

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Науково-Навчальний інститут атомної та теплової енергетики
Кафедра автоматизації енергетичних процесів

«На правах рукопису»
УДК 62.799

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____/ **Володимир ВОЛОЩУК**/
“ ____ ” _____ 2022 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою
**“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології
кібер-енергетичних систем”**
зі спеціальності
**151“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані
технології”**

на тему: Адаптивна система регулювання співвідношенням паливо-повітря
парового котла на лушпинні соняшника

Виконав: студент ІІ курсу, групи ТА-11мп

Стельмах Вячеслав Русланович

(прізвище ім’я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник ст.викл. Поліщук Ігор Анатолійович

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

директор ТОВ "ТД"Солар Ікс" Іваненко О.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”

Інститут Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра Автоматизації енергетичних процесів

Рівень вищої освіти – другий(магістерський)

Спеціальність 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Освітньо-професійна програма (“Автоматизація та комп’ютерно -інтегровані технології кібер-енергетичних систем”)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) /Володимир ВОЛОЩУК/

“ “ (імя, ПРІЗВИЩЕ)

2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Стельмаху Вячеславу Руслановичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема дисертації Адаптивна система регулювання співвідношення Паливо-повітря парового котла на лушпинні соняшника

науковий керівник дисертації Поліщук Ігор Анатолійович, ст. викладач
(прізвища можеше, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» 11 2022 р. № 4067-с

2. Термін подання студентом дисертації «10» грудня 2022 р.

3. Об’єкт дослідження Паровий котел на лушпинні соняшника

4. Вихідні дані паровий котел продуктивністю 16 т/год і тиском пари на.. виході 1.4 МПа. Працює паровий котел на лушпинні соняшника. Керування частотними перетворювачами

5. Перелік завдань, які потрібно розробити проаналізувати стан галузі

Розробити функціональну схему автоматизації

Розробити математичну модель об'єкту

Розглянути модель об'єкту з методом адаптації

Розробка технічного і програмного забезпечення

Стартап-проект

6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Схема програмно-технічних комплексів, рисунки моделей об'єкту

Графіки перехідних процесів, ілюстрації програмного коду і роботи програми

7. Орієнтований перелік публікацій

8. Дата видачі завдання " 21 " вересня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання	21.09.2022	
2	Аналітичний огляд системи	28.09.2022	
3	Розгляд об'єкту управління	5.10.2022	
4	Отримання моделі об'єкту управління	12.10.2022	
5	Розробка функціональної схеми та підбір обладнання	19.10.2022	
6	Проведення розрахунків в роботі	26.10.2022	
7	Розгляд методу адаптації	10.11.2022	
8	Розробка технічного і програмного забезпечення	24.11.2022	
9	Стартап-проект	30.11.2022	
10	Підпис керівника магістерської дисертації	9.12.2022	
11	Попередній захист магістерської дисертації	16.12.2022	
12	Захист	20.12.2022	

Студент

Вячеслав СТЕЛЬМАХ

(підпис)

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

Ігор Поліщук

(підпис)

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Ключовою тенденцією олійного ринку України за останнє 10-річчя є стрімке збільшення обсягів переробки насіння соняшнику. Зі збільшенням виробництва основної продукції – олії, збільшується кількість, відходів, зокрема лушпиння. Парові котли, які працюють на лушпинні соняшника дозволяють щорічно економити десятки мільйонів доларів, до того ж дозволяють переробляти такі відходи, як лушпиння, на потреби виробництва. Саме тому тема є доволі актуальною. Цей котел має декілька котурів і певні особливості роботи, однак в роботі більш детально було розглянуто контур співвідношення-паливо повітря, так як саме його регулювання забезпечує ефективне згоряння палива, та підтримання стабільного значення тиску насиченого пара на виході. Регулювання відбувається за допомогою вентиляторів палива та вентиляторів повітря, двигунами яких керують частотні перетворювачі. Також в роботі була проведена адаптація. Вона дозволяє уникнути отримання нестабільних налаштування регулятора, пов'язаних з різними характеристиками палива, та особливістю роботи котла.

У даній магістерській роботі запропоновано рішення, яке дозволить уникнути отримання нестабільних налаштування регулятора, пов'язаних з різними характеристиками палива, а замість цього створити адаптивну систему, яка буде в залежності від зміни завдання і зовнішніх впливів, оптимально регулювати співвідношення «паливо-повітря»

Отримана у результаті розробки система здатна забезпечити відповідність до вимог, що поставлені перед нею.

ABSTRACT

The main trend of the oil market of Ukraine over the last 10 years is a rapid increase in the volume of sunflower seed processing. With the increase in the production of the main product - oil, the amount of waste, in particular - husks, increases. Steam boilers that work on sunflower husks allow annual savings of tens of millions of dollars, besides, they allow processing of waste such as husks for production needs. That is why the topic is quite relevant. This boiler has several coils and certain features of operation, however, in the paper, the circuit of the air-fuel ratio was considered in more detail, since its adjustment ensures effective combustion of fuel and maintenance of a stable pressure value of saturated steam at the outlet. Regulation takes place with the help of fuel fans and air fans, the motors of which are controlled by frequency converters. Adaptation was also carried out in the work. It allows you to avoid obtaining unstable regulator settings associated with different fuel characteristics and boiler operation features.

In this master's thesis, a solution is proposed that will avoid obtaining unstable regulator settings associated with different fuel characteristics, and instead create an adaptive system that will optimally regulate the "fuel-air" ratio depending on the change in the task and external influences

The resulting system is able to ensure compliance with the requirements set before it.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ, УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	7
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ	8
1.1 Сучасний стан галузі.....	8
1.2 Опис технологічної схеми управління.....	9
1.3 Загальна постановка задачі.....	13
2. ОПИС ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ	14
2.1 Отримання моделі управління об'єктом.....	14
2.2 Призначення і функції створюваної системи.....	17
2.3 Вимоги до реалізації системи управління об'єктом.....	24
2.4 Висновки.....	25
3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ	26
3.1 Функціональна структура управління об'єктом.....	26
3.2 Розрахункова частина	27
3.3 Розробка технічного забезпечення системи управління.....	57
3.4 Розробка програмного забезпечення системи управління.....	59
3.5 Імітаційне моделювання і аналіз функціонування автоматизованого технічного комплексу	64
3.6 Висновки.....	66
4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЄКТУ.....	67
4.1 Опис ідеї проекту (товари, послуги, технології)	67
4.2 Маркетингове планування бізнес процесу.....	69
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	71
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	76
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	78
5. ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	84

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

$W(p)$ – передаточна функція;

k – коефіцієнт передачі об'єкта;

T – стала часу об'єкта;

τ – запізнення об'єкта;

Δu – максимальний динамічний заброс;

$t_{пн}$ – час перехідного процесу;

σ - перерегулювання;

ψ – ступінь затухання;

уст – статична похибка;

Скорочення:

АСК – автоматична система керування;

САР – система автоматичного регулювання;

АП - ланка – аперіодична ланка;

ПД - регулятора – пропорційно – інтегрально – диференціальний регулятор;

I/O – входи/виходи;

ПТК – програмно-технічний комплекс;

ПІ - регулятор – пропорційно – інтегральний регулятор;

РАФХ – метод розширеної амплітудно – фазової характеристики; ВК – вимірювальний канал;

РО – регулюючий орган;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ВМ – виконавчий механізм;

ДМ- димосос;

ШП1,ШП2 – шнеки транспортування лушпиння

T1,T2- транспортери лушпиння

НВП1,НВП2 – живильні насоси

ДВ1,ДВ2 – вентилятори первинного і вторинного повітря відповідно

ВЛ – вентилятор лушпиння

ОЗ1,ОЗ2- заслінки подачі лушпиння

Вступ

Паровий котел – це пристрій, який перетворює воду, яка надходить безперервно, в насичений пар, який має тиск вище атмосферного, використовуючи ту теплоту, яка виділяється при згорянні палива. Отриманий пар в подальшому використовують на власні потреби заводу. У даному випадку ми розглядаємо паровий котел на лушпинні соняшника, де насичений пар використовується для виробництва, наприклад олії.

Специфіка об'єкту в тому, що паливо є доволі незвичне, так як лушпиння може поступати в різних кондиціях, тобто мати різну вологість і калорійність, що відповідно впливатиме на процес горіння і виділення теплоти. Через це система автоматичного керування буде змінювати завдання, і щоб отримати оптимальні налаштування регулятора слід використовувати адаптивну систему регулювання, яка буде підбирати найбільш підходящі налаштування регулятора.

Актуальною також є задача вирішення проблем з підтриманням співвідношення палива-повітря, так як це впливає на процес процес горіння, адже ми підтримуємо певне значення кисню на виході, а також на тиск в системі, який регулюється вентиляторами повітря. Запропонований програмно технічний комплекс процесу керування контуром співвідношення паливо-повітря в паровому котлі на лушпинні соняшника є варіантом вирішення проблем пов'язаних з продуктивністю, а також довго тривалістю роботи системи.

1. Аналітичний огляд проблеми

1.1. Сучасний стан галузі

Україна – промислово-аграрна країна, що має величезний сільськогосподарський потенціал і головне питання полягає в тому, як цим потенціалом найбільш економічно вигідно розпорядиться, в якій ролі держава бачить присутність України на світовому ринку. У ролі постачальника сировини для переробки його на зарубіжних заводах або в ролі постачальника продуктів переробки зернових та олійних. Галузь переробки олійних культур є привабливою для впровадження енергозберігаючих технологій. Завдяки переобладнанню котлів для спалювання лушпиння соняшнику маслодобувна промисловість щорічно економить 200 млн. м³ газу, що еквівалентно \$70 млн.

Наступним етапом енергозбереження є впровадження когенераційних технологій із встановленням турбін для отримання електроенергії. Ключовою тенденцією олійного ринку України за останнє 10-річчя є стрімке збільшення обсягів переробки насіння соняшнику. Зі збільшенням виробництва основної продукції – олії, збільшується кількість, відходів, зокрема-лушпиння.[8]

Рослинні відходи суттєво різняться за фізикомеханічними властивостями, що необхідно враховувати під час проектування топкового пристрою. Спалювати на колосникових ґратах топків у щільному шарі дрібні матеріали такі, наприклад, як лушпиння соняшника досить складно. При цьому неминучі великі втрати тепла з невикористаним паливом. Рослинні відходи, порівняно з іншими видами твердих палив, характеризуються підвищеним вмістом кисню, малою зольністю та підвищеним виходом шкідливих газів. Крім того соняшникове лушпиння містить у своєму складі лужні метали, які при температурі вище 1100–1200 °С виганяються із золи та утворюють міцні відкладення на стінках топки та трубах конвективного пучка. Відкладення на трубах зменшують коефіцієнт теплопередачі (відкладення мають низьку теплопровідність і є своєрідною тепловою ізоляцією) та ефективність віддачі теплоти. В результаті цього температура газів зростає. На жаль, багато методів

очищення поверхонь нагріву, що використовуються у великій енергетиці, непридатні для котлів малої потужності. Практика експлуатації показує, що котли, на яких не застосовуються заходи щодо очищення поверхонь нагріву, необхідно зупиняти вже через 1-2 тижні для очищення. Тоді як із системами очищення котла може працювати більше місяця.

Велике число технологічних об'єктів, які є зараз, вимагають модернізації. Адже на більшості з них для управління процесом потрібна людина, адже управління здійснюється вручну, що робить більшим ймовірність людського впливу на загальну роботу. Однак часто теплоенергетичні об'єкти працюють в різних умовах, режимах, під різним навантаженням і з різними вхідними і вихідними параметрами. Причиною такої роботи в паровому котлі на біомасі є не однорідність палива, адже воно поступає в різному вигляді, що впливає на роботу не лише одного контуру, який розглянутий у роботі, а й на інші контури, які є в системі. [6]

Щоб ця проблема була вирішена, необхідно прийняти ряд різноманітних рішень, удосконалити систему, а саме: підвищити економічність спалювання, зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу і знайти фінанси для витрат на їх здійснення. Одночасне вирішення цих завдань допоможе в майбутньому досягти кращої ефективності роботи системи.

1.2. Опис технологічної схеми об'єкту управління

Як було згадано вище у якості об'єкту керування виступає паровий котел на лущинні соняшника. Основним контуром буде розглянуто контур регулювання співвідношення «паливо-повітря». Для того, щоб зрозуміти специфіку роботи котла, розглянемо принцип його роботи

На рисунку 1.1 зображено загальний вигляд системи:

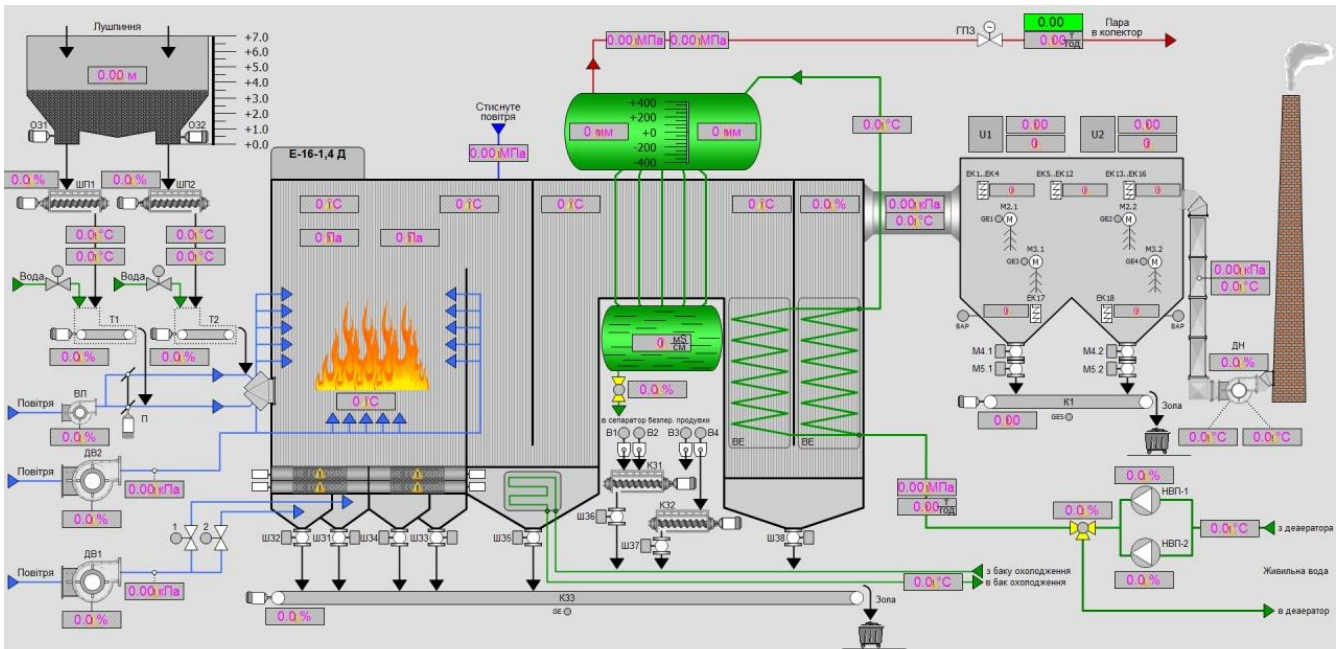


Рисунок 1.1 - Схема принципу роботи парового котла на лушпинні соняшника

Принцип роботи парового котла на лушпинні соняшника

Паливо, тобто лушпиння, поступає у встановлений бункер. Після цього встановлено дві заслінки ОЗ1 та ОЗ2, при відкритті яких, лушпиння поступає на шнеки ШП1 та ШП2. Приводи цих шнеків можуть працювати з певною частотою, яка за необхідності регулюється. Лушпиння, пройшовши шнеки, поступає на транспортери Т1 і Т2, які переміщують паливо до вентилятора палива ВЛ, завдяки якому лушпиння потрапляє в топку. Вентилятор палива ВЛ має постійний потік повітря, яке поступає на пульсатор П, який в певні моменти часу закривається або відкривається і тим самим створює таке собі вдування лушпиння в топку. Це запобігає тому, що лушпиння залишається або осідає на стінках повітропроводу. [11]

Топка – є головною складовою нашого парового котла. У ній відбувається процес спалювання палива. Лушпиння, яке потрапляє в топку при певній температурі згорає і виділяється тепло. Для менших тепловтрат топка зовні має ізоляцію та обшита різними вогнестійкими матеріалами. Для уникнення утворення шлаку і золи, між обшивкою і трубопроводами роблять конструкцію із спеціальної цегли.[9]

Використовуючи відповідні датчики, необхідно контролювати температуру та тиск в топці котла. До того ж, потрібно контролювати тиск пари на виході з котла. Щоб це робити використовується вентилятор ДВ1, який призначений для первинного повітря. Якщо ми хочемо підвищити або понизити тиск на виході, то треба збільшити або зменшити частоту обертання вентилятора і тоді буде подаватись інша кількість повітря, що вплине на тиск.

Окрім ДВ1 у системі також присутній і ДВ2-вентилятор вторинного повітря, який використовується для регулювання і підтримання в заданих нормах кисню в топці парового котла. Для ефективного спалювання потрібно підтримувати певний відсоток кисню, саме це й робить ДВ2. Тобто, якщо коротко, то в системі присутні два вентилятори, які мають свої функції.

Для нормальної роботи парового котла на лушпинні соняшника необхідна стабільна подача живильної води. Ця вода подається з встановленого поблизу деаератора. Перекачування води по системі відбувається за рахунок роботи живильних насосів НВП-1 та НВП-2, які перекачують воду по трубопроводах у барабан. Там відбувається розділення пари та води, після чого пара по паропроводу йде на виробництво, а вода через опускні труби потрапляє в бак для води, де потім знову використовується при потребі.

Цей паровий котел має конструкцію вихрової топки, яка мінімізує кількість недопалених залишків так зменшує утворення сажі. Однак якась частин все ж таки утворюється. Для цього в системі є спеціальна автоматична система очищення золди, яка видаляє її з котла.[11]

Коротко опишемо принцип роботи системи очищення від золи:

Дим, який нагрівся, не надходить одразу у димохід, для збільшення тепловіддачі. Спочатку він проходить по ламаному каналу, тим самим нагріваючи стінки, які контактують з теплообмінником і залишає там сажу. В середині каналу знаходяться пружини, які мають жорсткі ребра. В результаті механізм розтягає цю

пружину, кінці якої мають розміри діаметру каналу, тим самим очищаючи сажу. Зола падає до низу, в спеціальне місце, де потім видаляється із системи за допомогою шнека.

В камері згорання також залишаються залишки золи, які так само обсипаються до низу, де видаляються за допомогою шнеків.

Зола, яка утворюється в димохідному каналі і в топці видаляється в зольник. Якщо золи зібралось досить багато, то подається спеціальний сигнал до оператора і зольний ящик висипається.

В системі також наявна система обдування, яка обдуває поверхні котла, які нагріваються, від сажі. Для цього використовується стиснене повітря. Сигналом для увімкнення обдувальних пристроїв є тиск стисненого повітря після ресивера > 1.0 МПа. Коли тиск зростає, то спочатку в першому апараті обдування відкривається клапан, але якщо тиск спадає до 0.7 МПа, то цей клапан закривається. Після цього знову очікується збільшення тиску до 1 МПа, але уже для відкриття другого апарату. І знову після спадання тиску- клапан закривається. Після відпрацювання такого алгоритму здійснюється скидання перегрівачів. Цикл має певну періодичність повторення, або може вмикатись оператором.[11]

Ще одним дуже важливим елементом в системі є димосос(ДН). Адже, якщо він не працює, то неможливо запустити вентилятор первинного повітря ДВ1, а це означає, що й не працюватиме і ДВ2, тобто вся система буде зупинена.

Для забезпечення безпечної та надійної роботи системи парового котла використовується світлова, а також звукова сигналізація. Вони застосовуються при некоректній роботі системи. Або при перевищенні певних параметрів системи, які є основними і важливими.

Ще однією особливістю є те, що тиск в самому котлі не підтримується, так як пара не потрібна постійно, тому засувки, які там використовуються можуть закриватись і тим самим збільшувати тиск в системі. Тоді котел знижує навантаження і

припиняється подача палива. Якщо зупинка коротка, то котел продовжує роботу з гарячого пуску, якщо ж зупинка була довга, то відбувається холодний пуск парового котла.

Додатково в системі є встановленні датчики вібрації та опору ізоляції, для того, щоб можна було проводити діагностування та прогнозувати обслуговування двигунів, щоб передбачати можливі аварії чи некоректну роботу системи.

1.3. Загальна постановка задачі

Вирішити проблему з некоректним регулюванням співвідношення «паливо-повітря», так як система налаштована на базові параметри, а паливо різне і налаштування будуть нестабільні. Тому, щоб уникнути цього, необхідно розробити алгоритм, який буде шукати оптимальні показники для регулятора при здійсненні регулювання контуром для забезпечення наступного:

- Підтримка оптимального рівня кисню на виході
- Ефективне спалювання палива
- Регулювання навантаження в системі

На виході ми отримаємо систему, яка матиме оптимальні налаштування для регулювання контуром і тим самим буде забезпечувати найбільш ефективно і економічне використання палива, а також продовжить час роботи системи, за рахунок своєчасного обслуговування

2. Опис об'єкту управління

2.1 Отримання моделі об'єкту управління

Для отримання моделі об'єкту розглянемо структурну схему регулювання контуру співвідношення «паливо-повітря»(див. рис.2.1)

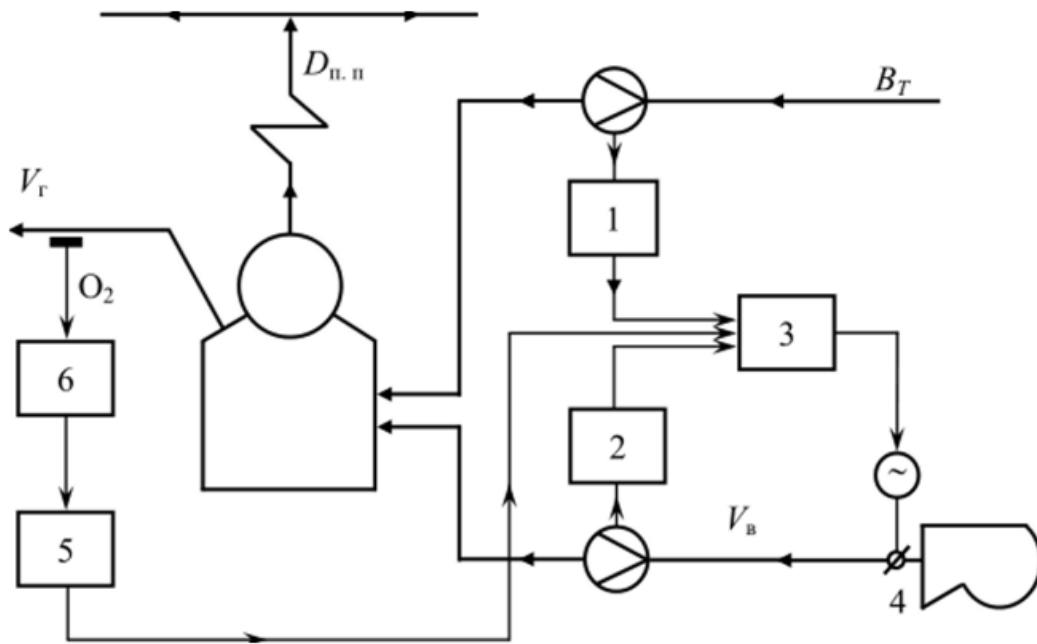


Рис 2.1 - Схема регулювання контуру співвідношення «паливо-повітря»

У цій схемі сигнали з датчика витрати палива 1 і датчика витрати повітря 2 подаються на регулюючий пристрій регулятора 3 повітря. Регулюючий пристрій керує виконавчим механізмом, що змінює положення направляючого апарату дутьового вентилятора 4, і тим самим змінює витрату повітря в топку відповідно до витрат палива. Витрата повітря може бути виміряна різними способами, наприклад з використанням перепаду тиску на повітропідігрівачі.[3]

При зміні властивостей палива схема системи регулювання економічності процесу горіння доповнюється коригуючим сигналом, що надходить на вхід регулятора повітря від коригувального регулятора 5. У свою чергу, на вхід

коригуючого регулятора надходить сигнал за вмістом кисню в димових газах, що йдуть від газоаналізатора 6.

Відштовхуючись від вищесказаного можна зробити висновок, що за своєю побудовою ця схема регулювання є схемою каскадної системи з коригуючим та стабілізуючим з регуляторами. Як правило, ці регулятори формують ІІІ-закон регулювання.[10]

Стабілізуючий регулятор (регулятор повітря) разом з об'єктом $W_{об}$ та негативним зворотним зв'язком утворює внутрішній малоінерційний контур.

Використовуючи літературні джерела було отримано показники для побудови модель-об'єкту управління для контуру регулювання співвідношення «паливо-повітря». В результаті отримали наступні характеристика для нашої системи. Для внутрішнього контуру:

$$K_{об} = 1 \frac{\text{Па}}{\% \text{РО}}$$

$$T_{об} = 10 \text{ с};$$

$$\tau = 1 \text{ с}.$$

$$\text{Передаточна функція: } W_{в} = \frac{1}{10p+1} e^{-1p}.$$

Для зовнішнього контуру:

$$K_{об} = 0.005 \frac{\text{Па}}{\% \text{РО}}$$

$$T_{об} = 600 \text{ с};$$

$$\tau = 30 \text{ с}.$$

$$\text{Передаточна функція: } W_{в} = \frac{0.005}{600p+1} e^{-30p}.$$

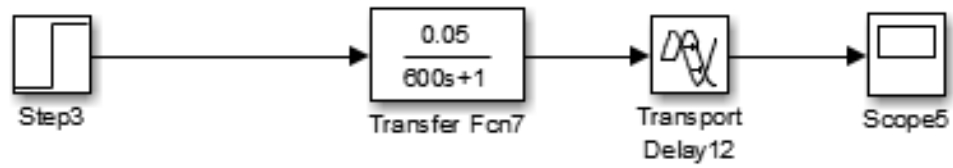


Рисунок 2.2 - Схема для побудови кривої розгону об'єкта управління

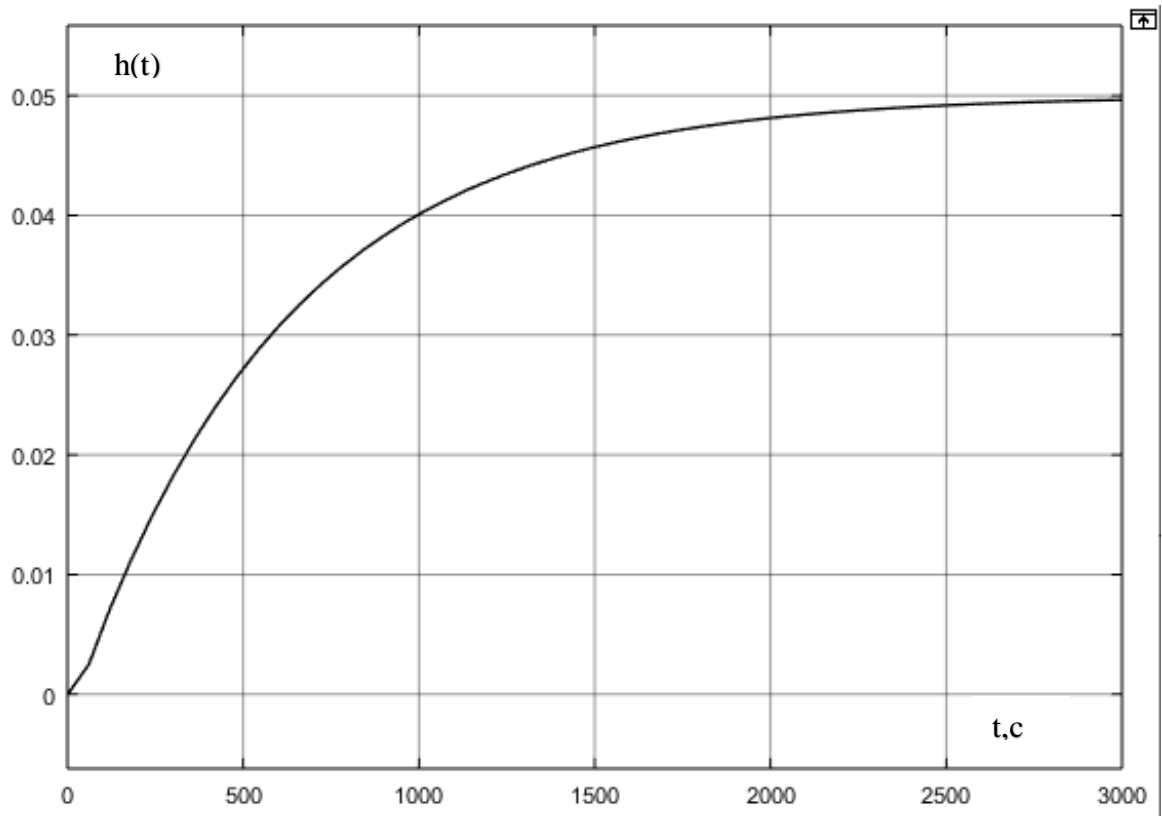


Рисунок 2.3 - Крива розгону для об'єкта управління

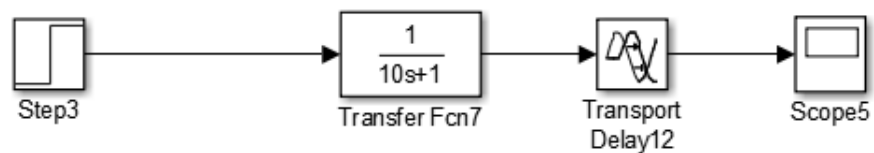


Рисунок 2.4 - Схема для побудови кривої розгону випереджаючого об'єкта

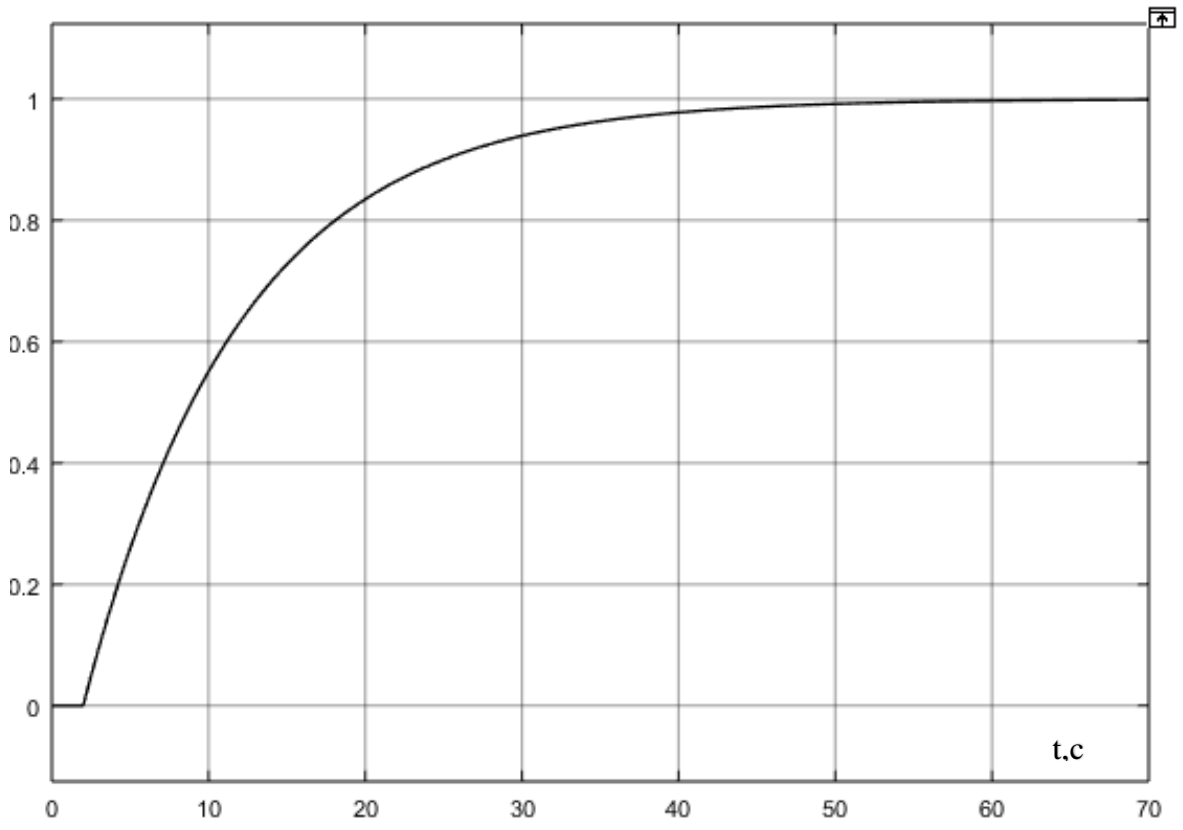


Рисунок 2.5 - Крива розгону для випереджаючого об'єкта

2.2. Призначення та функції створюваної системи

Призначення створеної системи – уникнути отримання нестабільних налаштування регулятора, пов'язаних з різними характеристиками палива, а замість цього створити адаптивну систему, яка буде в залежності від зміни завдання і зовнішніх впливів, оптимально регулювати співвідношення «паливо-повітря», яке в свою чергу впливає на деякі інші показники, такі як тиск в системі, та концентрація кисню в процесі горіння. Завдяки цьому відбудеться підвищення ефективності роботи парового котла на лушпинні соняшника, а також продовження роботи за рахунок правильного регулювання та своєчасного обслуговування.[2]

Паровий котел, який працює на лущинні соняшника виконує наступні функції: інформаційні, регулювання, захисту і блокування.

Керуючі функції призначенні для того, щоб безперервно регулювати значення відповідних параметрів . [1]

Захисні функції призначенні для захисту системи від аварій пов'язаних з некоректною роботою котла. Наприклад, «сухий хід» живильних насосів, припинення подачі лущиння в топку, зупинка димососа та інші.

2.1.1. Інформаційні функції

Інформаційні функції дозволяють отримувати дані з датчиків, отримувати поточні значення всіх параметрів а також стан обладнання котла. За допомогою інформаційних функції відбувається зв'язок між різними рівнями АСУ ТП. В таблиці 2.1. наведено основні параметри, інформацію про які, необхідно знати для роботи всієї системи

Таблиця 2.1 - Значення основних параметрів

Параметр		
№№ п/п	Назва	Діапазон зміни
1	Рівень зерна в бункері	0...7 м
2	Тиск первинного повітря	0...250 кПа
3	Тиск вторинного повітря	0...250 кПа
4	Тиск стисненого повітря	0...1 МПа

Продовження таблиці 2.1 - Значення основних параметрів

5	Концентрація кисню в топці	0...100%
6	Витрата пара з котла	0...25 т/год
7	Витрата води в котел	0...25 т/год
8	Тиск води після живильних насосів	0...1 МПа
9	Температура в тракті подачі лушпиння	0...100 ⁰ С
10	Температура димових газів у верхній частині топки д.1	0...1100 ⁰ С
11	Температура димових газів у верхній частині топки д.2	0...1100 ⁰ С
12	Температура димових газів у нижній частині топки	0...1000 ⁰ С
13	Температура димових газів перед економайзером	0...500 ⁰ С
14	Температура димових газів перед електрофільтром	0...180 ⁰ С
15	Температура живильної води	0...150 ⁰ С
16	Температура води після економайзера	0...150 ⁰ С
17	Температура димових газів перед димососом	0...200 ⁰ С
18	Температура води на виході з деаератора	0...100 ⁰ С
19	Тиск пара в барабані	0...2МПа

20	Рівень води в барабані	0...1000мм
21	Солевміст води	0...20мS/см
22	Розрідження перед димососом	0...10кПа
23	Розрідження перед електрофільтром	0...10кПа

2.1.2. Регулюючу функції

Регулюючі функції призначенні для керування параметрами, які впливають на функціонування нашої системи. Якщо розглядати безпосередньо контур регулювання співвідношення «паливо-повітря», то можна виділити декілька основних регулюючих функцій:

- 1.) Регулювання подачі повітря в топку котла за рахунок керування частотою обертання двигуна вентилятора первинного повітря, який керується частотним перетворювачем
- 2.) Регулювання подачі повітря в топку котла за рахунок керування частотою обертання двигуна вентилятора вторинного повітря, який керується частотним перетворювачем
- 3.) Регулювання подачі палива в топку за рахунок керування частотою обертання двигуна вентилятора подачі лушпиння, який також керується частотним перетворювачем

Також в системі є багато інших регулюючих функцій, які керують двигунами шнеків, що подають лушпиння, двигунами транспортерів, живильних насосів, конвеєрів очистки системи та димососу.

2.1.3. Функції захисту та блокування

Кожен параметр в системі має певний діапазон значень, при виході параметра за межі діапазону – спрацьовує сигналізація. Якщо проблему не буде вирішено, в системі передбачено функції блокування та зупинки роботи котла. Для безпечної експлуатації котла передбачено наступні блокування:

- Блокування включення шлюзових затворів золовидалення ШЗ1 ... ШЗ8 якщо не включений конвеєр золовидалення КЗЗ.
- Блокування включення конвеєрів золовидалення КЗ1 і КЗ2 якщо не включений конвеєр золовидалення КЗЗ.
- Блокування запуску вентилятора первинного повітря ДВ1, якщо не запуснено димосос ДН. Якщо димосос ДН зупиняється, то проводиться зупинка вентилятора первинного повітря ДВ1.
- Блокування запуску вентилятора вторинного повітря ДВ2, якщо не запуснено вентилятор первинного повітря ДВ1. Якщо вентилятор первинного повітря ДВ1 зупиняється, то проводиться зупинка вентилятора вторинного повітря ДВ2.
- Блокування запуску приводу заслінок пульсатора П, якщо не запуснено вентилятор вторинного повітря ДВ2. Якщо вентилятор вторинного повітря ДВ2 зупиняється, то проводиться зупинка приводу заслінок пульсатора.
- Блокування запуску вентилятора подачі лушпиння ВЛ, якщо не запуснено привід заслінок пульсатора П. Якщо П зупиняється, то проводиться зупинка ВЛ.
- Блокування включення транспортерів подачі лушпиння Т1 і Т2, якщо не запуснений вентилятор подачі лушпиння ВЛ. Якщо вентилятор подачі лушпиння ВЛ зупиняється, то проводиться зупинка транспортерів подачі лушпиння Т1 і Т2.
- Блокування включення шнеків подачі лушпиння ШП1 і ШП2, якщо не включені транспортери подачі лушпиння Т1 і Т2. Якщо один з транспортерів подачі лушпиння Т1 або Т2 зупиняється, то проводиться зупинка шнеків подачі лушпиння

M1 і M2 відповідно із запам'ятовуванням першопричини аварії і видачі технологічної сигналізації.

- Блокування операції золовидалення, якщо тиск в системі управління пневмоприводами не досягає нормального значення (сигнал від приладу поз.41а).
- Блокування відкриття неперервної продувки при низькому рівні води в барабані.

Також передбачено захист, що виконує аварійну зупинку котла з увімкненням аварійної сигналізації і запам'ятовуванням першопричини спрацьовування, яка повинна проводитися при порушенні заданих аварійних границь наступних параметрів:

- підвищення рівня води в барабані (прилади поз.1);
- зниженні рівня води в барабані (прилад поз. 1 н);
- зниженні розрідження в топці (поз. 12а);
- зупинці вентилятора первинного повітря ДВ1 *;
- зупинці вентилятора вторинного повітря ДВ2 *;
- зупиненні димососа ДН *;
- зупинці вентилятора подачі лушпиння ВЛ *;
- зупинці транспортерів лушпиння Т1 і Т2;
- зупинці конвеєра золовидалення Кз3;
- зупинці шнеків подачі лушпиння ШП1 і ШП2;
- зупинці приводу заслінок пульсатора П *;
- натисканні кнопок аварійної зупинки поз. SB1 *.

При порушенні заданих аварійних границь вищеперахованих параметрів повинна включатися аварійна сигналізація, запам'ятовуватися першопричина аварії і починатися відлік часу T_a . Для параметрів зазначених * аварійна зупинка котла проводиться без відліку часу.

Після закінчення часу T_a , якщо параметр не повернувся в норму, повинна проводитися аварійна зупинка котла.

2.3. Вимоги до реалізації

Для того, щоб реалізувати дану систему, було створено наступні вимоги:

1) Впровадження АСУ паровим котлом на лущинні соняшника

На цьому етапі необхідно впровадити засоби автоматизації, такі як датчики, виконавчі механізми, ПЛК. Це необхідно для отримання актуальної інформації про стан обладнання і основних параметрів, а також для можливості регулювання цих параметрів для ефективної роботи парового котла. Також це забезпечить кращу точність, більшу надійність і підвищить ефективність роботи всієї системи[2]

2) Впровадження можливості дистанційного керування за допомогою SCADA систем.

На цьому етапі необхідно забезпечити можливість відслідковування і регулювання параметрів в системі диспетчеризації. Це дозволить зручно отримувати актуальні дані про події в системі, вести журнал подій, архівувати дані, які приходять від контролера, для подальшого аналізу. Також оператор зможе приймати рішення без необхідності їхати на об'єкт.

3) Реалізувати можливість обміну даними між верхнім та нижнім рівнем автоматизації

Це дозволить контролеру «спілкуватись» з оператором біля пульта управління, також дозволить отримувати дані з нижнього рівня автоматизації. Фактично завдяки цьому пункту наш перший і другий пункт також матимуть можливість реалізації

Висновок

В даній роботі об'єктом автоматизації є паровий котел на лушпинні соняшника. Для більш детального дослідження було обрано контур співвідношення «паливо-повітря». Для цієї системи необхідно підібрати ПТК та створити систему візуалізації. Однак головним завданням буде налаштувати адаптивний регулятор, для керування співвідношенням, для ефективної роботи системи і отримання найменшої динамічної похибки.

3. Розробка системи управління об'єктом

3.1. Функціональна структура системи управління об'єктом

Структура системи управління паровим котлом є двохрівневою, тобто має верхній та нижній рівні автоматизації. До нижнього рівня відносяться всі датчики, з яких отримується інформація, виконавчі механізми, якими керуються приводи, частотні перетворювачі, які керують двигунами, а також контролер з модулями розширення входів та виходів. Відповідно до верхнього рівня відноситься SCADA-система, яка встановлена на комп'ютері оператора і призначена для візуалізації

На рис 3.1 зображено схему ПТКЗА

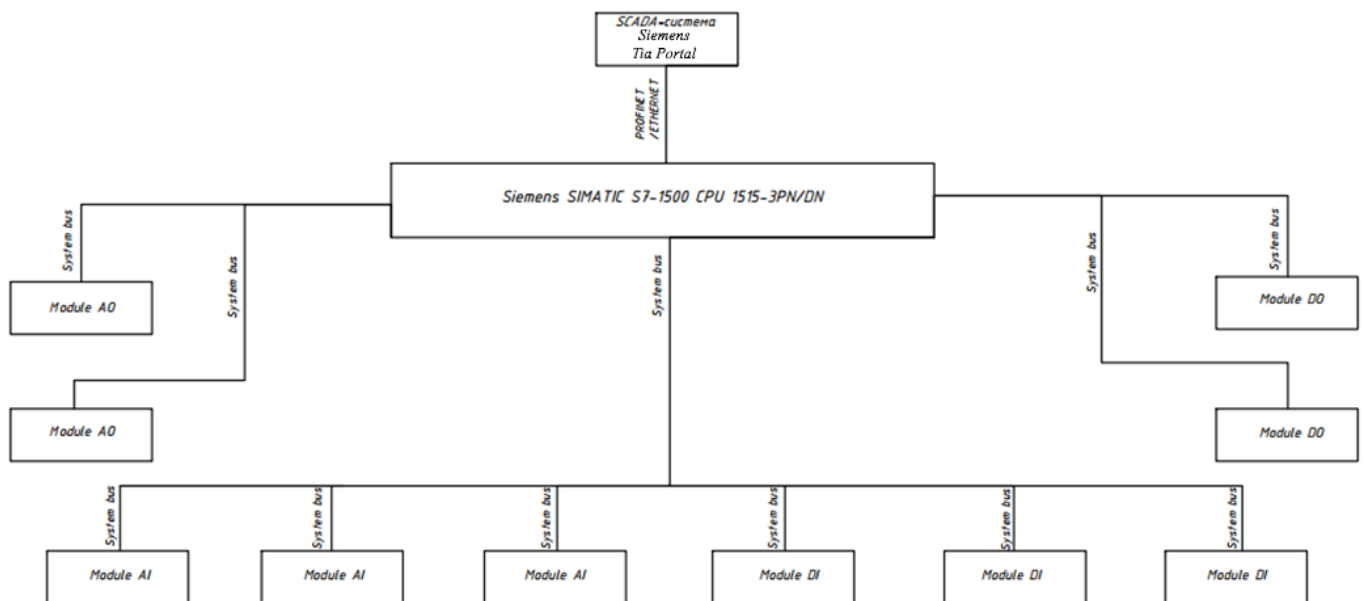


Рисунок 3.1. - Структурна схема ПТКЗА

Датчики в системі мають уніфікований сигнал, адже у такому випадку немає необхідності в додаткових перетворювачах сигналу в уніфікований.

Сигнали спочатку потрапляють на датчики, а потім потрапляють на модулі вводу/виводу. Після сигнали йдуть на ЦП нашого програмованого логічного

контролера , де інформація з приладів оброблюється і передається для візуалізації та відслідковування в SCADA-систему. Дані з нижнього до верхнього рівня передаються по протоколу PROFINET та інтерфейсу Ethernet

Для керування в системі також будуть використовуватись уніфіковані сигнали. Керування здійснюється за допомогою частотних перетворювачів та виконавчих механізмів.

В системі присутня сигналізація для найважливіших параметрів , яка буде відображатися на ПК оператора.

3.2. Розрахункова частина

Передаточна функція об'єкта управління:

$$W(p) = \frac{0.05e^{-30}}{600p + 1}$$

Випереджаючий об'єкт:

$$W(p) = \frac{1}{10p + 1}$$

Криву розгону для об'єкта отримаємо з допомогою MatLab (рис. 3.2 і 3.3.).

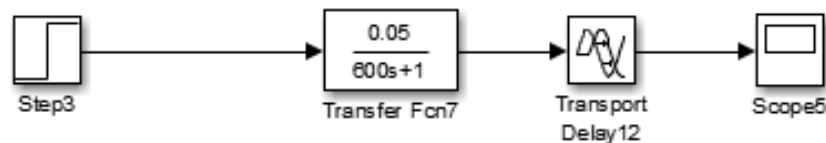


Рисунок 3.2 - Схема для побудови кривої розгону об'єкта управління

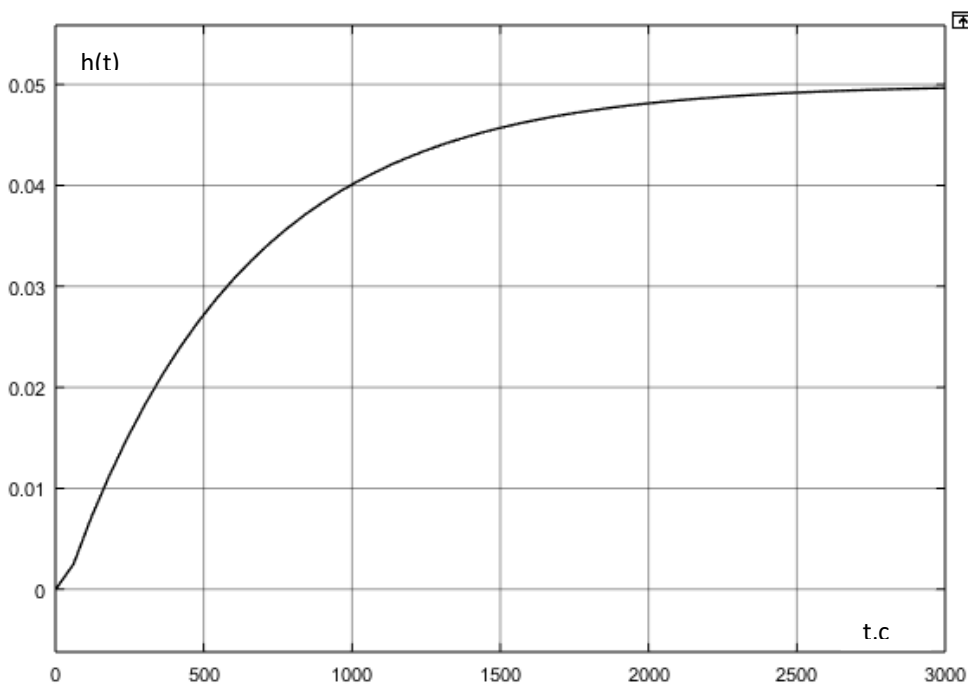


Рисунок 3.3 - Крива розгону для об'єкта управління

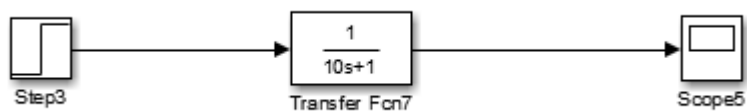


Рисунок 3.4. - Схема для побудови кривої розгону випереджаючого об'єкта

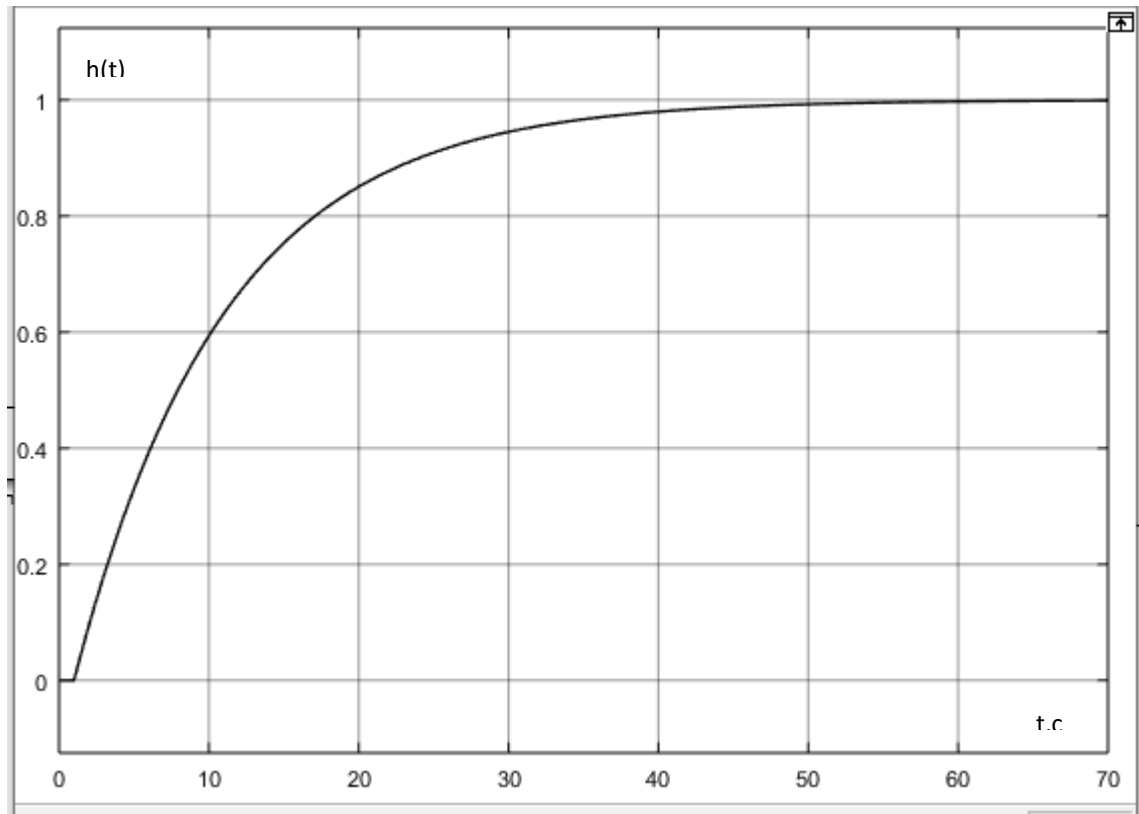


Рисунок 3.5 - Крива розгону для випереджаючого об'єкта

Для отримання оптимальних налаштувань регулятора виконаємо розрахунки за допомогою таких метода розширених амплітудо-фазових характеристик

Метод РАФХ

Передаточна функція еквівалентного об'єкта для зовнішнього регулятора може бути розрахована по формулі:

$$W_{\text{екв}} = \frac{W_p(\text{ст}) * W_{\text{об}}}{1 + W_p(\text{ст}) * W_{\text{вип}}}$$

Для побудови кривої заданої степені коливальності скористуємось формулами для ПІ-регулятора

$$\left\{ \begin{array}{l} K_p = -\frac{mQ_{o\delta}(m, \omega) + P_{o\delta}(m, \omega)}{A_{o\delta}^2(m, \omega)} \\ K_H = -\omega(m^2 + 1) \frac{Q_{o\delta}(m, \omega)}{A_{o\delta}^2(m, \omega)} \end{array} \right.$$

$$\text{де } K_H = \frac{K_p}{T_H}, \quad A_{o\delta}(m, \omega) = \sqrt{P_{o\delta}^2(m, \omega) + Q_{o\delta}^2(m, \omega)}$$

Побудуємо криву заданої степені коливальності еквівалентного об'єкта (рис.3.5) для внутрішнього регулятора, задавши при цьому кореневий показник коливальності 0.366, для цього пропишемо код у m-файлі:

```
w = 0:0.00001:0.5;
M = 0.366;
p = (1i-M).*w;
Wvip = (1.*(exp(-1.*p))./(10.*p+1));
Wekv1 = Wvip;
figure; %Внутрішній контур ПІ
A1 = real(Wekv1).^2+imag(Wekv1).^2;
Ki = -((w.*(M.^2+1).*imag(Wekv1))./(A1));
Kp = -((real(Wekv1)+M.*imag(Wekv1))./(A1));
plot(Kp,Ki,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('Внутрішній контур ПІ');
xlabel('Kp');
ylabel('Ki');
```

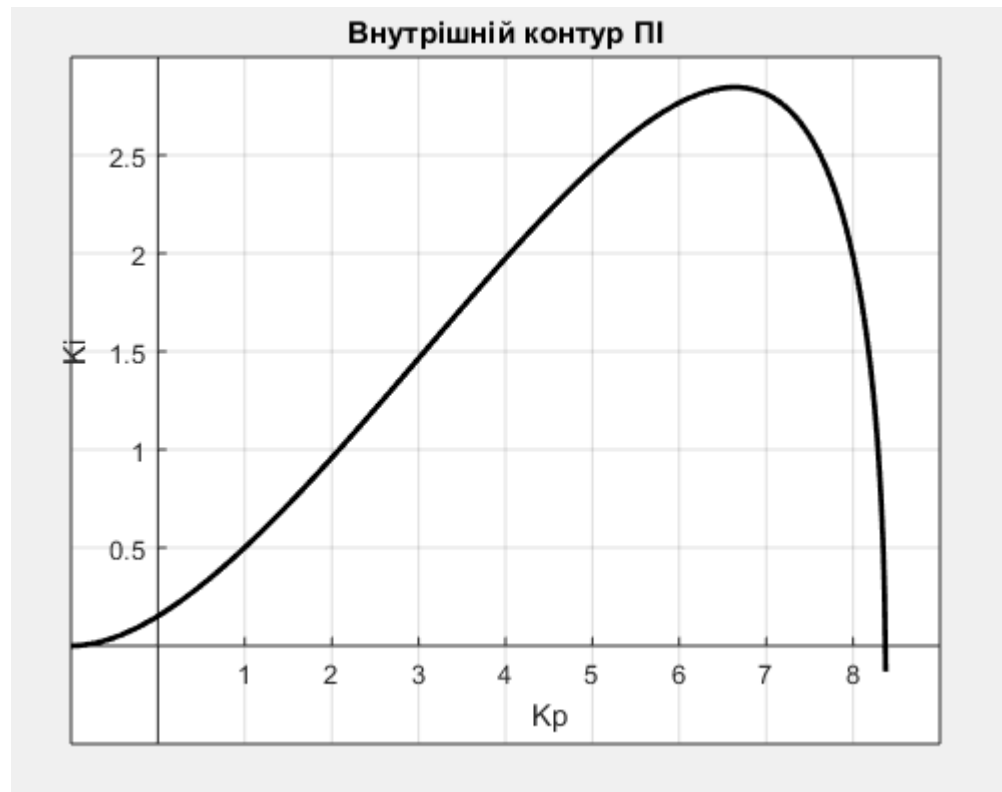


Рисунок 3.6. - Лінія налаштувань для внутрішнього ПІ-регулятора

На кривій вибираємо параметри налаштувань допоміжного ПІ-регулятора обираємо налаштування, коли $K_i = 0,9 \max(K_i)$. Отже, $K_p = 7.55$, $K_i = 2,56$, $T_i = K_p / K_i = 2,95$. [6]

Перевіримо правильність знайденого налаштування регулятора, для цього побудуємо за допомогою m-файлу АФЧХрозш РС (рис.3.6) і переконаємося, що АФЧХрозш РС проходить через точку $(-1, j0)$. Пропишемо код у m-файлі:

```
m=0.366;
w=0.13:0.001:2;
p=1j*w;
Wo=(1.*exp(-1.*p))./(10.*p+1);
Wr=7.55*(1+1./(2.95.*p));
W=Wo.*Wr;
```

```

Re=real(W);
Im=imag(W);
p=w*(1j-m);
W1=(7.55+(7.55./(2.95*p))).*(1.*exp(-1*p))./(10.*p+1);
Re1=real(W1);
Im1=imag(W1);
plot(Re,Im,Re1,Im1);
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid on;

```

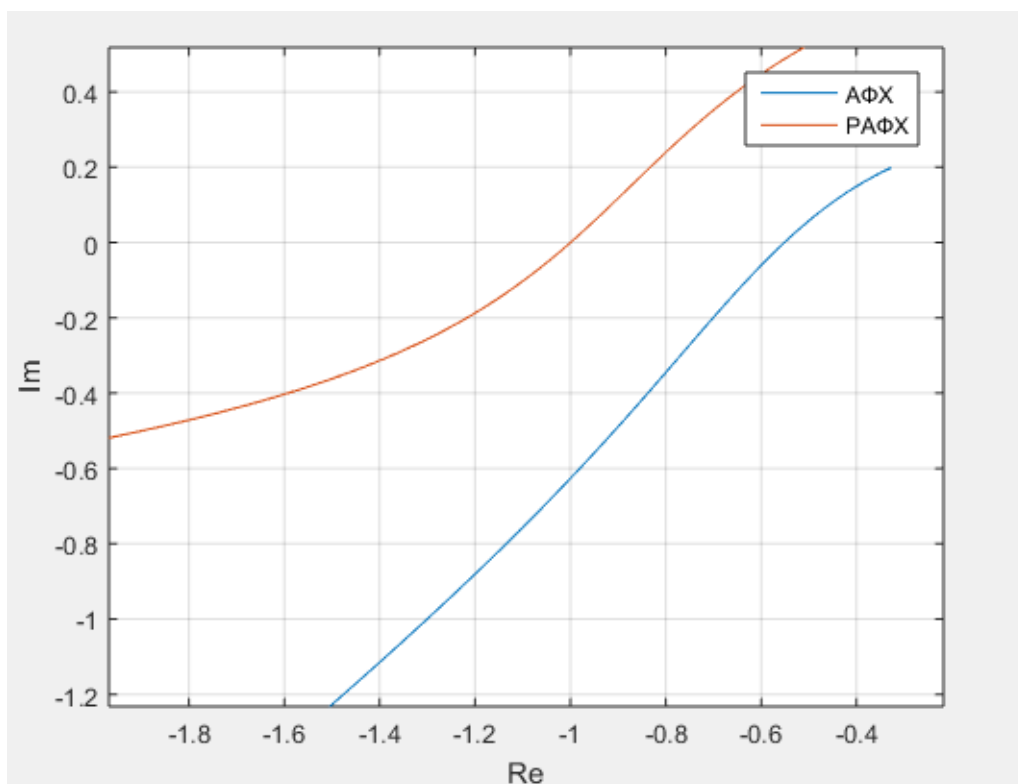


Рисунок 3.7 - АФЧХ розімкнутої системи для внутрішнього контура з ПІ-регулятором

Очевидно, що РАФЧХ розімкнутої системи проходить через точку $(-1;j0)$. Це означає, що отримана система має кореневий показник згасання m , рівний заданому: $m=0,367$. Отже, передавальна функція для внутрішнього ПІ-регулятора має вигляд :

$$W_{\text{Пвнутр}(p)} = 7.55 \left(1 + \frac{1}{2.95p} \right)$$

Знаючи налаштування для внутрішнього регулятора, знайдемо налаштування для зовнішнього регулятора (рис.3.7), для цього використаємо код, який запишемо у m-файлі:

```
w = 0:0.0001:0.118;
M = 0.6;
p = (1i-M).*w;
Wvip = (0.32.*(exp(-3.*p))./(12.*p+1));
Wob = (0.48.*(exp(-9.*p))./(27.*p+1));
Wekv1 = Wvip;
Wst=10.59;
Wekv2= (Wst.*Wob.*Wvip)./(1.+Wst.*Wvip);
figure;
A2 = real(Wekv2).^2+imag(Wekv2).^2;
Ki = -((w.*(M.^2+1).*imag(Wekv2))./(A2));
Kp = -((real(Wekv2)+M.*imag(Wekv2))./(A2));
plot(Kp,Ki,'black','linew',2);
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
hold on;
title('Зовнішній контур ПІ-ПІ');
xlabel('Kp');
ylabel('Ki');
```

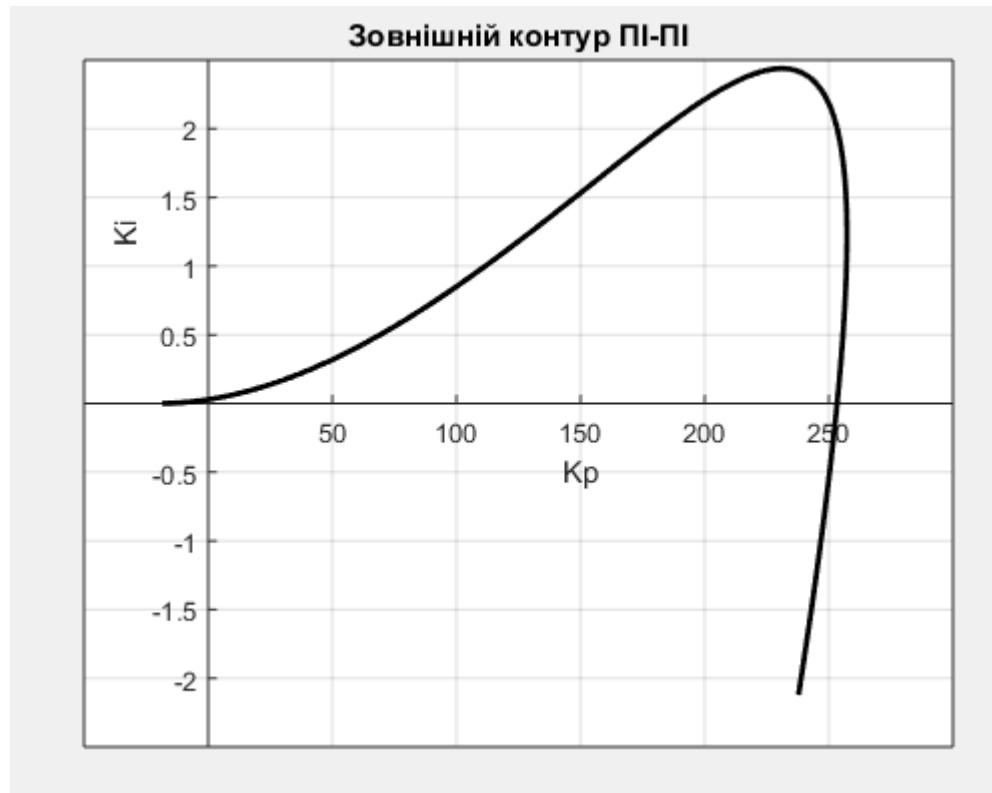


Рисунок 3.8 - Лінія налаштувань для зовнішнього ПІ-регулятора

На кривій вибираємо параметри налаштувань допоміжного ПІ-регулятора обираємо налаштування, коли $K_i = 0,9 \max(K_i)$. Отже, $K_p = 249,7$, $K_i = 2,196$, $T_i = K_p / K_i = 113,7$.

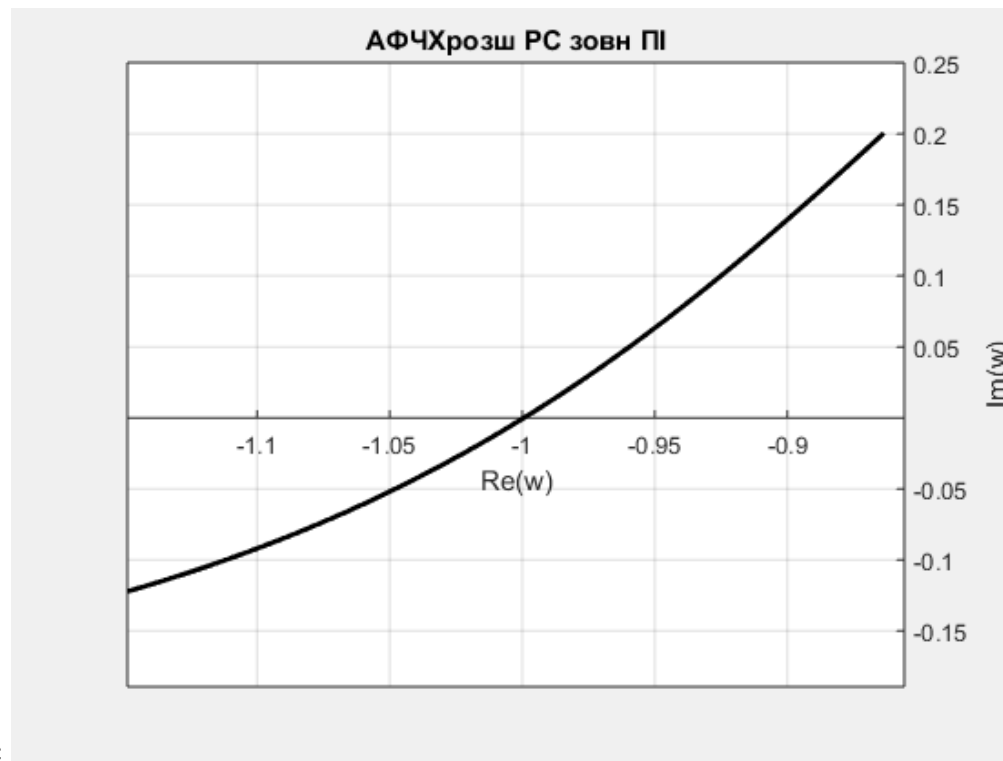
Перевіримо правильність знайденого налаштування регулятора, для цього побудуємо за допомогою m-файлу АФЧХрозш РС (рис.3.8) і переконаємося, що АФЧХрозш РС проходить через точку $(-1, j0)$. Пропишемо код у m-файлі:

```
figure;
w = 0:0.001:0.05;
Wrs=Wekv2.*(249.7+(249.7./(113.7.*p)));
plot(real(Wrs),imag(Wrs),'black','linew',2);
hold on;
grid on;
```

```

ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
title('АФЧХрозш РС зовн ПІ-ПІ');
xlabel('Re(w)');
ylabel('Im(w)');

```



с

Рисунок 3.9 - АФЧХ розімкнутої системи для зовнішнього контура з ПІ-регулятором

Очевидно, що РАФХ розімкнутої системи проходить через точку $(-1;j0)$. Це означає, що отримана система має кореневий показник затухання m , рівний заданому: $m=0,6$. Отже, передавальна функція для зовнішнього ПІ-регулятора має вигляд : [6]

$$W_{\text{ПІзовн}(p)} = 249.7 \left(1 + \frac{1}{113.7p} \right)$$

Побудуємо каскадну систему із налаштованими регуляторами в Simulink (рис. 3.10, 3.12), та отримаємо перехідні процеси в замкнутій системі (рис.3.11, 3.13) :

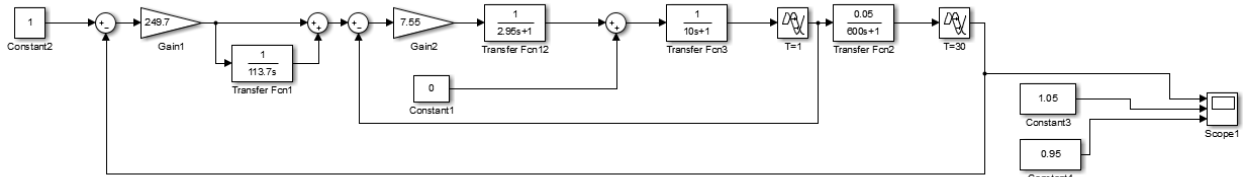


Рисунок 3.10 - Схема каскадної системи по каналу завдання-вихід

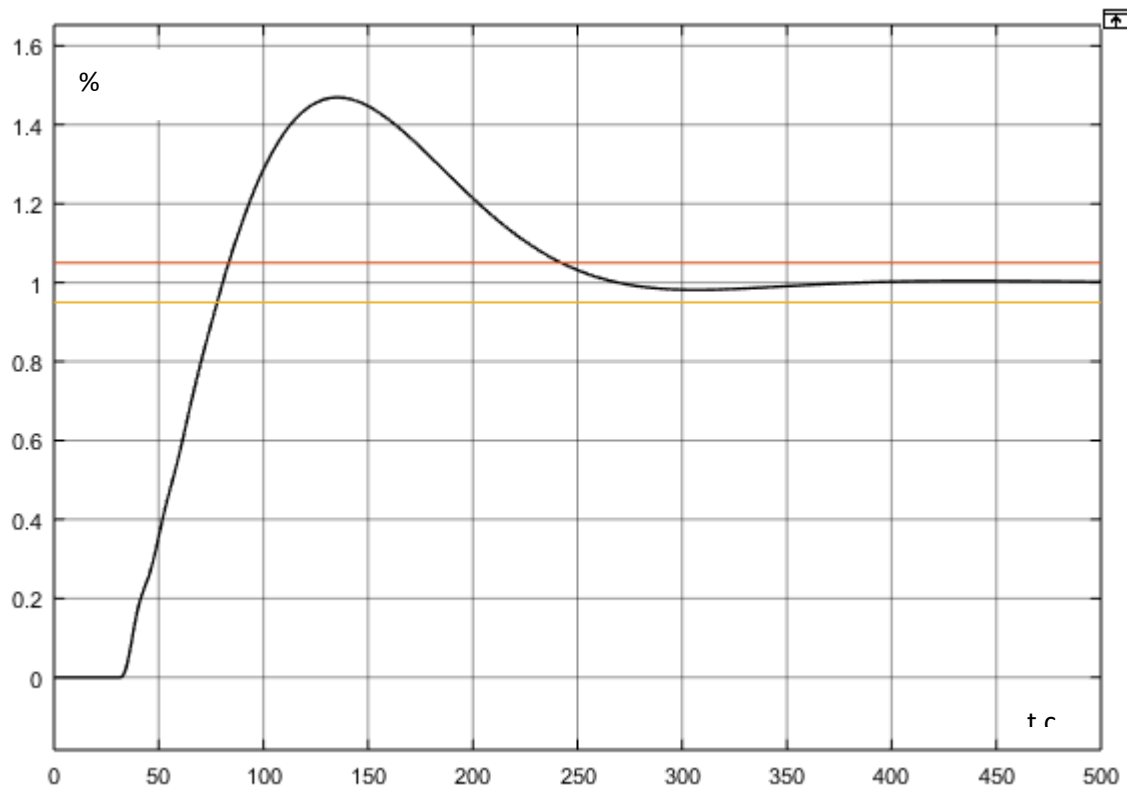


Рисунок 3.11 - Перехідний процес в каскадній системі за каналом завдання-вихід

Обчислимо прямі показники якості за каналом завдання-вихід:

$$\Delta_{ст} = y_{зад} - y(\infty) = 1 - 1 = 0$$

$$y_{max}^{\Delta} = y_{max} - y(\infty) = 1,493 - 1 = 0,469$$

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = \frac{0,469 - 0,02}{0,493} = 0,957$$

$$\sigma = \frac{y_{max}^{\Delta}}{y(\infty)} 100\% = \frac{0,469}{1} = 46,9\%$$

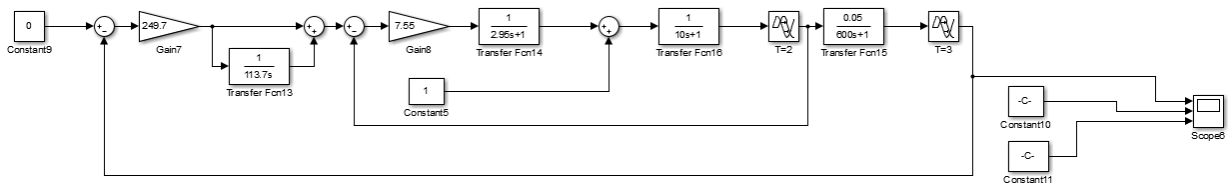


Рисунок 3.12 - Схема каскадної системи по каналу збурення-вихід

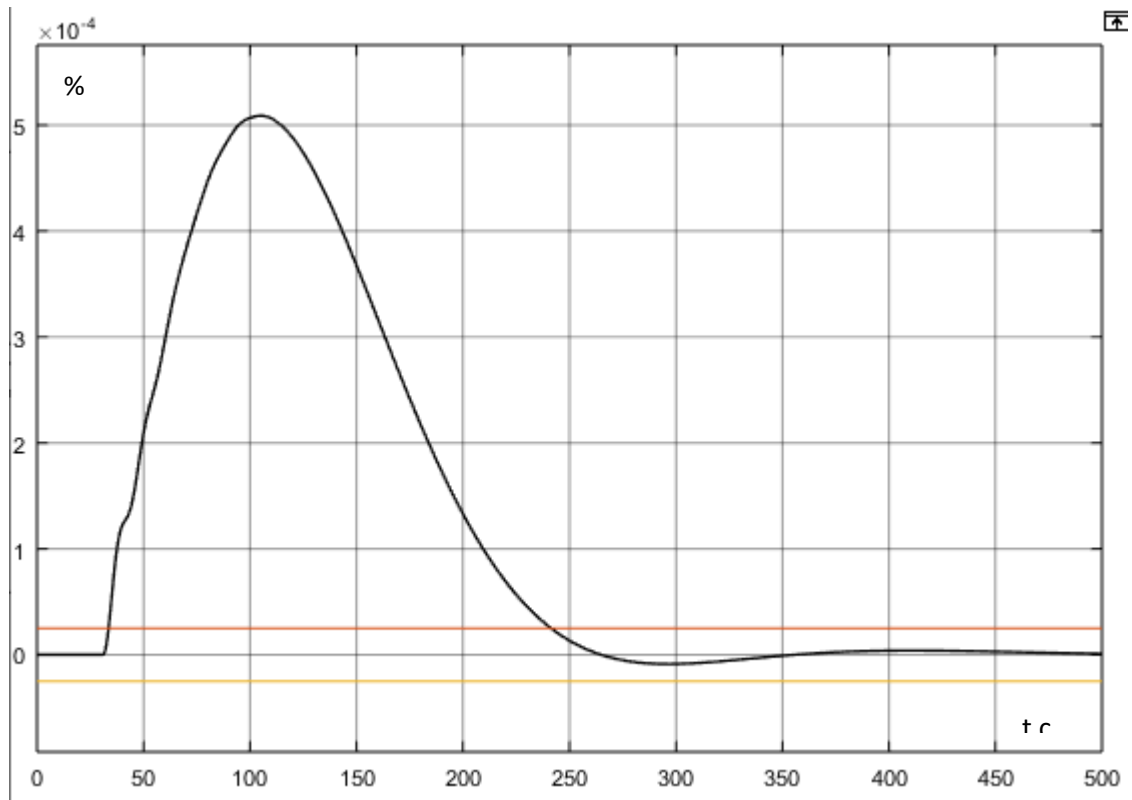


Рисунок 3.13 - Перехідний процес в каскадній системі за каналом збурення-вихід

Обчислимо прямі показники якості за каналом збурення-вихід:

$$\Delta_{\text{ст}} = y(\infty) - y_{\text{зад}} = 0 - 0 = 0$$

$$y_{\text{max}}^{\Delta} = y_{\text{max}} - y(\infty) = 0,0006$$

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = \frac{0,0006 - 0,000008}{0,0006} = 0,986$$

$$\sigma = \frac{y_2}{y_1} * 100 = 13,3$$

Запишемо отримані показники якості по обом каналам у таблицю 3.1

Таблиця 3.1 - Прямі показники якості перехідних процесів в каскадній системі
методом РАФХ

	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична помилка $\Delta_{ст}$	0	0
Максимальне динамічне відхилення $U_{тах}^д$	0,469	0,00056
Степінь затухання ψ	0,973	0,986
Час регулювання $t_{рег}$	242	240
Перерегулювання σ , %	46,9	13,3

Інженерний метод

Розрахуємо налаштування регулятора за допомогою інженерного методу $\sigma = 20\%$.

$$K_p = \frac{0,7 T_{об}}{K_{об} \tau_{об}} = \frac{0,7 * 10}{1 * 1} = 7 \text{ Па / \%};$$

$$T_u = 0,7 T_{об} = 0,7 * 10 = 7 \text{ с};$$

Отже, передаточна функція для внутрішнього ПІ-регулятора:

$$W_p = 7 \left(1 + \frac{1}{7p} \right)$$

Передаточна функція об'єкта для зовнішнього регулятора:

$$W_{*об}(p) = \frac{W_{вн}(p) * W_{вип}(p) * W_{об}(p)}{1 + W_{вн}(p) * W_{вип}(p)}$$

Так як даний об'єкт не є об'єктом першого порядку, то побудуємо його перехідну характеристику, нормуємо її та виконаємо апроксимацію (див. рис. 3.14):

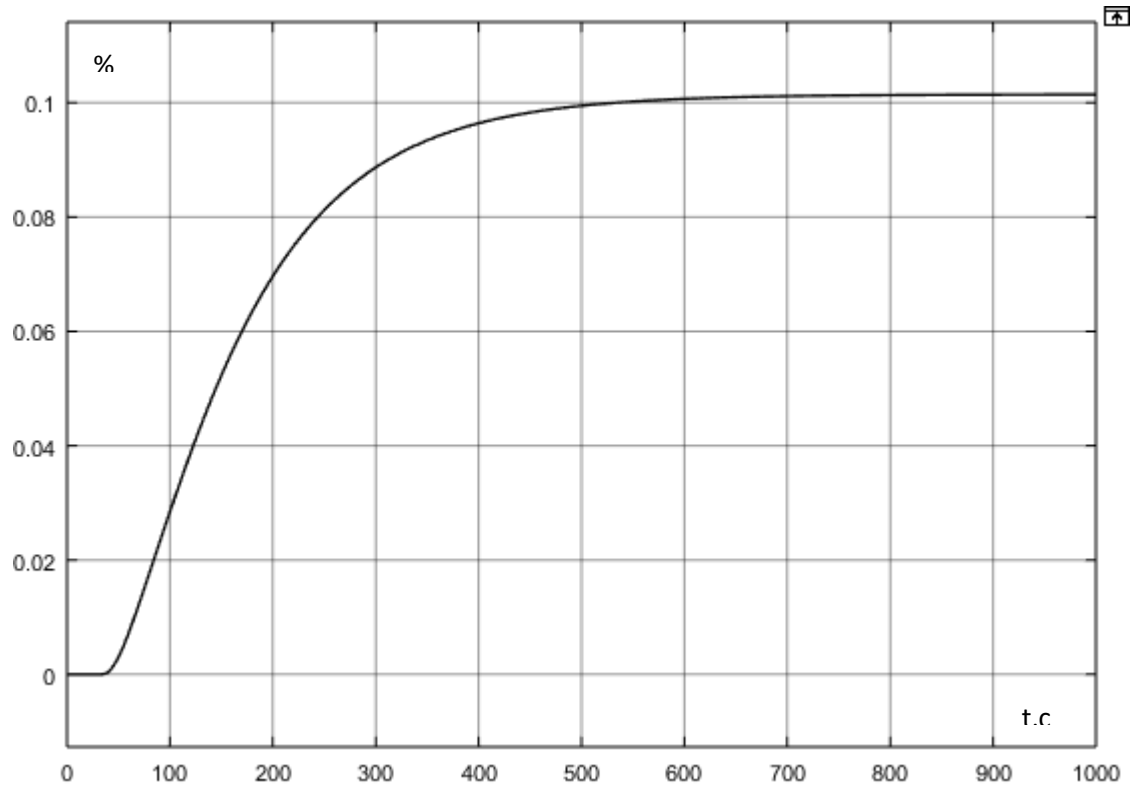


Рисунок 3.14 - Отримана перехідна характеристика еквівалентного об'єкту

Апроксимуємо даний процес аперіодичною ланкою з запізненням за допомогою методу 2/3.

За допомогою апроксимації отримали передаточну функцію:

$$W = \frac{0,102}{200p+1} e^{-31};$$

Розрахуємо налаштування зовнішнього регулятора за допомогою інженерного методу :

Suyama (1992). Model: Method 1	$\frac{0.5T_m}{K_m \tau_m}$	T_m	OS = 10%
-----------------------------------	-----------------------------	-------	----------

$$K_p = 31,63, T_i = 200.$$

Отже, передавальна функція зовнішнього ПІ-регулятора матиме вигляд:

$$W_p = 31,63 \left(1 + \frac{1}{200p} \right)$$

Змодельуємо перехідний процес (див.рис.3.14) по каналу «Завдання-вихід» (див.рис.3.15):

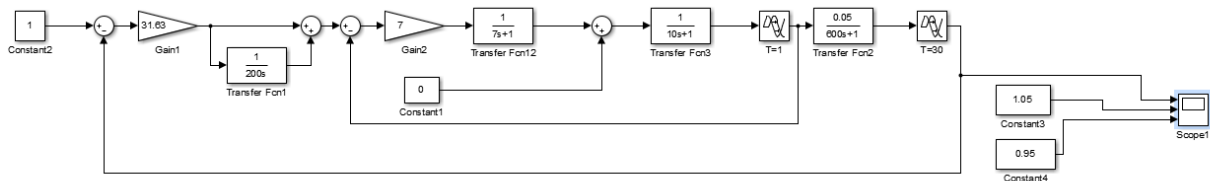


Рисунок 3.15 - Схема каскадної системи по каналу завдання-вихід

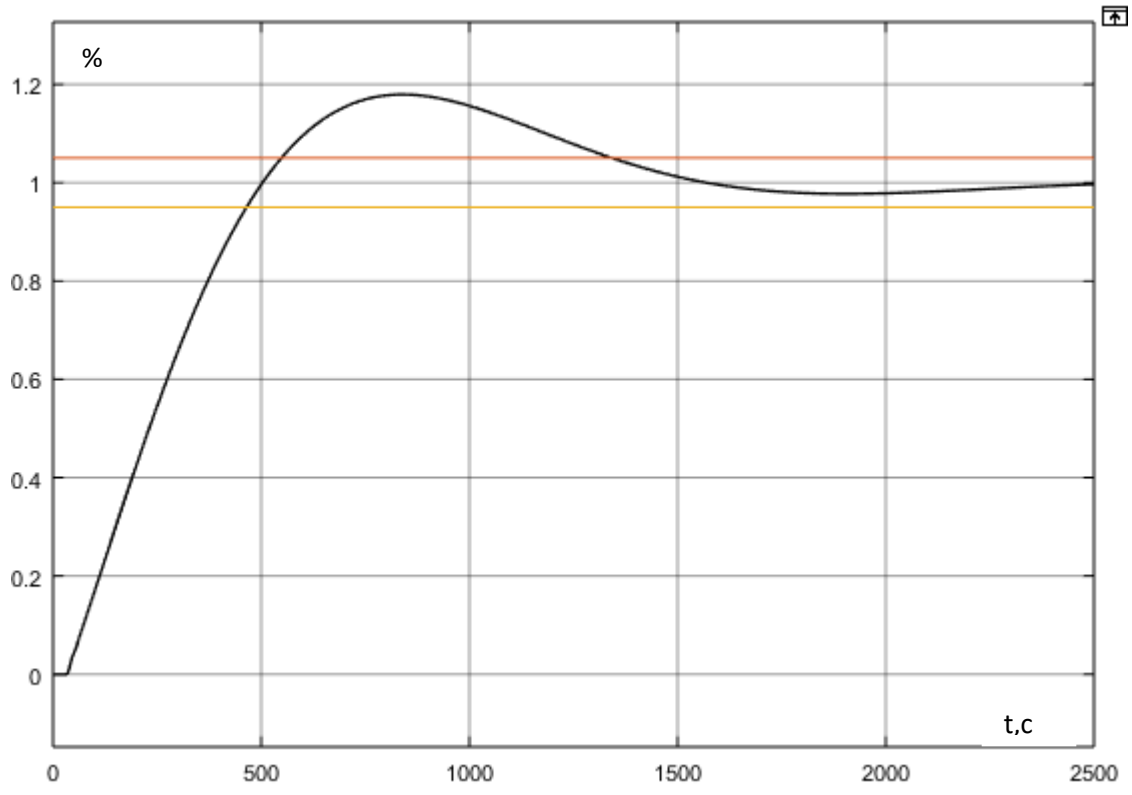


Рисунок 3.16 - Перехідний процес в каскадній системі за каналом завдання-вихід

Обчислимо прямі показники якості за каналом завдання-вихід: [6]

$$\Delta_{ст} = y_{зад} - y(\infty) = 1 - 1 = 0$$

$$y_{max}^д = y_{max} - y(\infty) = 1,145 - 1 = 0,18$$

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = \frac{0,18 - 0}{0,18} = 1$$

$$\sigma = \frac{y_{max}^д}{y(\infty)} 100\% = \frac{0,145}{1} = 18\%$$

Змоделюємо перехідний процес (див.рис.3.16) по каналу «Збурення-вихід» (див.рис.3.17):

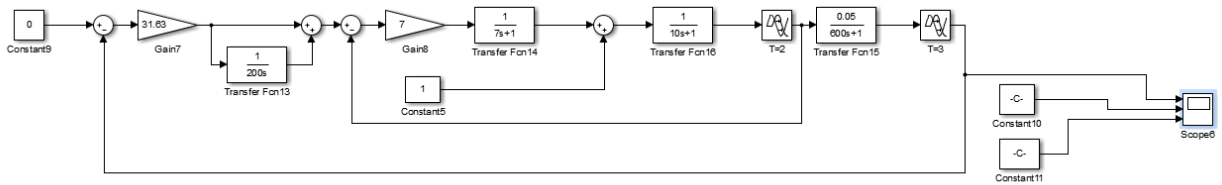


Рисунок 3.17 - Схема каскадної системи по каналу збурення-вихід

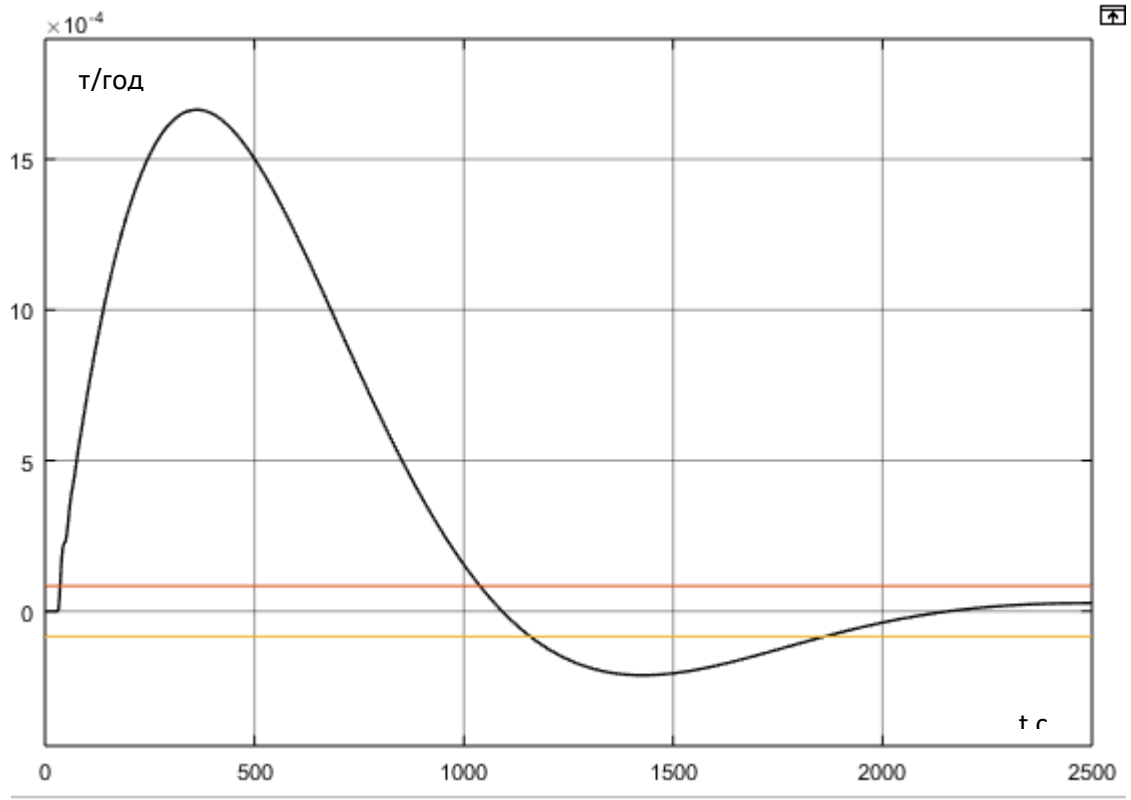


Рисунок 3.18 - Перехідний процес в каскадній системі за каналом збурення-вихід

Обчислимо прямі показники якості за каналом збурення-вихід:

$$\Delta_{ст} = y(\infty) - y_{зад} = 0 - 0 = 0$$

$$y_{max}^d = y_{max} - y(\infty) = 0,00166$$

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = \frac{0,00166 - 0,00003}{0,00166} = 0.982$$

$$\sigma = \frac{y_2}{y_1} * 100 = 12.04 \%$$

Запишемо отримані показники якості по обом каналам у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 - Прямі показники якості перехідних процесів в каскадній системі інженерним методом

	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична помилка $\Delta_{ст}$	0	0
Максимальне динамічне відхилення $U_{тах}^д$	0,18	0,00166
Степінь затухання ψ	1	0.982
Час регулювання $t_{рег}$	1340	1860
Перерегулювання σ , %	18	12.04

Порівняння методів РАФХ та інженерного

На рис.3.18 показано перехідні процеси по каналу «завдання-вихід», у таблиці 3.3 знаходяться порівняння їх прямих показників якості перехідних процесів. На рис. 3.19 показано перехідні процеси по каналу «збурення-вихід», а також порівняння їх прямих показників якості перехідних процесів у таблиці 3.4.

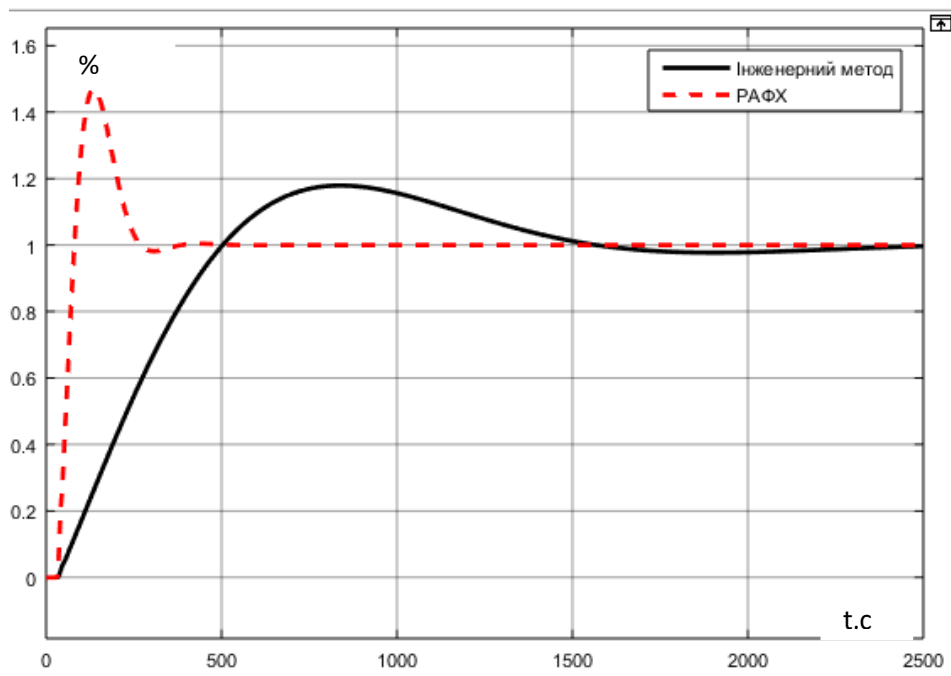


Рисунок 3.19 - Перехідний процес в каскадній системі за каналом завдання-вихід

Таблиця 3.3 - Порівняння методів за каналом «завдання-вихід»

	Метод РАФХ	Інженерний метод
Статична помилка $\Delta_{ст}$	0	0
Максимальне динамічне відхилення $U_{тах}^д$	0,469	0,18
Степінь затухання ψ	0,973	1
Час регулювання $t_{рег}$	242	1340
Перерегулювання σ , %	46,9	18

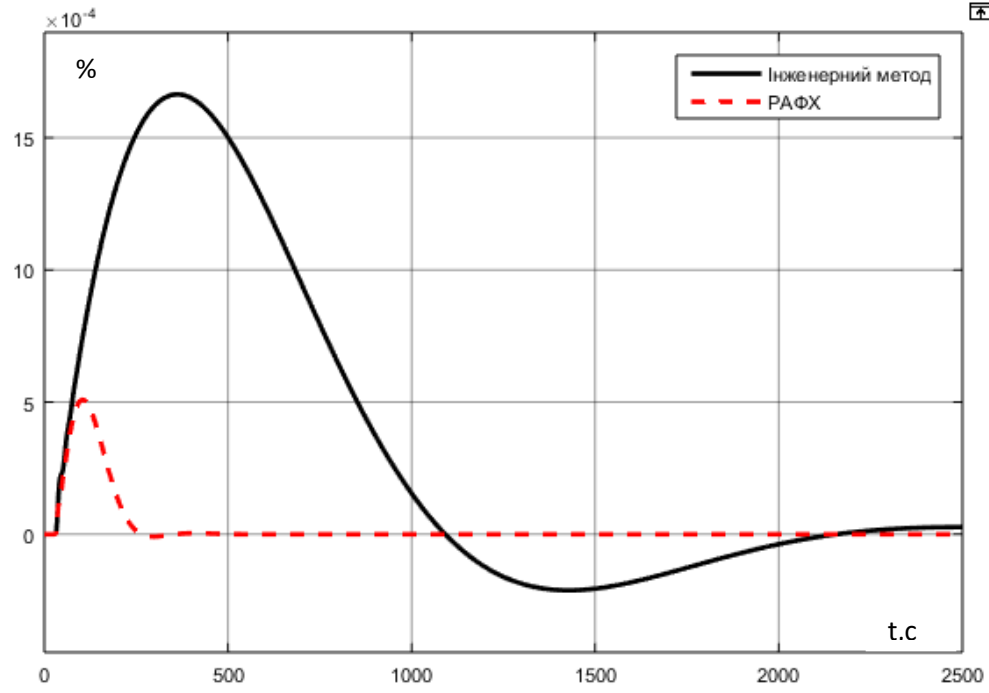


Рисунок 3.20 - Перехідний процес в каскадній системі за каналом збурення-вихід

Таблиця 3.4 - Порівняння методів за каналом «збурення-вихід»

	Метод РАФХ	Інженерний метод
Статична помилка $\Delta_{ст}$	0	0
Максимальне динамічне відхилення $U_{max}^д$	0,00056	0,00166
Степінь згасання ψ	0,986	0.982
Час регулювання $t_{рег}$	240	1860
Перерегулювання σ , %	13,3	12.04

Так як для контуру більш мажливим є канал «завдання-вихід», то обираємо той метод, який кращі результати показав саме по цьому каналу. Таким є інженерний метод, адже там менше динамічне відхилення та перерегулювання, хоч і довгий час

перехідного процесу, однак він є менш важливим. В подальших розрахунках будемо використовувати налаштування підібрані саме інженерним методом.

Адаптивний регулятор

При створенні систем автоматичного регулювання промислових об'єктів найчастіше використовують ПІ закон регулювання.

Враховуючи те, що багато об'єктів є нелінійними, мають велику апріорну і поточну невизначеність параметричну, з'являється необхідність налаштування регуляторів не лише при введенні в експлуатацію, а й також у процесі їх роботи, тобто є необхідність у регуляторах, які самоналаштовуються

Посеред значної кількості систем, що самонастроюються, найлегшими в реалізації є ті системи, які використовують інформацію лише про регульовану координату та оцінюють похідну цієї координати.

Об'єкти, які мають більший, ніж перший порядок, за часом, що досягає максимуму вихідної величини $y(t)$ у першій похідній у перегині, а також за похідною за модулем можна отримати дані про статичні, а також динамічні властивості об'єкта.

У роботі розглянуто метод, який ґрунтується на налаштуванні і корекції коефіцієнта передачі(підсилення) по результатам аналізу реакції автоматичної системи регулювання, яка є замкнутою, на ступінчасту зміну завдання, а також підлаштування часу інтегрування по прямим показникам якості системи. Експериментальним шляхом було встановлено наступну залежність [12]

$$A = \frac{|\varepsilon(t_1)|}{t_1 \cdot |\dot{\varepsilon}(t_1)|}, \quad (1)$$

де $\varepsilon(t) = y(t) - y_{зад} = y_{зад} - y_{зад}$ - задане значення вихідної величини.

Рекомендований адаптивний ПІ закон регулювання має такий вигляд :

$$u(t) = K_p^{(n+1)} \cdot (\varepsilon(t) + \frac{1}{T_u} \cdot \int \varepsilon(t) dt + T_D \cdot \dot{\varepsilon}(t)) , (2)$$

$$K_p^{(n+1)} = K_p^{(n)} \cdot \alpha \cdot A , (3)$$

де $n=0,1,2,\dots$ - номер кроку корекції коефіцієнта передачі (кроку самоналаштування), а співвідношення та часу диференціювання постійно. За допомогою коефіцієнта задаються показники якості регулювання.

Спочатку побудуємо модель для якої будемо проводити розрахунки.

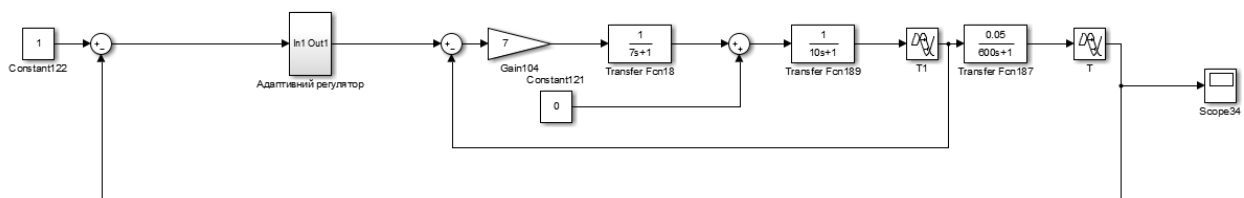


Рисунок 3.21 - Схема адаптивної системи по каналу завдання-вихід

Отримаємо наступну перехідну характеристику

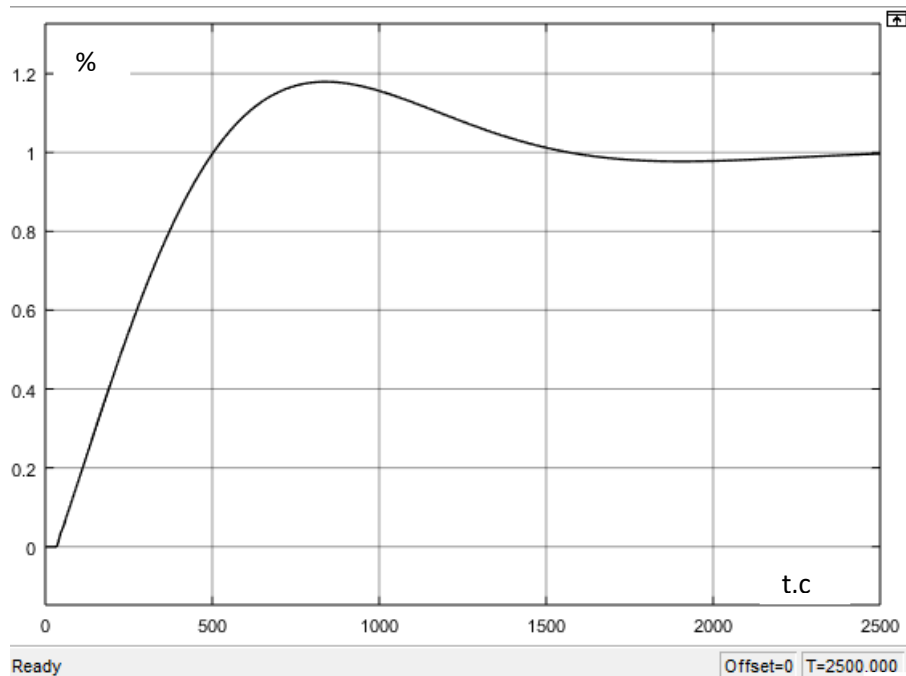


Рисунок 3.22 - Перехідний процес в адаптивній системі за каналом завдання-вихід

Таблиця 3.5 - Прямі показники якості перехідних процесів в адаптивній системі

	Завдання-вихід
Статична помилка Δ_{cm}	0
Максимальне динамічне відхилення U_{max}^d	0,18
Степінь затування ψ	1
Час регулювання $t_{рег}$	1340
Перерегулювання σ , %	18

Блок «Адаптивний регулятор» (рис.3.23) складається з ще одного вбудованого блоку з розрахунками, на виході якого ми отримуємо нове значення K_p на дисплеї, а також ПІ регулятора зовнішнього контуру

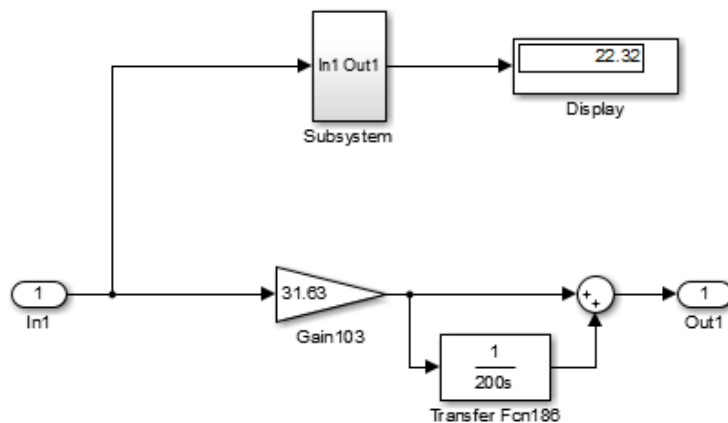


Рисунок 3.23 – Внутрішній вміст блоку «Адаптивний регулятор»

У блоці Subsystem ми беремо похідну з нашої функції, та значення без похідної, попередньо. Ці обидва значення попередньо проходять через фільтр. Також, для зручності отримання даних, було створено прості математичні операції за допомогою вбудованих блоків Matlab. Фактично була реалізована наступні формули, для отримання нового значення K_p

$$A = \frac{|\varepsilon(t_1)|}{t_1 \cdot |\dot{\varepsilon}(t_1)|},$$

$$K_p^{(n+1)} = K_p^{(n)} \cdot \alpha \cdot A,$$

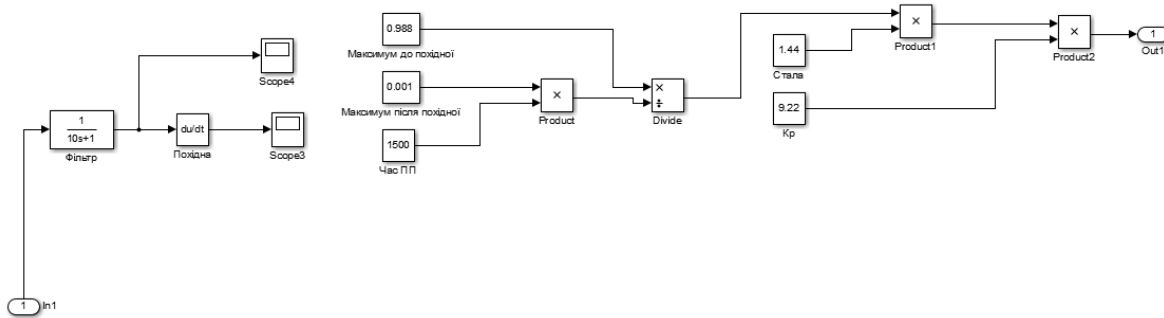


Рисунок 3.24 – Внутрішній вміст блоку «Subsystem»

Для обрахунку нового значення K_p , значення $\varepsilon(t_1)$, $\varepsilon(t_2)$, t_1 отримуються експериментальним методом з наступних графіків (рис. 3.25,3.26)

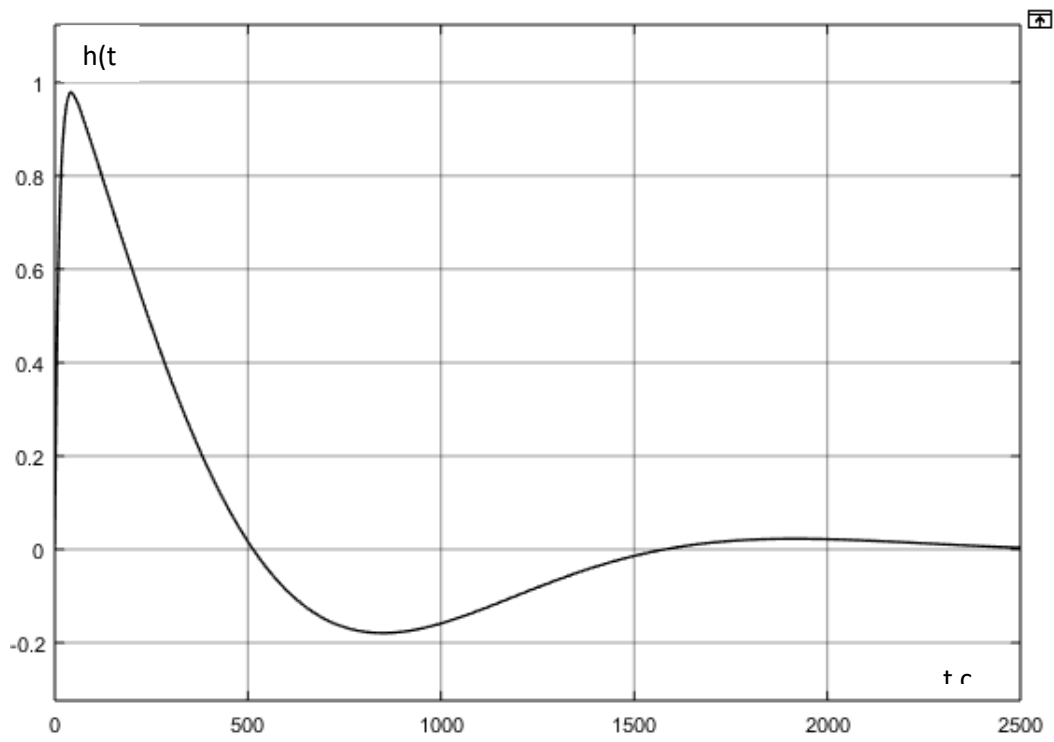


Рисунок 3.25 – Перехідний процес регульованої координати

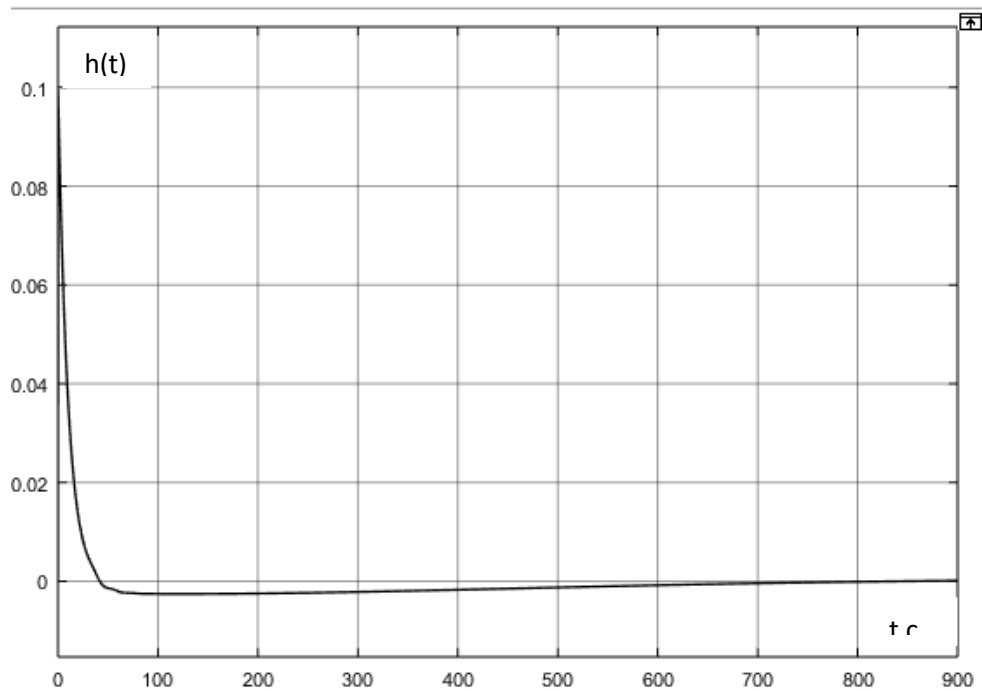


Рисунок 3.26 – Перехідний процес похідної регульованої координати

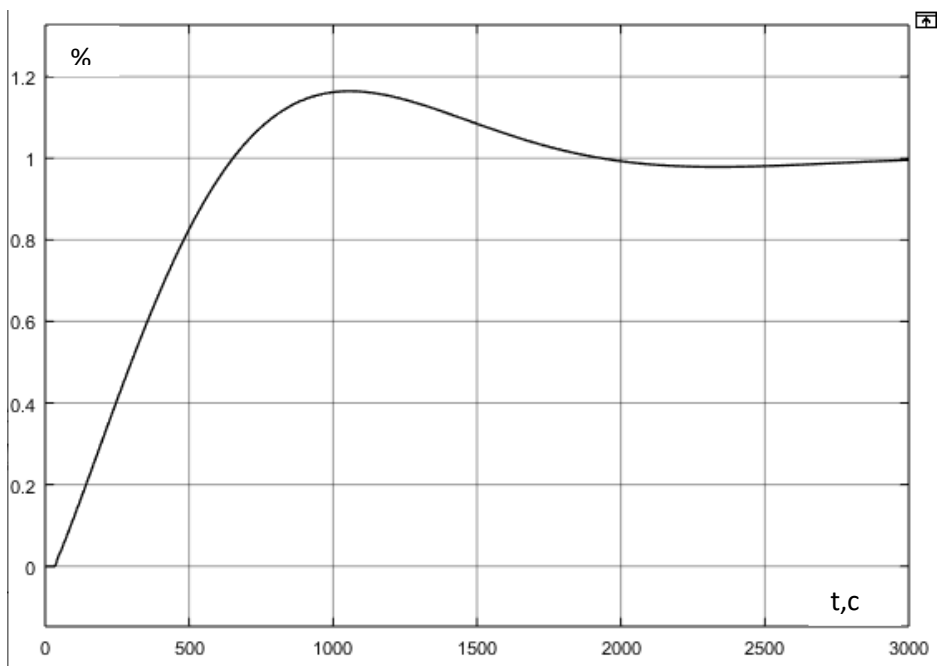


Рисунок 3.27 – Перехідний процес адаптивної системи після першої ітерації при $K_p = 22.32$

Таблиця 3.6 - Прямі показники якості перехідних процесів в адаптивній системі системи після першої ітерації при $K_p = 22.32$

	Завдання-вихід
Статична помилка $\Delta_{ст}$	0
Максимальне динамічне відхилення $U_{тах}^д$	0,165
Степінь затухання ψ	1
Час регулювання $t_{рег}$	1950
Перерегулювання σ , %	16.5

Цілю цього методу було отримати таке K_p при якому максимальне динамічне відхилення буде найменшим. Тому я провів декілька ітерацій, поки значення наступного K_p перестало зменшуватись від попереднього на 1% від першопочаткового значення. Для цього мені довелось провести 8 ітерацій, результати яких внесено у таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Таблиця зміни параметру K_p

Ітерація	К	Різниця	Відсоток
1	33.63	-	-
2	22.32	11,31	33,6%
3	16.58	5,74	17%
4	13,04	3.54	10,5%
5	10.53	2.51	7,4%
6	9,97	0,563	1,5%
7	9.22	0,7	1,8%
8	8,91	0,31	0.9%

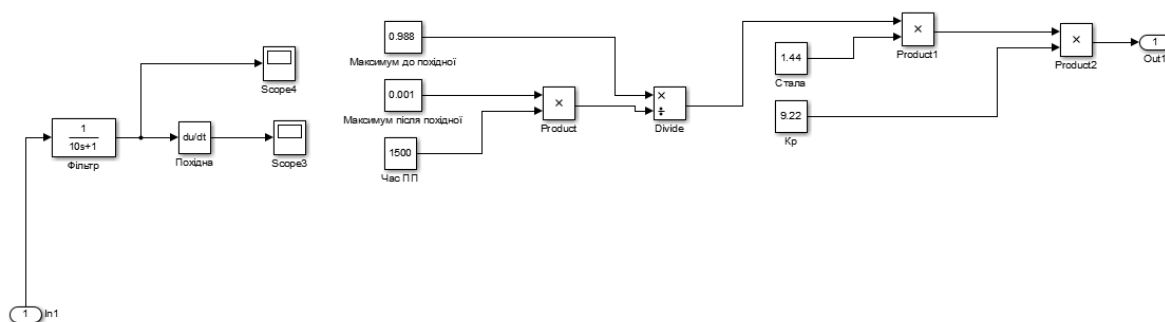


Рисунок 3.28 – Внутрішній вміст блоку «Subsystem» з необхідним параметром K_p

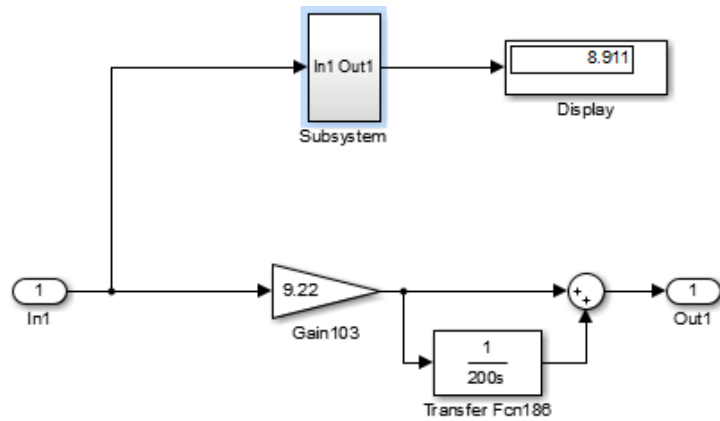


Рисунок 3.29 – Внутрішній зміст блоку «Адаптивний регулятор» з необхідним параметром K_p

Після отримання необхідного значення K_p було побудовано нову модель (див. рис 3.30) і отримано перехідні характеристики (рис. 3.31)

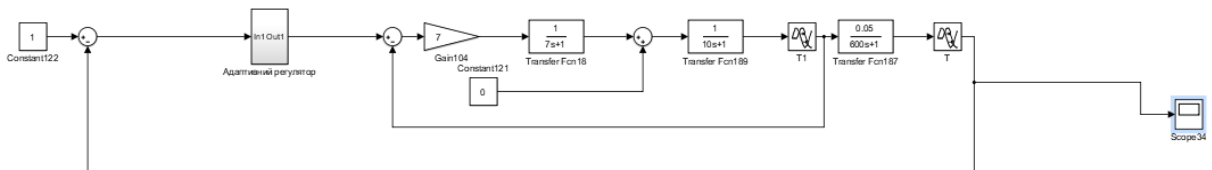


Рисунок 3.30 - Схема адаптивної системи після адаптації при $K_p = 8.91$

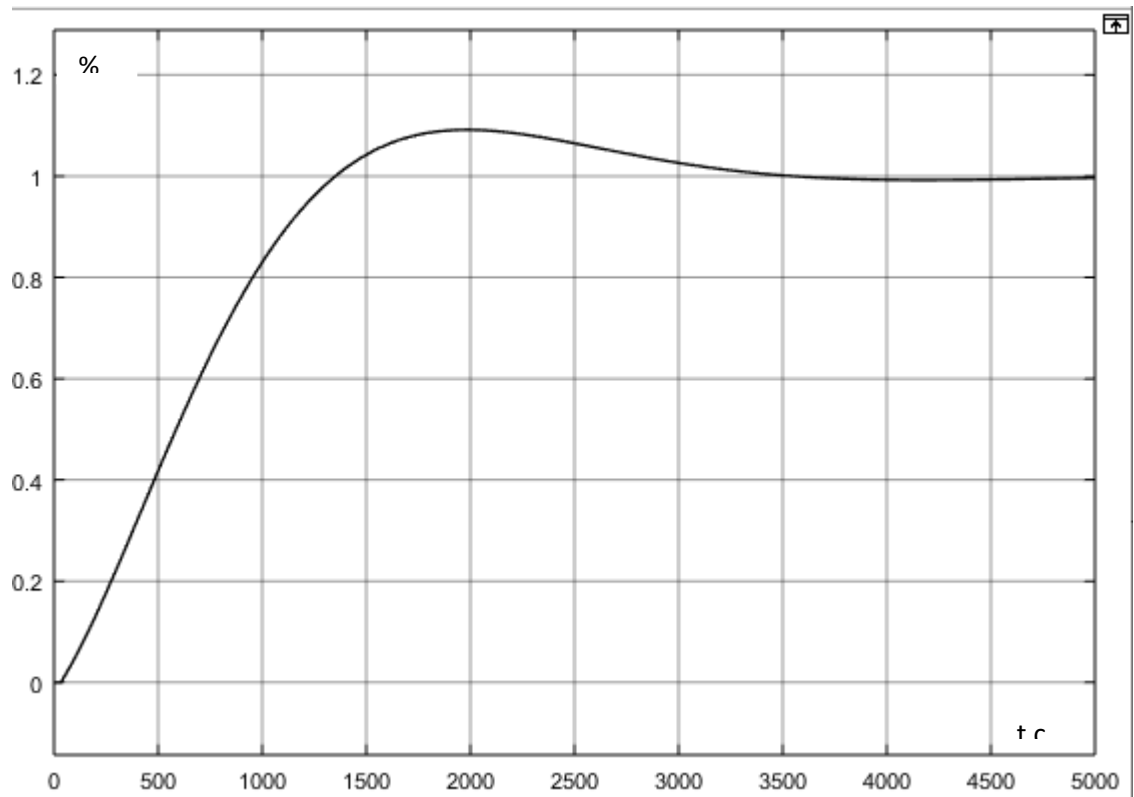


Рисунок 3.31 – Перехідний процес адаптивної системи після адаптації при $K_p = 8.91$

Таблиця 3.8 - Прямі показники якості перехідних процесів в адаптивній системі системи після адаптації при $K_p = 8.91$

	Завдання-вихід
Статична помилка $\Delta_{ст}$	0
Максимальне динамічне відхилення $U_{тах}^д$	0,09
Степінь затухання ψ	1
Час регулювання $t_{рег}$	3500

Перерегулювання σ , %	9
---------------------------------	---

**Порівняння системи розрахованої інженерним методом та системи для якої
було використано адаптацію**

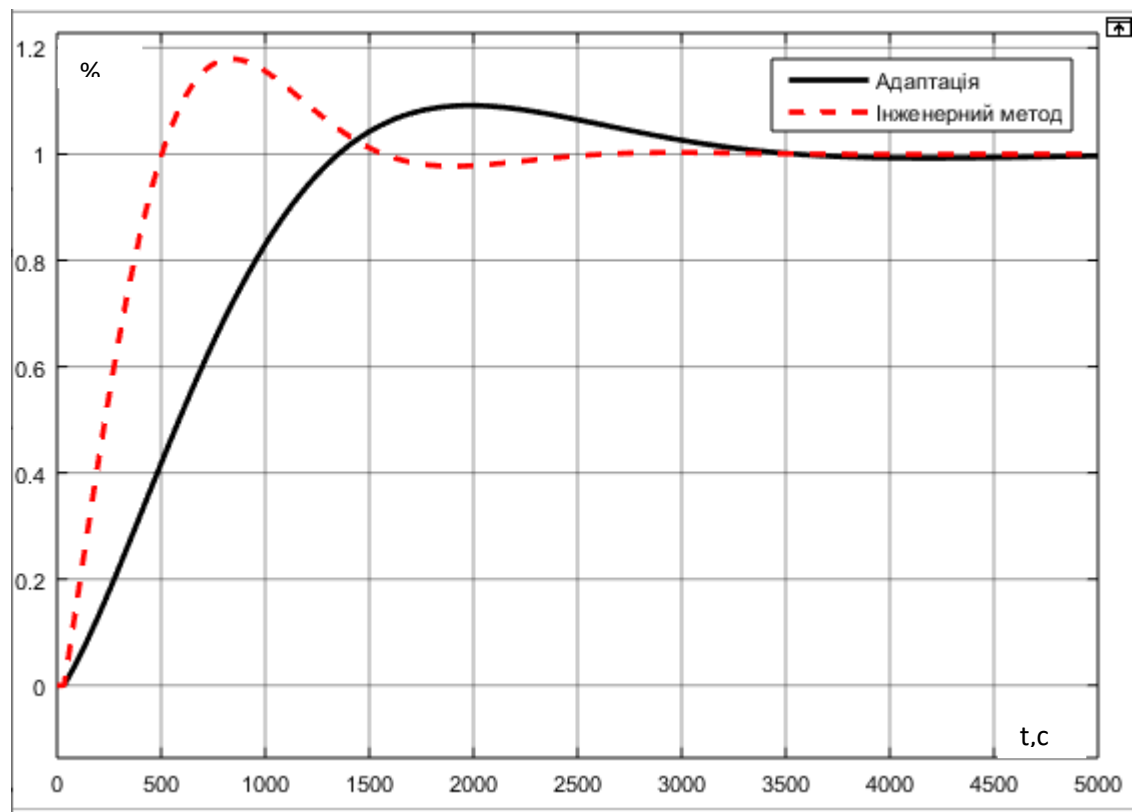


Рисунок 3.32 – Порівняння перехідних процесів

Таблиця 3.9 - Порівняння методів

	Інженерний метод	Адаптація
Статична помилка $\Delta_{ст}$	0	0
Максимальне динамічне відхилення $U_{тах}^д$	0,18	0,09
Степінь затухання ψ	1	1
Час регулювання $t_{рег}$	1340	3500
Перерегулювання σ , %	18	9

Можна зробити висновок, що адаптована система має менше перерегулювання та максимальне динамічне відхилення, тобто зміни в системі будуть менше впливати на неї, за рахунок цього процес буде більш стабільніший, хоч ми й отримуємо довший час перехідного процесу. Однак так як завданням було саме мінімізувати реакцію системи на зміну входних параметрів, то адаптована система справилася з цим краще, ніж каскадна, яка розрахована інженерним методом

3.3. Розробка технічного забезпечення системи управління

При виборі ПЛК велика увага приділялась саме надійності. Однак також важливими були наступні параметри:

- гнучка архітектура
- можливість розширення системи
- орієнтація на обладнання від світових лідерів на ринку

Керуючись цим було обрано контролера Siemens SIMATIC S7-1500. Це модульний програмований контролер, призначений для побудови систем автоматизації різної складності.

Так як АСК парового котла на лущинні соняшника є об'єктом, який вимагає надійності і стабільної роботи, так як вихід з ладу системи призведе до великих втрат, то саме цей контролер є оптимальним рішенням. До того ж у випадку, коли потрібно буде ще більше розширити систему, завжди можна доставити декілька модулів вводу/виводу, або встановити потужніший центральний процесор. Також цей контролер здатен працювати з різними протоколами обміну даними і забезпечує швидкодію, що також є важливим для мого об'єкту/ [7]

Модульна конструкція, можливість підключення до 32 модулів вводу/виводу, широкі комунікаційні можливості, безліч функцій, для швидкої і стабільної роботи, хороша оптимізація всіх процесів, зручність експлуатації і обслуговування. Все це забезпечує можливість отримати чудове рішення не тільки для створення АСК парового котла, а й для інших галузей промисловості.

Логічні контролери S7-1500 працюють із пакетом ПО SIMANTIC. Це програмне забезпечення має у своєму арсеналі графічні мови програмування, а також проектування систем автоматизації. До того ж є можливість програмувати на

мовах вищого рівня. Використовуючи це ПО можна скоротити час проектування системи і спростити сам процес.

Ще однією важливою особливістю є можливість підключення до Ethernet

Доступ до Ethernet робить можливими такі функції як:

- Текстові повідомлення по e-mail (через NMTP-сервер)
- DNS
- Передача програми (завантаження / розвантаження)
- Онлайн-налагодження
- Оновлення фірмового системного програмного забезпечення
- Менеджмент параметрів
- Менеджмент файлів (віртуальний FTP)

До складу контролера S7-1500 входять наступні елементи:

- Модуль центрального процесора *CPU 1516-3PN/DN*
- 3 модулі аналогового вводу 6ES7 531-7KF00-0AB0
- 3 модулі дискретного вводу 6ES7 521-1BH00-0AB0
- 2 модулі аналогового виводу 6ES7 532-5HF00-0AB0
- 2 модулі дискретного виводу 6ES7 522-1BH10-0AA0
- 3 модулі живлення 6ES7 3342BA20

3.4. Розробка програмного забезпечення системи управління

Для програмування ПЛК було обрано середовище Tia Portal, для сумісності ПЛК та середовища програмування.

Спочатку було розроблено алгоритм, який масштабує код АЦП в ті одиниці витрати, які нам необхідні. На рис.3.33 наведено алгоритм

```

1 IF #Max_Air <= #Min_Air THEN
2     #Out := 0.0;
3     #Status_senso := FALSE;
4 ELSE
5     #Air := #Min_Air + (REAL_TO_INT(#In) / 32760) * (#Max_Air - #Min_Air);
6 IF #Air >= #Min_Control AND #Air <= #Max_Control THEN
7     #Status_senso := TRUE;
8     #Out:= #Air;
9 ELSE
10    #Status_senso:= FALSE;
11    #Out := 0.0;
12 END_IF;
13 END_IF;

```

Рисунок 3.33 - Реалізація масштабування в Tia Portal

Код описує алгоритм, де на вхід поступає значення цілочисельне, а вже на виході. Отримуємо витрату у м³/год. Вихід Status_senso інформує оператора про справність або несправність датчика.

MaxAir, MinAir – мінімальні та максимальні значення повітря, які вимірює датчик

MaxControl, MinControl – змінні для перевірки коректної роботи датчика

Розрядність АЦП в даному випадку дорівнює 16-ти.

Далі, користуючись формулою обраховуємо значення витрати палива та вибрати повітря і перевіряємо чи входять обидва значення у вказані діапазони. Після цього можемо зробити висновок про коректну роботу датчика, якщо, наприклад, датчик не працює, то змінна Status_senso отримує значення FALSE.

За реалізацією система дуже схожа на каскадну, так як там присутньо 2 ПІ-регулятори, однак створено додатково блок «Adaptovana», де реалізовано формулу, за якою вираховується наступне значення K_p . На рис. 3.34 наведено приклад першого ПІ-регулятора, де на вхід ми отримуємо бажане значення SetPoint, значення з датчика, яке уже переведено в потрібні нам одиниці і налаштування для регулятора K_p , яке розраховано. Значення T_i ми встановлюємо вручну по минулих розрахунках.

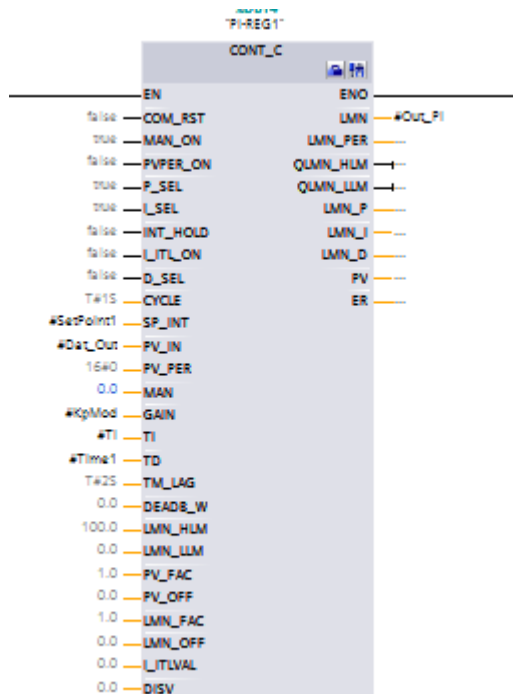


Рисунок 3.34 - Функціональний блок першого ПІ-регулятора

Далі значення з першого ПІ-регулятора, яке уже обробилося і обрахувалося, поступає на другий ПІ, регулятор, який має також необхідне значення, а також уже встановленні налаштування регулятора, які ми задаємо самі. Після цього на виході ми отримуємо Out_PI2 , яке і є необхідним нам результатом (рис. 3.35)

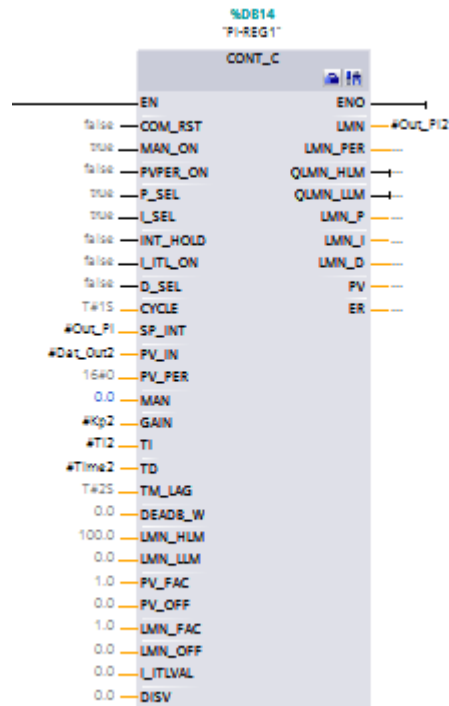


Рисунок 3.35 - Функціональний блок другого ПІ-регулятора

Нижче наведено блок, який призначений для обчислення значення K_p при адаптації коефіцієнту підсилення для мінімізації похибки та забезпечення більш стабільної роботи системи (див. рис.3.36)

```

1
2 #kp_Mod := (#Max_Do / (#Max_Pis * #Time_PP)) * 1.44 * #Kp1;
3

```

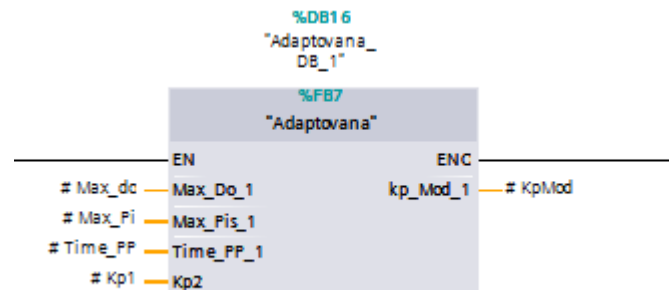


Рисунок 3.36 - Функціональний блок «Adaptovana»

Для візуалізації і розробки вікон для SCADA – системи, також було використано середовище Сіменса. За допомогою вбудованих інструментів було розроблено два вікна, це вікно Мімікс, де зображена основна мнемосхема контуру з відображенням важливих даних, а також вікно «Аварій», де показано, як відображаються аварії в системі.

Розглянемо вікно «Аварії» (рис.3.37). Тут є спеціальна табличка, яка призначена для відображення поточного стану аварії, в ньому відображаються лише активні аларми.

Є три колонки, дата виникнення аварії, точний час, а також текст повідомлення, по якому можна зрозуміти, що сталося. Також додано кнопку зміни мови, для зручності роботи.

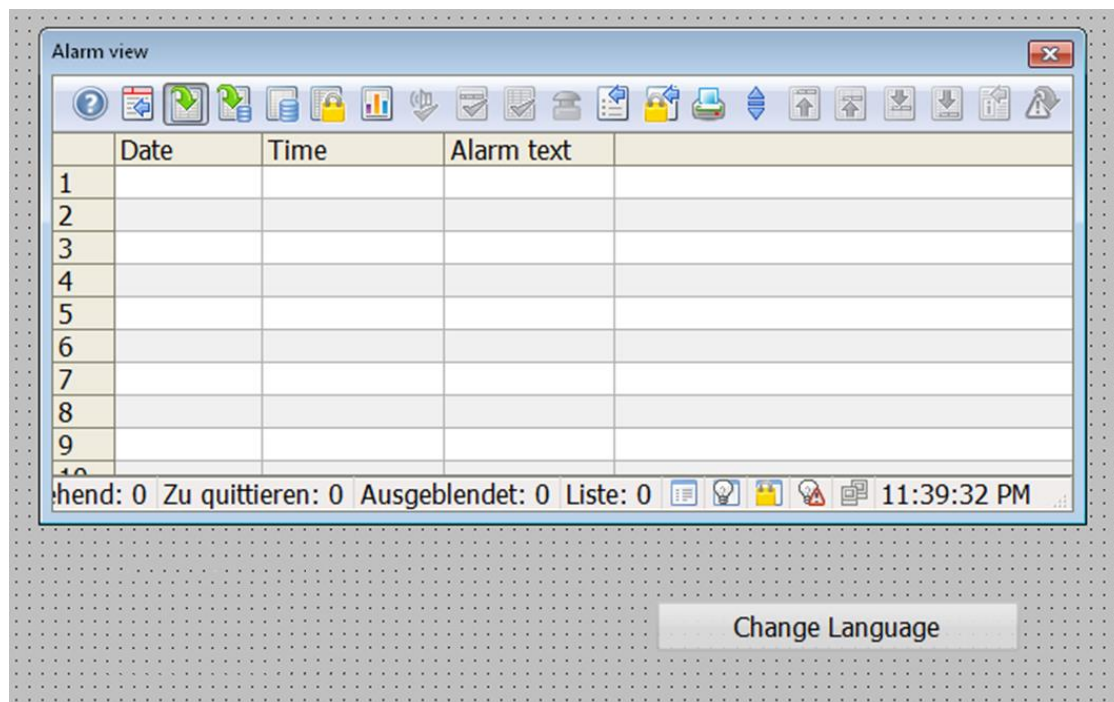


Рисунок 3.37 - Вікно «Аварії» в системі

Наступним розглянемо вікно , де зображено мнемосхему (рис. 3.38). Тут зображено два вентилятори, один з яких призначений для лушпиння, інший для повітря, також відображено частоту роботи цих вентиляторів, щоб оператор міг знати, в якому вони стані, також відображається концентрація кисню в топці, для ефективного горіння, там тиск пари на виході з парового котла. Для побудови схеми використовувались вбудовані елементи в TIA Portal, без зовнішніх бібліотек, тому схема є доволі примітивно.

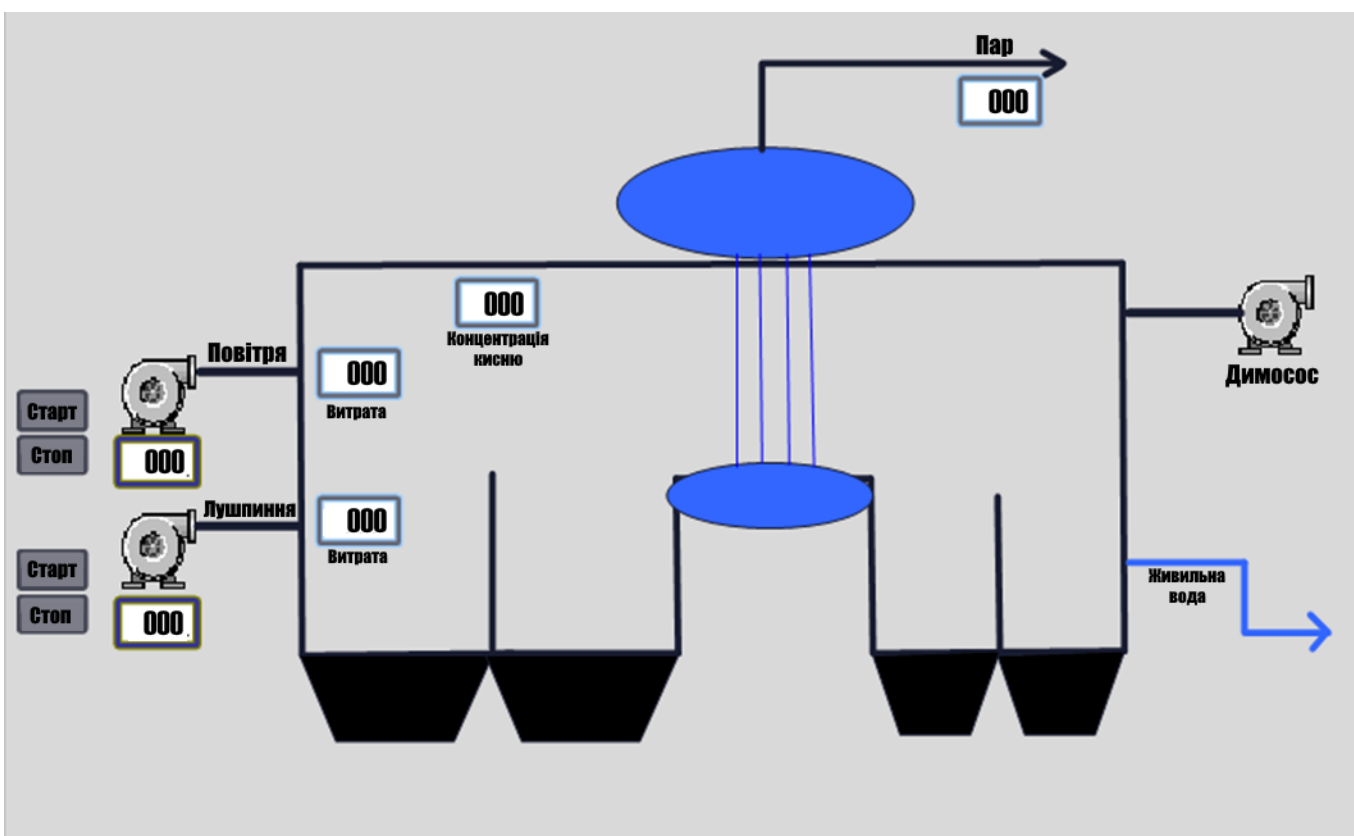


Рисунок 3.38 - Вікно відображення мнемосхеми в системі

3.5. Імітаційне моделювання і аналіз функціонування автоматизованого технічного комплексу

У вікні «Мімікс» (рис.3.39) ми можемо запустити або зупинити роботу вентиляторів повітря та лушпиння, відповідно натиснувши кнопку. Якщо кнопка Старт горить зеленим кольором, це означає, що вентилятор працює, якщо кнопка Стоп горить червоним кольором, це означає, що вентилятор зупинено. З вікна оператор може змінити значення частоти обертання цих вентиляторів, значення концентрації кисню і тиску пари на виході несуть інформативний характер.

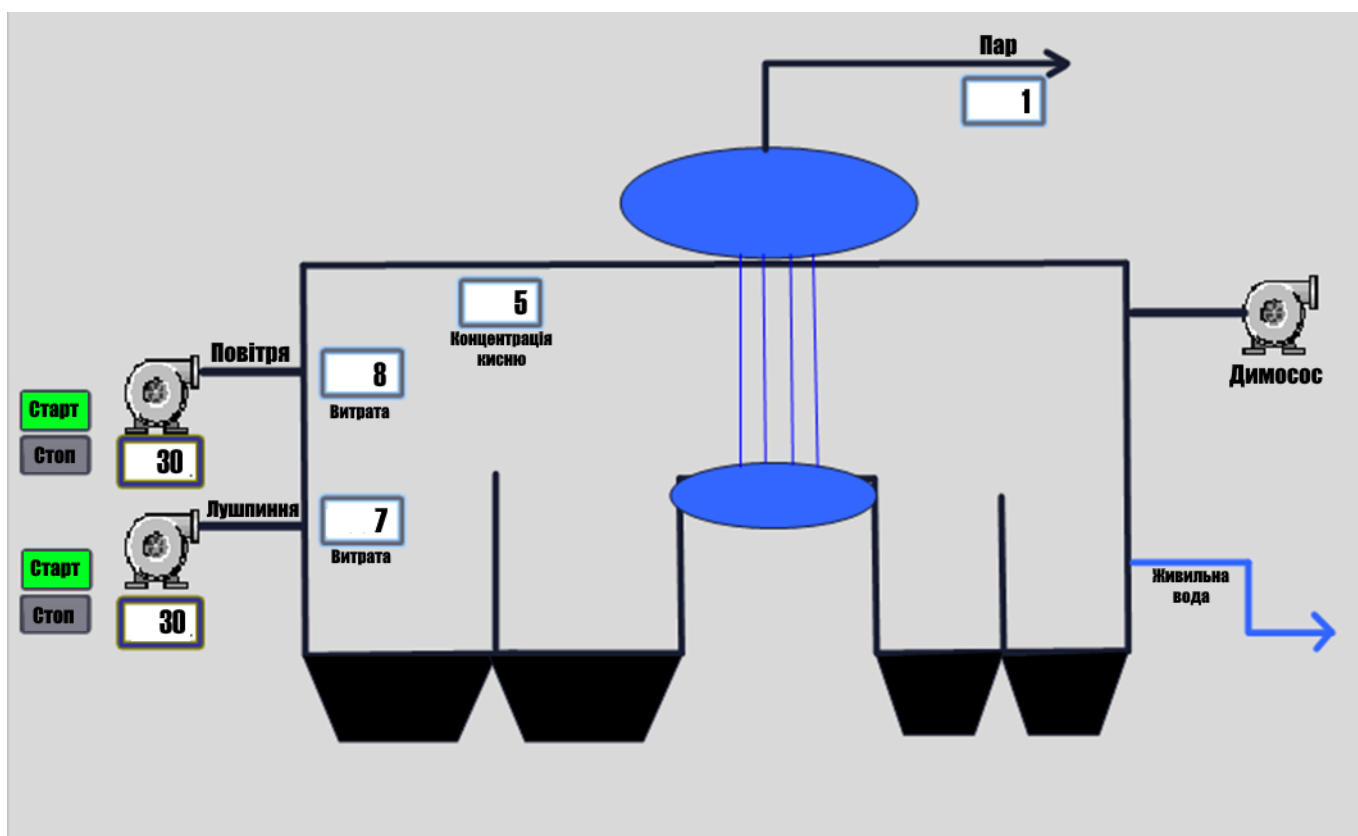
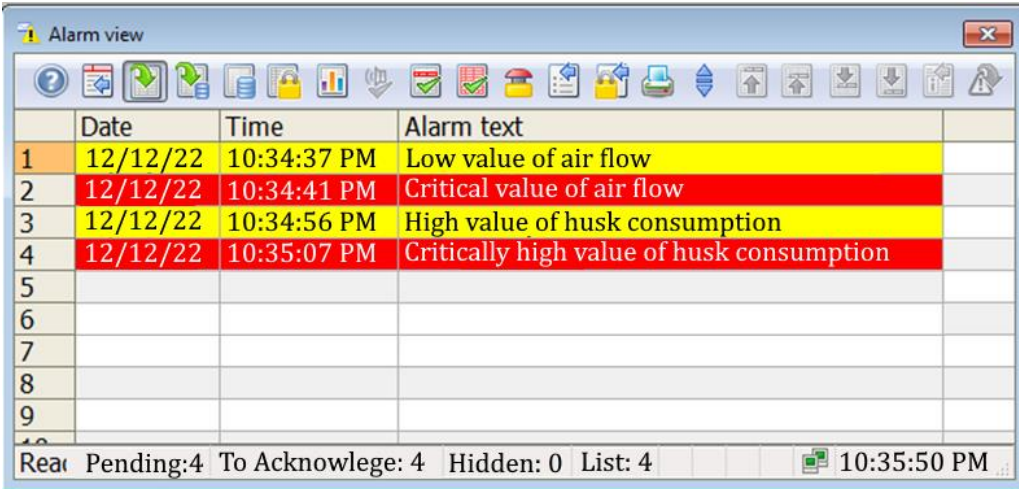


Рис 3.39 - Вікно «Мімікс» парового котла на лушпинні соняшника

Вікно «Аварії», як згадувалось вище, призначене для відображення аварійних ситуацій в системі. Якщо ситуація є не досить критичною, а лише попереджувальною, то вона загоряється жовтим кольором, фіксується дата і час аварії, а також короткий опис для оператора. Якщо ж аварія критична, то вона засвічується червоним

кольором. При різних критичних аваріях може відбуватися зупинка котла. Після того, як аварію усунуто, вона пропадає з цього вікна.



	Date	Time	Alarm text
1	12/12/22	10:34:37 PM	Low value of air flow
2	12/12/22	10:34:41 PM	Critical value of air flow
3	12/12/22	10:34:56 PM	High value of husk consumption
4	12/12/22	10:35:07 PM	Critically high value of husk consumption
5			
6			
7			
8			
9			
10			

React Pending: 4 To Acknowledge: 4 Hidden: 0 List: 4 10:35:50 PM

Рисинок 3.40 - Вікно «Аварії» в режимі роботи

Висновки

В даному розділі було проведено основну роботу над системою. Було побудовано математичну модель системи, та розраховано її за двома методами, інженерним та РАФХ, для того, щоб визначити, який з них є кращим, Враховуючи, що важливішою було значення максимального динамічного відхилення, кращим виявився метод інженерний, який хоч і має довший перехідний процес, однак наше завдання виконує краще. Після цього було ознайомлення з алгоритмом для адаптованої системи і за допомогою нього побудовано систему, яка в декілька ітерацій визначає так K_p , при якому ми отримуємо мінімальне значення динамічного відхилення. Для цього знадобилось 8 ітерацій. Далі робити не було сенсу, так як відсоток зміни попереднього значення від поточного був менше 1.

Також в цьому розділі була описана схема ПТКЗА та обрано технічне забезпечення, тобто контролер і модулі вводу та виводу. На останньому етапі було розроблено програму для нашої системи та реалізовано вікно візуалізації та аварій, щоб показати як система виглядатиме в SCADA.

Розділ 4. Розроблення стартап-проекту

4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Ідеєю проекту є створення системи регулювання паровим котлом на біомасі, який буде адаптуватися до різного виду палива. Для реалізації цього використовується адаптивний регулятор. Цей регулятор працює на основі математичної моделі самого об'єкту. Для коректної роботи адаптивного регулятора необхідно отримати математичну модель, що описуватиме поведінку цього об'єкта в різних робочих режимах та його динамічні характеристики. Таку модель можна отримати під час аналітичних розрахунків, або ж в ході експерименту. Одразу ж необхідно перевірити її правильність та адекватність. Регулятор налаштовується згідно вимог, які висуваються до АСК (показники, можливі впливи, точність); відповідно до них налаштовуються вагові коефіцієнти та обмеження. Автоматизована система на основі адаптивного регулятора зможе покращити технологічний процес і дозволити працювати системі довше.[4]

Адаптивний регулятор дозволить не перейматися через неточне регулювання чи неточні параметри через те, що лушпиння намокло чи підсохло.

Керування технологічними об'єктами можна вважати ефективним, якщо воно може упередити аварії, зменшити швидкість зношування обладнання, збільшити тривалість експлуатації, в цілому.

Виходячи з цього, ідеєю проекту є розробка автоматизованої системи керування паровим котлом на лушпинні соняшника.

Товар за задумом : програмне забезпечення, що реалізує адаптивну автоматизовану систему керування контуром співвідношення «паливо-повітря» в паровому котлі на лушпинні соняшника

Товар у виконанні: Адаптивна автоматизована керування контуром співвідношення «паливо-повітря» в паровому котлі на лущинні соняшника що орієнтоване на використання математичної моделі даної системи

Товар з підкріпленням: Створення систем управління для більшої кількості промислових об'єктів, які у якості палива використовують біотопливо

Таблиця 4.1 - Основні питання створення інноваційного продукту

№ з/п	Питання	Відповідь
1	Системи, до яких можливе застосування продукту	Системи парових котлів на біотопливі, зокрема на лущинні соняшника
2	Функції продукту	Вирішення задач з ефективним використанням певних відходів на власні потреби
3	Етапи функціонування продукту	Отримання первинної інформації про об'єкт, вивчення та аналіз його властивостей та основних сценаріїв функціонування Побудова математичної моделі, що забезпечує достатню адекватність Налаштування адаптивного регулятора на необхідні та бажані показники, зважаючи на вихідні коефіцієнти та накладені обмеження Пошук програміста та написання коду для програмування контролерів Тестування
4	Вимоги до продукту	Продукт має забезпечувати ефективність регулювання та підтримування параметрів, що

		регулюються на необхідному рівні в усіх робочих режимах.
5	На що спрямовано удосконалення продукту?	Удосконалення продукту спрямоване на ефективніше регулювання при різних режимах роботи об'єкту.

4.2 Маркетингове планування бізнес процесу

У цьому розділі розроблено маркетингове планування бізнес процесу. За основу було взято шаблон бізнес-моделі «Canvas» Олександра Остервальдера та Іва Піньє, та показує, які існують загрози проекту, його переваги, інтереси споживачів:.

Таблиця 4.2 - Маркетингове планування бізнес-процесу

КЛЮЧОВІ ПАРТНЕРИ	КЛЮЧОВІ ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ	ЦІННІСНІ ПРОПОЗИЦІЇ
Ключовими партнерами проекту є компанія, що створила проект, постачальники обладнання для парових котлів (розробка проекту згідно технічного завдання), субпідрядні організації (створення щитів управління та підбір автоматики, монтаж, доставка).	Створення програмного забезпечення з використанням адаптивної системи регулювагг, тестування, допомога при пусконаладжувальних роботах.	Основна цінність – забезпечення більш якісного регулювання процесом, внаслідок чого підвищиться строк експлуатації обладнання, процес стане більш економічним.
	КЛЮЧОВІ РЕСУРСИ Матеріальні: виробничі потужності,	Зниження ризиків – клієнт отримує гарантію.

Відпосини з партнерами є комерційними, на основі договорів та гарантійних зобов'язань.	устаткування, компанії продажу Інтелектуальні: інтелектуальна власність – торгова марка, патент, авторські права, партнерські/клієнтські бази даних Персонал Фінанси – кредитні лінії, фондовий резерв.	
--	---	--

Продовження таблиці 4.2

СТРУКТУРА ВИТРАТ Витрати, що пов'язані з проектом це оплата робіт. Найбільшою витратою є оплата праці висококваліфікованого спеціаліста, що розроблятиме програмне забезпечення, а також оплата контролерних засобів автоматизації Діяльність –Розробка ПЗ, тестування та запуск.	
ВЗАЄМОВІДНОСИНИ ЗІ СПОЖИВАЧАМИ Взаємовідносини зі споживачем починаються з моменту отримання технічного завдання до задачі об'єкту.	СПОЖИВЧІ СЕГМЕНТИ Стартап-проект орієнтований на клієнтів будь-яких країн світу, яким необхідно удосконалити паровими котлами на лушпинні соняшника, або розробити його.

Підтримуються протягом встановленого строку гарантійних зобов'язань.	В залежності від виду палива та мотиву його використання.
КАНАЛИ ЗБУТУ	
<p>Інформаційний етап просування товару (сайт фірми; різнопланове використання реклами, робота з потенційними клієнтами на конференціях та виставках).</p> <p>Продажний (продаж послуг в онлайн та офлайн режимах)</p> <p>Постпродажний (зв'язок з клієнтом, служба підтримки за гарантійними умовами).</p>	
ПОТОКИ НАДХОДЖЕННЯ ДОХОДІВ	
<p>Продаж активів компанії.</p> <p>Продаж послуг.</p> <p>Продовження гарантії.</p>	

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Перед запуском проекту перш чинном необхідно оцінити загальний стан ринку, динаміку, вимоги та обсяг продаж. Попередня характеристика представлена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Характеристика ринку стартап-проекту.

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж	1000
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень	Немає
5	Вимоги до сертифікації та стандартизації	Вимоги до відповідності стандартам, вимоги до точності.
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	35%

Після аналізу ринку необхідно проаналізувати, хто є нашими потенційними клієнтами та їх вимоги, дані наведено у таблиці 4.4

Таблиця 4.4 - Потенційні клієнти стартап-проекту

№ п/п	Потреби, сформовані ринком	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці цільових груп	Вимоги споживачів
1	Потреба якісного регулювання та роботи парових котлів на лушпинні соняшника	Підприємства, які безпосередньо пов'язані з соняшниками	Фінансові можливості. Мета використання.	Висока якість, доступна вартість, швидка розробка ПЗ.

Окремим пунктом аналізу є фактори загроз та можливостей (табл. 4.5., 4.6.).

Таблиця 4.5 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Реакція компанії (можлива)
1	Криза	Зменшення об'єму продаж	Зменшення собівартості послуг. Проведення акцій.
2	Висока конкурентність	Зменшення об'єму продаж	Проведення рекламних кампаній з висвітленням переваг продукту. Системи знижок.

Таблиця 4.6 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Реакція компанії (можлива)
1	Доступність	Встановлення середніх по ринку цін	Залучення інвесторів.
2	Впровадження новітніх технологій	Покращення функціонування та розширення можливостей	Підвищення ціни.

Аналіз конкуренції на ринку було здійснено за допомогою аналізу конкуренції в галузі за М. Портером (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	-	Високий бар'єр входження в ринок	-	Висока ефективність продукту	Факторів загроз з цього боку немає
Висновки	Низька інтенсивність прямих конкурентів	Є потенційні конкуренти, однак даний проєкт представляє собою покращений спосіб керування системами.	Проєкт передбачає надання послуг	Збільшення співвідношення ціни та якості	На даний момент не наявні подібні проєкти

Фактори конкурентоспроможності наведені у табл. 4.8

Таблиця 4.8 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1.	Довготривале використання	Використання нового методу регулювання, що дозволить

		спрогнозувати можливі аварії обладнання та вберегти від негативних наслідків
2.	Доступність	Є доволі доступними для промислових підприємств через співвідношення якість/ціна.
3.	Простота у використанні	Створення якісного та складного ПЗ ніяким чином не впливає на користування ним
4.	Використання нового закону регулювання	Це дозволяє покращити регулювання установками та отримати якісніший продукт за приблизно ту ж ціну.

SWOT- аналіз стартап-проєкту, який застосовується при стратегічному плануванні, яке полягає в сортуванні явищ та чинників на чотири категорії: сильні та слабкі сторони, можливості реалізації, та загроз (табл. 4.9)

Таблиця 4.9 - SWOT аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: можливість залучити інвестора, новітність ідеї, краще функціонування та регулювання процесу, доступність	Слабкі сторони: пошуки досвідченого та універсального спеціаліста, не випробувана технологія, частково ручне налаштування
Можливості: великий попит на послуги, розширення	Загрози: повільний розвиток, малий попит

Загальна тенденція впровадження проєкту на ринок – зростає.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (Таблиця 4.10, 4.11)

Таблиця 4.10 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Володарі приміщення промислового призначення	Повністю готові	Середній	Висока	Просто
2	Звичайні люди	Не готові	Дуже низький	Низька	Просто

Таблиця 4.11 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку

1.	Залучення потенційних клієнтів	Поширення реклами продукції (банери, листівки, Інтернет, виставки. Конференції), формування стійкого попиту	Реклама Формування попиту	Стратегія спеціалізації Стратегія диференціації
2.	Встановлення конкурентно-спроможних цін	Моніторинг ринку, коригування вартості відносно від ситуації на ринку.	Вивчення ринку та цін, спостереження за ними.	Стратегія спеціалізації

Після визначення стратегії розвитку необхідно визначити стратегію конкурентної поведінки (таблиця 4.12):

Таблиця 4.12 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або	Чи буде компанія копіювати основні	Стратегія конкурентної поведінки
-------	--	---	------------------------------------	----------------------------------

		забирати існуючих у конкурентів?	характеристики товару конкурента, і які?	
1.	Так(якщо розглядати український ринок)	Компанія самостійно шукатиме нових споживачів у вибраній цільовій аудиторії, але буде намагатися привертати увагу клієнтів конкурентних фірм.	Компанія має свою стратегію та ідею, але під час моніторингу ринку звертатиме увагу на справи конкурентів.	Спочатку стратегія наслідування лідера, пізніше - Стратегія виклику лідера

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Визначимо основні переваги концепції (Таблиця 4.13):

Таблиця 4.13. - Ключові переваги концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
-------	---------	----------------------------	--

1.	Якість	Забезпечення більш якісного регулювання процесом	Застосування адаптивного-регулятора
2.	Доступність	Доступність для кожного користувача/дослідницької групи.	Середня вартість для таких об'єктів
3.	Надійність	Виключення доступу до регулювання людей, що не мають на це повноважень	Доступ до зміни параметрів лише для користувачів, що знають пароль.

У таблиці 4.14 опишемо три рівні моделі товару :

Таблиця 4.14 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Програмне забезпечення, що реалізує адаптивну автоматизовану систему керування паровим котлом на лушпинні соняшника		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Н м	Вр/Тх /Тл/Е/ Ор
	1. Використання технологій керування на основі прогнозуючих моделей	Нм	Тл
	2. Типи технологічних об'єктів	М	Тл
	Якість: патент, авторське право, ІЕС 61131-3.		
Пакування: відсутнє.			

III. Товар із підкріпленням	До продажу: бібліотека блоків, які реалізують АСК паовим котлом на лущинні соняшника на основі адаптивного-регулятора, аналіз, виключення похибок.
	Після продажу: Створення ПЗ систем керування. Можливість написання ПЗ для різних видів систем.

Далі визначаємо оптимальну системи збуту, в межах якої приймається рішення (табл. 4.15).[4]

Розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл. 4.15).

Таблиця 4.15 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Клієнти купують послугу у компанії, що надає цю послугу	- Аналіз та моніторинг ринку - Встановлення прямих зв'язків з покупцями - Поширення реклами, участь у конференціях, виставках	Без посередників.	Онлайн (сайт виробника), офлайн (через компанію)

Таблиця 4.16 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/ п	Специфіка поведінки цілових клієнтів	Канали комунікацій , якими користують ся цілові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціо нування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Потенційні покупці дізнаються про товар з різного роду реклами, виставок, конференцій	Формальні та неформальні і канали комунікації.	Якість Доступн ість Ефектив ність	Демонстрація більшої ефективності, вищої коти за ту ж ціну	Увага на унікальність та іноваційність даного продукту.

Висновки

Під час виконання магістерської дисертації на тему «Адаптивна система регулювання контуру співвідношення «паливо-повітря» в паровому котлі на лущинні соняшника» було розглянуто ефективність використання адаптивного регулятора на таких таких об'єктах. За основу було взято паровий котел, який використовує перегріту пару на власні потреби виробництва, а у якості палива використовує лущиння, яке залишилось з насіння, яке використовується на підприємстві.

На першому етапі, тобто в першому розділі, було розглянуто вцілому стан галузі в Україні, проблеми, та актуальність даної теми. Після цього було обрано об'єкт і описано принцип його роботи, а також визначено завдання для дослідження.

Другий розділ був присвячений побудові моделі об'єкту, визначенням функцій, які цей об'єкт має виконувати. А також визначено вимоги для їх реалізації.

В третьому розділі було розроблено структуру ПТКЗА, де показано, як між собою взаємодіють верхній та нижній рівні автоматизації. Після чого було обраховано контур регулювання співвідношення «паливо-повітря» двома методами, РАФХ та інженерний. Було обрано кращий метод, яким виявився інженерний, для того, щоб потім порівняти його з системою з адаптивним регулятором. Виявилось, що система з адаптивним регулятором є більш інерційною, але нам вдалося досягти бажаного результату і компенсувати максимальну динамічну похибку вдвічі.

Після цього, в цьому ж розділі було розроблено програмне забезпечення на базі ПІА Portal, так як в системі використовується контролер Сіменса, і проведено імітаційне моделювання.

В останньому розділі необхідно було розглянути дану тему, як стартап-проект. Це і було зроблено, тобто виведено саму ідею проекту, проведено маркетингове планування, де було розглянути різні фактори. Далі розроблено стратегію на ринку,

розглянуто можливість запуску проекту і як висновок, можна сказати, що цей стартап-проект є можливим для виходу н ринок, якщо залучити певні інвестиції

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций Брюханов, В.Н. Автоматизация производства. 3-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 246 с.
2. Г. К. Гудвин, С. Ф. Греббе, М. Э. Сальгадо «Проектирование систем управления», 2004 год – 560с.
3. Денисенко В.В. "Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием" 2009 год -- 393
4. Основні тенденції розвитку стартапів в Україні - проблеми, перешкоди і можливості, Баб'ячок Р.І, Кульчицький І.І.
5. https://avtonomnoeteplo.ru/otopitelnye_kotly/163-parovye-kotly-na-luzge.html
6. Ротач В.Я. «Теория автоматического управления» Учебник. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 9 с.
7. Aidan O'Dwyer "Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules" Imperial College Press, London, 2nd Edition, 2006 -- p.80
8. <https://termokip.com.ua/regulirovanie-razryazheniya/>
9. Адольф Миrowsки, Гжегож Ланге, Иренэуш Елень "Материалы для проектирования котельных и современных систем отопления" Виссманн Польша, 2005 г - 298с
10. Ключев А.С., Товарнов А.Г. "Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов" М.: Энергия, 1970. — 280 с.
11. Дипломна робота «Автоматизація парового котла, який працює на лущинні соняшника», Стельмах В.Р.
12. Метод построения самонастраивающихся регуляторов для промышленного применения, Ковриго Ю.М., Мовчан А.П., Полищук И.А