9) = 93.4$$

Кількість балонів для стисненого повітря:

$$V = ((5+1)(N \cdot V_{\delta} + 20)) / (150-5) = ((5+1)(93.4 \cdot 40 + 20)) / (150-5) = (6(93.4 \cdot 40 + 20)) / 145 = 155.4$$

Кількість балонів зі стиснутим повітрям:

$$N = V / 25 = 155.4 / 25 = 6.2$$

6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Персонал має негайно зупинити котел, якщо захисти не працюють або їх немає та коли (п. 6.1.14 Правил № 71):

- недопустимо підвищився або знизився рівень води в барабані або не працюють усі водовказівні прилади;
- швидко знизився рівень води в барабані попри посилене підживлювання котла;
- недопустимо підвищився тиск у пароводяному тракті;
- є несправності запобіжного клапана або інших запобіжних пристроїв, що його замінюють;
- недопустимо знизився тиск у тракті водогрійного котла на час, більший ніж 10 с;
- розірвалися труби пароводяного тракту або виявили тріщини в основних елементах котла (барабані, колекторах, пароводоперепускних, водоопускних трубах), у паропроводах, живильних трубопроводах і пароводяній арматурі, які розміщені під тиском і їх не можна відключити;
- недопустимо знизився тиск газу або мазуту за регулювальним клапаном;

- відключилися всі димосмокти (для котлів із урівноваженою тягою) або дугтьові вентилятори;
- стався вибух у паливні, вибухнули або загорілися відкладення у газоходах і золовловнику, розігрілися (до почервоніння) опорні балки каркасу, обвалилися обмурівки, а також за інших пошкоджень, що загрожують персоналу або устаткуванню;
- знизилися витрати води через водогрійний котел нижче від мінімально допустимої на час, що перевищує 10 секунд;
- зросла температура води на виході з водогрійного котла вище від допустимої;
- сталася пожежа, яка загрожує персоналу, устаткуванню або лініям дистанційного керування арматури, що відключає та входить до схеми захисту котла;
- зникла напруга на пристроях дистанційного й автоматичного керування або на всіх засобах вимірювальної техніки;
- розірвано мазутопровід або газопровід у межах котла;
- підвищився тиск або збільшилося розрідження в паливній камері котла з газощільними екранами вище від значень, рекомендованих заводами-виробниками.

Вимоги до улаштування опалювальних котлів, що працюють на твердому паливі, визначає ДСТУ EN 303-5:2014 «Котли опалювальні. Частина 5. Опалювальні котли на твердому паливі з ручним і автоматичним завантаженням топки і номінальною теплотворною здатністю до 500 кВт. Термінологія, вимоги, випробування та маркування», затверджений наказом Мінекономрозвитку від 29.12.2014 № 1479.

В аварійній обстановці: відключити електрообладнання, повідомити про небезпеку оточуючим людям, сповістити безпосереднього керівника, діяти згідно з планом ліквідації аварій.

Котел повинен бути відключений:

- при раптовій появі на корпусі котла відчутного електричного струму;

- при несправному манометрі, запобіжному клапані, покажчику рівня води і т. ін.
- при підвищенні норми тиску в паровій сорочці живильного котла.

При пожежі слід відключити електричний котел, викликати пожежну частину по телефону 101, евакуювати людей з приміщення і вжити всіх заходів по ліквідації пожежі за допомогою первинних засобів пожежогасіння. Доповісти про те, що трапилося керівнику.

При ураженні електричним струмом слід негайно вимкнути електрообладнання, звільнити потерпілого від дії електричного струму, надати першу допомогу, викликати швидку медичну допомогу за телефоном 103, повідомити про це безпосереднього керівника.

При нещасному випадку звільнити потерпілого від впливу травмуючого фактору, надати йому першу допомогу, при необхідності викликати бригаду швидкої допомоги по телефону 103. Доповісти керівнику про подію. Якщо можливо, зберегти обстановку, якщо це не несе загрози виникнення аварії або травмування інших людей.

Якщо стався нещасний випадок із працівником, а також при раптовому захворюванні, необхідно:

- надати потерпілому домедичну допомогу відповідно до Інструкції про порядок надання домедичної допомоги, що діє на підприємстві;
- усунути вплив на організм чинників, які загрожують життю або здоров'ю потерпілого: вивільнити від дії електричного струму, винести із зараженої території, загасити одяг, що горить, тощо;
- оцінити стан потерпілого, визначити характер і тяжкість травми;
- виконати необхідні дії, щоб врятувати потерпілого;
- підтримувати основні життєві функції потерпілого, доки не прибуде медичний працівник;

У разі подальшого погіршення самопочуття потерпілого, не припиняючи надавати домедичну допомогу, викликати швидку медичну допомогу або вжити заходів, щоб транспортувати потерпілого до найближчого медичного закладу.

У разі загрози виникнення або виникнення інших аварійних ситуацій:

- викликати інші аварійно-рятувальні служби (газорятувальну тощо) та діяти відповідно до вказівок керівника або особи, що його заміщує;
- зберегти місце події таким, яким воно було на момент нещасного випадку, якщо це не загрожує життю і здоров'ю інших працівників та довкіллю.

6.6 Висновки по розділу

У розділі розглянуті та проаналізовані шкідливі та небезпечні чинники, що мають місце при роботі обладнання лінії виробництва фруктових джемів. Розроблені інженерно-технічні заходи щодо запобігання або зменшення впливу шкідливих та небезпечних чинників, необхідні розрахунки для комфортних умов роботи, а також питання пожежної профілактики.

ВИСНОВКИ

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – варильний паровий котел для виготовлення джемів. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування котлом, завданням керування якої є забезпечення заданого рівня температури теплоносія у паровій сорочці. Предметом дослідження є закони автоматичного керування температурою теплоносія у варильному котлі для виготовлення фруктових джемів.

Варильний паровий котел з точки зору керування температурою теплоносія у паровій сорочці є складним об'єктом автоматизації через нестационарність його динамічних властивостей. Зміна продуктивності роботи насоса призводить до зміни швидкості переміщення теплоносія по трубах, що викликає зменшення або збільшення до 30% часу транспортного запізнення. З іншої сторони, зміна кількості матеріалів у котлі призводить до зміни постійної часу, яка визначає інерційність теплообмінних процесів у котлі, до 30%.

З урахуванням цього, проведено дослідження ефективності синтезованої системи керування за обґрунтованими критеріями якості роботи не тільки для номінального режиму котла, а й за умови суттєвої дії описаних збурень.

У ході досліджень отримані наступні наукові результати:

1. За умови додаткової настройки ПІ-регулятора з предиктором Сміта у додатку програми MATLAB “PID Tuner” найбільшій швидкодії системи автоматичного керування відповідає значення часу наростання перехідного процесу на виході системи 63,85 с, при цьому перерегулювання не перевищує допустимий рівень 2,5%.

2. Час наростання перехідного процесу на виході системи автоматичного керування температурою води на виході теплової сорочки варильного котла для виготовлення фруктових джемів з ПІ-регулятором та динамічним коректором залежить від постійної часу еталонної динамічної моделі прямо й нелінійно. Ця залежність близька до параболічної.

3. Залежність між перерегулюванням перехідного процесу на виході системи автоматичного керування з ПІ-регулятором й динамічним коректором та постійною часу еталонної динамічної моделі має параболічний характер з наявністю максимального екстремуму, але на всьому діапазоні зміни значень постійної часу еталонної динамічної моделі перерегулювання не перевищує максимальне допустиме значення 2,5%.

4. За основним критерієм якості роботи системи автоматичного керування – часом наростання перехідного процесу на її виході, використання ПІ-регулятора з динамічним коректором дає кращий результат як за умови зміни у широкому діапазоні більшої постійної часу об'єкта керування, так і за умови зміни транспортного запізнення. Це пов'язано з недоліком предиктора Сміта щодо використання в алгоритмі формування керуючого впливу моделі об'єкта керування.

У кваліфікаційній роботі здійснена оцінка економічної ефективності розглянутих технічних і організаційних рішень на основі визначення та аналізу розрахункового коефіцієнта ефективності капітальних витрат та терміну окупності капітальних витрат.

Також у роботі розглянуті та проаналізовані шкідливі та небезпечні чинники, що мають місце при роботі обладнання лінії виробництва фруктових джемів. Розроблені інженерно-технічні заходи щодо запобігання або зменшення впливу шкідливих та небезпечних чинників, необхідні розрахунки для комфортних умов роботи, а також питання пожежної профілактики.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сушко М.Ю. Аналіз сучасного стану розвитку промислової галузі України / М.Ю. Сушко // Вісник економічної науки України. — 2017. — № 1 (32). — С. 93–98. <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/123076>
2. Римар О. Г., Мазуркевич І. О. Проблеми та перспективи розвитку харчової промисловості України. Економіка та держава. 2021. № 3. С. 66–70. DOI: 10.32702/2306-6806.2021.3.66
3. Розвиток харчової переробної промисловості за 2018 рік. Інформаційно-аналітичний портал АПК України. URL: <https://agro.me.gov.ua/ua>
4. Ільчук В.П., Шпомер Т.О., Калініченко М.Ю. Проблеми та перспективи фінансового забезпечення розвитку харчової промисловості України. Фінансові дослідження. 2019. No 2 (7). URL: <http://ir.stu.cn.ua/123456789/20269>
5. Скрипников Ю. Г. Технологія переробки плодів та ягід : підручник / Ю. Г. Скрипников ; перекл.. з російської В.К. Сидоренка. – К. : Урожай, 1991. – 268 с.
6. Методичні рекомендації до виконання атестаційної роботи магістра студентами спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / В.В. Ткачов, А.В. Бубліков, М.М. Трипутень, С.М. Проценко, О.О. Бойко, В.І. Шевченко – МОН України. – Дніпро: НТУ «ДП», 2018. – 35 с.
7. Шаруда В.Г., Ткачов В.В., Бубліков А.В. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра : навч. посіб. – Д.: Національний гірничий університет, 2015. – 487 с.
8. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного управління для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 107 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
9. Міждержавний стандарт ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

10. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.

11. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.

12. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235с

13. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.

14. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин

15. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою

16. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні

17. ДБН В.2.5-13-98*. Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд. Зі зміною № 1 (укр).

Додаток А

Програмні модулі системи управління

А.1 Модуль об'єкта управління

```
(*
*
* File: Model_Sys_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Model_Sys_group/ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ"
*
* Model name                : Model_Sys_group
* Model version             : 1.20
* Model creator             : Maksim
* Model last modified by    : Maksim
* Model last modified on    : Mon Jan 03 06:57:50 2022
* Model sample time        : 0s
* Subsystem name           : Model_Sys_group/ОБ'ЄКТ
КЕРУВАННЯ
* Subsystem sample time    : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on     : Mon Jan 03 06:57:59 2022
*
* Target IDE selection      : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included       : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    In1: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
    Delay2_DSTATE: ARRAY [0..140] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    Gain: LREAL;
    i: DINT;
    DiscreteTransferFcn: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay2' *)
```

```

FOR i := 0 TO 140 DO
    Delay2_DSTATE[i] := 0.0;
END_FOR;
(* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay2' *)

(* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
DiscreteTransferFcn_states := 0.0;

(* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := 0.0;
SS_STEP:

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
DiscreteTransferFcn := 0.003995200428289 *
DiscreteTransferFcn_states;

(* Gain: '<S1>/Gain3' incorporates:
* Delay: '<S1>/Delay2' *)
Gain := 0.75 * Delay2_DSTATE[0];

(* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
Out1 := 0.151202321080443 * DiscreteTransferFcn1_states;

(* Update for Delay: '<S1>/Delay2' incorporates:
* Update for Inport: '<Root>/In1' *)
FOR k := 0 TO 139 DO
    Delay2_DSTATE[k] := Delay2_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay2_DSTATE[140] := In1;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay2' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn' *)
DiscreteTransferFcn_states := Gain - (-0.996004799571711 *
DiscreteTransferFcn_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (-
0.848797678919557 * DiscreteTransferFcn1_states);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

A.2 Модуль регулятора

```

(*)
*
* File: Model_Sys_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Model_Sys_group/РЕГУЛЯТОР"
*
* Model name                : Model_Sys_group
* Model version             : 1.19
* Model creator             : Maksim
* Model last modified by    : Maksim
* Model last modified on    : Mon Jan 03 06:47:40 2022
* Model sample time        : 0s
* Subsystem name           : Model_Sys_group/РЕГУЛЯТОР
* Subsystem sample time    : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on     : Mon Jan 03 06:53:40 2022
*
* Target IDE selection      : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included      : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    In1: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn2_states: LREAL;
    Delay1_DSTATE: ARRAY [0..140] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    rtb_Product: LREAL;
    rtb_Sum1: LREAL;
    i: DINT;
    temp1: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
        DiscreteTransferFcn2_states := 0.0;

        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay1' *)
        FOR i := 0 TO 140 DO
            Delay1_DSTATE[i] := 0.0;
        END_FOR;

```

```

(* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay1' *)
SS_STEP:

(* Sum: '<S1>/Sum1' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2'
 * Gain: '<S1>/Gain1'
 * Inport: '<Root>/In1' *)
rtb_Sum1 := (2.3 * In1) + (0.1 *
DiscreteTransferFcn2_states);

(* DeadZone: '<S1>/Dead Zone' *)
IF rtb_Sum1 > 100.0 THEN
    rtb_Product := rtb_Sum1 - 100.0;
ELSIF rtb_Sum1 >= 0.0 THEN
    rtb_Product := 0.0;
ELSE
    rtb_Product := rtb_Sum1;
END_IF;
(* End of DeadZone: '<S1>/Dead Zone' *)

(* Saturate: '<S1>/Saturation' *)
IF rtb_Sum1 >= 100.0 THEN
    (* Outport: '<Root>/Out1' *)
    Out1 := 100.0;
ELSIF rtb_Sum1 > 0.0 THEN
    (* Outport: '<Root>/Out1' *)
    Out1 := rtb_Sum1;
ELSE
    (* Outport: '<Root>/Out1' *)
    Out1 := 0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S1>/Saturation' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn2' incorporates:
 * Constant: '<S2>/Constant'
 * Delay: '<S1>/Delay1'
 * Gain: '<S1>/Gain4'
 * Product: '<S1>/Product'
 * RelationalOperator: '<S2>/Compare' *)
IF rtb_Product = 0.0 THEN
    temp1 := Delay1_DSTATE[0];
ELSE
    temp1 := 0.0;
END_IF;
DiscreteTransferFcn2_states := (temp1 *
0.058997050147492625) - (-DiscreteTransferFcn2_states);

(* Update for Delay: '<S1>/Delay1' incorporates:
 * Inport: '<Root>/In1' *)
FOR k := 0 TO 139 DO

```



```
        Delay1_DSTATE[k] := Delay1_DSTATE[k + 1];
    END_FOR;
    Delay1_DSTATE[140] := In1;
    (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay1' *)
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR
```

Додаток Б

Програмне забезпечення системи управління

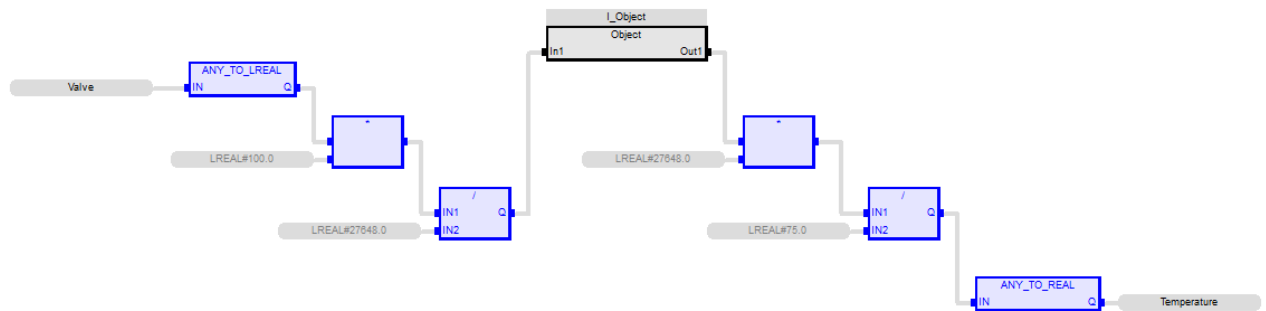
Б.1 Програмне забезпечення об'єкта

Б.1.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Object

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Користувальницький функціональний блок

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)

DiscreteTransferFcn := LREAL#0.003995200428289 *

DiscreteTransferFcn_states;

(* Gain: '<S1>/Gain3' incorporates:

* Delay: '<S1>/Delay2' *)

Gain := LREAL#0.75 * Delay2_DSTATE[0];

(* Output: '<Root>/Out1' incorporates:

* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)

Out1 := LREAL#0.151202321080443 * DiscreteTransferFcn1_states;

(* Update for Delay: '<S1>/Delay2' incorporates:

* Update for Inport: '<Root>/In1' *)

FOR k := 0 TO 139 DO

```

    Delay2_DSTATE[k] := Delay2_DSTATE[k + 1];
END_FOR;
Delay2_DSTATE[140] := In1;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay2' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
DiscreteTransferFcn_states := Gain - (LREAL#-0.996004799571711 *
DiscreteTransferFcn_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (LREAL#-
0.848797678919557 * DiscreteTransferFcn1_states);

```

Б.1.4 Перелік змінних

```

VAR_INPUT
  In1 : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  Out1 : LREAL ;
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn_states : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;
  Delay2_DSTATE : ARRAY [0 .. 140] OF LREAL ;
  k : DINT ;
  Gain : LREAL ;
  i : DINT ;
  DiscreteTransferFcn : LREAL ;
END_VAR

```

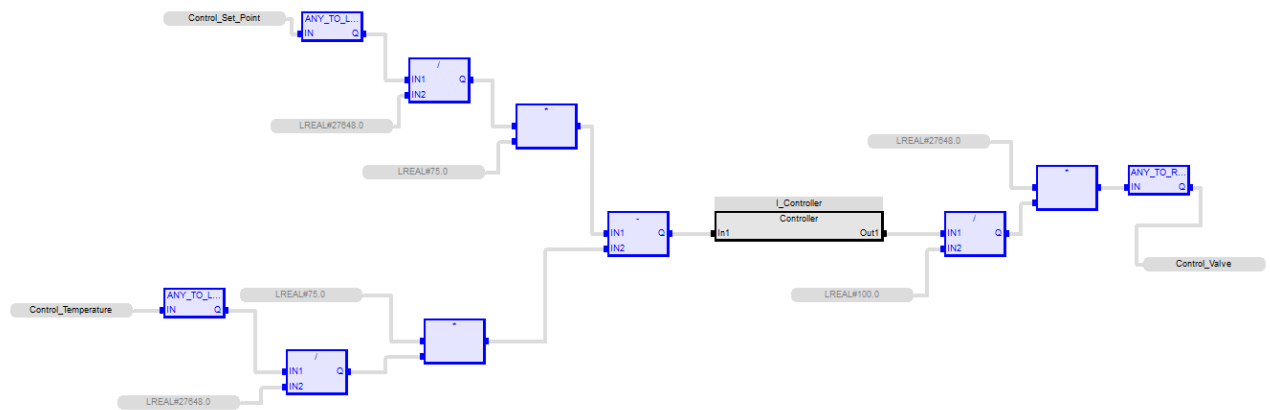
Б.2 Програмне забезпечення регулятора

Б.2.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Controller

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Користувальницький функціональний блок

(* Sum: '<S1>/Sum1' incorporates:

- * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2'
- * Gain: '<S1>/Gain1'
- * Inport: '<Root>/In1' *)

```
rtb_Sum1 := (LREAL#2.3 * In1) + (LREAL#0.1 *
DiscreteTransferFcn2_states);
```

(* DeadZone: '<S1>/Dead Zone' *)

```
IF rtb_Sum1 > 100.0 THEN
```

```
    rtb_Product := rtb_Sum1 - LREAL#100.0;
```

```
ELSIF rtb_Sum1 >= 0.0 THEN
```

```
    rtb_Product := 0.0;
```

```
ELSE
```

```
    rtb_Product := rtb_Sum1;
```

```
END_IF;
```

(* End of DeadZone: '<S1>/Dead Zone' *)

(* Saturate: '<S1>/Saturation' *)

```
IF rtb_Sum1 >= 100.0 THEN
```

```
    (* Output: '<Root>/Out1' *)
```

```

    Out1 := LREAL#100.0;
ELSIF rtb_Sum1 > 0.0 THEN
    (* Output: '<Root>/Out1' *)
    Out1 := rtb_Sum1;
ELSE
    (* Output: '<Root>/Out1' *)
    Out1 := 0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S1>/Saturation' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2'
incorporates:
    * Constant: '<S2>/Constant'
    * Delay: '<S1>/Delay1'
    * Gain: '<S1>/Gain4'
    * Product: '<S1>/Product'
    * RelationalOperator: '<S2>/Compare' *)
IF rtb_Product = 0.0 THEN
    temp1 := Delay1_DSTATE[0];
ELSE
    temp1 := LREAL#0.0;
END_IF;
DiscreteTransferFcn2_states := (temp1 *
LREAL#0.058997050147492625) - (-DiscreteTransferFcn2_states);

(* Update for Delay: '<S1>/Delay1' incorporates:
    * Inport: '<Root>/In1' *)
FOR k := 0 TO 139 DO
    Delay1_DSTATE[k] := Delay1_DSTATE[k + 1];
END_FOR;

```

Delay1_DSTATE[140] := In1;

(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay1' *)

Б.2.4 Перелік змінних

VAR_INPUT

 In1 : LREAL ;

END_VAR

VAR_OUTPUT

 Out1 : LREAL ;

END_VAR

VAR

 DiscreteTransferFcn2_states : LREAL ;

 Delay1_DSTATE : ARRAY [0 .. 140] OF LREAL ;

 k : DINT ;

 rtb_Product : LREAL ;

 rtb_Sum1 : LREAL ;

 i : DINT ;

 temp1 : LREAL ;

END_VAR

Додаток В

Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

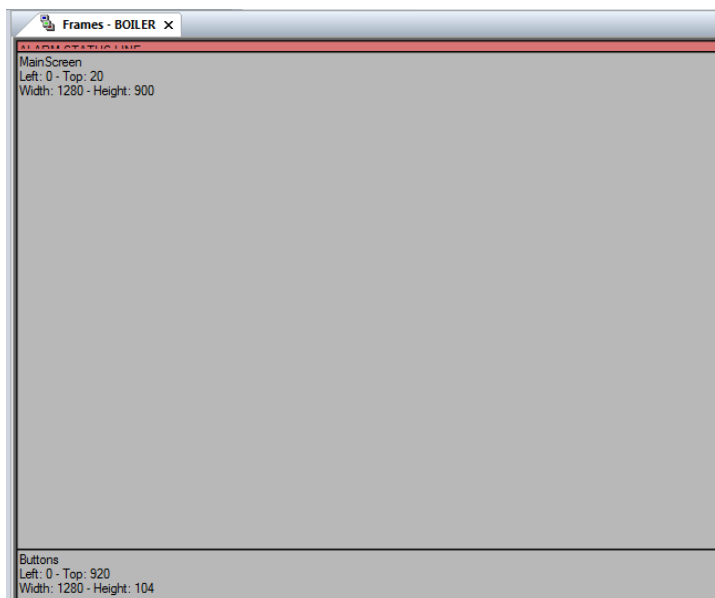
В.1 Драйвера

State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA		S7TCP32
	zenon Logic: Controller		STRATONNG

В.2 Перелік змінних

State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter...	Filter...	Filter text
	Temperature		град.	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Valve		%	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Controller/Global/Control_Valve		%	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	1	0
	Controller/Global/Control_Set_Point		град.	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	1	0
	Controller/Global/Control_Temperature		град.	0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	1	0

В.3 Шаблони зображень



В.4 Функції

Sta...	Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	SwitchProcessScreen	Screen switch	ProcessScreen (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Standard)
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Standard)
	Switch_FullTrend	Screen switch	Full_Trend (Extended Trend) - NEW DIAGRAM[HD]
	ReloadProject	Reload project online	changed objects
	Exit	Exit Runtime	

В.5 Зображення

State	Visible under ...	Name	Screen type	Frame
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	<input checked="" type="checkbox"/>	ButtonScreen	Standard	Buttons
	<input checked="" type="checkbox"/>	main	Standard	MainScreen
	<input checked="" type="checkbox"/>	ProcessScreen	Standard	MainScreen
	<input checked="" type="checkbox"/>	AMLScreen	Alarm Message List	MainScreen
	<input checked="" type="checkbox"/>	Full_Trend	Extended Trend	MainScreen
	<input checked="" type="checkbox"/>	CELScreen	Chronological Event List	MainScreen

