

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет

Кафедра «Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем»



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
на тему «Підвищення ефективності автоматичного керування масуванням м'яса»

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Кукурудзяк Д.О.

(прізвище, ініціали)

II курсу Ам-20 групи

Керівник к.т.н., доц. Левінський В.М.

(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: к.т.н доцент каф. Гурский О.О

(посада, прізвище та ініціали)

д.т.н., проф. АТПіРС Хобін В.А

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 20____ р., протокол № _____.

Завідувач(ка) кафедри АТПіРС
(назва кафедри)

(підпис)

Світій І.М.
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>Автоматизації та робототехніки</u>
Кафедра	<u>Автоматизації технологічних процесів і</u> <u>робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>Магістр</u>
Спеціальність	<u>151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u>
Освітньо-наукова	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в</u>
програма	<u>автоматизації</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС
Хобін В.А

« 22 » грудня 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кукурудзяк Дмитро Олександрович

1. Тема роботи «Підвищення ефективності автоматичного керування масуванням м'яса»

Затверджена наказом ОНТУ №877-03 від 29.11.22 р.

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи «11» червня 2024 р.

3. Вихідні дані до випускної роботи: матеріали виконаних індивідуальних завдань (ІЗ) виробничої практики, дипломної роботи бакалавра, дослідницької практики, курсових та самостійних робіт, виконаних відповідно до ІЗ.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ (актуальність роботи, зв'язок з науковими напрямками робіт університету, мета та задачі дослідження, об'єкт та предмет дослідження, методи дослідження, наукова новизна отриманих результатів, практичне значення отриманих результатів, апробація результатів роботи, публікації, структура та об'єм роботи).

Розділ 1. Технологічний процес масажування м'яса, та задачі підвищення його ефективності засобами автоматичного керування.

Розділ 2. Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП каталітичної очистки інертних газів.

Розділ 3. Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП, на основі застосування штучних нейронних мереж.

Розділ 4. Розробка та дослідження САК, що реалізує нову, інтелектуально просунуту, функцію.

Розділ 5. Реалізація та підготовка до впровадження на підприємстві (**підприємство**)

Додатки (допоміжні матеріали, ксерокопії програм конференцій, статей, патентів).

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП, на основі застосування штучних нейронних мереж	Гурський О.О. к.т.н. доцент каф. АТПіРС		
Розробка та дослідження САК, що реалізує нову, інтелектуально просунуту, функцію	Хобін В.А. д.т.н., проф. зав.каф. АТПіРС		

7. Дата видачі завдання «30» листопада 2023 р.

Керівник
Завдання прийняв до виконання

Левінський В.М.
Кукурудзяк Д.О.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ та загальна характеристика роботи	29.12.23 р.	
2	Технологічний процес масажування м'яса та задачі підвищення його ефективності засобами автоматичного керування	30.01.24 р.	
3	Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП	28.02.24 р.	
4	Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП, на основі застосування штучних нейронних мереж	29.03.24 р.	
5	Розробка та дослідження САК, що реалізує нову, інтелектуально просунуту, функцію	30.04.24 р.	
6	Реалізація та підготовка до впровадження результатів роботи	31.05.24 р.	
7	Оформлення додатків та роботи в цілому	03.06.24 р.	
8	Здача роботи на перевірку керівникові, виправлення зауважень, підпис керівника	06.06.24 р.	
9	Брошування роботи, представлення її завідувачу кафедри, підпис, направлення роботи на зовнішнє рецензування та захист у ЕК	11.06.24 р.	

Здобувач-дипломник Кукурудзяк Д.О. Керівник роботи Левінський В.М.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник Кукурудзяк Д.О. _____
ПІБ Підпис

АНОТАЦІЯ

Кукурудзяк Д. О. «Підвищення ефективності автоматичного керування масуванням м'яса».

Кваліфікаційна робота магістра. – Одеса: ОНТУ 2024. – 134с.

Бібліогр.:_42_. Іл.:_133_. Табл._13_.

Важливим напрямком науково-технічного розвитку суспільства на сьогоднішній день виступає автоматизація різних видів виробництв включаючи харчові виробництва, зокрема виробництва м'ясних продуктів. Автоматизація дозволяє підвищити продуктивність праці, поліпшити якість продукції, зменшити її брак, вивести людей з виробничого процесу і максимально задовольнити потреби суспільства. У сучасних умовах автоматизація виробництва носить комплексний характер і передбачає автоматизацію робочих машин, технологічних ліній та блоків, а також процесів які забезпечують безпечну та комфортну роботу людей на виробництві, зокрема процесів формування необхідного мікроклімату у виробничих приміщеннях.

У цій кваліфікаційній роботі магістра розглядається рішення задачі підвищення ефективності автоматичного керування процесом масування м'яса при виробництві м'ясних делікатесів. Підвищення ефективності автоматичного керування процесом масування м'яса виконується за рахунок розширення робочих функцій які реалізує система керування. Зокрема розглядається використання нових алгоритмів регулювання які забезпечують зниження браку готової продукції. Наведено результати досліджень роботи систем автоматичного регулювання рівня саломуру у чаші вакуумного масажеру які підтверджують ефективність нових алгоритмів регулювання.

ЗМІСТ

	стор.
Перелік умовних позначень, символів і одиниць.....	7
Вступ.....	8
Розділ 1 Технологічний процес масажування м'яса і задачі підвищення його ефективності засобами автоматичного керування	11
1.1 Короткий опис технологічного процесу масажування м'яса і основного обладнання.....	11
1.2 Аналіз впливу режимів ведення ТП і роботи обладнання на його техніко-економічні показники, аналіз відповідних регламентів і наслідків їх порушення	14
1.3 Аналіз існуючих САК технологічного процесу масажування м'яса.....	19
1.4 Комплекс математичних моделей ТП масажування м'яса як об'єкту регулювання, їх реалізація в формі імітаційних моделей і результатитестування моделей.....	20
1.5 Типові структури і алгоритми САК ТП, що реалізують функції регулювання, результати їх параметричної оптимізації і перевірка на робастність (грубість).....	22
1.6 Висновки за розділом.....	28
Розділ 2 Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП масажування м'яса.....	29
2.1 Специфічні особливості ОР і обґрунтування вибору методів корекції САР для підвищення їх динамічної точності	29
2.2 Доопрацювання математичної моделі ОР до моделі ОО на вирішення завдання оптимального управління.....	30
2.3 Структурних синтез САР підвищеної динамічної точності.....	32
2.4 Оптимальний параметричний синтез САР базової структури та аналіз результатів синтезу.....	34
2.5 Недоліки відомих САК та формулювання мети вдосконалення систем автоматичного керування процесом масування м'яса.....	42
2.6 Висновки за розділом.....	42
3. Розділ удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання сак на основі застосування апарату нечіткої логіки та штучних нейронних мереж.....	43
3.1 Обґрунтування актуальності застосування систем управління побудованих на базі апарата нечіткої логіки та штучної нейронної мережі для розглянутого об'єкта керування	43
3.2 Реалізація в програмному середовищі MATLAB/Simulink моделей каналів регулювання розглянутого об'єкта керування з нелінійними статичними характеристиками	44

3.3 Параметричний синтез САУ з традиційними ПД регуляторами для об'єкта з нелінійними характеристиками за каналом регулювання.....	46
3.4 Розробка моделі САУ з нечіткими регуляторами (НР) для об'єкта з нелінійними характеристиками за каналами регулювання	50
3.5 Обґрунтування актуальності застосування нейромережових алгоритмів управління	68
3.6 Синтез моделі САУ з нейрорегуляторами.....	69
3.7 Параметрична оптимізація САУ з нейрорегуляторами.....	82
3.8 Аналіз функціонування різних САУ за якістю регулювання за умов впливів, що збурюють.....	87
3.9 Розробка програмного забезпечення для реалізації нейрорегулятора на базі промислового контролера.....	89
3.10 Висновки за розділом.....	96
Розділ 4. Розробка модернізованої сак об'єкту керування масажуванням м'яса	97
4.1 Опис загальних принципів побудови системи гарантуючого керування.....	97
4.2 Розробка структурної схеми модернізованої САК.....	98
4.3 Обґрунтування настроювальних параметрів нових алгоритмів керування.	100
4.4 Доопрацювання математичної моделі ОК для вирішення задачі регулювання	
4.5 Розробка імітаційної моделі програмної САР процесу масування м'яса тадослідження її роботи.....	100
4.6 Висновки за розділом	109
Розділ 5 Реалізація і підготовка до впровадження результатів роботи на підприємстві «Альфайн».....	110
5.1 Існуюча програмно-технічна структура підсистеми керування процесом масуванням м'яса і формулювання задач по її розвитку для впровадження розробок.....	111
5.2 Розробка, налаштування і тестування прикладного програмного забезпечення для реалізації алгоритмів керування.....	117
5.3 Оцінка економічної ефективності впровадження розробок.	129
5.4 Висновки за розділом	129
Висновки	131
Список літератури	133

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І ОДИНИЦЬ

ОК – об'єкт керування;
САК – система автоматичного керування;
САР – система автоматичного регулювання;
САУ – система автоматичного управління;
ОУ – об'єкт управління;
ПХ – перехідні характеристики;
ЕОМ – електрична обчислювальна машина;
СКЗ – спрощений корегуючий зв'язок;
НР – нечіткі регулятори;
ШНМ – штучні нейронні мережі;
НК – нейроконтролер;
НМ – нейронна мережа;
САО – система автоматичної оптимізації;
ОО – об'єкт оптимізації;
ИУ – інтегратор управління;
ДВС – детектор зростаючого сигналу;
УР – пристрій реверсу;
ФНЧ – фільтр низьких частот;
ЗН – зона нечутливості;
ОР – об'єкт регулювання;
ПЗО – пристрій зв'язку з об'єктом;
ТП – технологічний процес;
ПДТ – підвищена динамічна точність;
РП – регулюючий пристрій;
САР – система автоматизованого регулювання;
ПД – регулятор – пропорціональне – інтегрально – диференціальний регулятор;

ПІ – регулятор - пропорційне – інтегральний регулятор;

ВСТУП

Для отримання якісних м'ясних продуктів важливим є максимальне, рівномірне фільтраційне насичення шматка по всій його масі, витримка для подальшого дифузійного поширення засолюваних інгредієнтів і біохімічних перетворень. Ефективність фільтраційного насичення залежить від розмірів пор і капілярів та рушійної сили процесу — різниці тисків в зоні накопичення розсолу. Найкращі умови для розповсюдження розчину солі в сучасних умовах виробництва досягають, використовуючи багатоголкове шприцювання і масажування м'яса — його циклічне деформування.

При цьому змінюється внутрішня структура сировини, періодично розширюються та стискаються пори і капіляри, в них циклічно збільшується тиск рідини і тим самим інтенсифікується насичення м'яса розчином.

Мета дослідження — підвищення ефективності автоматичного керування масажування м'яса, шляхом удосконалення інтелектуального рівню САК в результаті підвищення його динамічної точності, а також використання спеціальних методів теорії автоматичного керування та теорії нечітких множин і нейронних мереж

Об'єкт дослідження — технологічний процес масажування м'яса.

Предмет дослідження — САК процесом масажування м'яса включаючи моделі процесу як ОК.

Методи дослідження:

— метод системного аналізу;

— методи активного та пасивного експерименту, метод типової статистичної ідентифікації та інженерні методики ідентифікації моделі ОК;

— методи теорії автоматичного керування, а саме інженерні методики параметричного синтезу САР, оптимальний параметричний синтез, методи підвищення

динамічної точності;

- метод імітаційного моделювання систем керування;
- спеціальні методи теорії автоматичного керування;
- методи теорії нечітких множин та нейронних мереж.

Наукова новизна отриманих результатів:

вперше обґрунтовано:

– загальна концепція побудови ефективної САК процесом масажування м'яса, включаючи концептуальну модель ОК;

– можливість регулювання технологічних параметрів процесу масажування;

– доцільність застосування нейромережових алгоритмів та алгоритмів нечіткої логіки для регулювання технологічних параметрів масажування;

-доцільність використання спеціальних методів теорії автоматичного керування;

вперше розроблено:

– математична модель процесу масажування м'яса, яка дозволяє проводити комп'ютерні експерименти з налагодження та параметричної оптимізації алгоритмів керування і з порівняльного аналізу каналів;

– система автоматичного регулювання технологічних параметрів масажування м'яса на основі нейромережевого алгоритму регулювання;

- система автоматичного керування з використанням алгоритмів на основі нечітких множин.

– система автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності;

- система автоматичного керування на основі використання спеціальних методів теорії автоматичного керування.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- підвищенні технологічної ефективності керування процесом масажування м'яса;
- підвищенні енергетичної ефективності ведення технологічного процесу;

Апробація результатів дослідження. Результати дослідження обговорювалися на науково-технічних конференціях здобувачів вищої освіти ОНТУ.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто сформульовані найбільш загальні особливості процесу масажування м'яса як ОК, його структура та задачі керування; визначена концептуальна структура масажування м'яса як ОК.

Виявлено взаємозв'язки між змінними процесу; описано на якісному рівні властивості о каналів регулювання; обґрунтована процедура ідентифікації моделі процесу; модель реалізована в середовищі імітаційного моделювання; обґрунтована функціональна організація САК, алгоритми керування; розроблені принципи побудови та програмно-технічне забезпечення для реалізації каналів вимірювання та регулювання, розроблено САК з використанням спеціальних методів теорії автоматичного керування, розроблено САК на основі теорії нечітких множин та нейронних мереж.

Публікації. Підготовлений пакет документів до подачі в УКРНОІВІ для одержання патенту на корисну модель «Спосіб автоматичного керуванням масажування м'яса», підготовлено науково-технічну статтю «Автоматизація процесу керування масажування м'яса» для подачі в журнал ОНТУ «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів».

Структура і об'єм роботи. Випускна робота складається з вступу, основної частини, яка включає 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС МАСАЖУВАННЯ М'ЯСА І ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

1.1 Короткий опис технологічного процесу масажування м'яса і основного обладнання

Масажери м'яса є ключовим обладнанням на м'ясопереробних підприємствах, де вони використовуються для оброблення різних видів м'яса, таких як свинина, яловичина, м'ясо птиці, риба та інші м'ясні продукти. Ці пристрої використовуються в процесі засолення під вакуумом, що дозволяє значно покращити якість і тривалість зберігання кінцевої продукції.

Основна функція вакуумного масажера полягає у рівномірному масуванні м'яса всередині спеціального обертового барабана. Під час роботи барабан обертається, що дозволяє однаково розподілити розсіл і спеції по всій поверхні м'яса. Цей процес не лише сприяє поглибленню смакових властивостей продукту, але й зберігає цілісність білкових структур м'яса, що важливо для збереження його текстури і зовнішнього вигляду.

Вакуумне середовище, створене в масажері, має кілька важливих переваг. Воно виключає доступ кисню, що мінімізує процес окислення жирів і білків у м'ясі. Це дозволяє зберегти природний колір м'яса і запобігає його пожовтінню чи зміні кольору під час зберігання. Крім того, вакуумний масаж допомагає знищувати бактерії і мікроорганізми, що можуть призвести до псування продукту.

Управління процесом вакуумного масажу здійснюється за допомогою спеціального релейного пульта. Оператор може налаштувати різні параметри, такі як тривалість масажу, інтенсивність вакууму та швидкість обертання барабана. Це дозволяє точно

регулювати процес і досягати оптимальних результатів в залежності від виду і обсягу оброблюваної сировини.

Таким чином, вакуумні масажери м'яса є важливим елементом у виробництві якісних м'ясних продуктів, забезпечуючи їхню однорідність, смакові якості та підвищену тривалість зберігання.



Рис.1.1 – Масажер вакуумний з регулюванням швидкості

Процес вакуумного масажу починається з завантаження сировини, яка може бути виготовлена з різних типів м'яса, таких як яловичина, свинина або курятина. Внутрішній барабан обладнаний спеціальними лопатями чи відбивачами, які при обертанні бака за годинниковою стрілкою виконують функцію масажу. Цей процес допомагає розробити м'ясні волокна, забезпечуючи однорідний розподіл солі та інших ароматизаторів, які додаються під час обробки.

Під впливом вакуумного середовища атмосферний тиск знижується, що дозволяє зберегти важливі соки в тканинах м'яса, уникнути їх випаровування та зберегти

харчову цінність продукту

Дно масажера обладнане решіткою та резервуаром для збору рідин, які можуть вплинути на якість вихідної сировини. Під впливом вакууму з м'яса вивільняються білкові сполуки, які осідають на дні і потрапляють у резервуар. Цей процес дозволяє наситити м'ясо саламуrom більш ефективно, покращуючи смакові характеристики і зберігаючи якість продукту.

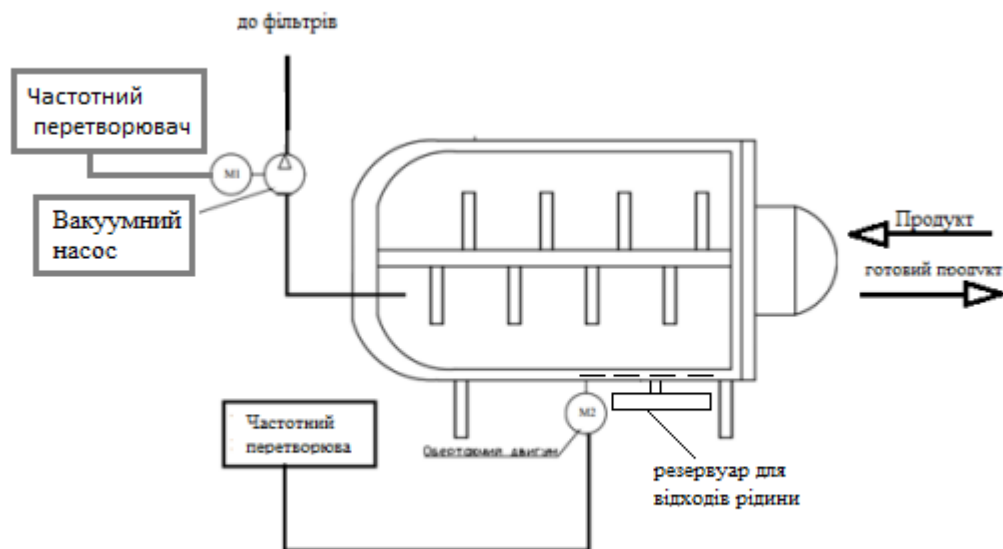


Рис. 1.2 – Технологічна схема процесу масажування

Мета ведення процесу – отримання заданих продуктів із заданими властивостями (показниками якості). При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу.

Найчастіше зустрічаються такі з них:

–кількість виробленого в одиницю часу продукту не повинно бути менше

встановленої межі;

–втрати сировини і (або) продукту не повинні перевищувати нормативних значень;

–питомі, тобто на одиницю продукції, витрати енергії на процес не повинні перевищувати нормативних значень;

–шкідливий вплив технологічного процесу на людину і навколишнє середовище повинен перевищувати нормативних значень;

–порушення режимів ведення технологічного процесу і роботи обладнання, що призводять до аварійних ситуацій, переростання в яких аварію призводить до суттєвих економічних втрат або навіть до катастрофічних наслідків, повинні бути досить рідкісними подіями і повинні бути передбачені заходи щодо запобігання переростання аварійних ситуацій в аварію.

1.2 Аналіз впливу режимів ведення ТП і роботи обладнання на його техніко-економічні показники, аналіз відповідних регламентів і наслідків їх порушення

Основну нормативів становлять два основні регламенти відповідно до яких треба визначити регламентові технологічні параметри

Технологічний регламент – визначає умови, при яких в результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями.

Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу масування м'яса такими параметрами v -кількість обертів масажера та розрідження.

Експлуатаційний регламент - визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних

параметрів технологічного обладнання.

I1, I2 –струм навантаження електродвигунів.

Техніко-економічний та екологічний регламент - визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних і гранично- допустимих значень техніко-економічних та екологічних параметрів.

До цієї групи параметрів можна віднести ГВП- витрати відсмоктуваного повітря.

Залежно від наслідків, можна виділити два характерних типи таких порушень: а)технологічний процес не припиняється, вихід за допуски ліквідується із часом, наприклад, за рахунок керування процесом; б) технологічний процес припиняється повністю або частково, для його поновлення часто необхідна підготовка обладнання до повторного запуску (видалення сировини з машин, очищення робочих органів, їх заміна і т.і.).

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято розділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі та короточасні відхилення. Тривалі припустимі відхилення визначають зону незначущих для даного процесу відхилень (ЗНВ) розглянутого параметра. Усередині цієї зони значення параметра можна вважати приблизно рівним нормативному, тому відхилення, що не виходять із ЗНВ, можна не усувати.

В обох випадках порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту і навіть до збільшення виходу браку.

Допуски на відхилення поточних (режимних) регламентованих значень параметрів від номінальних прийнято розділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі і короточасні відхилення. Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів 1.1.

Назва параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Номинальне значення параметру або функція зміни номінального значення	Припустимі відхилення від номіналу		
				Тривалі ($t \rightarrow \infty$)	Короткочасні ($0 < t < \infty$)	
				величина	величина	час, сек
Швидкість обертання чаші	V	Об/хв	8	± 0.5	± 1	1,5
Розрідження в чаші	Pч	Па	80	± 5	$\pm 2,5$	2,5

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

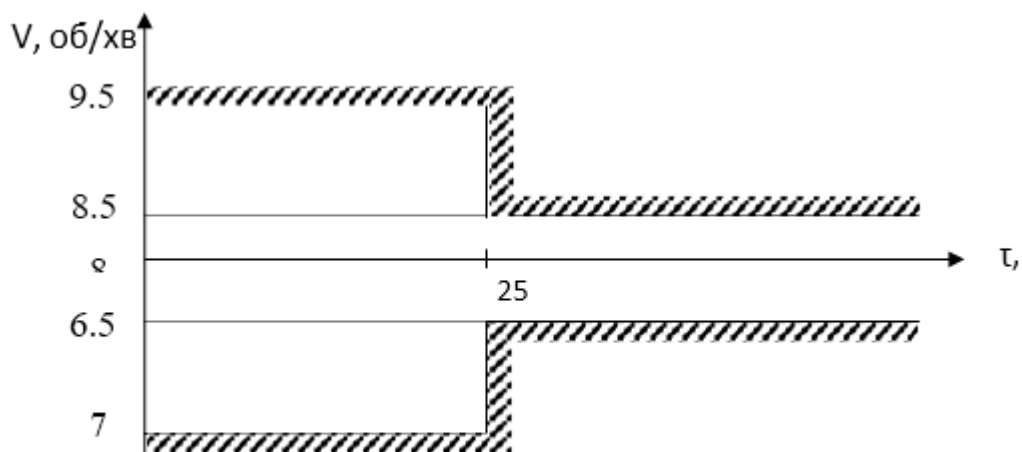


Рис. 1.3 – Регламентна зона для швидкості обертів

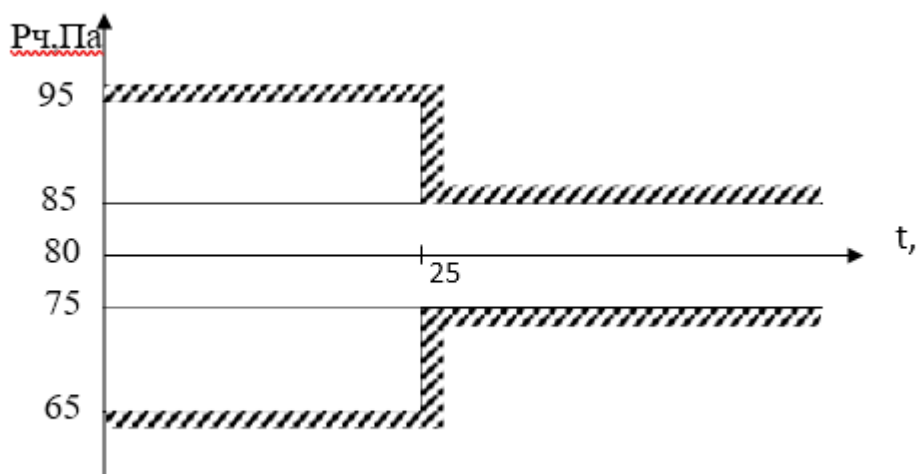


Рис. 1.4 – Регламентна зона для тиску в чаші

Як видно з регламентів на САР для процесу масажування м'яса особливо жорсткі вимоги пред'являються до довгочасних відхилень, оскільки саме недотримання цих регламентів може привести до браку готової продукції та суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються не дуже жорстко.

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних (і можуть виходити за межі допусків) внаслідок зміни умов, в яких ведеться процес.

Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути (для зручності)

згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів відносяться параметри продукту ($F_{пр}$, $M_{пр}$)

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного обладнання ззовні і витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи ставляться тиск $P_ч$ і витрати W_d , напруга мережі U .

1.3 Аналіз існуючих САК технологічного процесу масажування м'яса

На всіх етапах масажування м'яса для забезпечення його високої якості необхідно строго виконувати технологічний регламент масажування. Зокрема підтримувати задану частоту обертів та розрідження в масажері. Порушення регламенту може призводити до браку продукції та відповідно зниженню прибутку.

На етапах розробки САУ, в якості одного з головних критеріїв, що характеризують доцільність її створення і ефективність її застосування є оцінка якості виконання поставленого перед САУ завдання, зокрема, для завдань регулювання, підтримку параметрів технологічного процесу на заданих значеннях (в заданих діапазонах зміни). На практиці, як показник якості САР, найбільш часто використовують інтегральні критерії; причому, чим менше буде відхилення поточного значення регульованої змінної від заданого (передбаченого регламентом), тим показник якості буде кращим.

Тому актуальна задача синтезу САР підвищеної динамічної точності яка дозволить вирішити задачу дотримання регламенту. Для цього потрібно вирішити ряд завдань починаючи з розробки моделей процесу шокової заморозки м'яса як об'єкта керування.

1.4 Комплекс математичних моделей ТП масажування м'яса об'єкту регулювання, їх реалізація в формі імітаційних моделей і результати тестування моделей

Необхідною умовою вирішення завдань управління є наявність керуючих дій, що повинні бути вхідними змінними (координатами) ОК. Для завдань регулювання, такими керуючими діями, насамперед, є дії, цілеспрямовано змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме – положення регулюючих органів. Кількість керуючих дій повинно бути рівним кількості регульованих змінних. Для процесу масажування м'яса керуючих дій доцільно віднести зміна швидкості обертання вентилятора u_1 і частоту обертання чаші u_2 .

Виділення і класифікація збурень об'єкта управління.

Після того, як визначені керуючі впливи, всі інші вхідні змінні відносять розряд збурень, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату.

Для процесу масажування мяса неможливо виділити контрольовані збурення .

Всі інші вхідні впливу, крім керуючого впливу і контрольованого збурення f , віднесемо до неконтрольованих збурень. Детерміновану складову цих збурень адитивно докладемо до керуючих дій, а стохастичну складову- до регульованої координати

Складання структурної (координатної) схеми об'єкту регулювання.

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК.

Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК.

Структурна схема процесу масажування м'яса наведена на рис. 1.5.

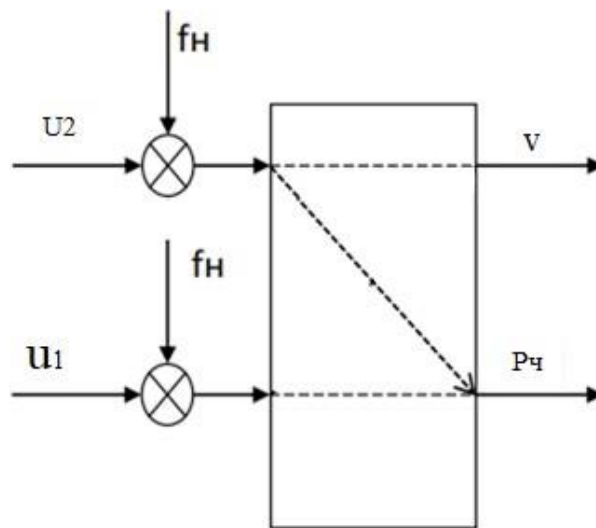


Рис. 1.5 – Структурна схема процесу масажування м'яса як об'єкту регулювання
ДЕ

U_1 - швидкість обертання вакуумного насосу, об/хв

U_2 - швидкість обертання чаші масажера, об/хв

v - кількість оборотів масажера в хвилину

$P_{\text{ч}}$ - розрідження в чаші масажера, Па;

f_1, f_2 – вектори неконтрольованих збурень, %х.р.о.

Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання

Виходячи з фізичної суті процесів, що протікають в ОК, відомо, що відносно у повній мірі математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференціальними рівняннями. Але також відомо, що номінальний режим функціонування ОК пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном зміни регульованої координати. А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК.

План активного експерименту

1. За допомогою зміни управляючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенням $u_1 = 50\% \text{ х.р.о.}$ та $u_2 = 50\% \text{ х.р.о.}$ будуть відповідати значення регульованих координат $V = 8 \text{ об/хв}$, $P_v = 80 \text{ Па}$.

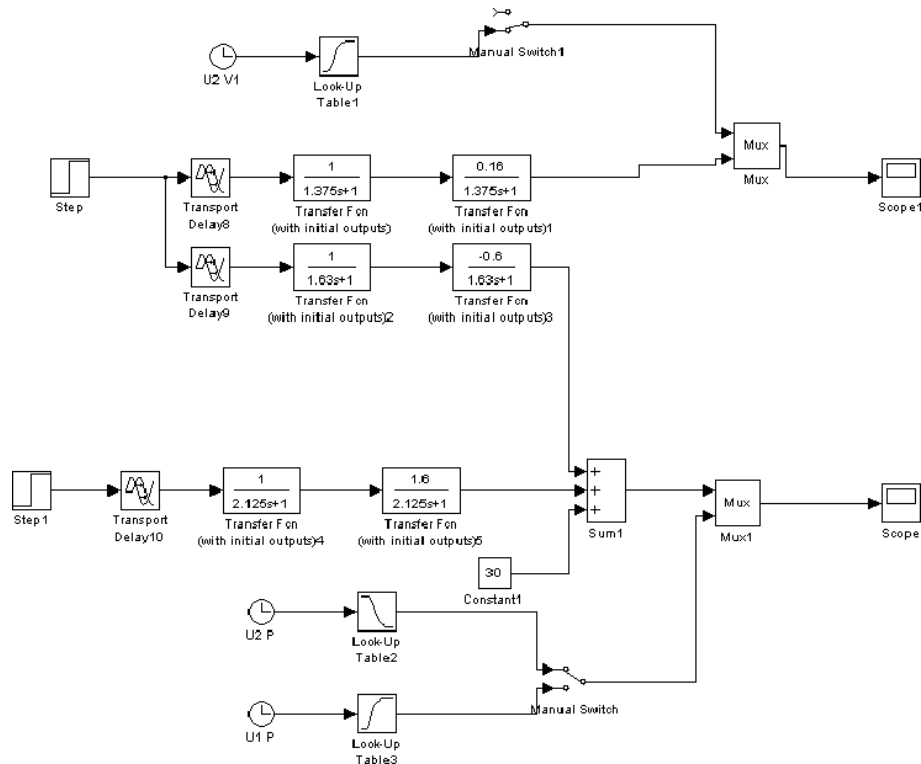


Рис.1.6– Схема моделювання повної моделі каналів ОК

1.5 Типові структури і алгоритми САК ТП, що реалізують функції регулювання, результати їх параметричної оптимізації і перевірка на робастність (грубість)

Координатна схема процесу масажування м'яса наведена на рис. 1.5. У відповідності до замкненого принципу керування представимо схему САР базової (найпростішої) структури. Структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 1.7.

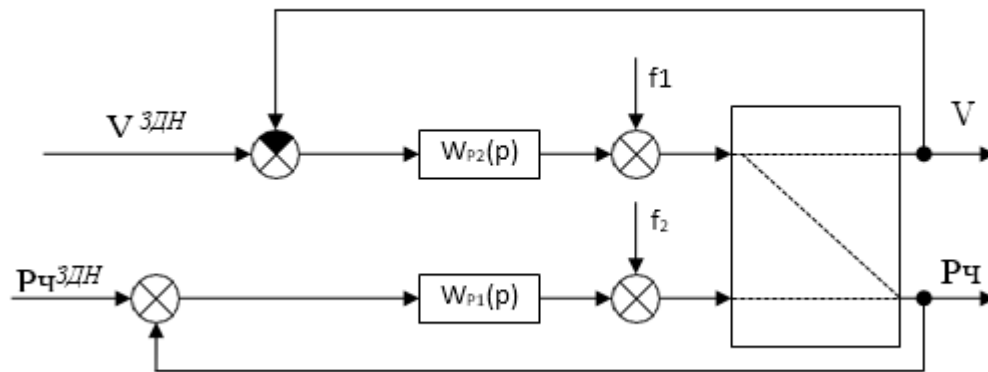


Рис. 1.7 – Структурна схема САР процесу масажування м'яса базової структури

На рисунку:

$P_{ч}$ – розрідження в чащі;

V – частота обертів чащи;

f_1 – вектор неконтрольованих збурень;

f_2 – вектор неконтрольованих збурень;

$W_{p2}(p)$ – передаточна функція регулятора

$W_{p1}(p)$ – передаточна функція регулятора

$P_{ч\text{здн}}$ – задане значення регульованої координати;

$V_{здн}$ – задане значення регульованої координати;

Найбільш доцільним є розгляд і порівняльний аналіз ПІ й ПІД - алгоритмів регулювання, тому що з попередніх досліджень синтезу САР відомо, що найбільш ефективними є саме ці алгоритми регулювання.

Передаточна функція ПІД-регулятора

$$W_{пид}^p(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{изp}} + T_{пр}p \right).$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = \frac{0,8 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{0,8 \cdot 2}{0,16 \cdot 3,7} = 2,7 \frac{\% \text{х. р. о. об/хв}}{\text{_____}}$$

$$T_{\text{ИЗ}} = 2,5 \cdot \tau_0 = 2,5 \cdot 3,7 = 9,25 \text{с}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$1 \cdot T_0 \quad 1 \cdot 2 \quad \% \text{х. р. о.}$$

$$K_p = \frac{1 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1 \cdot 2}{0,16 \cdot 3,7} = 3,37 \frac{\text{об/хв}}{\text{_____}}$$

$$T_{\text{ИЗ}} = 2 \cdot \tau_0 = 2 \cdot 3,7 = 7,4 \text{с}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОУ каналу тиску чаші буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{1,6 \cdot e^{-5,7p}}{3,16p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$0,8 \cdot T_0 \quad 0,8 \cdot 3,16 \quad \% \text{х. р. о.}$$

$$K_p = \frac{0,8 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{0,8 \cdot 3,16}{1,6 \cdot 5,7} = 0,27 \frac{\text{оП}}{\text{_____}}$$

$$T_{\text{ИЗ}} = 2,5 \cdot \tau_0 = 2,5 \cdot 5,7 = 14,25 \text{с}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$1 \cdot T_0 \quad 1 \cdot 3,16 \quad \% \text{х. р. о.}$$

$$K_p = \frac{1 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1 \cdot 3,16}{1,6 \cdot 5,7} = 0,35 \frac{\text{об/хв}}{\text{_____}}$$

$$T_{\text{ИЗ}} = 2 \cdot \tau_0 = 2 \cdot 5,7 = 11,4 \text{с}$$

$$T_{\text{ПР}} = \tau_0 = 5,7 \text{с}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР тиску та частоти обертів установки з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 1.8. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 1.9.

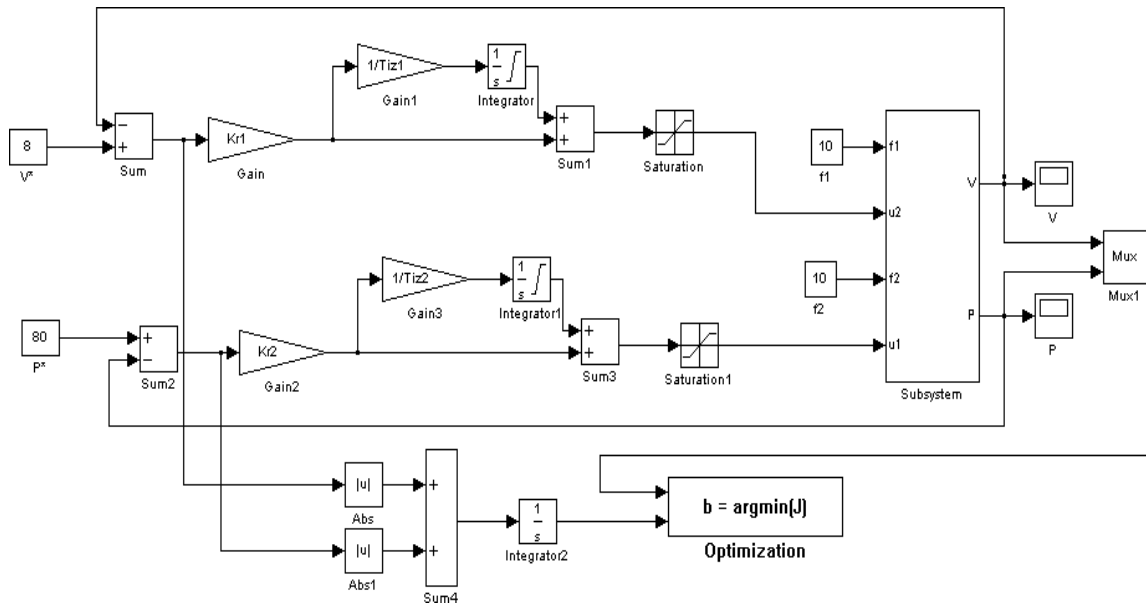


Рис. 1.8 - Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором.

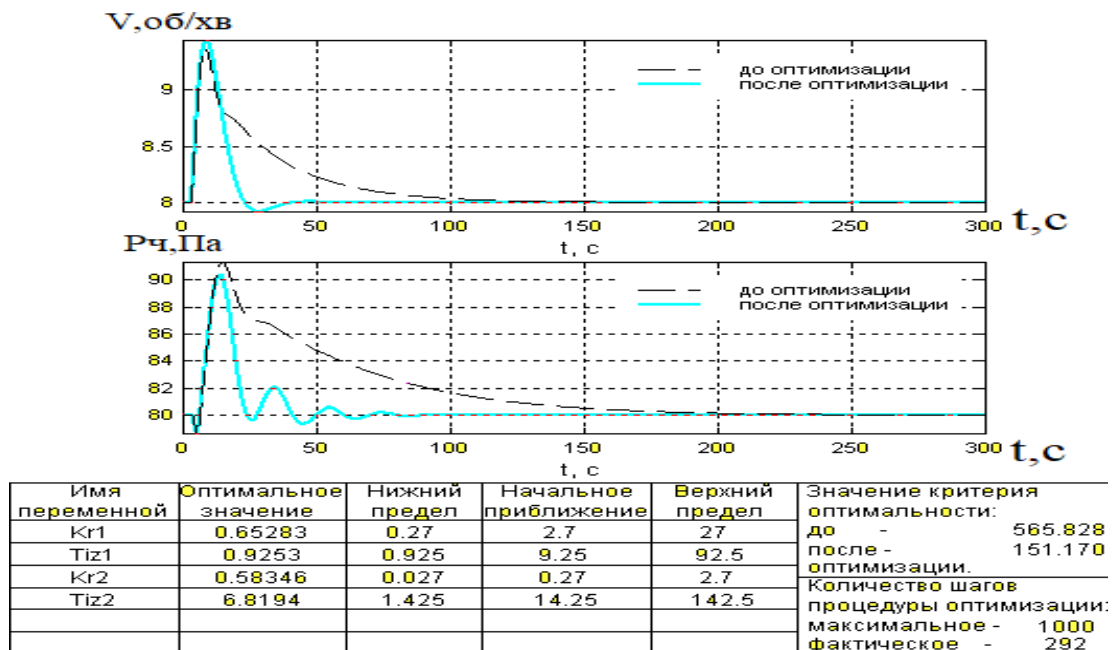


Рис 1.9-Результати оптимізації ПІ- регулятора

Для оптимального параметричного синтезу САР охолодження гранульованих комбікормів з ПД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 1.10. Результати оптимізації налаштувань ПД-регулятора наведені на рисунку 1.11.

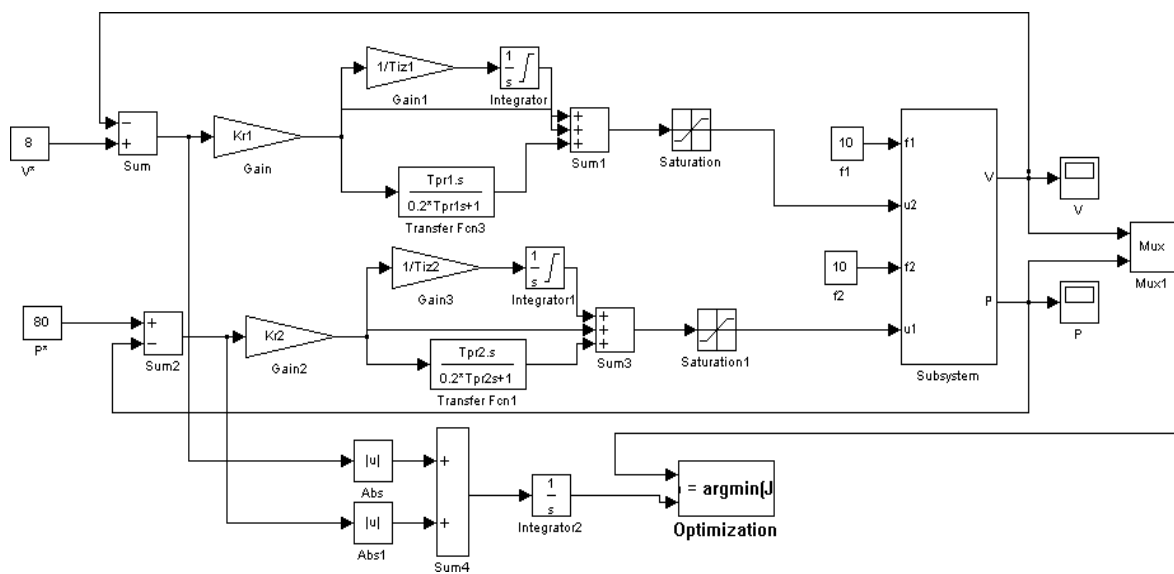


Рис 1.10 - Схема оптимізації САР з ПД – регулятором

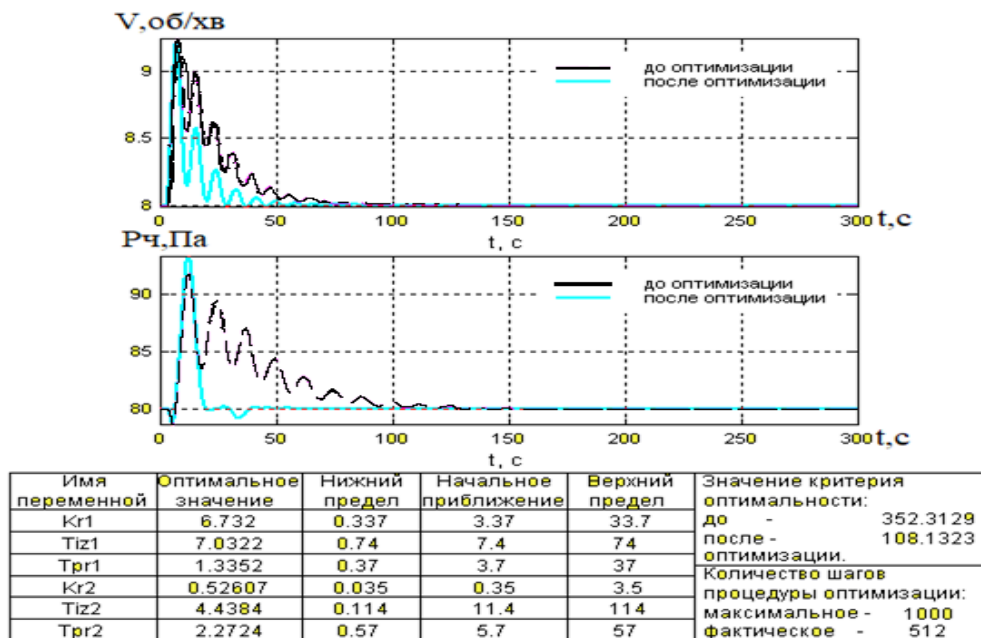


Рис 1.11 - Результати оптимізації ПД – регуляторів

Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметричних оптимальних системах за значенням критерію оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 1.12, 1.13 і в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Порівняння показників якості роботи каналів

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta V^{\text{МАКС}}$	$\Delta P_{\text{ч}}^{\text{МАКС}}$	$V_{\text{ТПП}}, \text{с}$	$P_{\text{ч}} \text{ТПП}, \text{с}$	
ПІ	1.5	11	20	20	151.1
ПІД	1.23	13.33	16.4	16.5	108.13

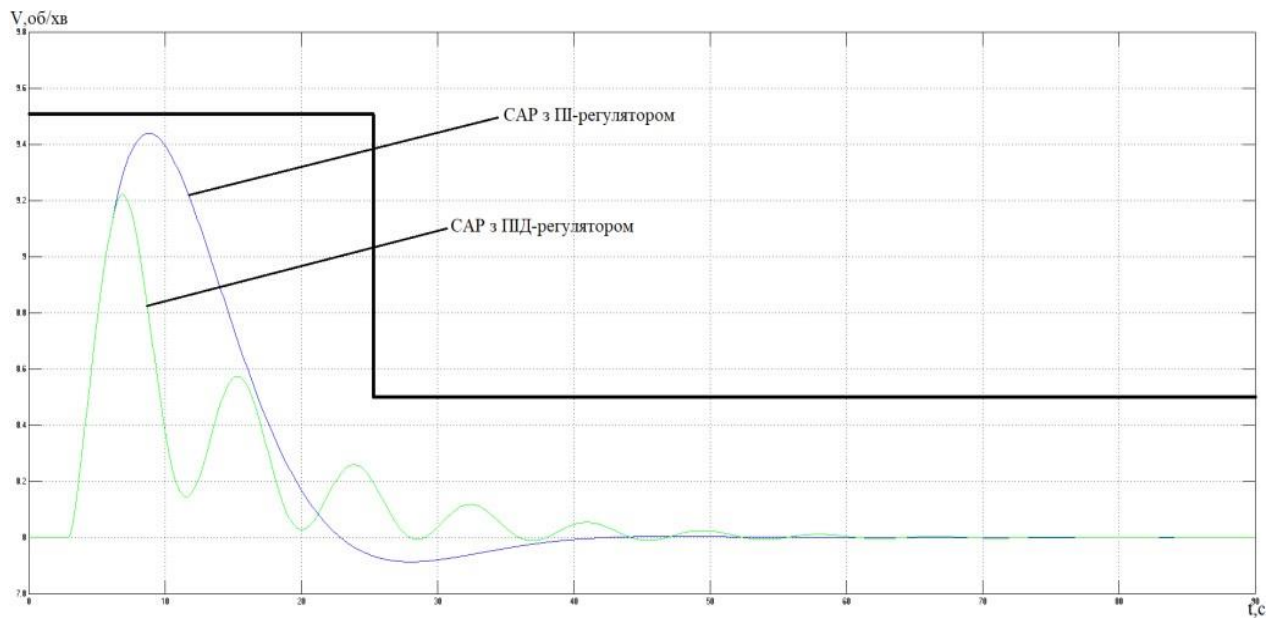


Рис 1.12 – ПХ САУ з оптимальними настройками ПІ і ПІД-регуляторів по каналу „ $u_1- V_{об}/хв$ ”

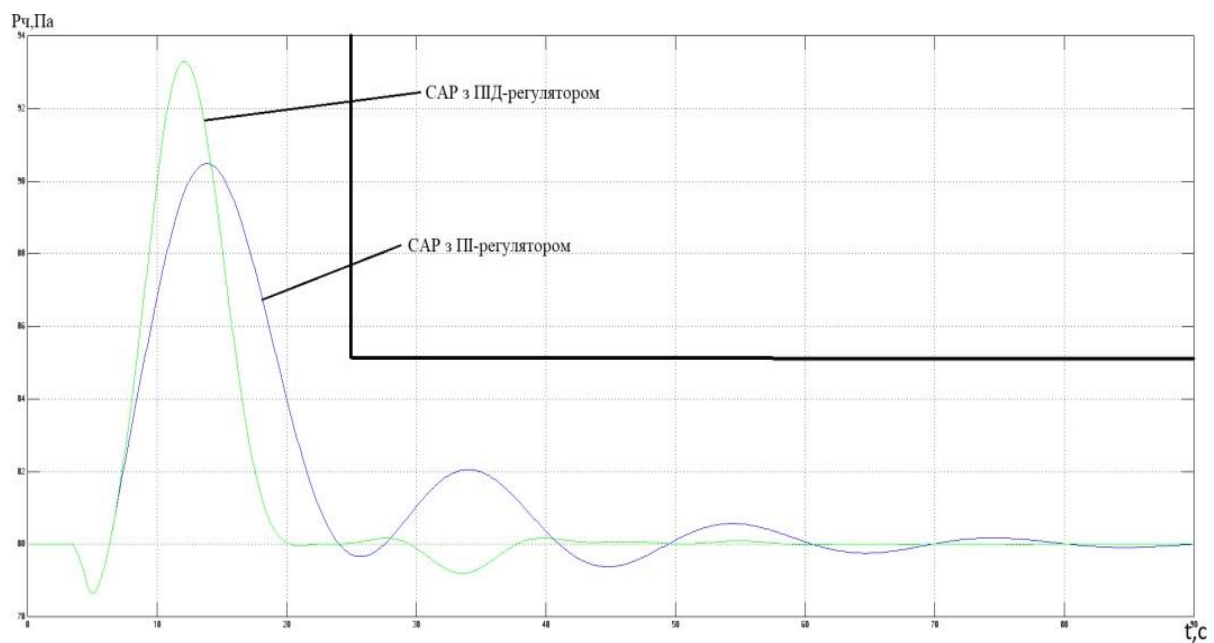


Рис 1.13 – ПХ САУ з оптимальними настройками ПІ і ПІД-регуляторів по каналу „ $u_2- Pч$ ”

Проаналізувавши отримані результати, можемо зробити висновок, що САР з ПІД- регуляторами більш працездатна, ніж САР з ПІ-регуляторами. Знаючи фізичні властивості об'єкта, можемо припустити, що властивості ОУ не змінюються у великих діапазонах, тому доцільно перевіряти грубість системи при

варіації параметрів об'єкта $\pm 20\%$. Варіативними параметрами будуть коефіцієнт передачі і час запізнювання ОУ. Активний експеримент по оцінці грубості будемо проводити на ЕОМ за допомогою блоку оптимального параметричного синтезу САР та аналізу її грубості.

Представимо результати машинного експерименту перевірки на грубість САР з ПД - алгоритмом управління:



Рис 1.14 – Результат перевірки системи на грубість.

Виходячи з результатів перевірки системи на грубість, можна зробити висновок про працездатність розглянутої системи автоматичного регулювання.

Проведемо аналіз грубості сталих процесів в САР при стохастичних вхідних впливах.

1.6 Висновки за розділом

Виходячи з вищевказаних обґрунтувань доцільно доопрацювати математичну модель ОК та розробити ОО систему.

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ, ЩО РЕАЛІЗУЮТЬ ФУНКЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ САК ТП МАСАЖУВАННЯ М'ЯСА

2.1 Специфічні особливості ОР і обґрунтування вибору методів корекції САР для підвищення їх динамічної точності

Для отримання якісних м'ясних продуктів важливим є максимальне, рівномірне фільтраційне насичення шматка м'яса саломуром по всій його масі. Ефективність фільтраційного насичення залежить від розмірів пор і капілярів та рушійної сили процесу — різниці тисків в зоні накопичення саломуру. Найкращі умови для розповсюдження саломуру досягають, використовуючи циклічне деформування м'яса. При цьому змінюється внутрішня структура сировини, періодично розширюються та стискаються пори і капіляри, в них циклічно збільшується тиск рідини і тим самим інтенсифікується насичення м'яса розчином.

Виходячи з представленого опису технологічного процесу і враховуючи що властивості м'яса можуть змінюватися, в залежності від партії, то за фіксований час циклу масування м'яса (при фіксованих швидкості та розрідженні в чаші) не завжди можна забезпечити необхідне фільтраційне насичення м'яса саломуром і спеціями.

При таких умовах ведення процесу масування м'яса актуальним є реалізація в САК додаткового каналу регулювання рівня саломуру в чаші вакуумного масажера. Реалізація програмної САР (з програмним задатчиком) рівня саломуру в чаші вакуумного масажера дозволить за час циклу роботи масажера забезпечити задане насичення м'яса саломуром (задані витрати саломуру). При цьому завдяки програмному задатчику насичення м'яса саломуром буде проходити зі швидкістю, що відповідає технологічному регламенту, при цьому не порушується структура тканин, білкових сполук і шматки м'яса зберігають свою цілісність. Система повинна цю задачу вирішувати. Але реалізація такої системи потребує додаткових досліджень.

Етапи розробки модернізованої системи керування будуть розглянуті в наступних розділах.

2.2 Доопрацювання математичної моделі ОР до моделі ОО на вирішення завдання оптимального управління.

Для виконання завдання синтезу та аналізу роботи системи програмного керування рівнем саломуру $h_c(t)$ у чаші вакуумного масажеру доповнимо модель об'єкта керування моделлю динаміки що відображає залежність рівня саломуру в чаші масажеру від швидкості обертання чаші та розрідження у чаші вакуумного масажера. Для отримання якісних м'ясних продуктів важливим є максимальне, рівномірне фільтраційне насичення шматка м'яса саломуром по всій його масі до певного рівня. Насичення шматка м'яса саломуром можна визначати по рівню саломуру у чаші вакуумного масажера. При роботі масажера м'ясо насичується саломуром і його рівень в чаші поступово знижується. Таким чином за один цикл роботи масажера рівень саломуру повинен знизитися з максимального до заданого значення, відповідно до технологічного регламенту. Це буде означати що необхідна кількість саломуру наситила шматки м'яса. Спрощено залежність рівня саломуру у чаші вакуумного масажеру $h_c(t)$ від швидкості обертання чаші масажеру та розрідження в масажері можна описати наступним виразом.

$$h_c(t) = \frac{1}{T} \int_{Hmin}^{Hmax} -(k_1 V(t) + k_2 P(t)) dt$$

де

$V(t)$ -швидкість обертань чаші масажеру;

$P(t)$ – розрідження в чаші масажеру;

k_1 і k_2 – вагові коефіцієнти;

T - постійна часу інтегрування;

$Hmax$ і $Hmin$ – максимальний та мінімальний рівні саломуру у чаші масажеру.

Системи програмного керування рівнем саломуру $h_c(t)$ у чаші вакуумного масажеру доповнимо модель об'єкта керування моделлю динаміки що відображає залежність рівня саломуру в чаші масажеру від швидкості обертання чаші та розрідження у чаші вакуумного масажера. Повна схема моделювання об'єкта регулювання представлена на рис. 3.1.

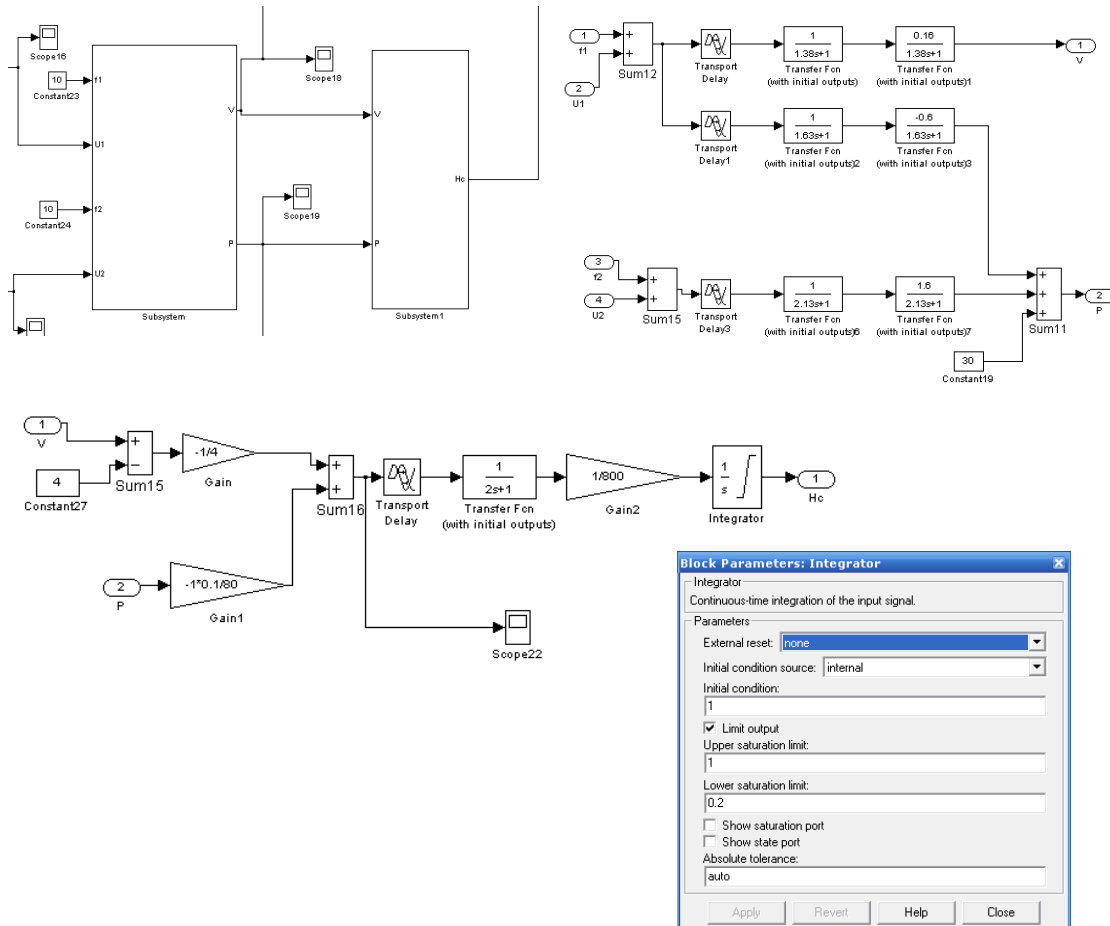
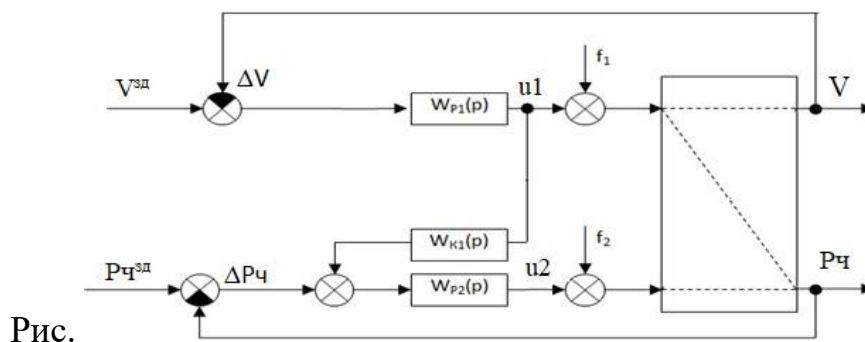


Рис. 2.1. Загальний вид схеми моделювання об'єкта оптимізації (ОО).

2.3 Структурних синтез САР підвищеної динамічної точності

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивне зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОУ і САР (значне співвідношення t_o / T_o , взаємний вплив каналів в багатовимірній САР). У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності САР є дія перехресних зв'язків. Основним шляхом підвищення динамічної точності саме розглянутої САР є побудова автономної САР.



2.2 – Структурна схема двовірної САР з коригуючим зв'язком

На схемі:

$V^{3Д}$ – задане значення регульованої координати;

$Pч^{3Д}$ – задане значення регульованої координати;

V – поточне значення регульованої координати;

$Pч$ – поточне значення регульованої координати;

ΔV – помилка регулювання;

$\Delta Pч$ – помилка регулювання;

$U1$ – керуюча дія, %х.р.о.;

$U2$ – керуюча дія, %х.р.о.;

$f_{1,2,3}$ – неконтрольовані збурення;

$W_{p1,2}(p)$ – передаточна функція регуляторів;

Необхідною умовою реалізації САР є фізична можливість організації додаткового каналу впливу за контрольованим збуренням, а для розглянутої САР така можливість є. Достатньою умовою реалізації САР є фізична реалізація передаточної функції коригуючого зв'язку.

Для забезпечення інваріантності до дії контрольованого збурення САР повинна забезпечити помилку

$$\Delta V = 0$$

$$\Delta P_{\text{ч}} = 0$$

$$P_{\text{ч}}' + P_{\text{ч}}'' = 0$$

$$P_{\text{ч}}' = W_{u_1-p}^o(p) \cdot u_1$$

$$P_{\text{ч}}'' = W_{k1}(p) * W_{p2}(p) * W_{u_2-p_{\text{ч}}}(p) * u_1$$

$$W_{u_1-p_{\text{ч}}}^o(p) + W_{k1}(p) \cdot W_{p2}(p) \cdot W_{u_2-p_{\text{ч}}}^o(p) = 0$$

$$W_{k1}(p) = -\frac{W_{u_2-p_{\text{ч}}}^o(p)}{W_2^p(p) \cdot W_{u_1-p_{\text{ч}}}^o(p)}$$

$$W_{u_2-p_{\text{ч}}}^o(p) = \frac{-0,6 \cdot e^{-4,17p}}{2,49p + 1}$$

$$W_{u_1-p_{\text{ч}}}^o(p) = \frac{1,6 \cdot e^{-5,7p}}{3,16p + 1}$$

$$W_2^p(p) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{\text{из}p}} + T_{\text{п}p}\right) = 0,52 \cdot \left(1 + \frac{1}{4,43p} + 2,27p\right)$$

$$W_{k1}(p) = -\frac{W_{u_2-p_{\text{ч}}}^o(p)}{W_2^p(p) \cdot W_{u_1-p_{\text{ч}}}^o(p)} =$$

$$= -\frac{\frac{-0,6 \cdot e^{-4,17p}}{2,49p + 1}}{0,52 \cdot \left(1 + \frac{1}{4,43p} + 2,27p\right) \cdot \frac{1,6 \cdot e^{-5,7p}}{3,16p + 1}} =$$

$$= -\frac{-0,6 \cdot e^{-4,17p+5,7p}}{0,52 \cdot 1,6} \cdot \frac{4,43p \cdot (3,16p + 1)}{(2,49p + 1)(4,43p \cdot 2,27p^2 + 4,43p + 1)} =$$

$$= 0,72 \frac{14p^2 + 4,43p}{25p^3 + 21p^2 + 6,92p + 1} \cdot e^{-1,53p}$$

2.4 Оптимальний параметричний синтез САР базової структури та аналіз результатів синтезу

Завдання визначення початкових наближень параметрів СКЗ вирішимо за допомогою оптимізаційної процедури, що забезпечує максимальне наближення перехідної характеристики СКЗ до перехідній характеристиці не спрощеної фізично реалізованої СКЗ.

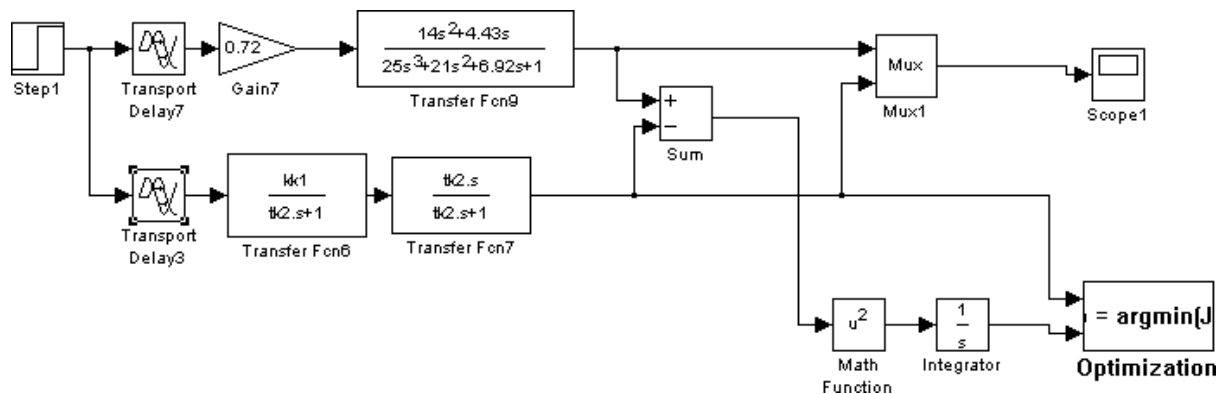


Рис2.3- Оптимізаційна процедура визначення початкових параметрів W_{k1} (p)

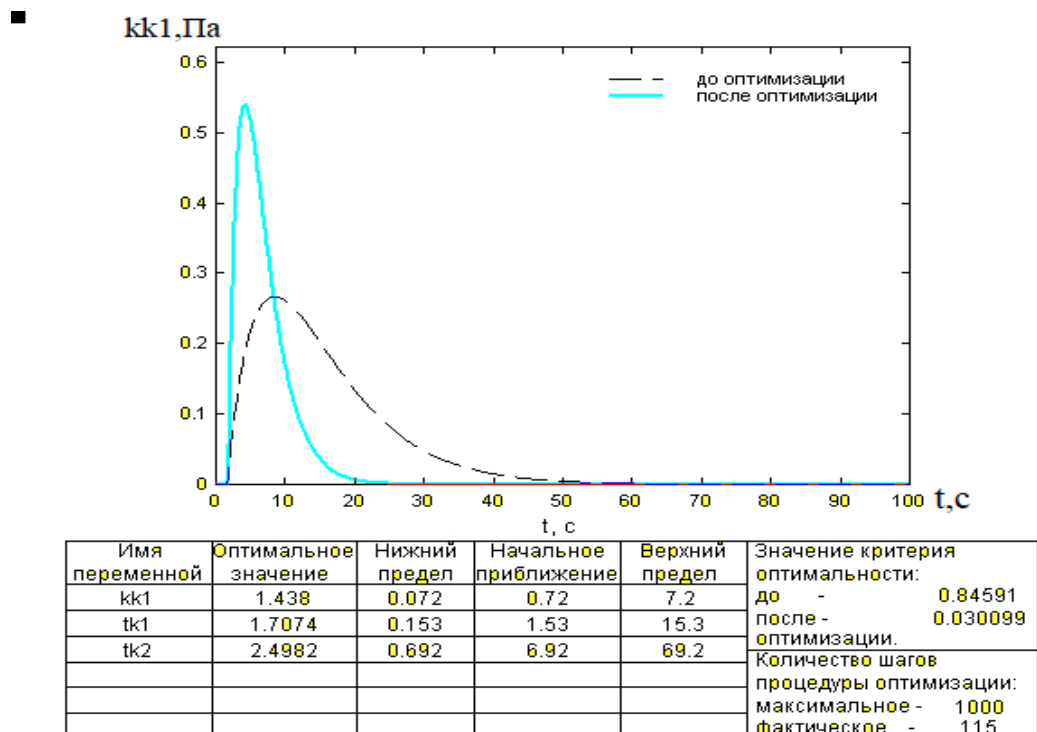


Рис 2.4- Результат процедури визначення початкових параметрів W_{k1}

Проведемо параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності для детермінованих (ступінчастих) вхідних впливів. Результати наведені на рис 2.5 – 2.6

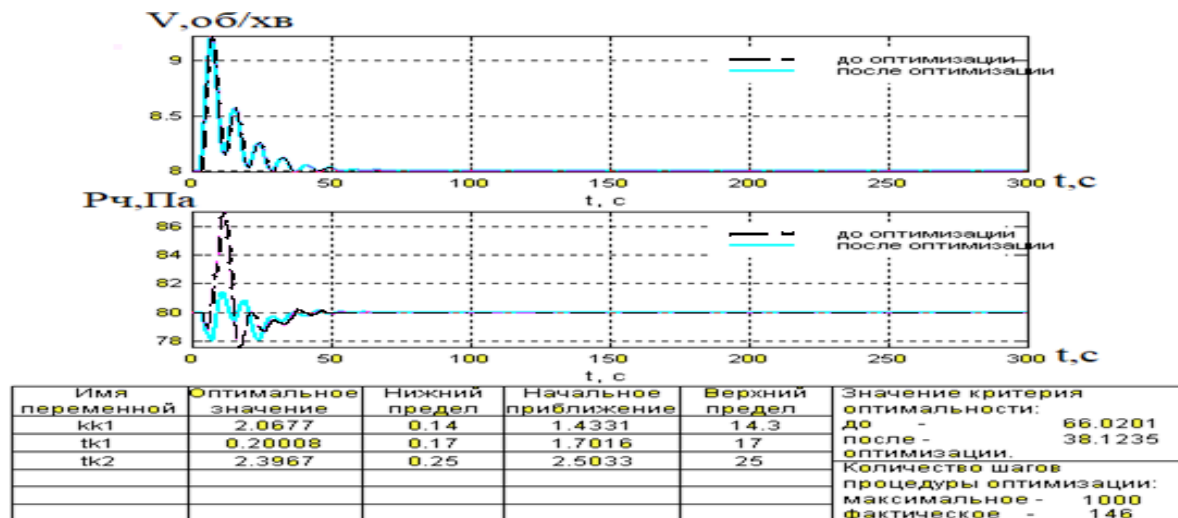


Рис 2.5 – Результати процедури оптимізації параметрів СКЗ

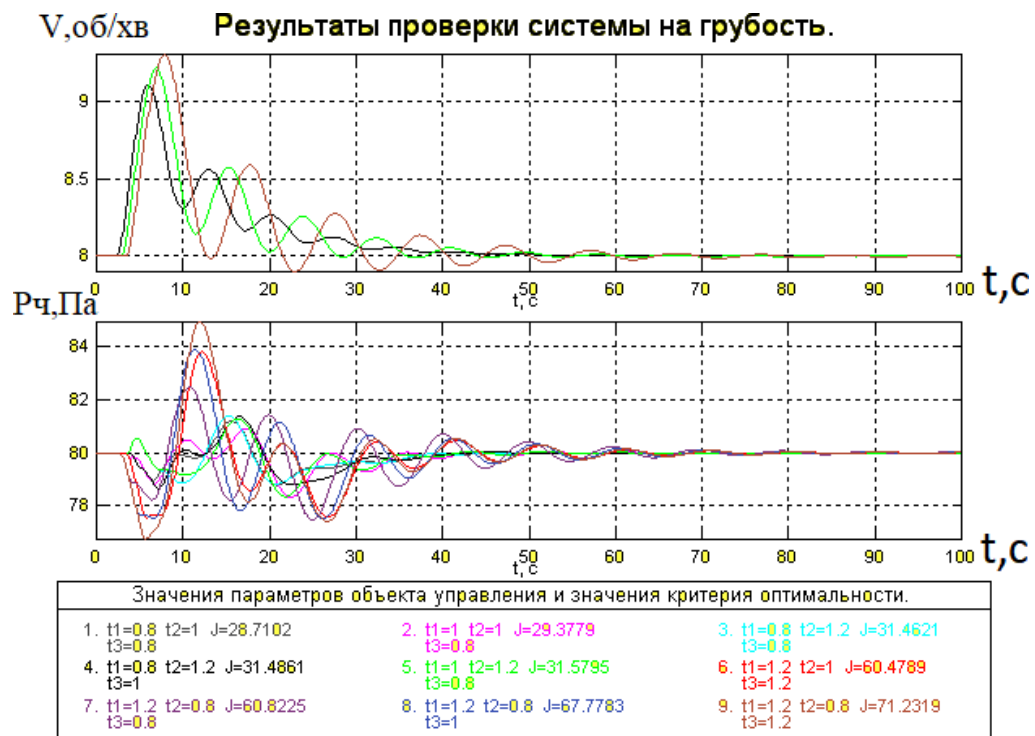


Рис 2.6- Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість

Виходячи з результатів перевірки системи на грубість, можна зробити висновок про працездатності розглянутої системи автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності.

Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіації параметрів об'єкта регулювання.

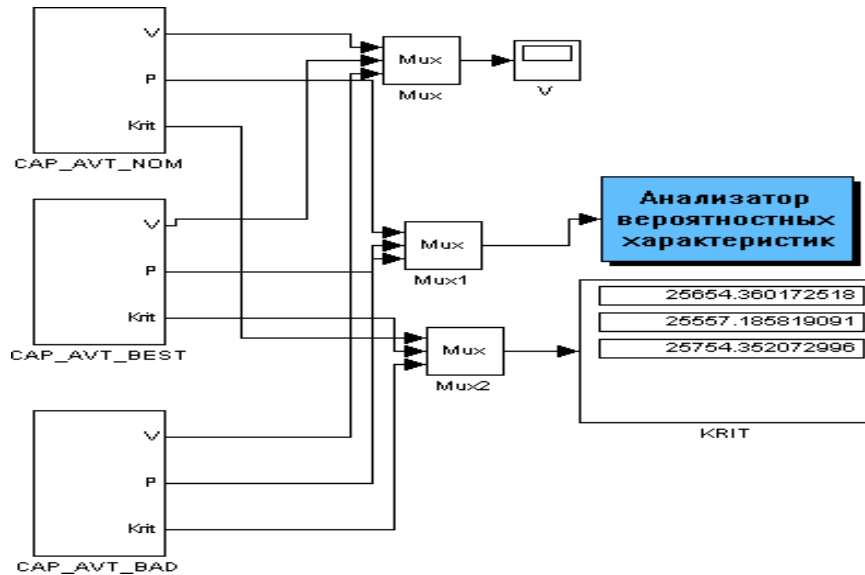


Рис 2.7- Схема моделювання для аналізу грубості САР в сталих режимах

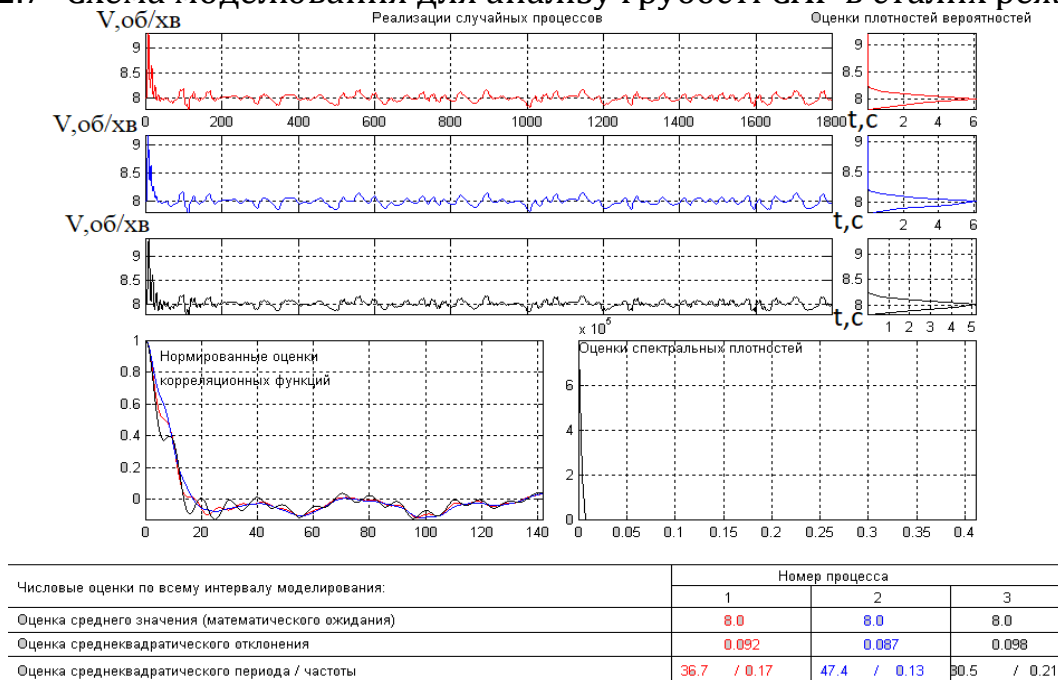


Рис 2.8- Результат моделювання САР підвищеної динамічної точності

Таблиця 2.1 Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності на грубість в сталих режимах

Показник якості	Значення параметрів ОУ					
	Номінальні		Найкращі		Найгірші	
	V,об/хв	Pч,Па	V,об/хв	Pч,Па	V,об/хв	Pч,Па
Математичне очікуванн	8.0	80.0	8.0	80.0	8.0	80.0
Середньоквадратичн евідхилення	0.092	1	0.087	0.89	0.098	1.1
Середньоквадратичний період	36.7	63.2	47.4	69.0	30.5	60.6
Інтегральний критерій	1374.96	25654	1307.57	25557	1495.52	25754

Порівняльний аналіз САР найпростішої структури і підвищеної динамічної точності.

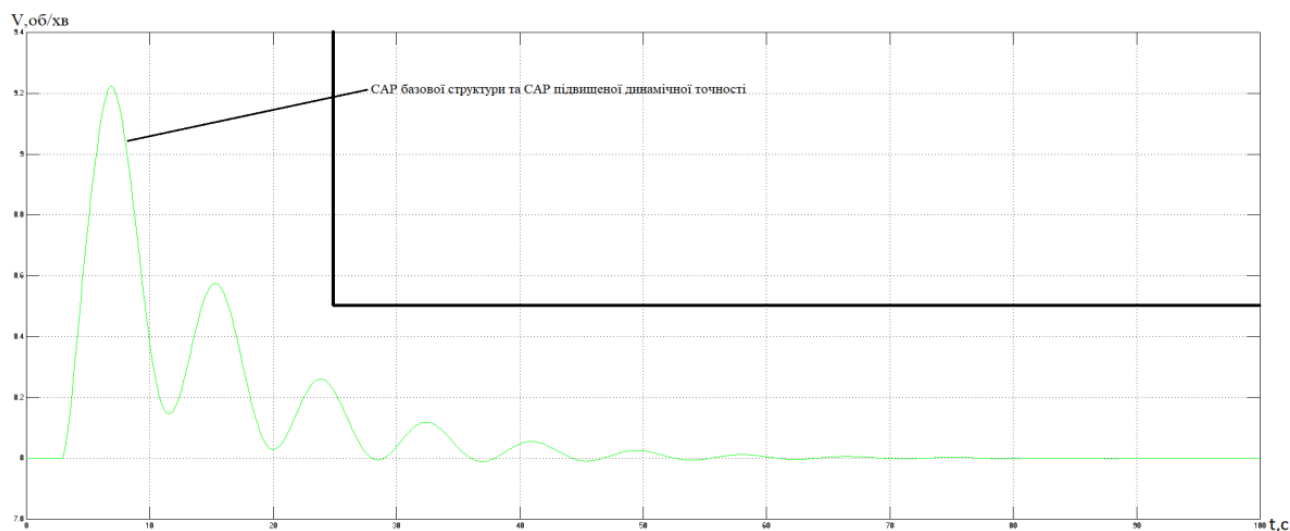


Рис. 2.9 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

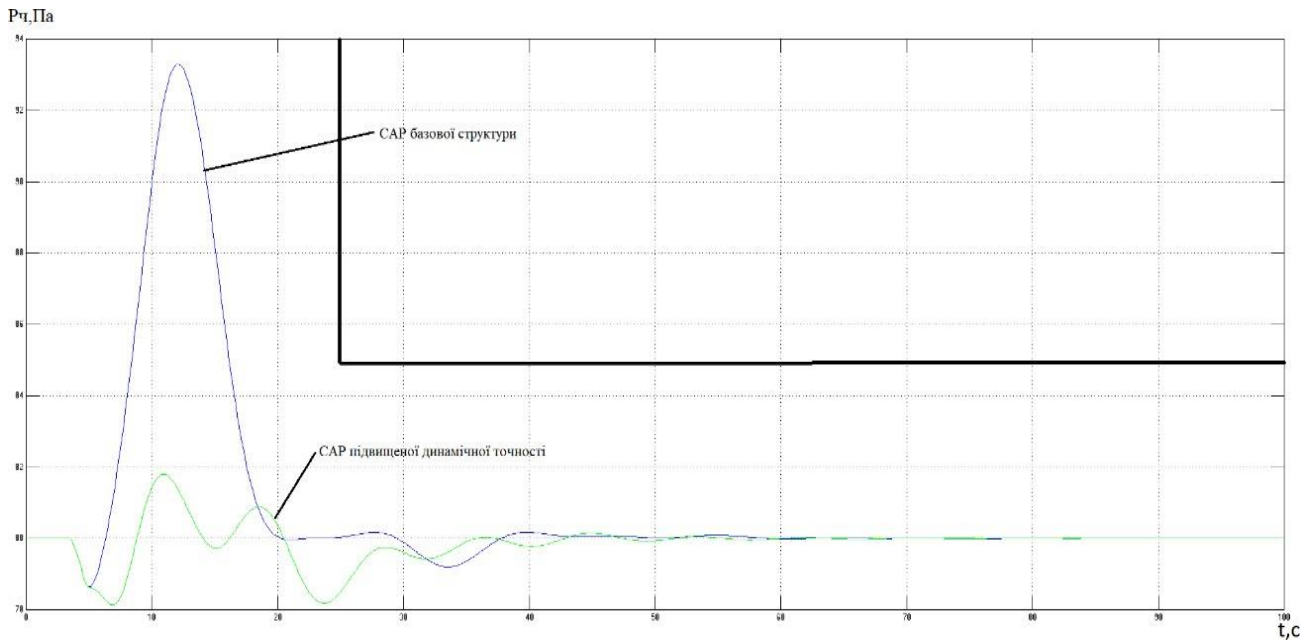


Рис. 2.10 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Таблиця 2.2- Порівняння показників якості роботи обох САР

Варіант САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta V^{\text{МАКС}}$	$\Delta P^{\text{МАКС}}$	$V_{\text{Тпп, c}}$	$P^{\text{чТпп, c}}$	
Базова	1.23	13.33	16.4	16.5	108.23
Підвищеної динамічної точності	1.23	1.79	16.4	0	38.43

Порівняльний аналіз сталих процесів в параметрично оптимальних (або детермінованих входних впливів) САР за інтегральними показниками та показниками, на які встановлено гранично-допустимі значення.

Для порівняння якості роботи САР базової структури і підвищеної динамічної точності в сталих режимах розроблена структурна схема моделювання, наведена на рис. 2.14. Результати порівняння наведені на рис. 2.11- 2.12 і в таблицях 2.3

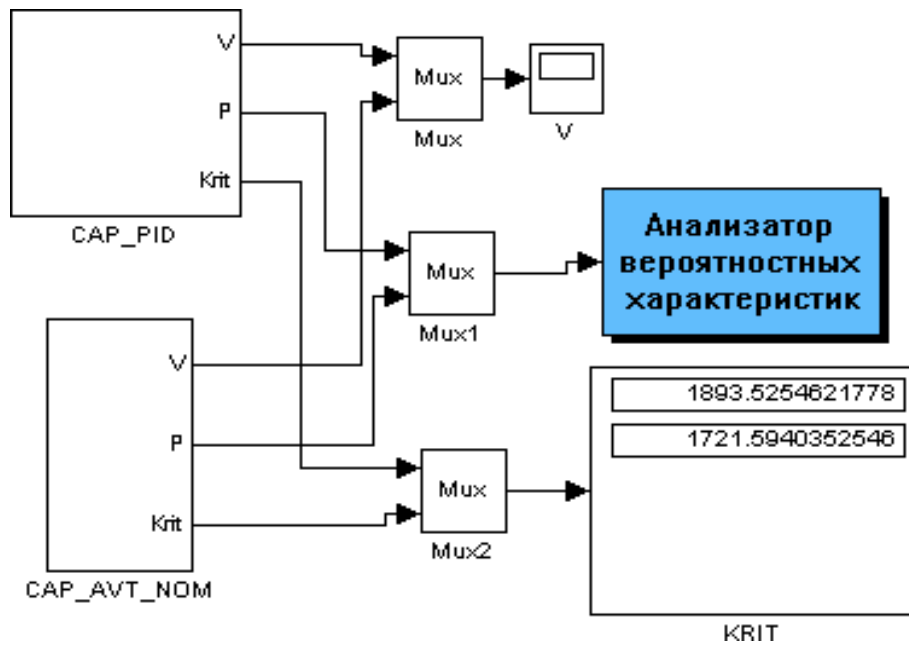


Рис 2.11- Структурна схема моделювання

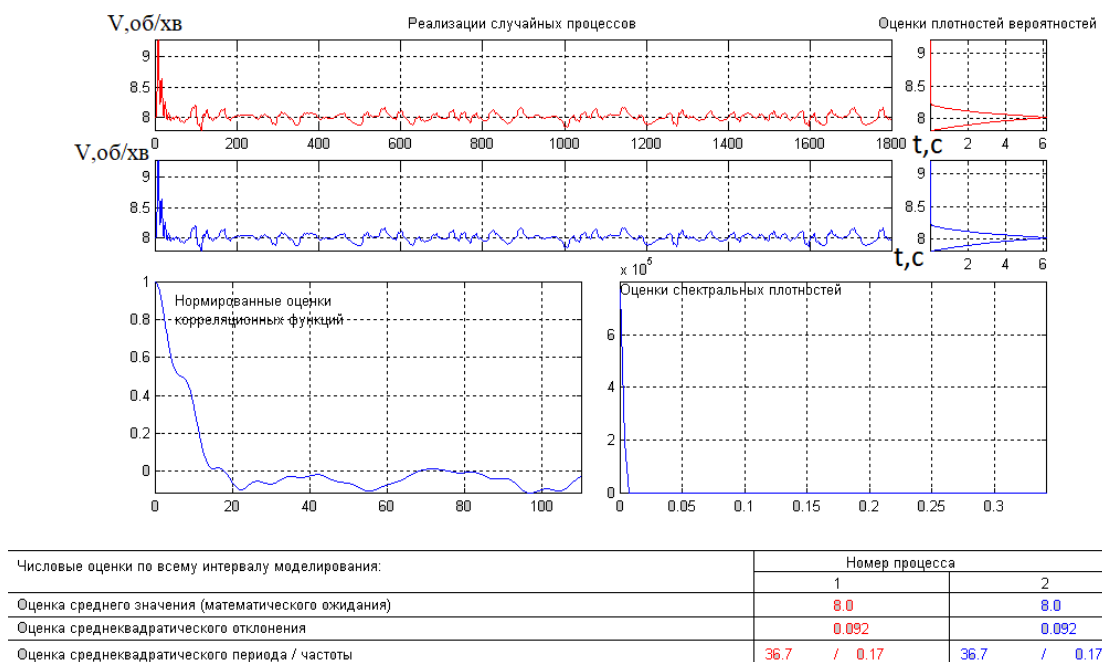
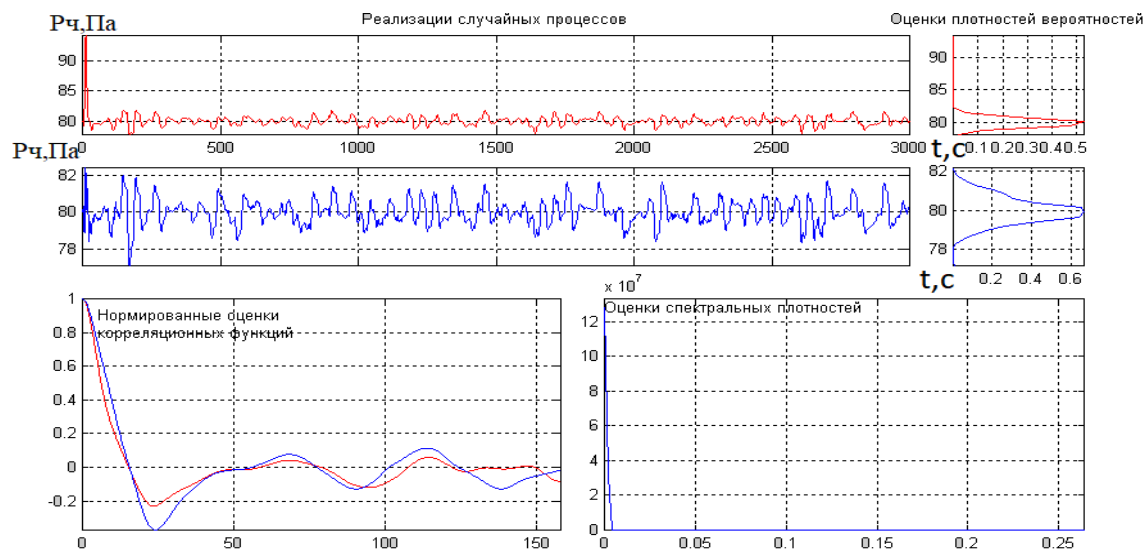


Рис 2.12- Порівняльна характеристика CAP з СКЗ та Без СКЗ за каналом швидкості обертів в чаші



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса	
	1	2
Оценка среднего значения (математического ожидания)	80.0	80.0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.9	0.67
Оценка среднеквадратического периода / частоты	47.6 / 0.13	52.6 / 0.12

Рис 2.13- Порівняльна характеристика САР з СКЗ та Без СКЗ
за каналом тиску в чаші

Табл. 2.3- Результати порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах за каналом швидкості обертів та тиску в чаші

Показник якості	Структура САР			
	Базова		Підвищеної динамічної точності	
	V,об/х в	Рч,Па	V,об/х в	Рч,Па
Математичне очікування	8.0	80.0	8.0	80.0
Середньоквадратичне відхилення	0.092	0.9	0.092	0.67
Середньоквадратичний період	36.7	47.6	36.7	52.6
Інтегральний критерій	1374.9 6	1893.5 2	1374.9 6	1721.5 9

2.5 Недоліки відомих САК та формулювання мети вдосконалення систем автоматичного керування процесом масування м'яса.

В пункті 1.5 розглянуті деякі варіанти САК процесом масування м'яса. В системах передбачено регулювання швидкості обертання чаші та розрідження в чаші вакуумного масажера. Розглянуті системи регулювання забезпечують досить високу статичну та динамічну точність підтримання поточних значень регульованих змінних на заданих значеннях але ні в моделях ОК ні в алгоритмах керування не враховується, що при масуванні м'яса можливе нерівномірне та неповне фільтраційне насичення його саломуром. Тобто по закінченні циклу масування насичення м'яса розчином може бути недостатнім або навпаки, що може призвести до браку готової продукції. Вважаючи що продукція є делікатесною, то втрати можуть бути досить значними.

В системах як правило передбачено фіксований час циклу масування м'яса і не контролюється скільки саломуру витрачено на фільтраційне насичення м'яса і скільки залишилося. Тому для забезпечення необхідного фільтраційного насичення м'яса саломуром і спеціями та зменшення браку готової продукції є актуальним розширення функцій регулювання в САК і реалізація додатково регулювання рівня саломуру у чаші вакуумного масажера. Насичення м'яса саломуром повинно проходити зі швидкістю, що відповідає технологічному регламенту і система повинна цю задачу вирішувати.

2.6 Висновки за розділом

У результаті синтезу САР підвищеної динамічної точності ми одержали систему, показники якості якої, з більшою високою динамічною точністю в порівнянні із САР найпростішої структури, а головне більше грубу. Введення коригувального зв'язку в контурі регулювання, сприяє значному підвищенню динамічної точності і система стає більш працездатною й стійкою до різних змін параметрів ОУ. Зменшилися середньоквадратичне відхилення й середньоквадратичний період.

РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ, ЩО РЕАЛІЗУЮТЬ ФУНКЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ САК НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

3.1 Обґрунтування актуальності застосування систем управління побудованих на базі апарата нечіткої логіки та штучної нейронної мережі для розглянутого об'єкта керування

Нечітка логіка, на якій засноване нечітке управління, ближче за духом до людського мислення та природних мов, ніж традиційні логічні системи. Для технічних систем з випадковим характером впливу, що збурює, складністю розробки динамічної моделі, її високим порядком, нелінійним характером можна говорити про проблему управління в умовах невизначеності. Використання нечітких регуляторів забезпечує грубість і стабільну збіжність процесів, тому такий підхід слід вважати доцільним. Область ефективного застосування традиційних систем управління на основі стандартних ПД-регуляторів обмежена. Якщо складність об'єкта невелика але нема відповідного математичного опису каналів регулювання і при цьому є досвід управління то можливо побудувати нечітку систему. Нечітке управління виявляється особливо корисним, коли технологічні процеси надто складні для аналізу за допомогою загальноприйнятих кількісних методів, або коли доступні джерела інформації інтерпретуються якісно, не точно, невизначено. Основна перевага нечіткого підходу – можливість формування числа правил управління залежно від комбінації значень вхідних змінних регулятора і, отже, від зміни режиму роботи, рівня збурювань. Також особливою проблемою в сфері автоматизації є управління об'єктами, функції яких описуються нелінійними залежностями. При проектуванні систем управління для нелінійних об'єктів зазвичай використовуються такі методи як лінійна апроксимація або кусочно-лінійна апроксимація. Однак застосування цих методів у реальних технічних пристроях не завжди дозволяє досягнути бажаного ефекту. У цьому випадку для забезпечення збільшення ефективності можна використовувати систему управління з нечіткою логікою («fuzzy logic»).

Таким чином, якщо статична характеристика об'єкта управління має де яку невизначену нелінійності але є досвід управління в окремому випадку це процесом масажування м'яса то можливо синтезувати нечітку системи управління. У якості переваги нечіткого регулювання можна також відзначити наявність сучасних систем програмування контролерів з вбудованими бібліотеками нечіткого управління, що мають добрий графічний інтерфейс, у якому достатньо добре представляється і коректується вид функцій приналежності і нечіткого висновку. Отже, спрощується і налаштування систем.

3.2 Реалізація в програмному середовищі MATLAB\Simulink моделі каналу регулювання розглянутого об'єкта керування з нелінійною характеристикою

При синтезі моделі процесу масажування м'яса визначено нелінійний характер статичної характеристики каналу регулювання за рахунок газодинамічної характеристики витяжного вентилятора. Для такого процесу доцільно виконати синтез системи управління на базі апарата нечіткої логіки.

Для представлення нелінійної моделі об'єкта управління, до відповідних моделей каналів регулювання були визначені відповідні нелінійні ланки. Нелінійність було реалізовано за допомогою включення блоку Look up Table у відповідну модель каналу регулювання. Структурна схема повної моделі об'єкта управління з додатковими блоками Look up Table, що визначають нелінійність статичних характеристик, представлена на рисунку 3.1. На рисунку 3.1 відображено повну модель об'єкту управління, яка є більш розширеною моделлю, завдяки включення додаткових нелінійних ланок. У блоці Look up Table у табличній формі задається нелінійний зв'язок (залежність) між вхідними змінними, який тягне «викривлення» статичної характеристики моделі каналу регулювання.

В остаточному випадку в результаті моделювання була отримана статична характеристика моделі каналу регулювання « $u_1 - P_{\text{ч}}$ », яка має вигляд, представлений на рисунку 3.2. З рисунку 3.2 видно, що статична характеристика несуттєво нелінійна, це дає можливість виконати синтез САУ з традиційними ПІД регуляторами і одержати необхідні показники якості регулювання.

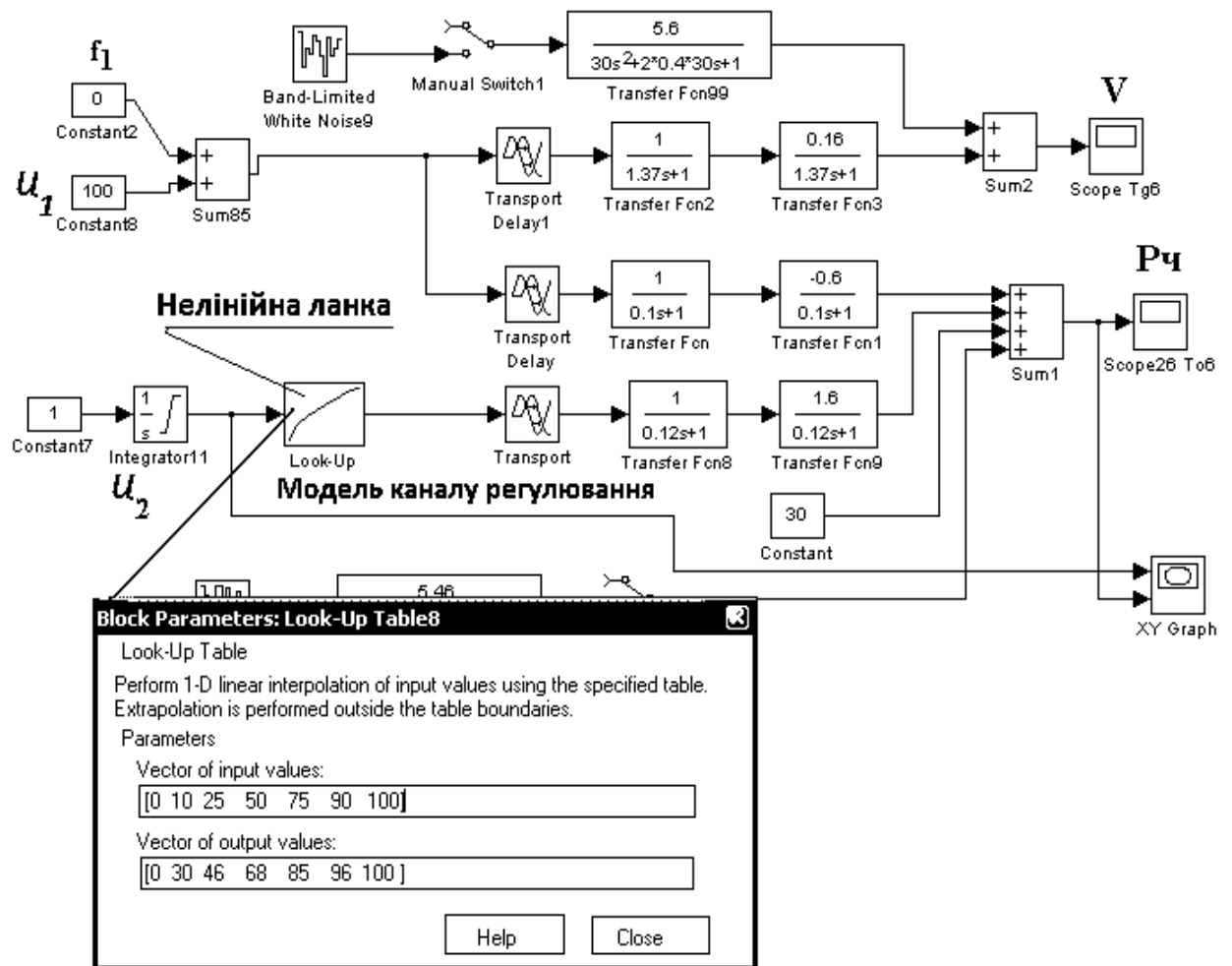


Рисунок 3.1. Структурна схема моделі об'єкта управління, що характеризується нелінійною статичною характеристикою за каналом регулювання

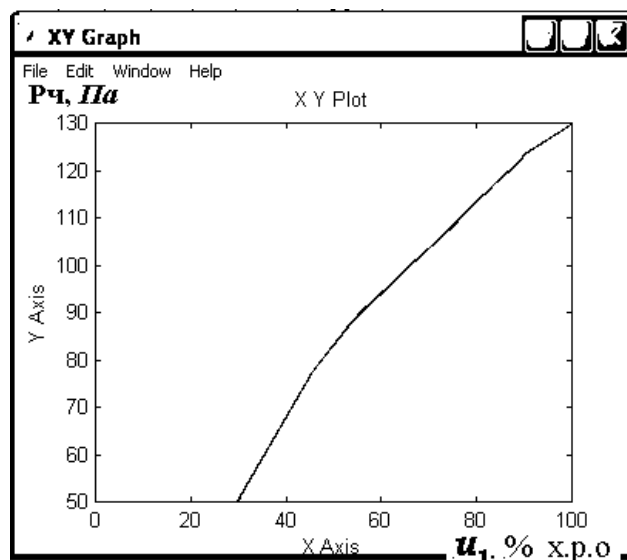


Рисунок 3.2. Нелінійна статична характеристика моделі каналу регулювання

3.3 Параметричний синтез САУ з традиційними ПД регуляторами для об'єкта з нелінійними характеристиками за каналом регулювання

У даній роботі був виконаний параметричний синтез САУ з традиційними – ПД регуляторами для об'єкта з нелінійними характеристиками за каналами регулювання. Слід зазначити, що нелінійність характеристик була реалізована в моделі, «гладкої» і несуттєвої для одержання стійких перехідних процесів при застосуванні традиційних – лінійних (П, ПІ, ПД) регуляторів.

Параметри настроювання регуляторів були визначені на основі статичних і динамічних параметрів об'єкта управління в рамках лінійної моделі.

Для реалізації параметричної оптимізації регуляторів системи управління в програмному середовищі MATLAB\Simulink 5.2 була розроблена схема моделювання системи управління з автоматичним оптимізатором, що забезпечує пошук оптимальних параметрів регуляторів при мінімізації за наступним інтегральним показником якості роботи системи:

$$J = \int_0^{\infty} \left(\left| \frac{e_2(t)}{\Delta V_{\max}} \right| + \left| \frac{e_1(t)}{\Delta P_{\max}} \right| \right) dt$$

$e_2(t)$ – різниця в часі між фактичним значенням регульованої величини і заданим значенням кількість оборотів масажера за хвилину V

$e_1(t)$ – різниця в часі між фактичним значенням регульованої величини і заданим значенням розрідження в чаші масажера P_q .

Розроблена схема моделювання системи управління з автоматичним оптимізатором у середовищі MATLAB\Simulink 5.2 представлена на рисунку 3.3.

У результаті параметричної оптимізації за обраним інтегральним показником якості роботи системи та за допомогою відповідного модуля – додатка MATLAB\Simulink 5.2 були отримані графіки перехідних процесів до і після оптимізації і відповідні параметри настроювання регуляторів.

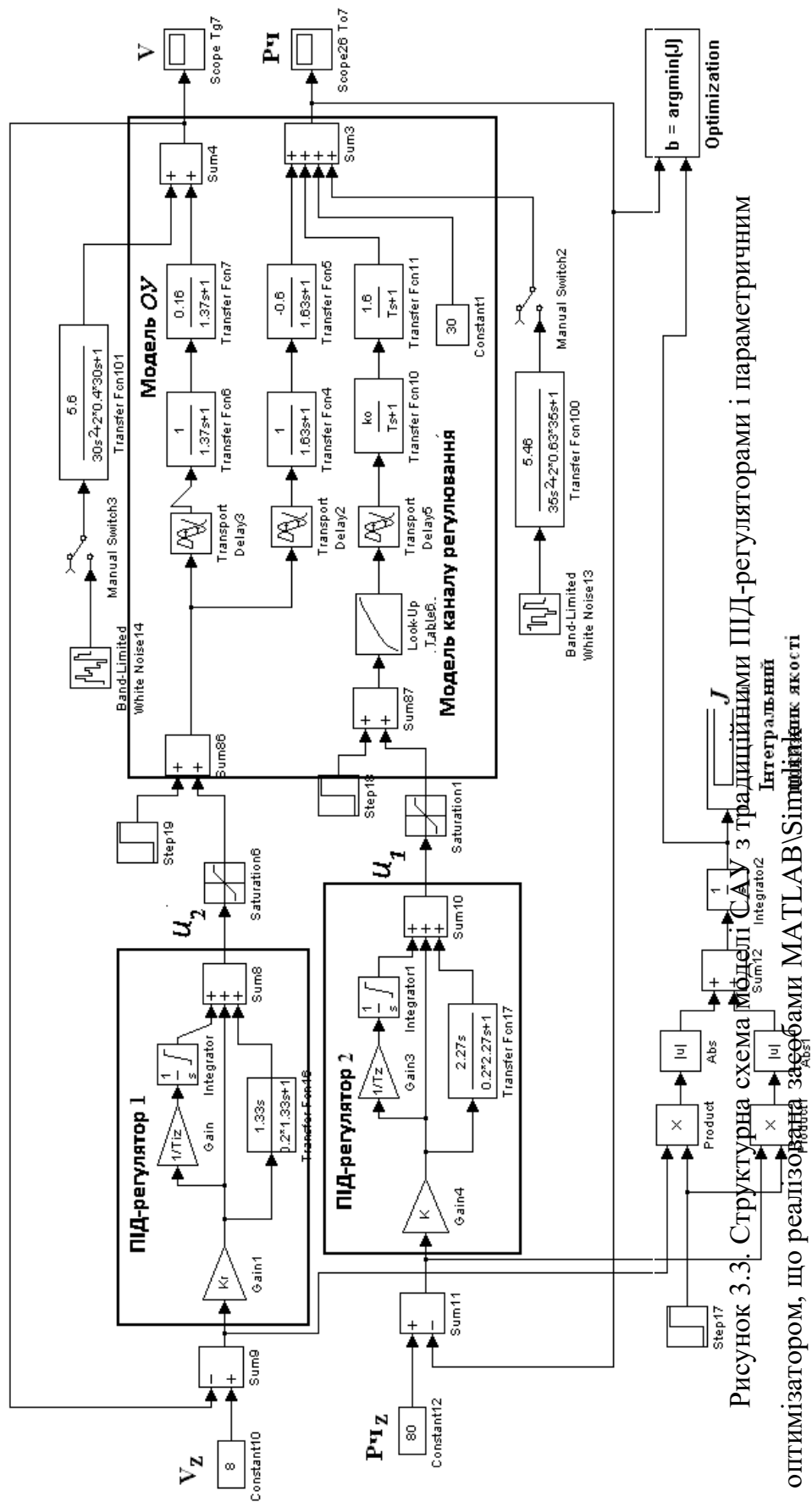


Рисунок 3.3. Структурна схема ПІД-регуляторів і параметричним

оптимізатором, що реалізована за допомогою MATLAB\Simulink

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів було встановлено задане значення регульованої зміни і визначені допустимі короткочасні відхилення протягом часу не більше 25 хвилин. Всі ці дані відповідають перехідній характеристиці представленої після оптимізації.

Відповідні початкові параметри оптимізації були введені у відповідному вікні за стандартними умовами (рисунк 3.4). Це 100 кроків оптимізації, достатньо великий діапазон пошуку значень оптимізуючи параметрів. Параметри канали регулювання були визначені при умові розгляду лінійний моделі отриманою в результаті відповідної ідентифікації.

Оптимізація

Конкретизация задачи оптимального параметричного синтеза (ОПС)

☐ ОПС в условиях параметрической неопределенности ОУ.
☒ ОПС при фиксированных параметрах ОУ.

Параметры объекта управления (ОУ)

Имя параметров: ko tau T T1
 Номинальные значения: 3.4 2.5 12 10
 Нижние значения диапазонов:
 Верхние значения диапазонов:

Параметры что оптимизируются (аргументы)

Имя параметров: Kr Tiz K Tz
 Начальные приближения: 6.5 7 0.46 4.4
 Нижние границы: 0.1 0.6 0.1 0.6
 Верхние ограничения: 10 20 10 20

Умови оптимізації (Симплекс метод Нелдера-Мида)

Максимальная количество шагов процедур оптимізації: 100
 Минимальное приращение аргументов: 0.01
 Минимально значимое приращение критерия: 0.001

Візуалізація результатів

Количество графиков: 1
 Имена переменных отображаемых на графиках: y

Старт Отмена

Рисунок 3.4 Вікно вводу початкових параметрів для оптимізації САР з традиційними ПІД регуляторами

Необхідно зазначити що оптимізацію проводили поетапно з урахуванням нелінійності характеристики каналу регулювання як за відповідним інтегральним показником якості роботи системи.

На рисунку 3.5 представлена вікно результату оптимізації за модульним показником на 100 кроків. Із графіків перехідних процесів видно, що якість регулювання, не помітно покращилася після оптимізації САУ. Однак слід зазначити, що при нелінійній характеристиці

каналу регулювання такі покращення можуть мати місце лише при відповідних режимах роботи чи початкових умовах системи управління. Таким чином, оптимальні параметри настроювання в даному випадку можуть бути неоптимальні в іншому випадку, це визначає необхідність застосування нелінійних регуляторів.

Оптимізація проводилась на проміжку часу від 80 секунд коли в систему було введено східчастий вплив що збурює якій відхиляє розрядження $P_{\text{ч}}$ від заданого значення..

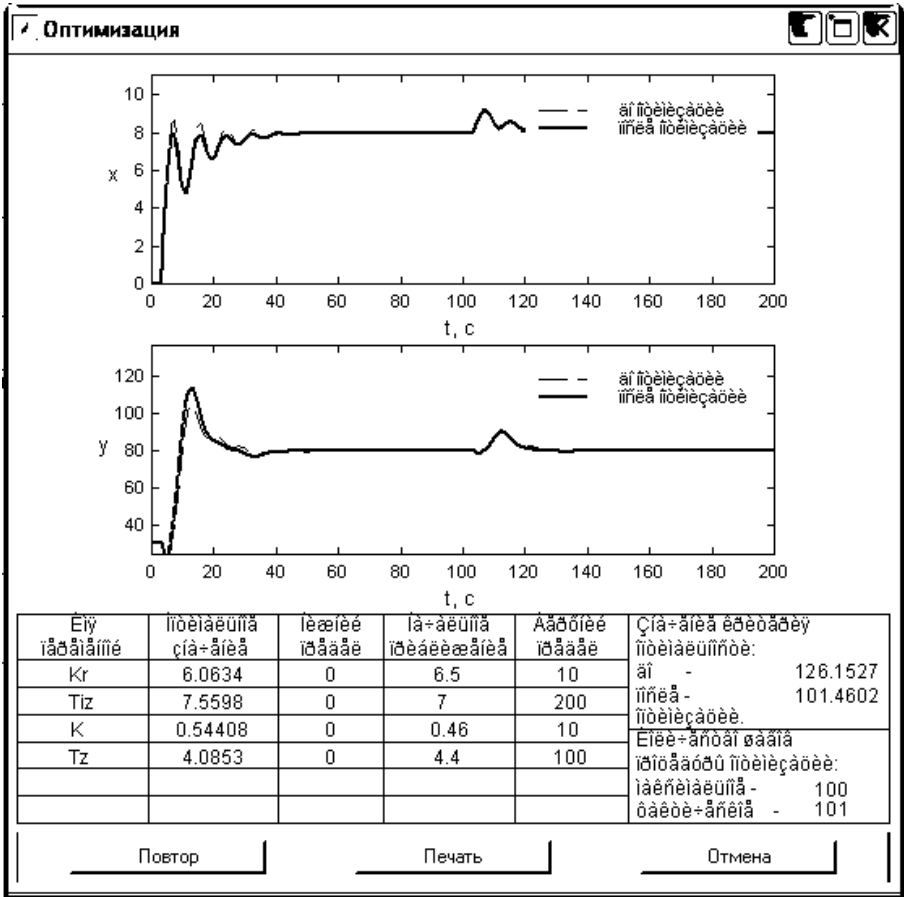


Рисунок 3.5 Вікно результату оптимізації САР з традиційними ПІД регуляторами

Також біла проведена перевірка на грубість САР з каналом регулювання що характеризується нелінійною статичною характеристикою. САР була відповідно з оптимізованим ПІД-регулятором за модульним критерієм якості роботи системи. Параметри перевірки системи на грубість представлені на рисунку 3.6. Значення цих параметрів однакові при різних випадках дослідження систем в рамках лінійних і нелінійних моделей.

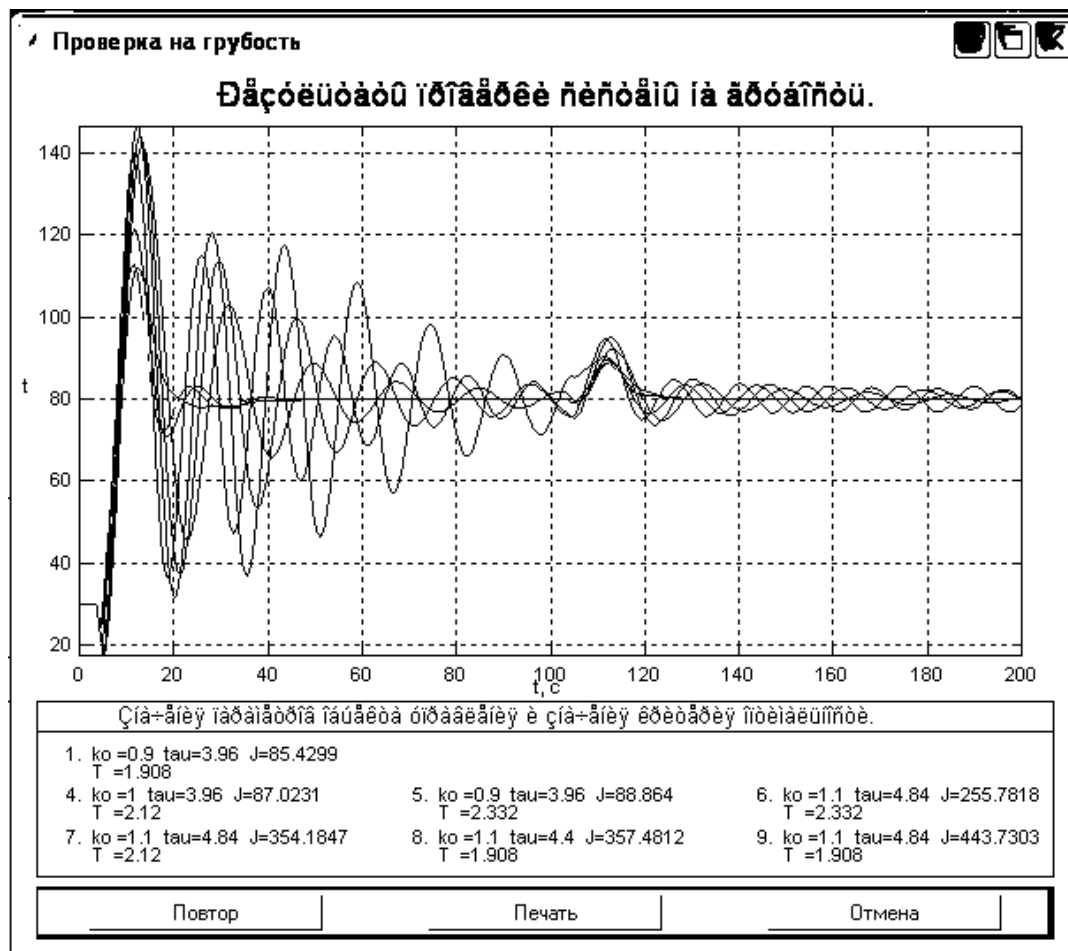


Рис. 3.6 – Результати перевірки САР на грубість

Згідно з результатами, що представлені на рисунку 3.6, можна зробити висновок що система значно груба при налаштуванні ПІД-регулятора та оптимізації його параметрів за відповідним показником якості роботи системи.

3.4 Розробка моделі САУ з нечіткими регуляторами (НР) для об'єкта з нелінійними характеристиками за каналами регулювання

Нечітка логіка в ПІД-регуляторах використовується переважно двома шляхами: для побудови самого регулятора і для організації підстроювання коефіцієнтів ПІД-регулятора. Оба шляхи можуть використовуватися в ПІД-контролері одночасно. В нашому випадку нечітка логіка використовується для побудови самого регулятора за відомими схемами. Складність опису статичних режимів роботи об'єкта приводить до того, що режими функціонування можуть бути описані з недостатньою точністю, пов'язаною з нечіткими (розмитими) різними експериментальними даними. Таким чином, у справжній роботі була реалізована модель САУ із Fuzzy – нечітким регулятором.

В 1974 році Мамдани [Mamdani] показав можливість застосування ідей нечіткої логіки для побудови системи керування динамічним об'єктом, а роком пізніше вийшла публікація [Mamdani], у якій був описан нечіткий ПІ-регулятор і його застосування для керування парогенератором. З того часу область застосування нечітких регуляторів постійно розширюється, збільшується різноманітність їх структур і виконавчих функцій.

Нечіткий регулятор, що розробляється у даній роботі, являє собою об'єднання на деякій елементній базі трьох блоків фазіуправління: фазіфікація, логічного висновку і дефазіфікація. Спрощена структурна схема розробляємої системи керування на базі нечіткого регулятора представлена на рисунку 3.7.

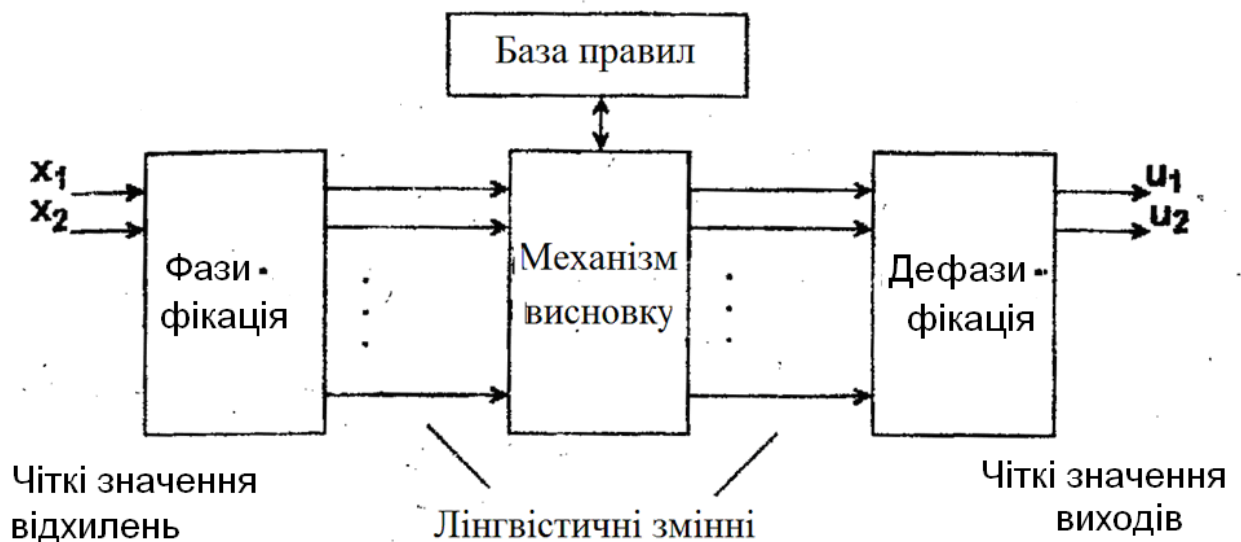


Рисунок 3.7. Спрощена структурна схема нечіткого регулятора

З погляду структури дана схема регулятора нічим не відрізняється від схем класичних нечітких регуляторів і будується за класичними зразками. Всі визначені блоки (фазіфікація, блок логічного розв'язку, дефазіфікація), що представлені на рисунку 3.7, редагуються у відповідному редакторі FIS Editor середовища MATLAB. Для запуску вікна fis-редактора в командному вікні MATLAB Window commander було прописано команду «Fuzzy». Після чого було вибрано алгоритм Sugeno та дві вхідні і дві вихідні змінні.

На рисунку 3.8 зображено вікно налаштування fis-файлу для нечіткого регулятора розрідження P_4 в чаші масажеру з відповідними вхідними та вихідними сигналами.

До теперішнього часу запропоновано кілька алгоритмів нечіткого висновку (алгоритм Мамдані, Цукамото, Ларсена, Сугено та ін.). У даній роботі представляється алгоритм Сугено 0-порядку, так як він являється найпростішим алгоритмом нечіткого виводу.

Формально алгоритм Сугено, запропонований Сугено та Такагі, може бути визначений таким чином.

У базі правил використовуються тільки правила нечітких продукцій в формі:

ПРАВИЛО <1>: ЯКЩО $(x \in A_1 \mid y \in B_1)$, ТО, $z_1 = f(x_1, \dots, x_n)$,

ПРАВИЛО <2>: ЯКЩО $(x \in A_2 \mid y \in B_2)$, ТО, $z_2 = f(x_1, \dots, x_n)$,

де x, y - вхідні змінні, A_i, B_i - чисельні значення вхідних параметрів,

$z_1 = f(x_1, \dots, x_n)$ - довільна чітка функція.

Згідно з алгоритмом вихідні правила мають

функції: $z_1^* = a_1 \cdot x_0 + b_1 \cdot y_0$ та $z_2^* = a_2 \cdot x_0 + b_2 \cdot y_0$. Таким чином, результат дефазифікації обчислюється наступним чином:

$$z_0 = \frac{c_1 \cdot z_1^* + c_2 \cdot z_2^*}{c_1 + c_2}.$$

Якщо як опція f використовується поліном $f(x) = C$, то говорять про *алгоритм Сугено 0-порядку*. Тоді правила будуть мати наступний вигляд:

ПРАВИЛО <1>: ЯКЩО $(x \in A_1 \mid y \in B_1)$, ТО, $z_1 = C_1$,

ПРАВИЛО <2>: ЯКЩО $(x \in A_2 \mid y \in B_2)$, ТО, $z_2 = C_2$,

де C_1, C_2 - звичайні (чіткі) числа.

Далі алгоритм виконується за наступними етапами:

1. Фазифікація вхідних змінних. На цьому етапі всім відомим конкретним значенням вхідних змінних системи нечіткого виведення ставиться у відповідність нечітку множину, тобто множина значень A_1, A_2, B_1, B_2 .

2. Агрегування передумови в нечітких правилах продукцій. Для знаходження ступеня істинності умов всіх правил нечітких продукцій, як правило, використовується логічна операція *мін-кон'юнкції*. Ті правила, ступінь істинності умов яких відмінна від нуля, вважаються активними і використовуються для подальших розрахунків.

3. Активізація висновків в нечітких правилах продукцій. Для заданого (чіткого) значення аргументу $x = x_0, y = y_0$ знаходяться ступеня істинності для передумов кожного правила. Далі знаходяться значення ступенів істинності всіх висновків правил нечітких продукцій з використанням методу *мін-активізації*:

$$\alpha_1 = \min(\mu_{A_1}(x_0), \mu_{B_1}(y_0)),$$

$$\alpha_2 = \min(\mu_{A_2}(x_0), \mu_{B_2}(y_0)).$$

4. Акумуляція висновків нечітких правил продукцій. Фактично відсутня, оскільки

розрахунки здійснюються із звичайними дійсними числами y_j .

5. Дефазифікація вихідних змінних. Використовується модифікований варіант у формі методу центру тяжіння для одноточкових множин:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot C_i)}{\sum_{i=1}^n (\alpha_i)}$$

де n – загальна кількість активних правил нечітких продукцій

Розглядаючи структуру управління, можна визначити наступні п'ять правил функціонування НЛР у форматі «if – then», як показано вище у форматі (1):

П1: Якщо похибка регулювання e_1 належить нечіткій множині «велика позитивна РЕ» і приріст похибки регулювання Δe_1 належить множині «приблизно нульова Z », то керуюча дія $u_1 = w_1$, а приріст керуючої дії $\Delta u_1 = w_2$;

П2: Якщо похибка регулювання e_1 належить нечіткій множині «велика негативна НЕ» і приріст похибки регулювання Δe_1 належить множині «приблизно нульова Z», то керуюча дія $u_1 = -w_1$, а приріст керуючої дії $\Delta u_1 = -w_2$;

П3: Якщо похибка регулювання e_1 належить нечіткій множині «приблизно нульова Z» і приріст похибки регулювання Δe_1 належить множині «приблизно нульова Z», то керуюча дія $u_1 = 0$, а приріст керуючої дії $\Delta u_1 = 0$;

П4: Якщо похибка регулювання e_1 належить нечіткій множині «приблизно нульова Z» і приріст похибки регулювання Δe_1 належить множині «велика позитивна РЕ», то керуюча дія $u_1 = w_1$, а приріст керуючої дії $\Delta u_1 = w_2$;

П5: Якщо похибка регулювання e_1 належить нечіткій множині «приблизно нульова Z» і приріст похибки регулювання Δe_1 належить множині «велика негативна НЕ», то керуюча дія $u_1 = -w_1$, а приріст керуючої дії $\Delta u_1 = -w_2$.

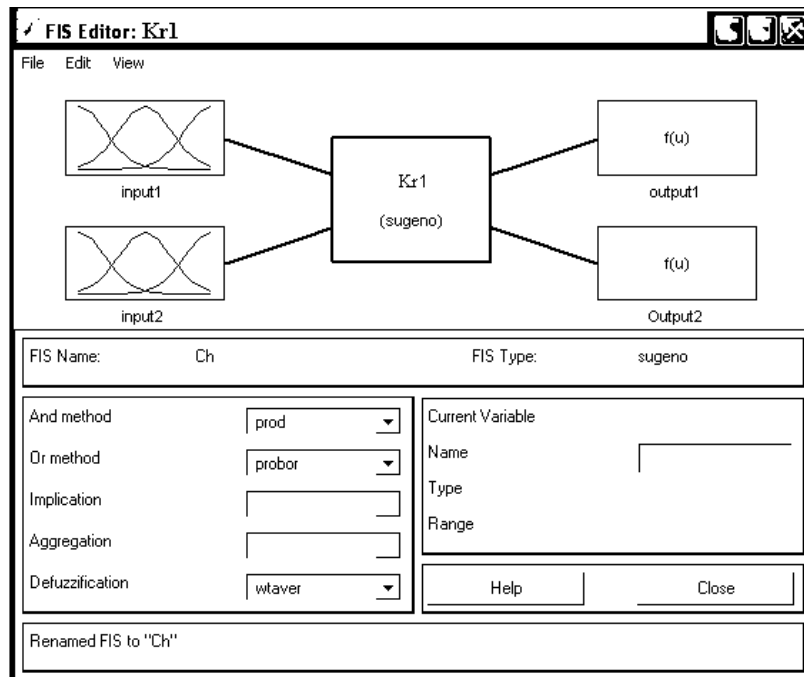


Рисунок 3.8. Вікно редактора нечіткого регулятора з двома входами і двома виходами сигналів

Відповідно вище представленим правилам складемо таблицю баз знань для НЛР розрідження Р_ч.

Як видно з рисунку 3.8, на вхід даного нечіткого регулятора будуть подаватись дві змінні – помилка регулювання (input1) та приріст помилки регулювання (input2). Для змінної input1 задаємо три трикутні функції приналежності «trimf». Це проста функція приналежності і найбільш часто застосовується. Трикутна функція приналежності задається наступною аналітичної формулою:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

[a, c] – діапазон зміни змінної, для справжнього випадку a = - 70, c =70;

b - найбільш можливе значення змінної

Всі функції приналежності були визначені у відповідному редакторі на базі експертних даних. На рисунку 3.9 зображено вікно налаштування функцій приналежності mf1, mf2, mf3 до нечітких множин похибка регулювання «велика негативна», «приблизно нульова», «велика позитивна» відповідно. Також були визначені функції приналежності mf1, mf2, mf3 до нечітких множин приріст похибки регулювання «великий негативний», «приблизно нульовий» та «великий позитивний», які представлені на рисунку 3.10.

Згідно з таблицею 1 бази правил функціонування регулятора, були прописані відповідні правила у вікні редактора правил функціонування нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink. Це вікно з відповідними правилами зображено на рисунку 3.11.

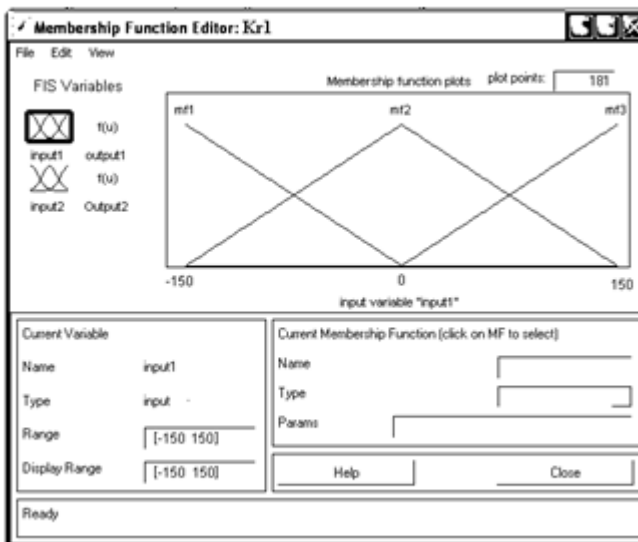


Рисунок 3.9. Вікно формування функцій приналежностей до нечітких безлічей помилка PE, Z, NE редактора нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

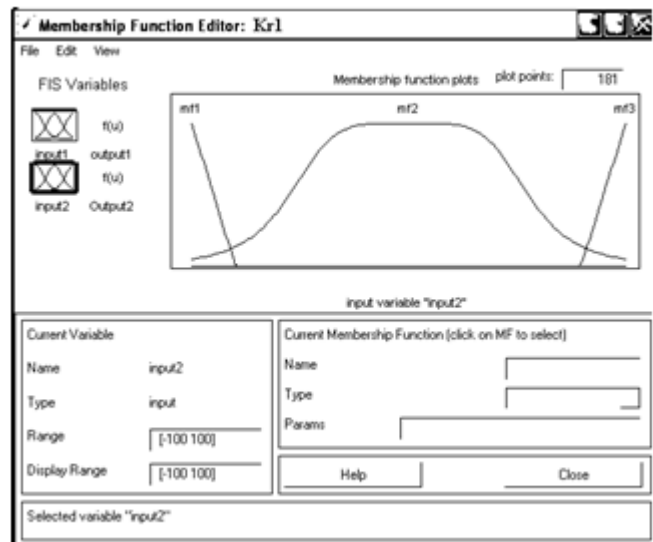


Рисунок 3.10. Вікна формування функцій приналежностей до нечітких безлічей збільшення значення помилки PE, Z, NE редактора нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

При дефазифікації вихідних змінних використовується модифікований варіант у формі методу центру тяжіння для одноточкових множин згідно з наступною формулою:

$$y_{out} = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot C_i)}{\sum_{i=1}^n (\alpha_i)}$$

де n – загальна кількість активних правил нечітких продукцій, у нашому випадку – 5 правил;

$\alpha_1 = \min(\mu_{A_1}(x_0), \mu_{B_1}(x_0))$, $\alpha_2 = \min(\mu_{A_1}(x_0), \mu_{B_2}(x_0))$ – значення ступенів істинності всіх висновків правил нечітких продукцій з використанням методу min-активізації.

У даному випадку вихідні значення сигналів C_i згідно з алгоритмом Сугено нульового порядку були визначені у вікні реактора, представленого на рисунках 3.12 і 3.13. Виходами синтезованого нечіткого регулятора визначені зміни «output1» та «output2». Вихід «output1» буде відпрацьовувати інтегральну І-складову регулятора, а «output2» – відповідно П-складову.

Таблиця 3.1 – Таблиця бази знань для нечіткого логічного регулятора розрідження $P_{\text{ч}}$ в чаші

$e_1 \quad \Delta e_1$	NE (Велика негативна Δe_1)	Z (приблизно нульова Δe_1)	PE (Велика позитивна Δe_1)
NE	–	$u_1 = -67;$ $\Delta u_1 = -0,7;$	–
Z	$u_1 = -67;$ $\Delta u_1 = -0,7;$	$u_1 = 0;$ $\Delta u_1 = 0;$	$u_1 = 60;$ $\Delta u_1 = 0,7;$
PE	–	$u_1 = 60;$ $\Delta u_1 = 0,7;$	–

Для запуску синтезованого алгоритму перетягнуто на робоче поле створення моделі SIMULINK блок «Fuzzy Logic Controller» зі стандартної бібліотеки. У відкритому вікні «Fuzzy Logic Controller» було записано в запропонованому полі ім'я fis-файлу, а в головному вікні налаштування fis-файлу було вибрано File / Save to Workspace для завантаження у робочій простір середовища MATLAB нечіткого алгоритму управління.

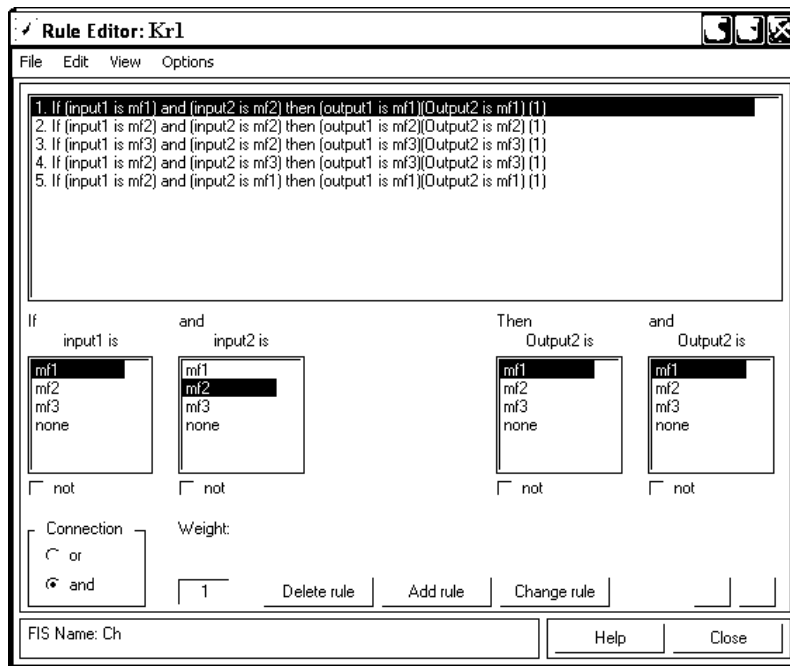


Рисунок 3.11. Вікно редактора правил функціонування нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

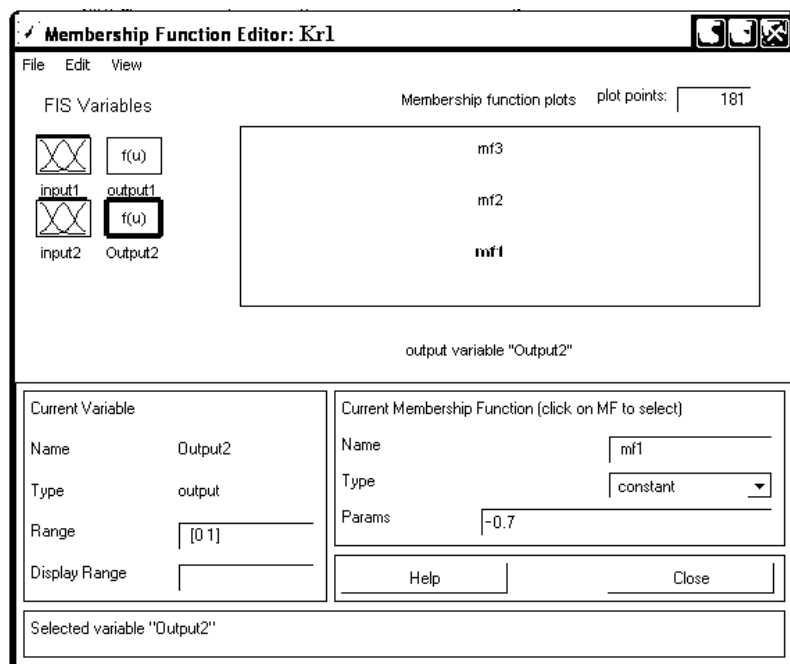


Рисунок 3.12. Вікно редактора вихідних значень нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

У кінцевому випадку була визначена схема моделювання САУ з нечітким регулятором, яка представлена на рисунку 3.14. З рисунку 3.14 видно, що управляюча дія нечіткого регулятора формується з декілька складових за формулою:

$$u(t) = u_1(t) + (u_2(t - \tau_z) + \Delta u_2)$$

де $u_1(t)$ – управляюча дія П-складової регулятора;

$\Delta u_2 = u_2(t) - u_2(t - \tau_z)$ – приріст управляючої дії від нечіткого регулятора;

$u_2(t - \tau_z)$ – управляюча дія з затримкою за часом τ_z .

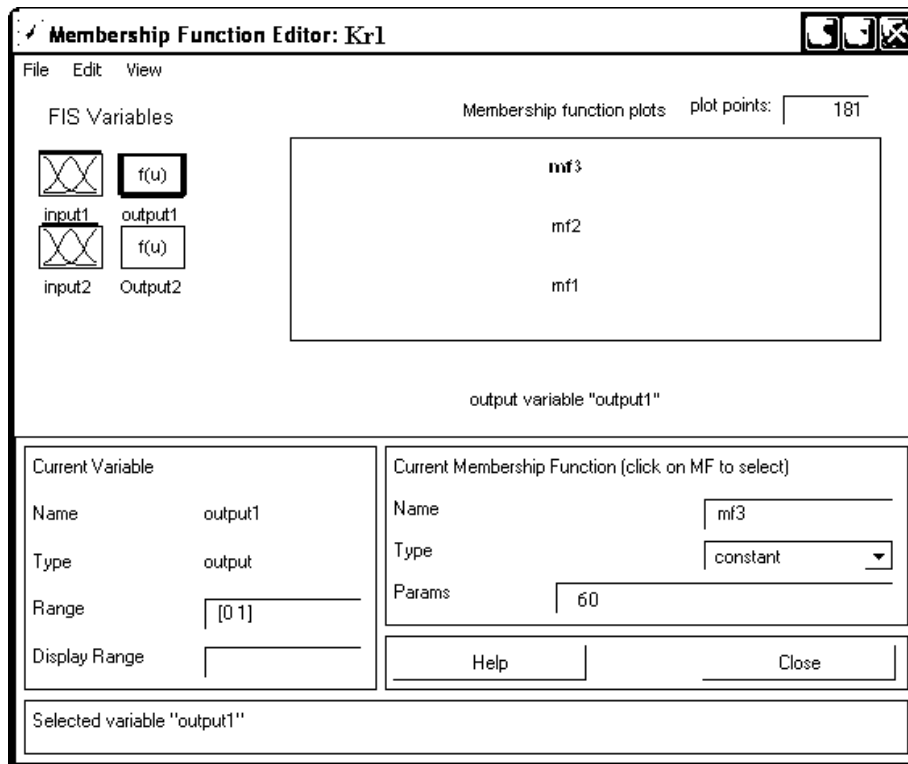
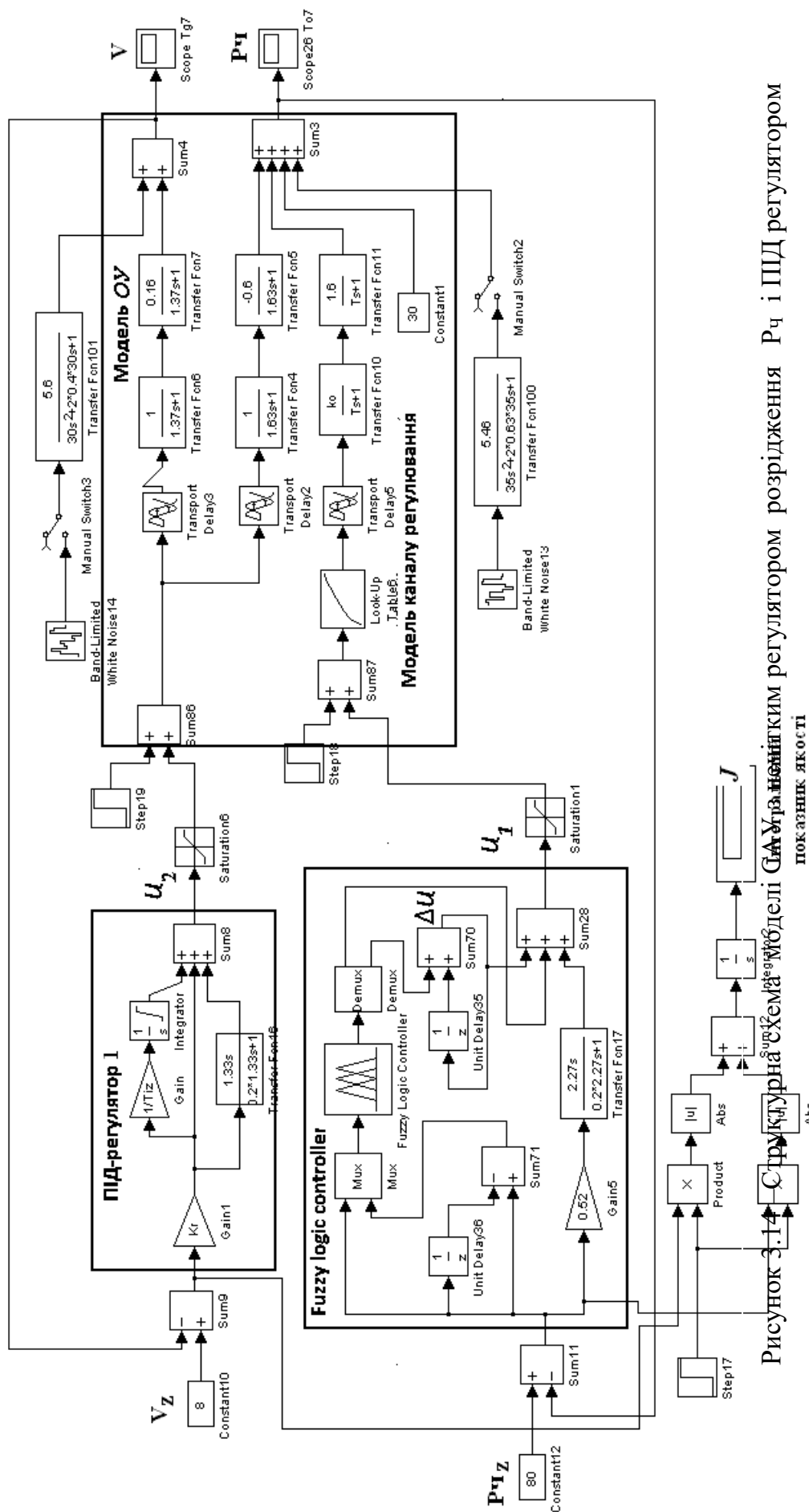


Рисунок 3.13. Вікно редактора вихідних значень нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

Аналогічним чином можливо синтезувати нечіткий регулятор для регулювання кількості оборотів масажера за хвилину V . Вікно налаштування *fis*-файлу для нечіткого регулятора кількості обертів масажера за хвилину V з відповідними вхідними та вихідними сигналами представлено на рисунку 3.15. Функції приналежності що представлені на рисунку 3.16 мають вигляд відповідно до іншого діапазону регулювання. База правил функціонування згідно з нечітким висновком Сугено 0-порядку така ж сама як у нечіткого регулятора розрідження у $P_{\text{ч}}$ в чаші, але вихідні лінгвістичні зміни мають інші значення.



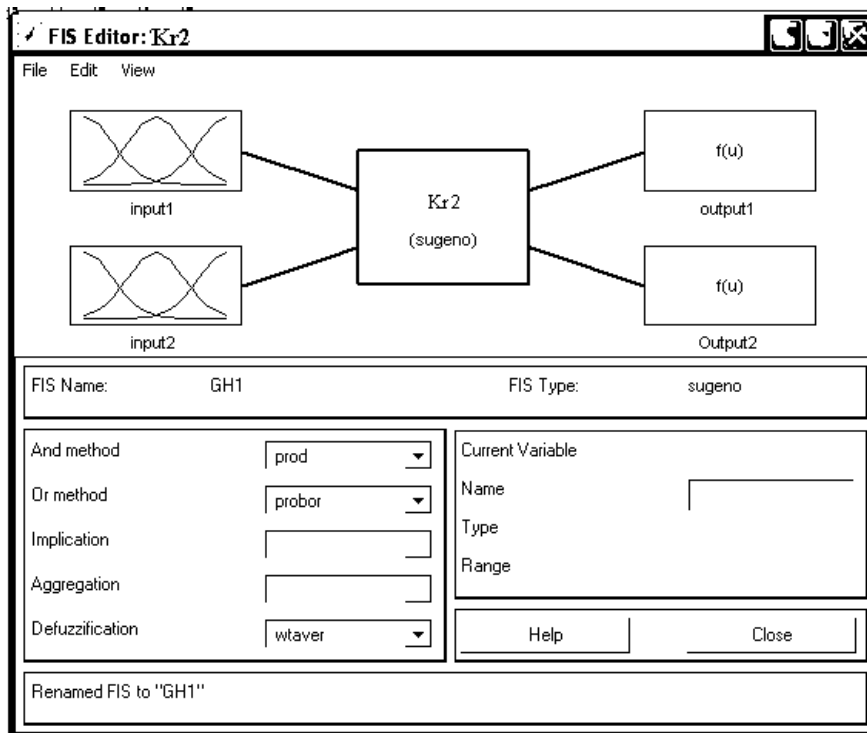


Рисунок 3.15. Вікно редактора нечіткого регулятора кількості обертів за вилину V з двома входами і двома виходами сигналів

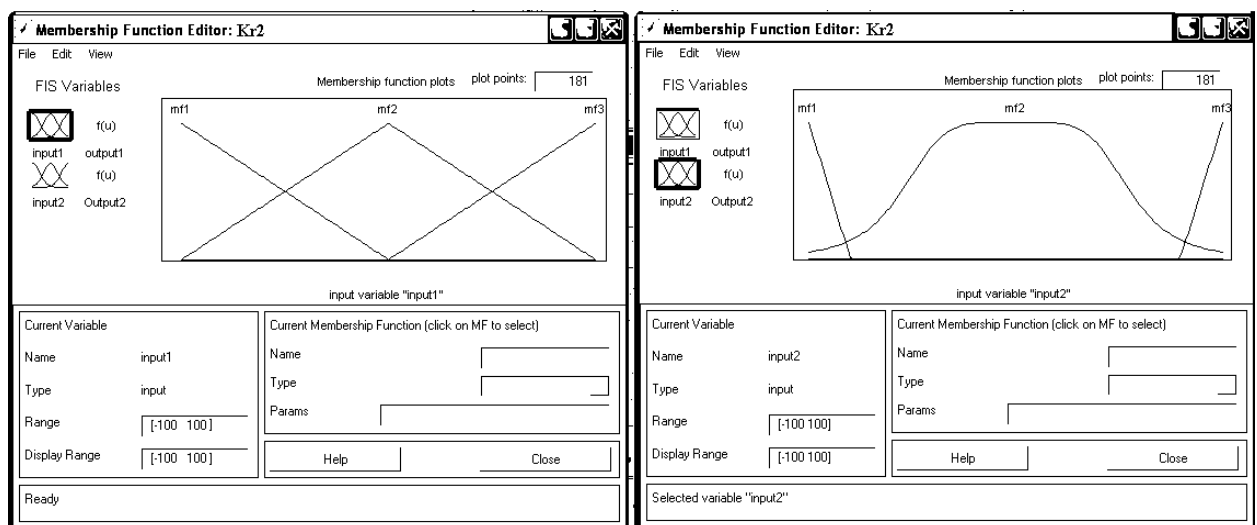


Рисунок 3.16. Вікна формування функцій приналежностей до нечітких безлічей помилка PE, Z, NE редактора нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

Так на рисунку 3.18 . представлені вікна редактора вихідних значень нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink на основі яких можливо сформувати таблицю бази правил нечіткого регулятора кількості обертів масажера за хвилину V. Відповідна таблиця 3.2 представлена, на основі якої можливо записати всі правила логічного рішення згідно з алгоритмом Сугено _0 порядку.

Значення лінгвістичних змінних та відповідні функції приналежності багаторазово

коректувалися для забезпечення відповідної якості роботи нечіткого регулятора.

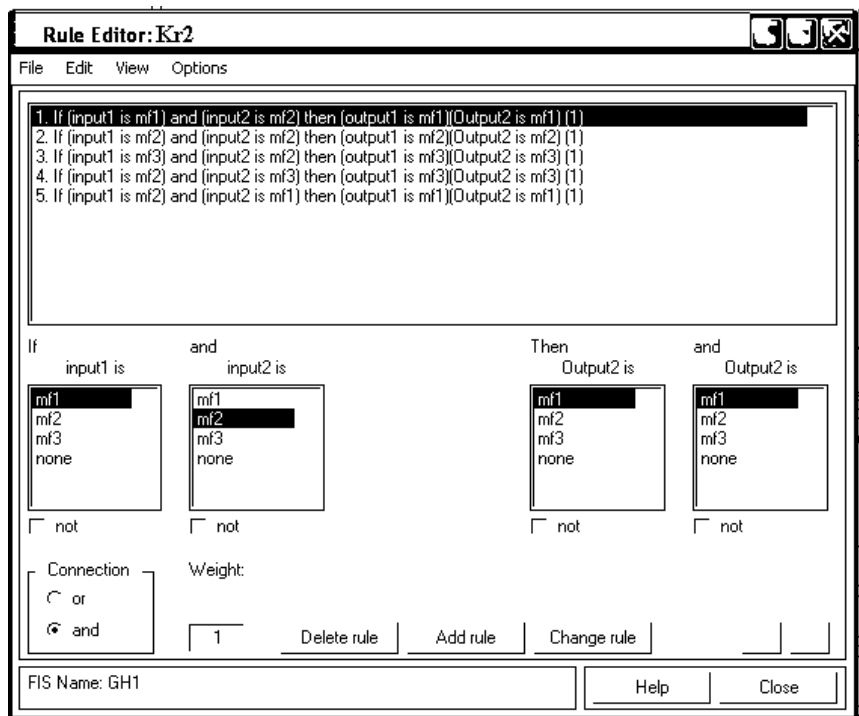


Рисунок 3.17. Вікно редактора правил функціонування нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

Таблиця 3.2 – Таблиця бази знань для нечіткого регулятора кількості обертання масажеру за хвилину V

$e_1 \backslash \Delta e_1$	NE (Велика негативна Δe_1)	Z (приблизно нульова Δe_1)	PE (Велика позитивна Δe_1)
NE	—	$u_1 = -58;$ $\Delta u_1 = -1.2;$	—
Z	$u_1 = -58;$ $\Delta u_1 = -1.2;$	$u_1 = 0;$ $\Delta u_1 = 0;$	$u_1 = 58;$ $\Delta u_1 = 1.2;$
PE	—	$u_1 = 50;$ $\Delta u_1 = 1.2;$	—

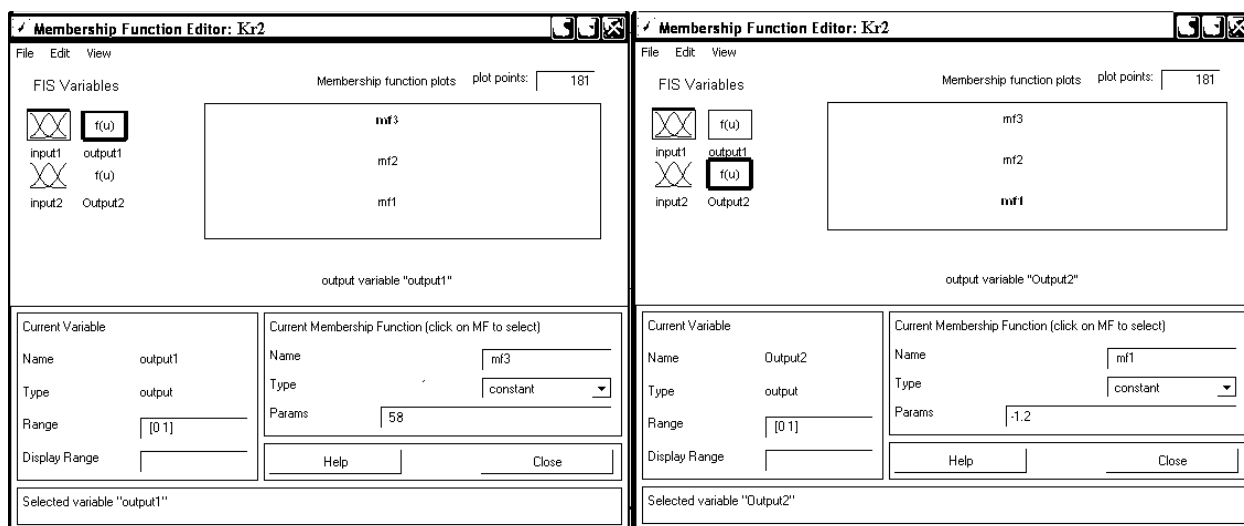


Рисунок 3.18. Вікно редактора вихідних значень нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

Була розроблена також модель САУ з нечіткими регулятора структурна схема яка представлена на рисунку 3.19. В програмному середовищі MATLAB\Simulink було проведено моделювання різних САУ структурні схеми які представлені на рисунках 3.14 та 3.19. В результаті моделювання були отримані графіки перехідних процесів за розрідженням P_4 в чаші при використанні нечіткого і традиційного ПІД регулятора і графіки перехідних процесів в САУ з нечітким регулятором кількості обертів масажеру за хвилину V . Були отримані графіки перехідних процесів з виходу системи на номінальний режим функціонування і також перехідні процеси при детермінованому впливі, що збурює. Для порівняльного аналізу також були представлені відповідні графіки перехідних процесів у САУ з традиційним ПІД-регулятором. З графіків перехідних процесів що представлені на рисунках 3.20 та 3.21 можливо побачити що САУ з нечітким регулятором розрідження P_4 та за кількістю обертів масажеру за хвилину V функціонує за якістю регулювання також само як САУ з традиційними ПІД регуляторами.

Підвищення якості регулювання можливо при перетворенні нечітких регуляторів в нейрорегулятори за відповідною методикою та оптимізації параметрів цих нейрорегуляторів за визначеними критеріями якості роботи системи.

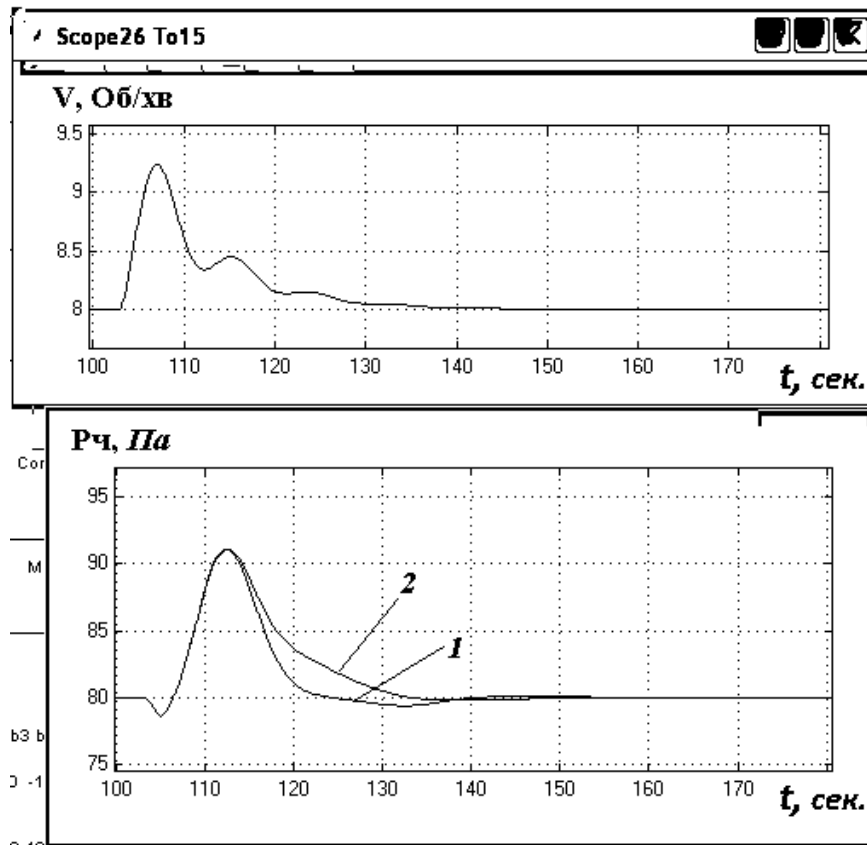


Рисунок 3.20. Графіки перехідних процесів що отримані в результаті моделювання різних САУ, графіки 1– перехідний процес у САУ з ПІД регулятором; 2 – перехідний процес у САУ з нечітким регулятором розрідження V в чаші

Іншому випадку реалізація нечіткого регулятора може бути виконано при умові якщо відомі не вихідні значення регулятора при відповідних похибках регулювання а вихідні функції приналежності значень управляючого впливу. В даному випадку теж необхідно визначити функції приналежності до нечітких множин вологість M «велика» PE , «нормальна» Z , та «занадто мала» NE . А далі висновок може бути зроблений згідно з алгоритмом Мамдані.

Алгоритм Мамдані — алгоритм [нечіткого логічного виводу](#) по базі знань (базі правил) формується в предметній області у вигляді нечітких предикатних правил виду:

П1: якщо $x \in A_1$, тоді $z \in B_1$,

П2: якщо $x \in A_2$, тоді $z \in B_2$,

.....

Пn: якщо $x \in A_n$, тоді $z \in B_n$,

де x — вхідна змінна(ім'я для відомих значень даних), z — змінна виводу(ім'я для значення даних, яке буде обчислене). A_i та B_i — [нечіткі множини](#), визначені на X та Z відповідно за допомогою [функції приналежності](#) та (z) .

У представлений ситуації даних вивід у формі алгоритму Мамдані математично можна представити наступним чином.

1. Введення нечіткості (fuzzification): для заданого(чіткого) значення аргументу $x = x_0$ знаходяться степені істинності для передумов кожного правила $a_i = (x_0)$.

2. Нечіткий вивід: знаходиться рівні відсічення для передумов кожного з правил (з використання правила мінімуму):

$$\alpha_1 = A1(x_0) \wedge B1(y_0)$$

$$\alpha_2 = A2(x_0) \wedge B2(y_0)$$

де через $\wedge$ позначено операцію логічного мінімуму.

Потім знаходяться усічені функції належності:

$$C'_1(z) = (\alpha_1 \wedge C_1(z))$$

$$C'_2(z) = (\alpha_2 \wedge C_2(z))$$

3. Композиція: з використанням операції $\max$ (позначеної як $\vee$) виконується об'єднання знайдених усічених функцій, що приводить до отримання підсумкової нечіткої підмножини для змінної виходу з функцією належності.

$$M(z) = C(z) = C'_1(z) \vee C'_2(z) = (\alpha_1 \wedge C_1(z)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(z))$$

Таким чином, для переходу від Сугено 0-го порядку до алгоритму Мамдані необхідно визначити вихідні функції приналежності $C_1(z)$, $C_2(z)$, $C_3(z)$ замість відповідних значень W_2 , W_2 , та C_1 , C_2 . На рисунках 3.18 та 3.19 представлені такі відповідні вихідні функції приналежності к множинам – «приріст управляючого впливі» великий (PE), «приріст управляючого впливі» приблизно нульовий (Z), «приріст управляючого впливі» від'ємний (NE).

Приведення до чіткості ([дефазифікації](#)). для моделі Мамдані використовують [дефазифікація центроїдним методом](#), коли чітке значення вихідної змінної визначається як центр ваги для кривої результуючої функції приналежності $\mu_{\Sigma}(z)$.

Для виконання чисельних розрахунків на етапі дефазифікації для алгоритму Мамадані використана формула центру ваги (*тяжіння*) ([англ. Centre of Gravity, CoG](#)) або центроїд площі що розраховується за формулою:

$$y = \frac{\int_{min}^{max} x \cdot \mu(x) \cdot dx}{\int_{min}^{max} \mu(x) \cdot dx},$$

де y – результат дефазифікації; x – змінна, що відповідає вихідній лінгвістичній змінній

$w_i; \mu(x)$ – функція приналежності нечіткої множини, що відповідає вихідній змінній w після етапу акумуляції; min, max – ліва та права точки інтервалу носія нечіткої множини вихідної змінної w .

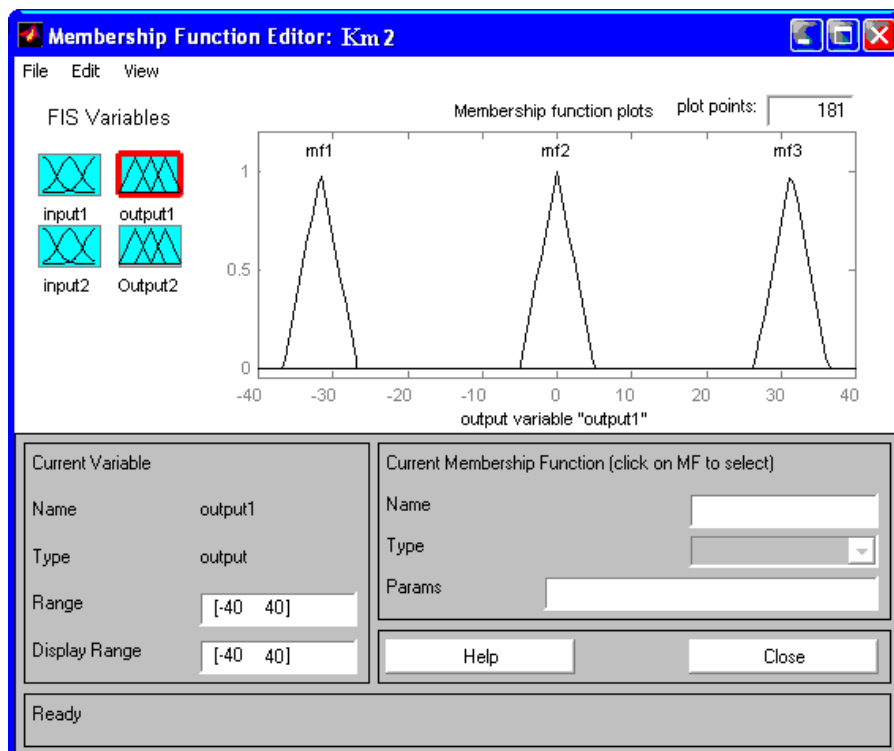


Рисунок 3.18 Вікно формування вихідних функцій приналежностей до нечітких безлічей – «управляючий вплив PE, Z, NE» для алгоритму Мамдані

При дефазифікації методом центру тяжіння звичайне (чітке) значення вихідної змінної дорівнює абсцисі центру ваги площі, обмеженою графіком кривої функції приналежності відповідної вихідної змінної.

Перехідні процеси що були отримані при моделюванні САУ з нечітким регулятором що має нечіткий висновок Мамдані не відрізняються від інших отриманих при моделюванні САУ з Під-регулятором

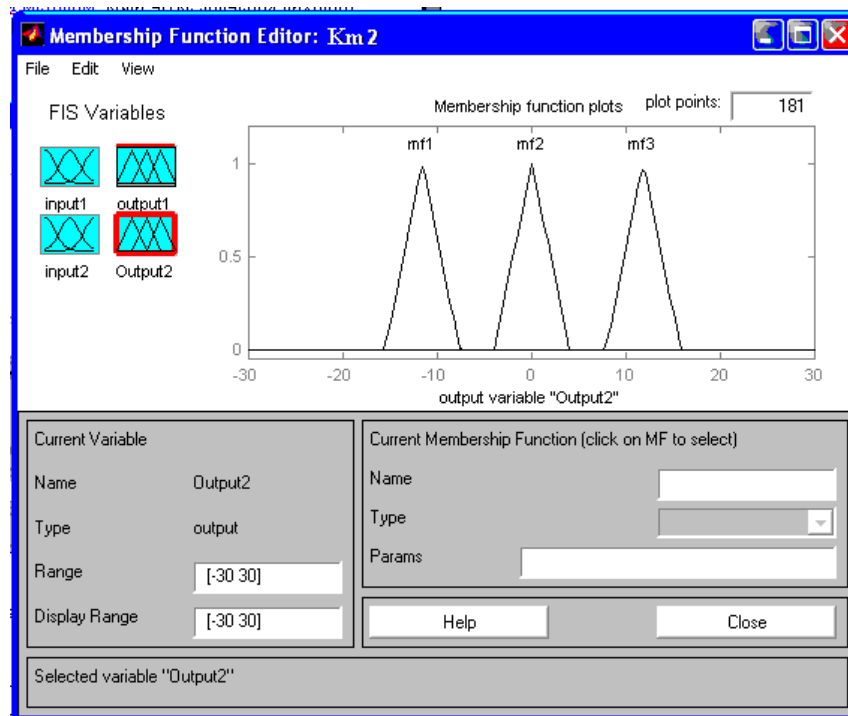


Рисунок 3.19 Вікна формування вихідних функцій приналежностей до нечітких безлічей – «збільшення управляючого впливу PE, Z, NE» для алгоритму Мамдані

Таким чином буде подальше перетворення нечіткого регулятора за нечітким висновком Сугено 0-порядку в нейрорегулятор для реалізації процесу оптимізації та покращення якості регулювання.

3.5 Обґрунтування актуальності застосування нейромережевих алгоритмів управління

В історії розвитку теорії автоматичного керування чітко виділяються три етапи. Першим був етап класичної детермінованої теорії автоматичного регулювання, що охопив період часу з кінця XIX по 40-і роки XX століття. У цей період основними завданнями керування було забезпечення стійкості і відповідної якості перехідних процесів. Другий етап теорії керування почався в 40—50-х роках XX-го століття і тривав приблизно до середини 70-х років. Це — етап класичної стохастичної теорії автоматичного регулювання. Він характеризується новою постановкою основного завдання теорії керування: врахувати випадкові збурювання, що діють на систему, і забезпечити якісну роботу в умовах постійно діючих перешкод.

Наприкінці XX-го століття в розвитку теорії автоматичного керування почався новий етап, пов'язаний з адаптивною постановкою основного завдання керування. Його особливість полягає у відсутності споконвічних знань про математичну модель об'єкта керування, будь то диференціальні рівняння або щільності ймовірностей випадкових зовнішніх впливів. Об'єкт — це чорний ящик, що зазнає невідомі випадкові впливи. Нам доступні тільки його входи і виходи. Ціль системи керування (СК) полягає в тому, щоб уже в процесі функціонування визначити закон регулювання, що забезпечує оптимальну поведінку об'єкта. Для розв'язання цього завдання на додаток до основного контуру до системи керування вводиться контур адаптації (Рисунок 3.21).

З самого початку третього етапу величезна увага приділялася адаптивному керуванню лінійними стаціонарними об'єктами з невідомими параметрами (наприклад, широко використовуються методики, що опираються на побудову спостерігачів). У рамках цього підходу в 80-х роках почалося використання ШНМ для розв'язання завдань керування. Отримані результати показали, що ШНМ являють собою не просто нову методику в теорії автоматичного керування, а цілу парадигму. Для нового напрямку в теорії керування була введена окрема назва — нейроуправління (neurocontrol).

Штучні нейронні мережі (ШНМ) у цей час знаходять широке застосування в самих різних предметних областях. Одним з важливих напрямків використання штучних нейронних мереж є нейроуправління в системах автоматичного керування різних типів. Нейроуправління — це окремий випадок інтелектуального керування, при якому у якості інструмента для розв'язку завдань керування застосовуються штучні нейронні мережі. Потенційними областями застосування штучних нейронних мереж є ті, де людський інтелект

малоефективний, а традиційні обчислення трудомісткі або фізично неадекватні. Актуальність застосування нейронних мереж багаторазово зростає, коли з'являється необхідність розв'язку погано формалізованих задач. Основні області застосування нейронних мереж: автоматизація процесу класифікації, автоматизація прогнозування, автоматизація процесу розпізнавання, автоматизація процесу прийняття розв'язків; управління, кодування і декодування інформації; апроксимація залежностей і ін.

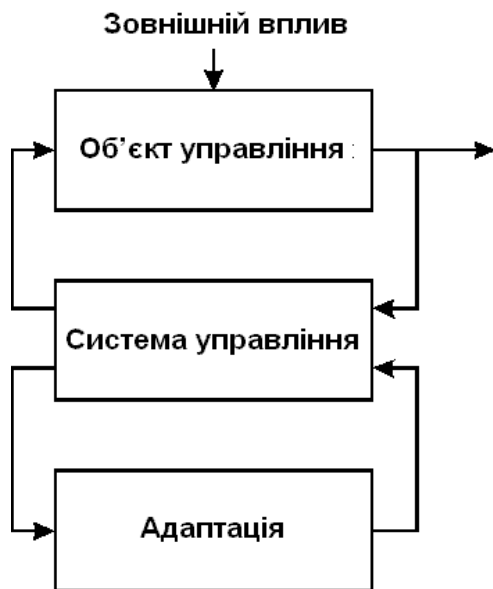


Рисунок 3.21. Загальна схема адаптивної системи керування

Штучна нейронна мережа як нейрорегулятор здійснює нелінійне перетворення вхідного сигналу і формування управляючого впливу. При цьому регулятор може мати велику кількість оптимізованих параметрів (коефіцієнтів міжнейронних зв'язків), що дає можливість оптимізувати його практично під будь-який об'єкт з нелінійною статичною характеристикою. У даній роботі нейрона мережа – це математична модель з параметрами, що оптимізуються, яка буде виконувати функції розробленого раніше нечіткого логічного регулятора.

3.6 Синтез моделі САУ з нейрорегуляторами

Нейрорегулятор у нашому випадку – це штучна нейронна мережа, що характеризується нелінійними характеристиками. Завдяки цьому застосування нейрорегулятора на базі нейронної мережі дозволить досягти більш високих результатів в управлінні. Нейрона мережа – це послідовність нейронів (нейронелементів), з'єднаних між собою синапсами. Структура

нейронної мережі прийшла в світ програмування прямо з біології. Найбільш поширена структура – багат шарова, застосовується в якості регуляторів нейромережових алгоритмів управління.

У зв'язку з тим, що нечіткій регулятора визначає приріст управляючої дія як позитивне значення, так і негативне значення, то при синтезі нейронрегулятора необхідно вибрати функції активації нейронів, які приймають значення від -1 до 1. В нашому випадку буде використано гіперболічну тангенціальну функцію (tansig). Така функція дозволяє отримати на виході значення різних знаків (наприклад, від -1 до 1), що може бути необхідним в системі управління. Графічне представлення функції відображено на рисунку 3.22.

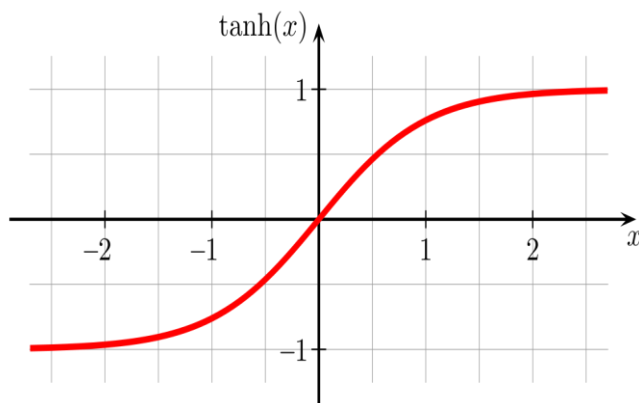


Рисунок 3.22. Графічне представлення функції активації штучного нейрона, що застосовується у нейрорегуляторі

Аналітично функція записується у наступному вигляді:

$$f(net) = \frac{2}{1 + \exp(-\alpha \cdot net)} - 1, \text{ де } net - \text{вхідний аргумент}$$

В одній з перших робіт з нейроуправління представляється дискретна СУ із НК, що одержує на вхід сигнал керування системою $u_r(k)$ і затримані в кілька разів сигнали з виходу об'єкта керування. У загальному випадку НК такого типу може одержувати і затримані сигнали зі свого виходу (рисунок 3.23). Таким чином, він формує керуючий вплив за наступним законом:

$$\mathbf{u}(k) = NN(\mathbf{y}(k), \mathbf{y}(k-1), \dots, \mathbf{y}(k-l_1), \mathbf{u}(k-1), \mathbf{u}(k-2), \dots, \mathbf{u}(k-l_2), \mathbf{u}_r(k)), \quad (5)$$

де l_1 і l_2 — глибини затримок зворотних зв'язків за виходом і входом об'єкта керування відповідно.

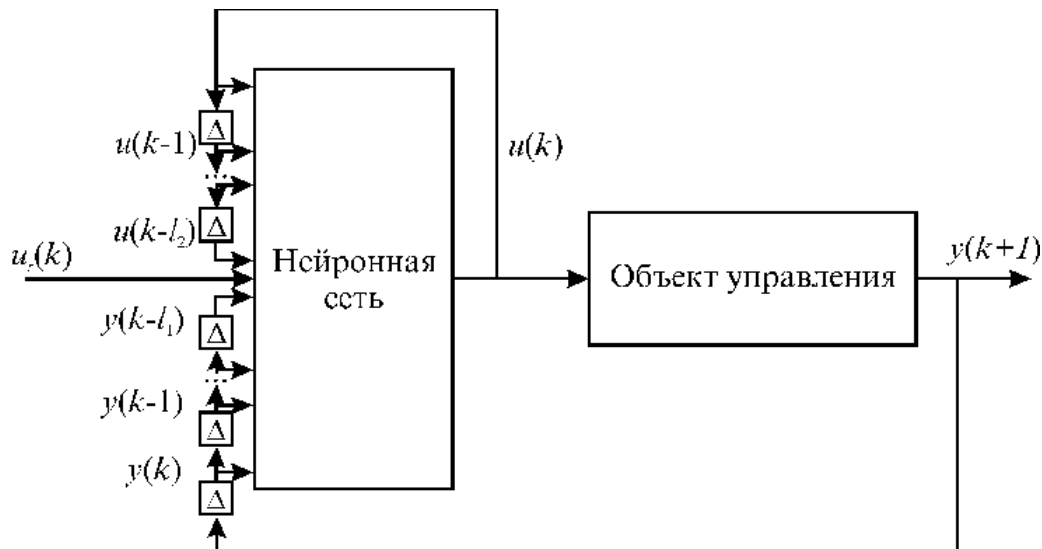


Рисунок 3.23 Система керування з нейроконтролером

Якщо перший тип САУ з комбінованим регулятором є компромісним розв'язком у рамках класичного підходу, то другий тип що представлений на рисунку 3.36 побудований тільки на ШНМ.

В цьому другому випадку нейрорегулятор буде представлений нейронною мережею з двома шарами, як показано на рисунку 3.24.

Метою навчання НК, у даному випадку, є одержання закону керування, що забезпечує задане (звичайно екстремальне) значення деякого функціонала якості I :

$$u(t) \Rightarrow I[y(t)] \rightarrow \text{ext}$$

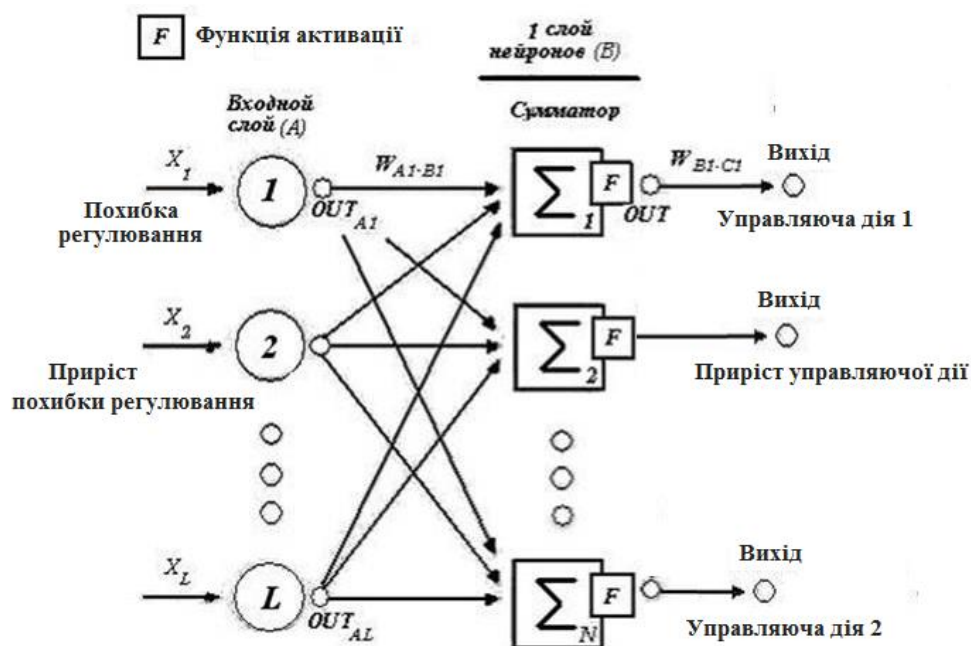


Рис. 3.24 – Одношарова нейронна мережа що виконую функції регулятора нейромережевого алгоритму управління

Такий функціонал відповідає за поточний стан системи як показано на рисунку 3.25.

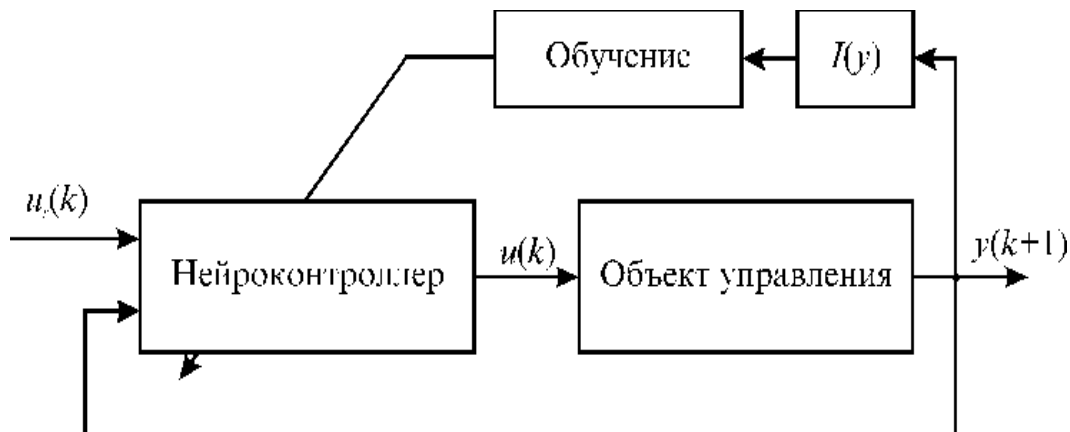


Рисунок 3. 25 Нейромержева система керування з екстремальним показником якості регулювання

Якщо розглядати другий варіант нейромержевого алгоритму управління то нейрорегулятор можливо спочатку налаштувати також за методом зворотного поширення. В цьому випадку треба визначити кількість визначених похибок регулювання для тренування нейтронної мережі. На рисунку 3.26 також зображені похибки на кожному нейроні для коректування ваг за методом зворотного поширення. Якщо така структура буде недостатня, то необхідно буде збільшити кількість нейронів в вхідному шарі мережі та збільшити кількість шарів до трьох.

Для визначення ваг між нейронними з'єднаннями за методом зворотного поширення було використано програмне середовище MATLAB, що дозволяє згенерувати задану нейронну мережу на базі вхідних і вихідних значень сигналів. Таким чином, для тренування нейронної мережі необхідно указати вхідні і вихідні значення сигналів нейрорегулятора, а точніше, значення похибок регулювання та приріст управляючого впливу.

Штучна нейрона мережа, що виконує роль регулятора, синтезується на базі характеристик нечіткого логічного регулятора. Ці характеристики представляються у табличній формі у вигляді вхідних і вихідних значень нечіткого регулятора (таблиця 3.3). Дані, представлені у таблиці 3.3, визначені на базі моделювання нечіткого регулятора.

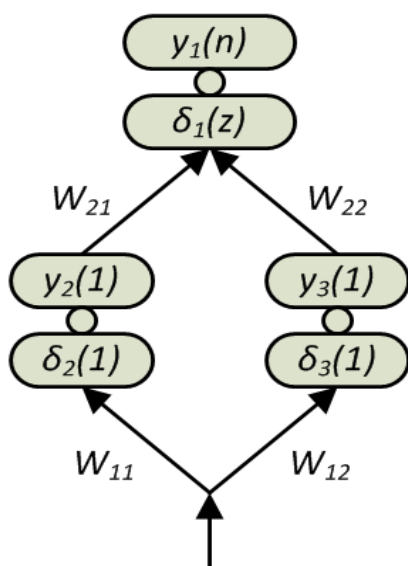


Рисунок 3.26 Структурна схема нейрорегулятора інтегральної або пропорційної складової

Далі створюємо М-файл в середовищі Matlab і в цьому файлі прописуємо команди для створення і навчання нашого нейрорегулятора. Вхідні і вихідні значення нейрорегулятора були отримані на основі характеристик нечіткого логічного регулятора, отриманих на основі схеми моделювання, представленої на рисунку 3.27.

Таблиця 3.3 – Вхідні та вихідні значення сигналів регулятора

№	l	u	Δu
1	- 80	-45	-1,05
2	- 20	- 10,4	-0,25
3	-1	- 0.52	- 0,0126
4	0	0	0
5	1	0.52	0,0126
6	20	10	0,25
7	80	41.5	1,05
8			

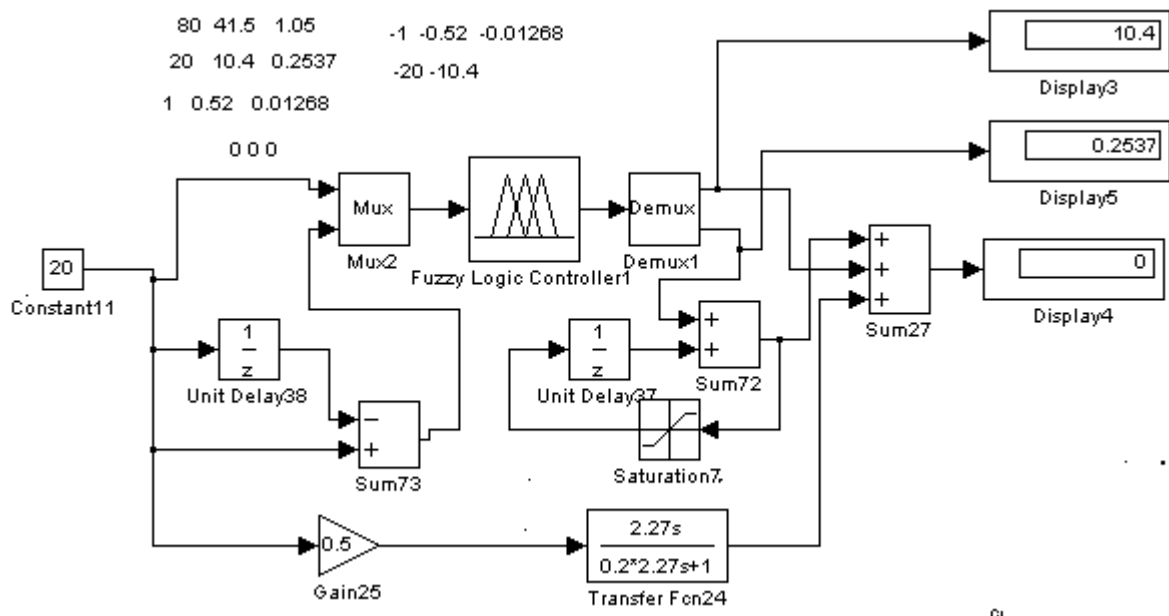


Рисунок. 3.27 – Схема моделювання для отримання даних для навчання нейронної мережі

В М-файлі було записано виконавчий код, що представлений на рисунках 3.28 і 3.29 відповідно для інтегральної та пропорційної складової регулятора. Представлений виконавчий код також можливо записати у командній строчці Matlab – command window, в результаті чого згенерується відповідна нейронна мережа.

В даному виконавчому коді p – вхідні значення нейромережі (похибка регулювання), t – відповідне значення виходу нейромережі. На третій строчці задаємо діапазон, кількість шарів нейромережі та функції активації. Також задаємо кількість кроків тренування, команду тренування нейромережі та генерації її у вікні Simulink.

```

» P=[-80 -20 -1 0 1 20 80];
» T=[-0.45 -0.104 0.005 0 0.005 0.104 0.41];
» net = newff([-100 100],[2 1],{'tansig','tansig'});
» net = newff([-100 100],[2 1],{'tansig','tansig'});
» net.trainParam.epochs=400;
» net=train(net, P, T);

```

TRAINLM, Epoch 0/400, MSE 0.796717/0, Gradient 9.72575/1e-010

TRAINLM, Epoch 25/400, MSE 0.00138341/0, Gradient 0.292179/1e-010

TRAINLM, Epoch 50/400, MSE 1.56287e-005/0, Gradient 0.0650436/1e-010

TRAINLM, Epoch 75/400, MSE 2.60415e-006/0, Gradient 0.00137607/1e-010

TRAINLM, Epoch 100/400, MSE 2.59579e-006/0, Gradient 0.00258039/1e-010

TRAINLM, Epoch 125/400, MSE 2.58076e-006/0, Gradient 0.00650486/1e-010

TRAINLM, Epoch 150/400, MSE 2.5393e-006/0, Gradient 0.000434069/1e-010

TRAINLM, Epoch 175/400, MSE 2.53028e-006/0, Gradient 0.000464432/1e-010
 TRAINLM, Epoch 200/400, MSE 2.51916e-006/0, Gradient 0.00062542/1e-010
 TRAINLM, Epoch 375/400, MSE 2.38161e-006/0, Gradient 2.19626e-005/1e-010
 TRAINLM, Epoch 400/400, MSE 2.38057e-006/0, Gradient 1.34874e-005/1e-010
 TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.

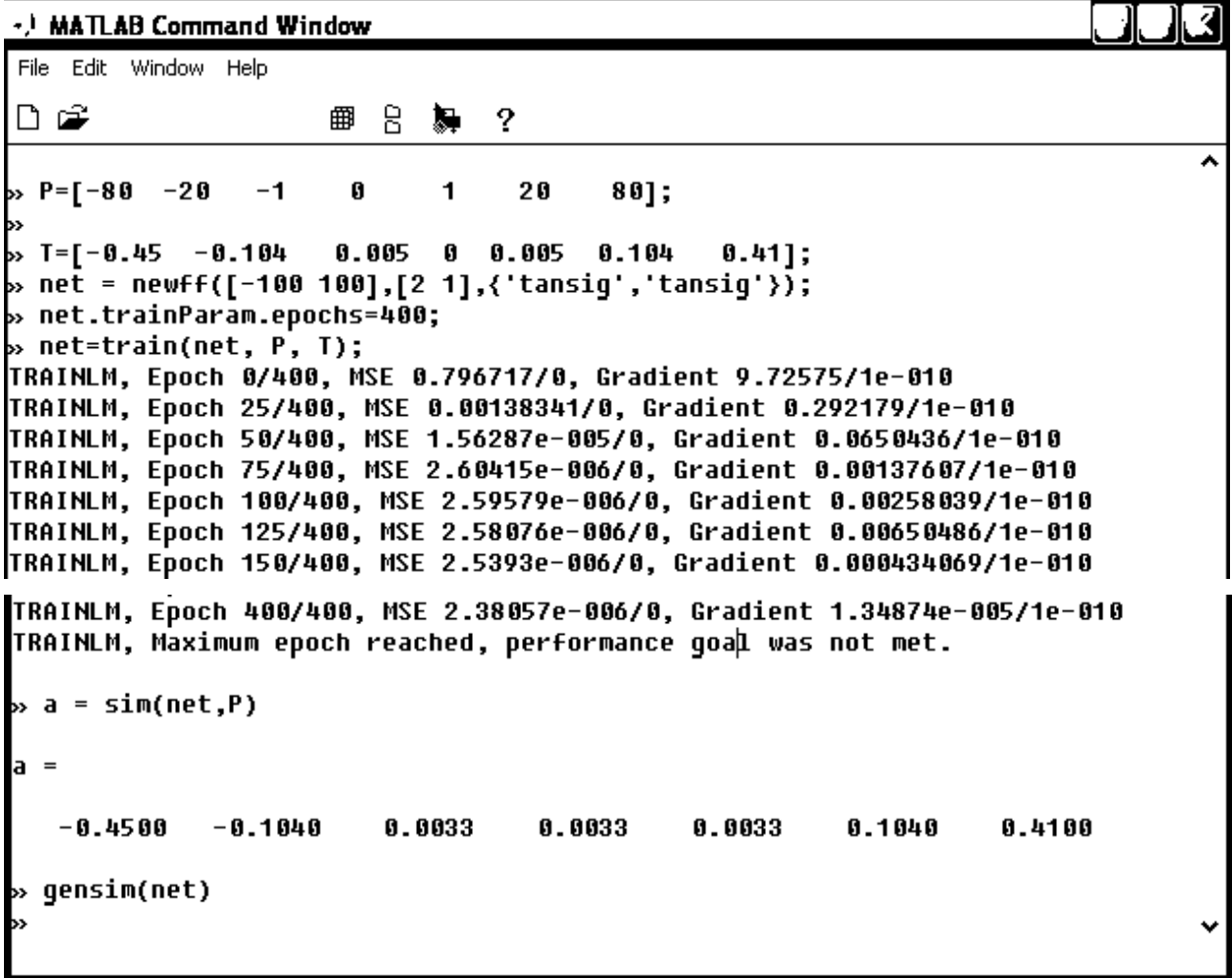
» a = sim(net,P)

a =

-0.4500 -0.1040 0.0033 0.0033 0.0033 0.1040 0.4100

» gensim(net)

»



The screenshot shows a MATLAB Command Window with the following content:

```

> MATLAB Command Window
File Edit Window Help
[Icons]
> P=[-80 -20 -1 0 1 20 80];
>
> T=[-0.45 -0.104 0.005 0 0.005 0.104 0.41];
> net = newff([-100 100],[2 1],{'tansig','tansig'});
> net.trainParam.epochs=400;
> net=train(net, P, T);
TRAINLM, Epoch 0/400, MSE 0.796717/0, Gradient 9.72575/1e-010
TRAINLM, Epoch 25/400, MSE 0.00138341/0, Gradient 0.292179/1e-010
TRAINLM, Epoch 50/400, MSE 1.56287e-005/0, Gradient 0.0650436/1e-010
TRAINLM, Epoch 75/400, MSE 2.60415e-006/0, Gradient 0.00137607/1e-010
TRAINLM, Epoch 100/400, MSE 2.59579e-006/0, Gradient 0.00258039/1e-010
TRAINLM, Epoch 125/400, MSE 2.58076e-006/0, Gradient 0.00650486/1e-010
TRAINLM, Epoch 150/400, MSE 2.5393e-006/0, Gradient 0.000434069/1e-010
...
TRAINLM, Epoch 400/400, MSE 2.38057e-006/0, Gradient 1.34874e-005/1e-010
TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.
> a = sim(net,P)
a =
    -0.4500    -0.1040     0.0033     0.0033     0.0033     0.1040     0.4100
> gensim(net)
>
  
```

Рисунок 3.28 Виконавчий код для генерації нейромережі, що відтворює пропорційну складову нейрорегулятора

» P=[-80 -20 -1 0 1 20 80];

» T=[-0.105 -0.0253 -0.0012 0 0.0012 0.025 0.105];

» net = newff([-100 100],[2 1],{'tansig','tansig'});

» net.trainParam.epochs=300;

» net=train(net, P, T);

TRAINLM, Epoch 0/300, MSE 0.0952461/0, Gradient 18.4975/1e-010

TRAINLM, Epoch 25/300, MSE 3.73836e-009/0, Gradient 7.5908e-005/1e-010
 TRAINLM, Epoch 50/300, MSE 3.04369e-009/0, Gradient 8.92174e-005/1e-010
 TRAINLM, Epoch 75/300, MSE 2.48264e-009/0, Gradient 7.80826e-005/1e-010
 TRAINLM, Epoch 100/300, MSE 2.03462e-009/0, Gradient 5.87895e-005/1e-010
 TRAINLM, Epoch 125/300, MSE 1.68607e-009/0, Gradient 4.00567e-005/1e-010
 TRAINLM, Epoch 150/300, MSE 1.42405e-009/0, Gradient 2.53934e-005/1e-010
 TRAINLM, Epoch 175/300, MSE 1.23426e-009/0, Gradient 1.53111e-005/1e-010
 TRAINLM, Epoch 200/300, MSE 1.10162e-009/0, Gradient 8.96516e-006/1e-010
 TRAINLM, Epoch 225/300, MSE 1.0118e-009/0, Gradient 5.19553e-006/1e-010
 TRAINLM, Epoch 300/300, MSE 8.90018e-010/0, Gradient 1.06588e-006/1e-010
 TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.

» a = sim(net,P)

a =

-0.1050 -0.0253 -0.0013 -0.0000 0.0012 0.0250 0.1050

» gensim(net)

```

MATLAB Command Window
File Edit Window Help
[Icons] ?
>> P=[-80 -20 -1 0 1 20 80];
>> T=[-0.105 -0.0253 -0.0012 0 0.0012 0.025 0.105];
>> net = newff([-100 100],[2 1],{'tansig','tansig'});
>> net.trainParam.epochs=300;
>> net=train(net, P, T);
TRAINLM, Epoch 0/300, MSE 0.0952461/0, Gradient 18.4975/1e-010
TRAINLM, Epoch 25/300, MSE 3.73836e-009/0, Gradient 7.5908e-005/1e-010
TRAINLM, Epoch 50/300, MSE 3.04369e-009/0, Gradient 8.92174e-005/1e-010
TRAINLM, Epoch 75/300, MSE 2.48264e-009/0, Gradient 7.80826e-005/1e-010
TRAINLM, Epoch 100/300, MSE 2.03462e-009/0, Gradient 5.87895e-005/1e-010
TRAINLM, Epoch 125/300, MSE 1.68607e-009/0, Gradient 4.00567e-005/1e-010
TRAINLM, Epoch 150/300, MSE 1.42405e-009/0, Gradient 2.53934e-005/1e-010
TRAINLM, Epoch 175/300, MSE 1.23426e-009/0, Gradient 1.53111e-005/1e-010
TRAINLM, Epoch 200/300, MSE 1.10162e-009/0, Gradient 8.96516e-006/1e-010
TRAINLM, Epoch 225/300, MSE 1.0118e-009/0, Gradient 5.19553e-006/1e-010
TRAINLM, Epoch 250/300, MSE 9.5257e-010/0, Gradient 3.02422e-006/1e-010
TRAINLM, Epoch 275/300, MSE 9.1432e-010/0, Gradient 1.78263e-006/1e-010
TRAINLM, Epoch 300/300, MSE 8.90018e-010/0, Gradient 1.06588e-006/1e-010
TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.

>> a = sim(net,P)

a =

-0.1050 -0.0253 -0.0013 -0.0000 0.0012 0.0250 0.1050

>> gensim(net)
  
```

Рисунок 3.29 Виконавчий код для генерації нейромережі, що відтворює інтегральну складову нейрорегулятора

Характеристики точності навчання показані на рисунку 3.45, з яких можливо побачити, що десь на 100-м кроці навчання коректування ваг між нейронними з'єднаннями було закінчено.

Остання команда яка вводиться для відтворення нейронної мережі в середовищі Simulink це команда `gensim(net)`. В результаті виконання цієї команди мережі з'являється нейронна мережа як показано на рисунку 3.27.

Водночас з генерацією НМ в головному вікні Matlab відображаються фактичні значення вихідного сигналу i -того вихідного нейрону мережі після встановлення команди $a = \text{sim}(\text{net}, P)$. Така команда дає можливість оцінити якість навчання шляхом відповідного тестування мережі.

Водночас з генерацією НМ в головному вікні Matlab відображаються фактичні значення вихідного сигналу i -того вихідного нейрону мережі. На рисунках 3.46 та 3.47 зображено бажані та фактичні значення вихідного сигналу i -того вихідного нейрону НМ, що відтворює I – складову та Π – складову нейрорегулятора розрідження $P_{\text{ч}}$ в часі.

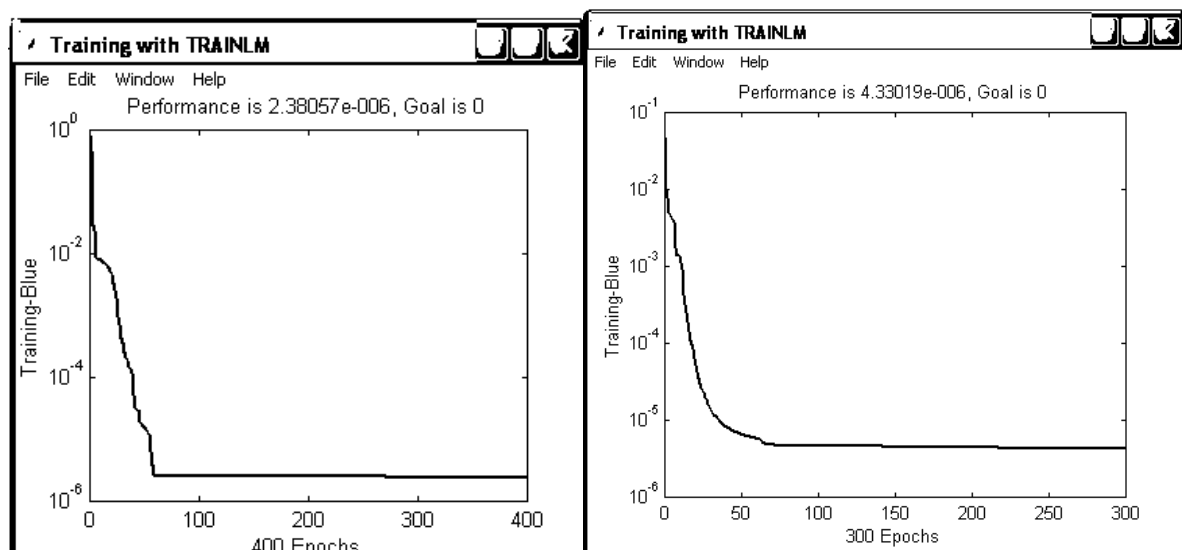


Рисунок 3.30 – Характеристика точності навчання пропорційної та інтегральної складової нейрорегулятора

Виходячи з цих даних, представлених в програмах на рисунках 3.28 і 3.29, розрахуємо похибки для вихідного шару та похибки для i -тих нейронів прихованого шару НМ за методом зворотного поширення для оцінки якості тренування нейронної мережі.

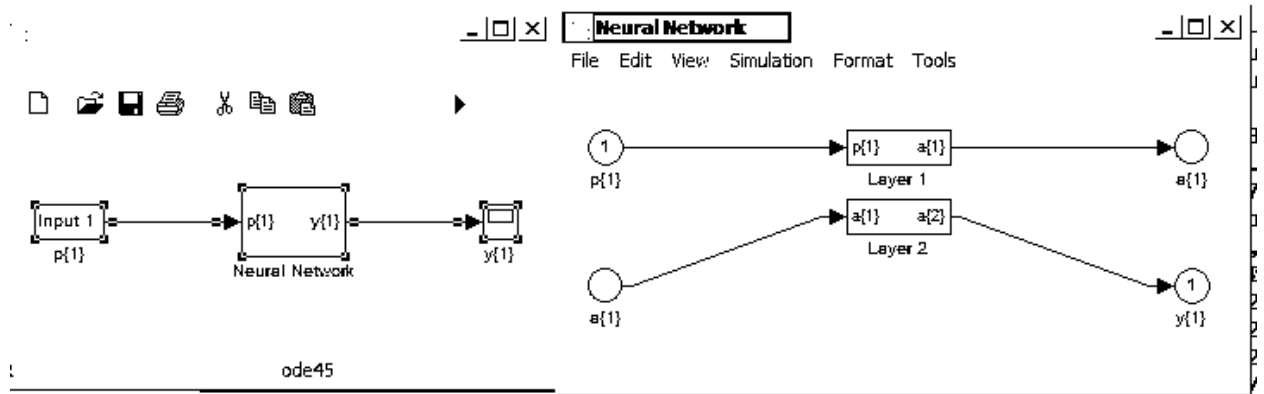


Рисунок 3.27 –Сформована нейронна мережа що представляє складову нейрорегулятора

Згідно навчанню штучної нейронної мережі за методом зворотного розповсюдження похибки, похибка для вихідного шару нейронної мережі визначається за наступною формулою (1):

$$\delta_i(n) = (y_i(n) - d_i) \cdot y_i(n) \cdot (1 - y_i(n)) \quad (1)$$

де d_i – бажане значення вихідного сигналу i -того вихідного нейрону мережі.

y_i – фактичне значення вихідного сигналу i -того вихідного нейрону мережі.

Похибка для i -того нейрону прихованого шару розраховується за наступною формулою (2):

$$\delta_i(n) = y_i(n) \cdot (y_i(n) - d_i) \cdot \sum w_{in+1} \cdot \delta_i(n+1) \quad (2)$$

де w_{in+1} – вага міжнейронного з'єднання $n+1$ шару; $\delta_i(n+1)$ – похибка i -того нейрону $n+1$ шару.

Таким чином, розрахунок похибок для Π – складової нейрорегулятора наступний:

Розрахунок помилки вихідного шару згідно з рисунку 2.23:

$$\begin{aligned} \delta_1(z) &= (y_1(n) - d_1) * y_1(n) (1 - y_1(n)) = \\ &= (0.0033 - 0.005) * (0.0033) * (1 - 0.0033) = 0.00000085 \end{aligned}$$

Розрахунок помилки для i -тих нейронів прихованого шару:

$$\begin{aligned} \delta_2(1) &= y_2(1) * (1 - y_2(1)) * W_{21} * \delta_1(z) = \\ &= 0.7543 * (1 - 0.7543) * (-0.090802279331460109) * 0.00000085 = \\ &= -0.0000000143 \end{aligned}$$

$$\delta_3(1) = y_3(1) * (1 - y_3(1)) * W_{22} * \delta_1(z) =$$

$$= 0.5327 * (1 - 0.5327) * (-0.1663176858009808) * 0.00000085 == 0.0000000351$$

Розрахунок помилок для I – складової нейрорегулятора:

Розрахунок помилки вихідного шару:

$$\begin{aligned}\delta_1(z) &= (y_1(n) - d_1) * y_1(n) * (1 - y_1(n)) = \\ &= (0.0013 - 0.0012) * (0.0013) * (1 - 0.0013) = 0.03330085\end{aligned}$$

Розрахунок помилки для i-тих нейронів прихованого шару:

$$\begin{aligned}\delta_2(1) &= y_2(1) * (1 - y_2(1)) * W_{21} * \delta_1(z) = \\ &= 0.9599 * (1 - 0.9599) * 7.3655548636428527 * 0.0333 = 0.009443\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_3(1) &= y_3(1) * (1 - y_3(1)) * W_{22} * \delta_1(z) = \\ &= 0.9766 * (1 - 0.9766) * (-7.3307275810928836) * 0.0333 = -0.005578\end{aligned}$$

Результати розрахунків показали, що помилки практично нульові, отже ними можна знехтувати, а розрахунок значень наведеної погрішності не проводити.

Сформовані нейроні мережі були визначені у схемі моделювання замість нечіткого регулятора, як показано на рисунку 3.14. У такий спосіб була синтезована модель САУ з нейрорегулятором засобами середовища MATLAB\Simulink, фрагмент структурної схеми якої представлений на рисунку 3.31.

На основі даних параметрів сформованої нейронної мережі була визначена схема нейрорегулятора у середовищі MATLAB\Simulink. Схема нейрорегулятора, що представлена на рисунку 3.32, є розгорнутою схемою, що представлена на попередньому рисунку 3.31.

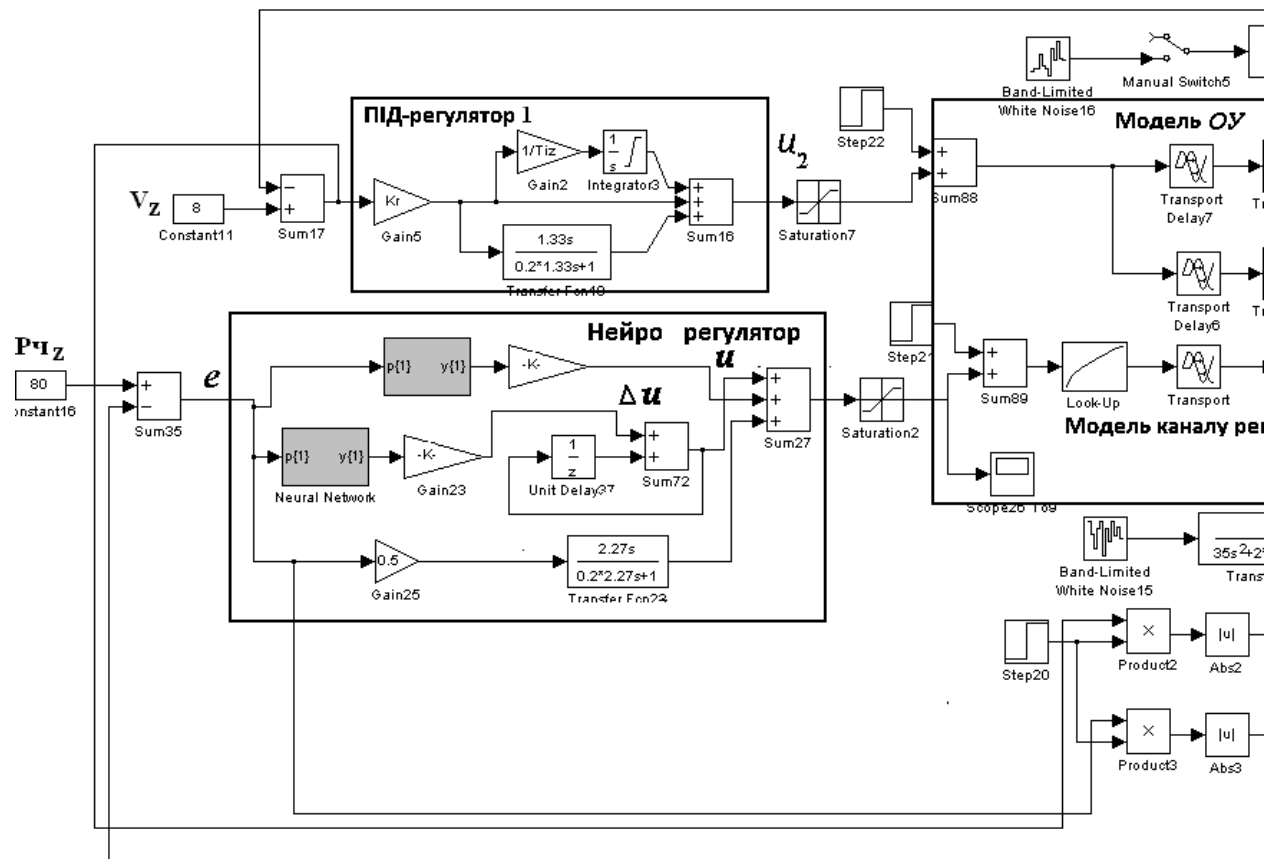


Рисунок 3.31 – Фрагмент структурної схеми моделі САУ з нейрорегулятором яка представлена засобами середовища MATLAB\Simulink

У результаті моделювання САУ з нейрорегулятором були отримані графіки перехідних процесів при тих же умовах, які були при моделюванні САУ з нечітким регулятором та традиційним ПІД-регулятором. Ці графіки представлені на рисунку 3.50. З графіків перехідних процесів можливо побачити, що за якістю регулювання САУ з нейрорегулятором працює незначно гірше, ніж САУ з нечітким регулятором.

Час регулювання при східчастому впливі, що збурює складає 25 секунд при САУ з нечітким та традиційним ПІД регулятором, і 30 секунд, при САУ з нейронним регулятором. Також максимальне динамічне відхилення при детермінованому збуренні однаково як в САУ з нейрорегулятором так в САУ з ПІД-регулятором як показано на рисунку 3.33. Незважаючи на це регулятор, що синтезований на базі штучних нейронних мереж, має 8-м ваг між нейронних з'єднань, а саме параметри які можна оптимізувати для покращення якості регулювання. Також, як видно з рисунку 3.32, є шість зміщень, які також можливо оптимізувати.

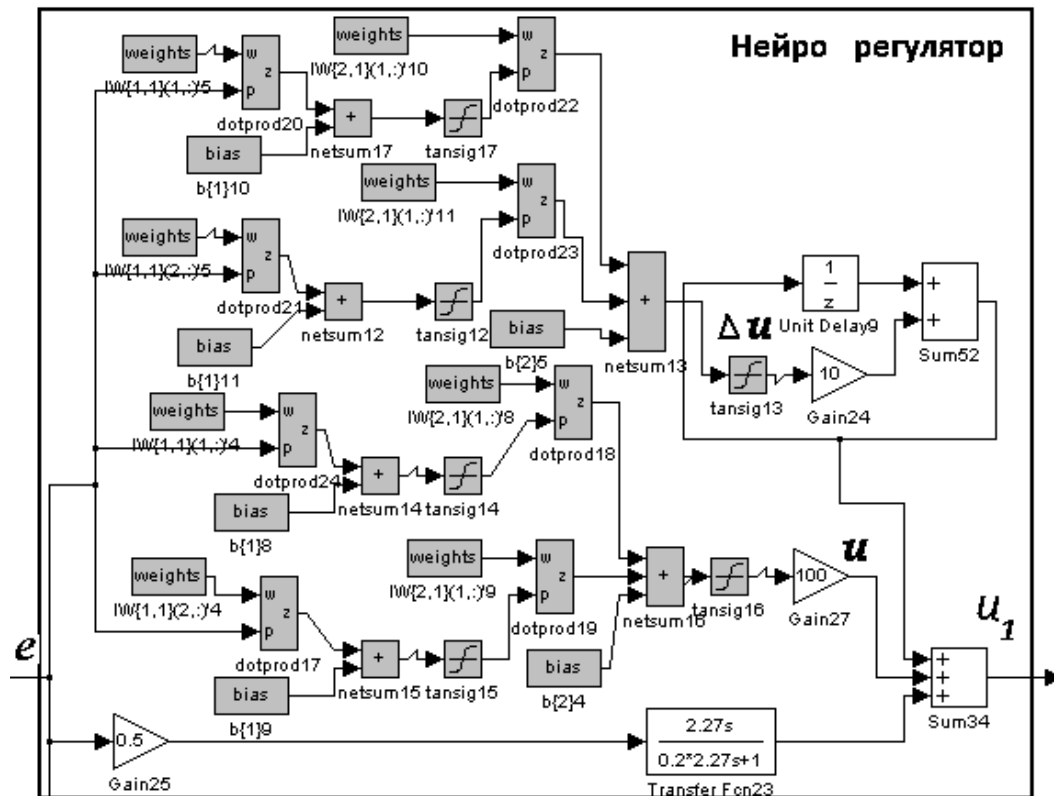


Рисунок 3.32 – Схема моделювання нейронного регулятора

Можливо зробити **висновок**, що виходячи з якості регулювання різних САУ необхідно нейрорегулятор оптимізувати при тих же умовах, як і попередній традиційний ПІД-регулятор для визначення остаточного висновку про доцільність застосування різних САУ.

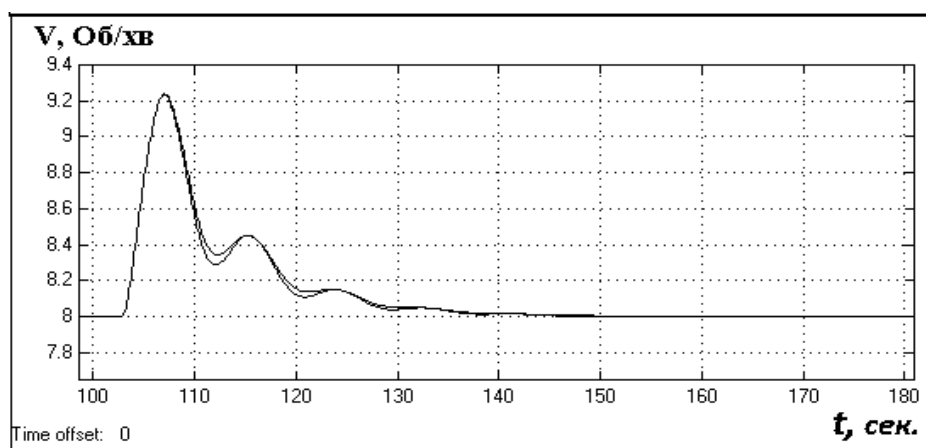


Рисунок 3.33. Графіки перехідних процесів, отримані в результаті моделювання різних САУ

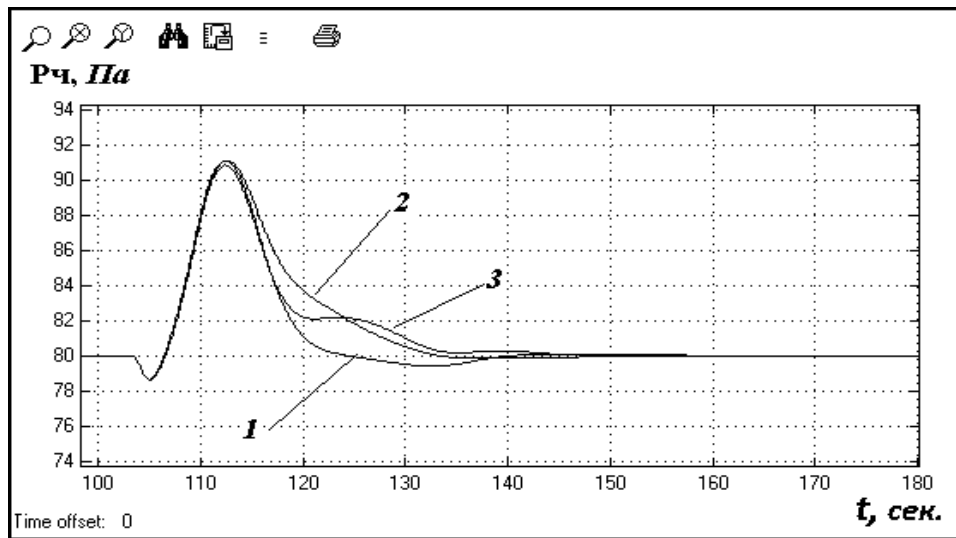


Рисунок 3.33. Графіки переходних процесів, отримані в результаті моделювання різних САУ, графік 1 – перехідний процес у САУ з ПД-регулятором; графік 2 – перехідний процес у САУ з нечітким регулятором; ; графік 3 – перехідний процес у САУ з нейро регулятором;

3.7 Параметрична оптимізація САУ з нейрорегуляторами

Для покращення якості регулювання у роботі була проведена параметрична оптимізація САУ з нейронними регуляторами. Оптимізувались всі коефіцієнти міжнейронних зв'язків та зсуви в вихідному шарі нейронної мережі. Оптимізація нейронних регуляторів проводилась при таких же умовах, які були при оптимізації САУ з традиційним ПД регуляторами.

Таким чином, інтегральний показник якості функціонування при оптимізації був обраний відповідно таким же, як при оптимізації САУ з традиційним ПД регулятором. У програмному середовищі MATLAB\Simulink 5.2 була спочатку визначена модель САУ з нейрорегулятором за розрідженням $P_{\text{ч}}$ і параметричним оптимізатором, структурна схема яка відображена на рисунку 3.37. Таким чином, оптимізація проводилась одночасно. Оптимізувався нейрорегулятор розрідження $P_{\text{ч}}$ в чаші і ПД-регулятор кількості обертів масажеру за хвилину V . Оптимізувались параметри нейрорегулятора і ПД –регулятора при фіксованих значеннях параметрах D складових що були визначені при синтезі традиційної САУ з ПД регуляторами.

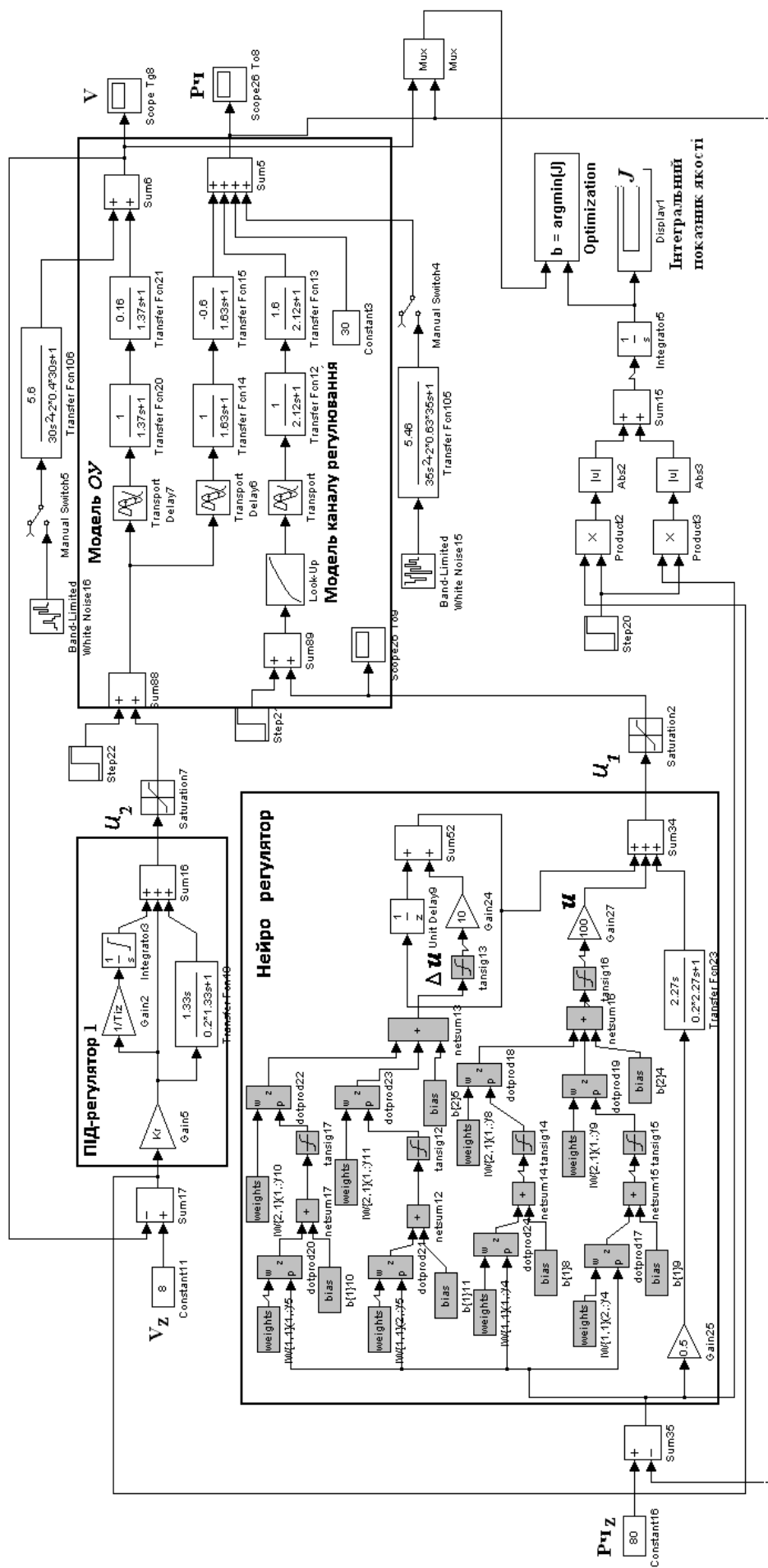


Рисунок 3.37 –Структурна схема моделі САУ з нейро регулятором розрідження P_c і параметричним оптимізатором, що реалізована засобами MATLAB\Simulink

У результаті параметричної оптимізації були отримані графіки перехідних процесів до і після оптимізації, а також оптимальні визначені ваги міжнейронних з'єднань першого шару нейронної мережі що представлена в таблиці 3.5. Графіки відповідних перехідних процесів та значення вагових коефіцієнтів представлені у відповідному вікні результатів оптимізації, представленому рисунку 3.40. На рисунку 3.41 представлений результат оптимізації, який був отриманий при оптимізації нейрорегулятора розрідження Рч в чаші після попередньої оптимізації параметрів Д- складових ПІД-регуляторів.

Оптимизация

Конкретизация задачи оптимального параметрического синтеза (ОПС)

☐ ОПС в условиях параметрической неопределенности ОУ.
☒ ОПС при фиксированных параметрах ОУ.

Параметры объекта управления (ОУ)

Имена параметров: ko tau T T1
Номинальные значения: 3.4 2.5 12 10
Нижние значения диапазонов:
Верхние значения диапазонов:

Оптимизируемые параметры (аргументы)

Имена параметров: Kr Tiz k1 k2 k3 k4 k5 I
Начальные приближения: 6.7 7 -0.000106164 -C
Нижние ограничения: 0 0 -100 -100 -100 -1C
Верхние ограничения: 10 20 100 100 100 100

Условия оптимизации (Симплекс метод Нелдера-Мида)

Максимальное количество шагов процедуры оптимизации: 200
Минимальное приращение аргументов: 0.01
Минимально значимое приращение критерия: 0.001

Визуализация результатов

Количество графиков: 2
Имена переменных отображаемых на графиках: x, y

Старт Отмена

Рисунок 3.39 – Вікно для визначення початкових значень параметрів оптимізації регулятора, представленого штучною нейронною мережею, системи автоматичного управління

Проверка на грубость

Изменяющиеся параметры ОУ:

Имена параметров: ko tau T

Номинальные значения: 1 4.4 2.12

Нижние значения диапазонов: 0.8*1 0.8*4.4 0.8*

Верхние значения диапазонов: 1.2*1 1.2*4.4 1

Визуализация результатов:

Количество графиков: 1

Имена переменных отображаемых на графиках: t

Старт Отмена

3.41 Вікно вводу параметрів перевірки системи на грубість САР з нейрорегулятором

Таким чином, після параметричної оптимізації була перевірена система на грубість для оцінки принципової придатності оптимізованого нейрорегулятора САУ (рисунок 3.42). Параметри перевірки системи на грубість не відрізняються від попереднього випадку коли була виконана перевірка на грубість системи з ПД-регулятором.

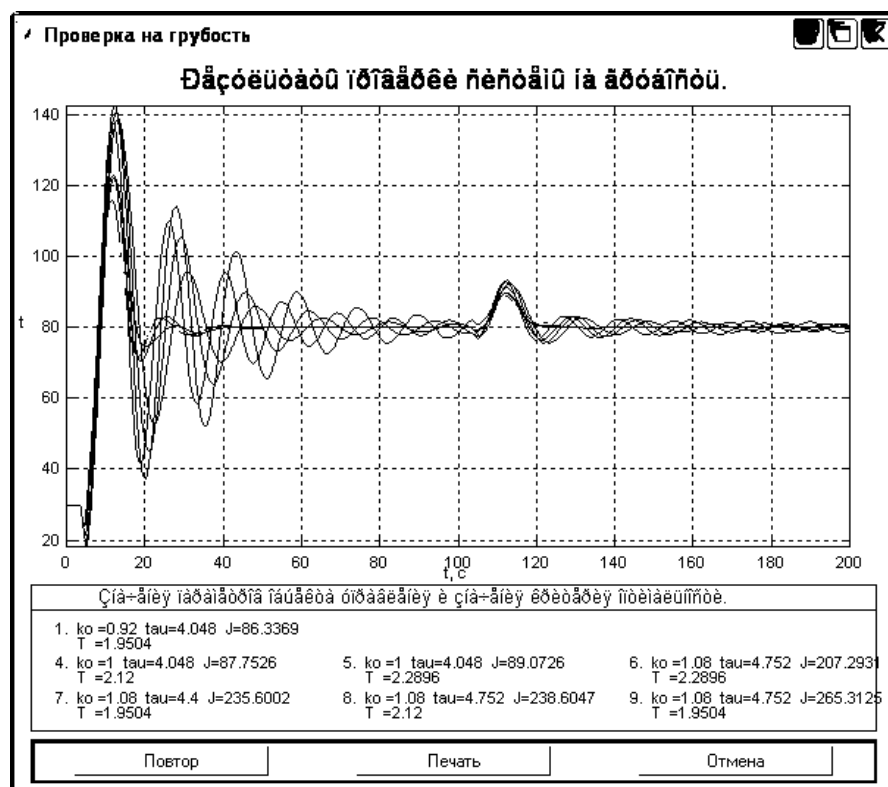


Рис. 3.42 – Вікно результатів перевірки на грубість САР з нейрорегулятором розрідження P_q в чаші

Згідно з результатом перевірки яка представлена на рисунку 3.42 можна зробити висновок що САУ з нейрорегулятором значно груба це дає можливість зробити висновок про принципову придатність нейрорегулятора до застосування.

3.8 Аналіз функціонування різних САУ за якістю регулювання за умов впливів, що збурюють

На заключному етапі розробки САУ був виконаний порівняльний аналіз функціонування різних САУ за якістю регулювання. У результаті моделювання були отримані графіки перехідних процесів різних САУ за виходом системи на номінальний режим функціонування та при східчастому впливі що збурює на 200 сек функціонування. З графіків перехідних процесів що представлені на рисунку 3.43 можливо побачити, що час регулювання при САУ з нейронним регулятором та ПІД регулятором одноковий але максимальне динамічне відхилення в САУ з нейрорегулятором трохи менше. Найгірша якість регулювання була в системі з нечітким регулятором порівняно з іншими системами, тому що при синтезі нечіткого регулятора враховувались експертні данні та при налаштуванні системи використовувався метод проб та помилок якій має відповідні недоліки.

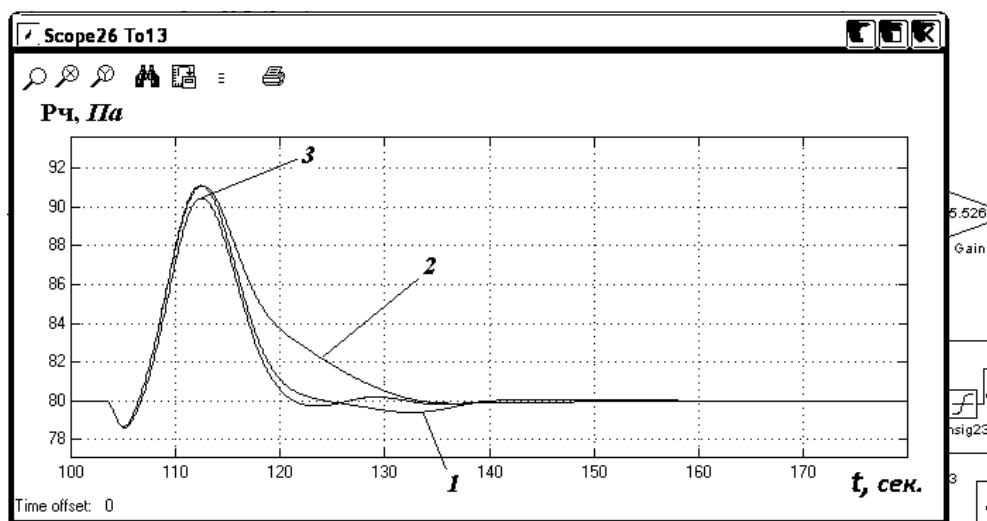


Рисунок 3.43. Графіки перехідних процесів, отримані в результаті моделювання різних САУ, графік 1 – перехідний процес в САУ з традиційним ПІД-регулятором; графік 2 – перехідний процес у САУ з нечітким регулятором; графік 3 – перехідний процес у САУ з оптимізованим регулятором, побудованим на базі штучних нейронних мереж;

Також на основі аналізатора імовірнісних характеристик, що був вбудований у середовище MATLAB\Simulink, була визначена якість регулювання різних САУ при випадкових впливах що збурюють. У даному випадку порівнюються середні квадратичні відхилення значень змінних регулювання різних САУ при випадкових впливах. Результати представлені на рисунку 3.44 та 3.45, де зображені вікна результатів аналізу, де показані середні квадратичні відхилення і математичні очікування значень змінних регулювання при

різних САУ.

З рисунку 3.44 можливо побачити, що за середньо квадратичним відхиленням найкраще функціонує САУ з нейрорегулятором. З рисунку 3.45 видно що САУ з нечітким регулятором розрідження $P_{\text{ч}}$ в чаші функціонує найгірше від інших систем. В кінцевому випадку показники функціонування різних САУ за якістю регулювання були зведені до таблиці 3.6 де були визначені показники якості функціонування оптимізованих САУ з ПД-регуляторами та САУ з нейрорегуляторами.

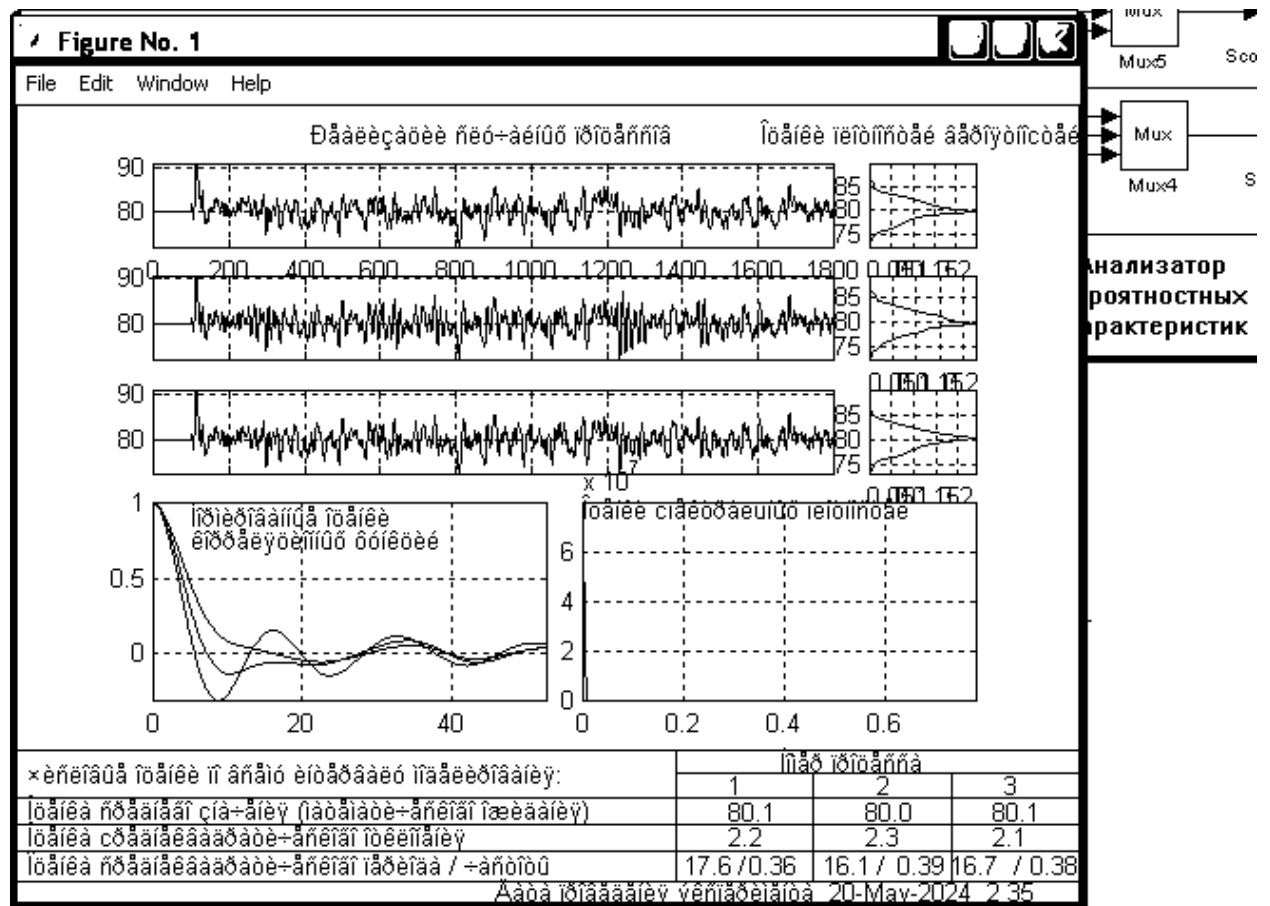


Рисунок 3.45 - Вікно результатів аналізу аналізатора імовірнісних характеристик за каналом розрідження $P_{\text{ч}}$ в чаші

Таблиця 3.6 – Показники якості регулювання різних САУ

САУ	САУ з традиційним ПД- регулятором за Рп	САУ з нечітким регулятором за Рп	САУ з регулятором за Рп, представленим штучною нейронною мережею
Час регулювання	≈30 с	≈35 с	≈28 с
Максимальне динамічне відхилення	12	12	10
Інтегральний показник	101	107	92.2
Математичне очікування	80,1	80	80,1
Середньоквадрати чне відхилення	2,2	2,3	2,1

З таблиці 3.6 можливо зробити остаточний висновок, що за якістю регулювання САУ з нейронним регулятором краще функціонує, ніж інші розглянуті САУ. САУ з традиційним ПД-регулятором функціонує за якістю регулювання краще ніж САУ з нечітким регулятором при об'єкті з нелінійною статичною характеристикою за каналом регулювання.

3. 9 Розробка програмного забезпечення для реалізації нейрорегулятора на базі промислового контролера

За допомогою Simulink PLC Coder автоматично одержуємо згенерований код для промислових систем управління. А саме, згенерований вихідний код у структурованому текстовому форматі з моделі Simulink. Для генерації коду необхідна програма Matlab, починаючи з версії 2010a. Розробляти необхідно програму для ПЛК Siemens SIMATIC STEP 7. Спочатку вибираємо Subsystem Parametrs на блоці регулятора, синтезованого на основі штучної нейронної мережі. У цьому вікні відзначаємо «Treat as atomic unit» і натискаємо кнопку Ок. На функціональному блоці натискаємо праву клавішу миші і вибираємо PLC Coder / Options. Далі вибираємо, у який тип ПЛК буде згенерований код (Target IDE) і натискаємо клавішу Generate code. Згенерований код для SIMATIC STEP 7 наступний:

```

(*)
*
* File: lpcod1.scl
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for
subsystem "lpcod1/Subsystem"
*
* Model name : Kod1
* Model version : 1.2
* Model creator : R1
* Model last modified by : R1
* Model last modified on : Tue Dec 12 21:08:56
2012
* Model sample time : 0.1s
* Subsystem name : lod1/Subsystem
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.3 (R2012a) 29-Dec-
2014
* ST code generated on : Tue Dec 12 21:17:00
2014
*
* Target IDE selection : Siemens SIMATIC Step
7 5.4
* Test Bench included : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Subsystem
VAR_INPUT
    ssMethodType: INT;
    In1: REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT

```

```

        Out1: REAL;
END_VAR
VAR
    UnitDelay2_DSTATE: REAL;
    rtb_Gain11: REAL;
    rtb_Product: REAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    0:

        (* InitializeConditions for UnitDelay: '<S1>/Unit
Delay2' *)
        UnitDelay2_DSTATE := 0.0;
    1:

        (* Gain: '<S1>/Gain11' incorporates:
        *   Inport: '<Root>/In1' *)
        rtb_Gain11 := -1.0001 * In1;

        (* Sum: '<S1>/Sum28' incorporates:
        *   Constant: '<S12>/one'
        *   Constant: '<S12>/one1'
        *   Constant: '<S13>/one'
        *   Constant: '<S13>/one1'
        *   Constant: '<S14>/one'
        *   Constant: '<S14>/one1'
        *   Constant: '<S1>/IW{1,1}(1,:)'1'
        *   Constant: '<S1>/IW{1,1}(2,:)'1'
        *   Constant: '<S1>/IW{2,1}(1,:)'2'
        *   Constant: '<S1>/IW{2,1}(1,:)'3'

```

```

* Constant: '<S1>/b{1}2'
* Constant: '<S1>/b{1}3'
* Constant: '<S1>/b{2}1'
* Gain: '<S12>/Gain'
* Gain: '<S12>/Gain1'
* Gain: '<S13>/Gain'
* Gain: '<S13>/Gain1'
* Gain: '<S14>/Gain'
* Gain: '<S14>/Gain1'
* Math: '<S12>/Exp'
* Math: '<S12>/Reciprocal'
* Math: '<S13>/Exp'
* Math: '<S13>/Reciprocal'
* Math: '<S14>/Exp'
* Math: '<S14>/Reciprocal'
* Product: '<S20>/Product'
* Product: '<S21>/Product'
* Product: '<S22>/Product'
* Product: '<S23>/Product'
* Sum: '<S12>/Sum'
* Sum: '<S12>/Sum1'
* Sum: '<S13>/Sum'
* Sum: '<S13>/Sum1'
* Sum: '<S14>/Sum'
* Sum: '<S14>/Sum1'
* Sum: '<S1>/netsum3'
* Sum: '<S1>/netsum4'
* Sum: '<S1>/netsum5'
* UnitDelay: '<S1>/Unit Delay2'
*
* About '<S12>/Exp':
* Operator: exp

```

```

*
* About '<S12>/Reciprocal':
*   Operator: reciprocal
*
* About '<S13>/Exp':
*   Operator: exp
*
* About '<S13>/Reciprocal':
*   Operator: reciprocal
*
* About '<S14>/Exp':
*   Operator: exp
*
* About '<S14>/Reciprocal':
*   Operator: reciprocal *)
rtb_Product := (((1.0 / (EXP((((1.0 / (EXP((-
0.00738516 * rtb_Gain11) + 0.086296307272) * -2.0) + 1.0)) *
2.0) - 1.0) * -7.92624549188) + (((1.0 /
(EXP((-0.003755 * rtb_Gain11) + 3.4831064233) * -2.0) +
1.0)) * 2.0) - 1.0) * -0.3370064757517)) +
0.2350679) * -2.0) + 1.0)) * 2.0) - 1.0) + UnitDelay2_DSTATE;

(* Outport: '<Root>/Out1' incorporates:
*   Constant: '<S10>/one'
*   Constant: '<S10>/one1'
*   Constant: '<S11>/one'
*   Constant: '<S11>/one1'
*   Constant: '<S15>/one'
*   Constant: '<S15>/one1'
*   Constant: '<S1>/IW{1,1}(1,:)''
*   Constant: '<S1>/IW{1,1}(2,:)''
*   Constant: '<S1>/IW{2,1}(1,:)''

```

- * Constant: '<S1>/IW{2,1}(1,:) '1'
- * Constant: '<S1>/b{1}'
- * Constant: '<S1>/b{1}1'
- * Constant: '<S1>/b{2}'
- * Gain: '<S10>/Gain'
- * Gain: '<S10>/Gain1'
- * Gain: '<S11>/Gain'
- * Gain: '<S11>/Gain1'
- * Gain: '<S15>/Gain'
- * Gain: '<S15>/Gain1'
- * Gain: '<S1>/Gain10'
- * Math: '<S10>/Exp'
- * Math: '<S10>/Reciprocal'
- * Math: '<S11>/Exp'
- * Math: '<S11>/Reciprocal'
- * Math: '<S15>/Exp'
- * Math: '<S15>/Reciprocal'
- * Product: '<S16>/Product'
- * Product: '<S17>/Product'
- * Product: '<S18>/Product'
- * Product: '<S19>/Product'
- * Sum: '<S10>/Sum'
- * Sum: '<S10>/Sum1'
- * Sum: '<S11>/Sum'
- * Sum: '<S11>/Sum1'
- * Sum: '<S15>/Sum'
- * Sum: '<S15>/Sum1'
- * Sum: '<S1>/Sum5'
- * Sum: '<S1>/netsum'
- * Sum: '<S1>/netsum1'
- * Sum: '<S1>/netsum2'

```

*
* About '<S10>/Exp':
*   Operator: exp
*
* About '<S10>/Reciprocal':
*   Operator: reciprocal
*
* About '<S11>/Exp':
*   Operator: exp
*
* About '<S11>/Reciprocal':
*   Operator: reciprocal
*
* About '<S15>/Exp':
*   Operator: exp

```

Програма представлена структурованою мовою управління Structured Text (ST), за синтаксисом близька до [Pascal](#); Structured Text (ST) — мова програмування стандарту [IEC61131-3](#). Призначена для програмування промислових [контролерів](#) і операторських станцій. Основою St-програми є вираження. Вираження складаються з операндів (констант і змінних) і операторів.

3.10 Висновки за розділом

В процесі виконання роботи були синтезовані моделі САУ з нечіткими регуляторами та з нейрорегулятором що визначена як нейронмережева система управління. Нечіткі регулятори розроблені у відповідному редакторі середовища MATLAB\Simulink. Були визначені функції приналежності до нечітких множин, сформована база правил функціонування регуляторів у табличному вигляді та у вікні відповідного редактора, визначений алгоритм нечіткого виводу – Сугено 0-порядку. Було встановлено, що за якістю регулювання така САУ функціонує незначно гірше, ніж САУ з традиційним ПД-регулятором при об'єкті управління з нелінійною статичною характеристикою за каналом регулювання.

Для подальшої параметричної оптимізації САУ, за характеристиками нечітких регуляторів було виконано тренування визначених штучних нейронних мереж, яка можуть виконувати роль нейрорегуляторів. Тренування штучних нейронних мереж було виконано також засобами середовища MATLAB\Simulink за відповідними виконавчими кодами. Були розроблені моделі САУ з регулятором що представляється штучною нейронною мережею. Параметрична оптимізація САУ з нейрорегулятором були проведена при тих же умовах, що і САУ з традиційними ПД-регуляторами.

У результаті моделювання різних САУ було встановлено, що за якістю регулювання САУ з нейрорегулятором функціонує краще, ніж інші САУ, це за інтегральним показником якості регулювання - відповідно 92 при САУ з нейрорегулятором і 101 при САУ з традиційним ПД-регулятором.

В заключній частині для практичної реалізації нейрорегулятора розрідження $P_{\text{ч}}$ в чаші, була сформована програма для промислового контролера.

Таким чином, на основі виконаного синтезу і аналізу різних САУ можна зробити заключний висновок, що нейрорегулятор має принципову придатність для практичного використання на базі промислового контролера при об'єктах управління з нелінійними характеристиками за каналами регулювання.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНОЇ САК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ МАСАЖУВАННЯМ М'ЯСА

4.1 Опис загальних принципів побудови системи гарантуючого керування

Для отримання якісних м'ясних продуктів важливим є максимальне, рівномірне фільтраційне насичення шматка м'яса саломуром по всій його масі до певного рівня. Насичення шматка м'яса саломуром можна визначати по рівню саломуру у чаші вакуумного масажера. При роботі масажера м'ясо насичується саломуром і його рівень в чаші поступово знижується. Таким чином за один цикл роботи масажера рівень саломуру повинен знизитися з максимального до заданого значення, відповідно до технологічного регламенту. Це буде означати що необхідна кількість саломуру наситила шматки м'яса. Спрощено залежність рівня саломуру у чаші вакуумного масажера $h_c(t)$ від швидкості обертання чаші масажера та розрідження в масажері можна описати наступним виразом.

$$h_c(t) = \frac{1}{T} \int_{Hmin}^{Hmax} -(k_1 V(t) + k_2 P(t)) dt$$

де

$V(t)$ -швидкість обертань чаші масажера;

$P(t)$ – розрідження в чаші масажера;

k_1 і k_2 – вагові коефіцієнти;

T - постійна часу інтегрування;

$Hmax$ і $Hmin$ – максимальний та мінімальний рівні саломуру у чаші масажера.

Приймаємо, що чим висче швидкість обертань чаші масажера та чим більше розрідження в чаші тим висче швидкість насичення м'яса саломуром, тобто висче швидкість зменшення рівня саломуру в чаші $h_c(t)$. Коефіцієнти k_1 і k_2 та постійна часу T будуть залежні від конструкції та конкретного типу масажера, а також властивостей м'ясної сировини. Значення коефіцієнтів можна отримати в ході активних експериментів при проведенні ідентифікації моделі. Значення рівня $h_c(t)$ будемо розраховувати в умовних одиницях (у.о.) в діапазоні $[0...1]$. Таким чином $Hmax = 1$ і $Hmin = 0$.

Для отримання якісних м'ясних продуктів важливим є рівномірне поступове насичення шматка м'яса саломуром по всій його масі, тому зниження рівня повинно бути

теж поступовим впродовж всього циклу роботи масажеру. При цьому не повинна порушуватися структура тканин та цілісність шматків м'яса. Цю задачу повинна виконувати модернізована САК регулювання рівня саломуру в чаші $h_c(t)$ з програмним задатчиком зміни заданого значення $h_c^{зд}(t)$. Приклад програми зміни $h_c^{зд}(t)$ за один цикл роботи масажера $T_{цик}$ для нашого випадку наведено на рис. 4.1.

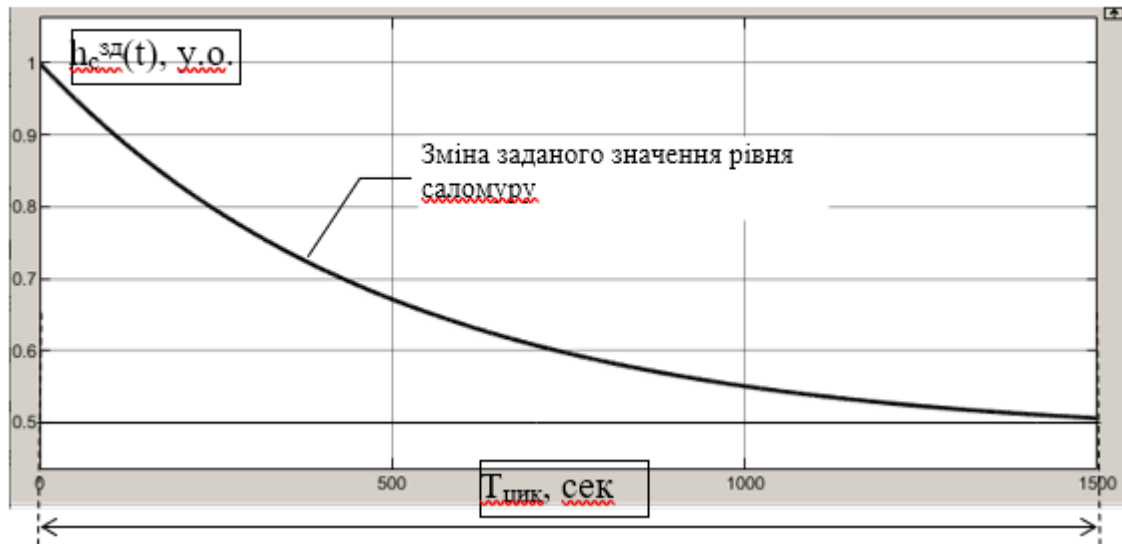


Рис.4.1. Приклад зміни рівня саломуру ($h_c^{зд}(t)$, у.о.) у чаші масажеру за один цикл його роботи ($T_{цик}$).

Зміна рівня саломуру у чаші за програмою що наведена на рис. 4.1 дозволить поступово насичувати м'ясо саломуром в продовж часу одного циклу роботи масажера при збереженні інших показників якості. Для вирішення цієї задачі потрібно розробити програмну САР рівня саломуру у чаші вакуумного масажеру.

4.2 Розробка структурної схеми модернізованої САК.

На основі базової САР з контурами регулювання швидкості обертання чаші вакуумного масажера та розрідження в чаші масажера була розроблена каскадна САР рівня саломуру у чаші з програмним задатчиком. Структурна схема модернізованої САК представлена на рис. 4.2. Для регулювання рівня саломуру у чаші в якості проміжної точки обрано швидкість обертання чаші вакуумного масажера яка більш суттєво впливає на рівень саломуру в чаші і порівнянні з розрідженням.

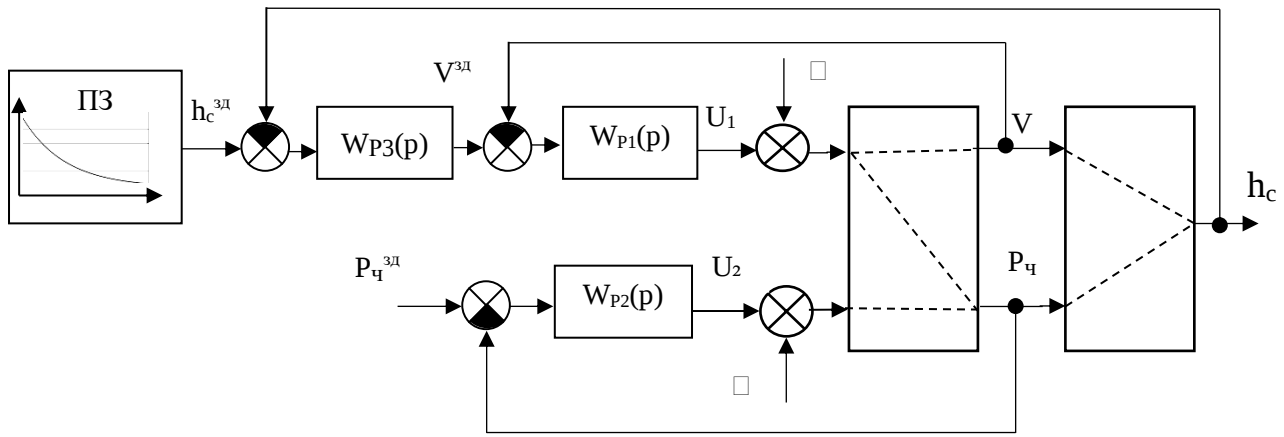


Рис.4.2. Структурна схема модернізованої САР процесу масажування м'яса.

На схемі:

ПЗ – програмний задатчик;

$h_c^{зд}$ – завдання рівня саломуру (саламуру) у чаші вакуумного масажера, у.о.;

h_c – поточне значення рівня саломуру (саламуру) у чаші вакуумного масажера, у.о.;

$W_{P3}(p)$ - регулятор рівня саломуру у чаші вакуумного масажера;

$V^{зд}$ - завдання швидкості обертання чаші вакуумного масажера, об/хв;

V - поточне значення швидкості обертання чаші вакуумного масажера, об/хв;

$W_{P1}(p)$ – регулятор швидкості обертання чаші вакуумного масажера;

$P_{ч}$ – поточне значення розрідження в чаші вакуумного масажера, Па;

$P_{ч}^{зд}$ – задане значення розрідження в чаші вакуумного масажера, Па;

$W_{P2}(p)$ – регулятор розрідження в чаші вакуумного масажера;

U_1 - швидкість обертання чаші масажера, %х.р.о.;

U_2 - швидкість обертання вакуумного насосу, %х.р.о.;

□₁-вектор неконтрольованих збурень;

□₂-вектор неконтрольованих збурень.

В систему додатково введено головний регулятор $W_{P3}(p)$ рівня саломуру у чаші вакуумного масажера. Цей регулятор буде підтримувати поточне значення h_c рівня саломуру на заданому значенні, яке формує програмний задатчик ПЗ. Регулятор $W_{P3}(p)$ буде змінювати задане значення $V^{зд}$ швидкості обертання чаші вакуумного масажера. При цьому ця зміна $V^{зд}$ не повинна мати інтенсивний коливальний характер, так як необхідно забезпечити відсутність порушень структури тканин, білкових сполук і шматки м'яса повинні зберігти свою цілісність. Тому в якості регулятора $W_{P3}(p)$ будемо використовувати звичайний ПІ-регулятор.

4.3 Обґрунтування настроювальних параметрів нових алгоритмів керування.

Налаштування параметрів регулятора $W_{p1}(p)$ швидкості обертання чаші вакуумного масажера та регулятора $W_{p2}(p)$ розрідження в чаші вакуумного масажера залишимо на отриманих раніше значеннях. Налаштувальні параметри отримано за результатами оптимального параметричного синтезу за інтегральним модульним критерієм. Та систему перевірено на грубість. Параметри регулятора $W_{p3}(p)$ рівня саломуру у чаші вакуумного масажера будемо розраховувати з використанням інженерної методики та процедури оптимізації з використанням альтернативних інженерних критеріїв оптимальності.

Розробка імітаційної моделі САР та дослідження її роботи проведено у наступному розділі.

4.4 Доопрацювання математичної моделі ОК для вирішення задачі регулювання.

Для виконання завдання синтезу та аналізу роботи системи програмного керування рівнем саломуру $h_c(t)$ у чаші вакуумного масажера доповнимо модель об'єкта керування моделлю динаміки що відображає залежність рівня саломуру в чаші масажера від швидкості обертання чаші та розрідження у чаші вакуумного масажера. За основу моделі візьмемо залежність, що наведено у розділі 4.1. Повна схема моделювання об'єкта регулювання представлена на рис. 4.3.

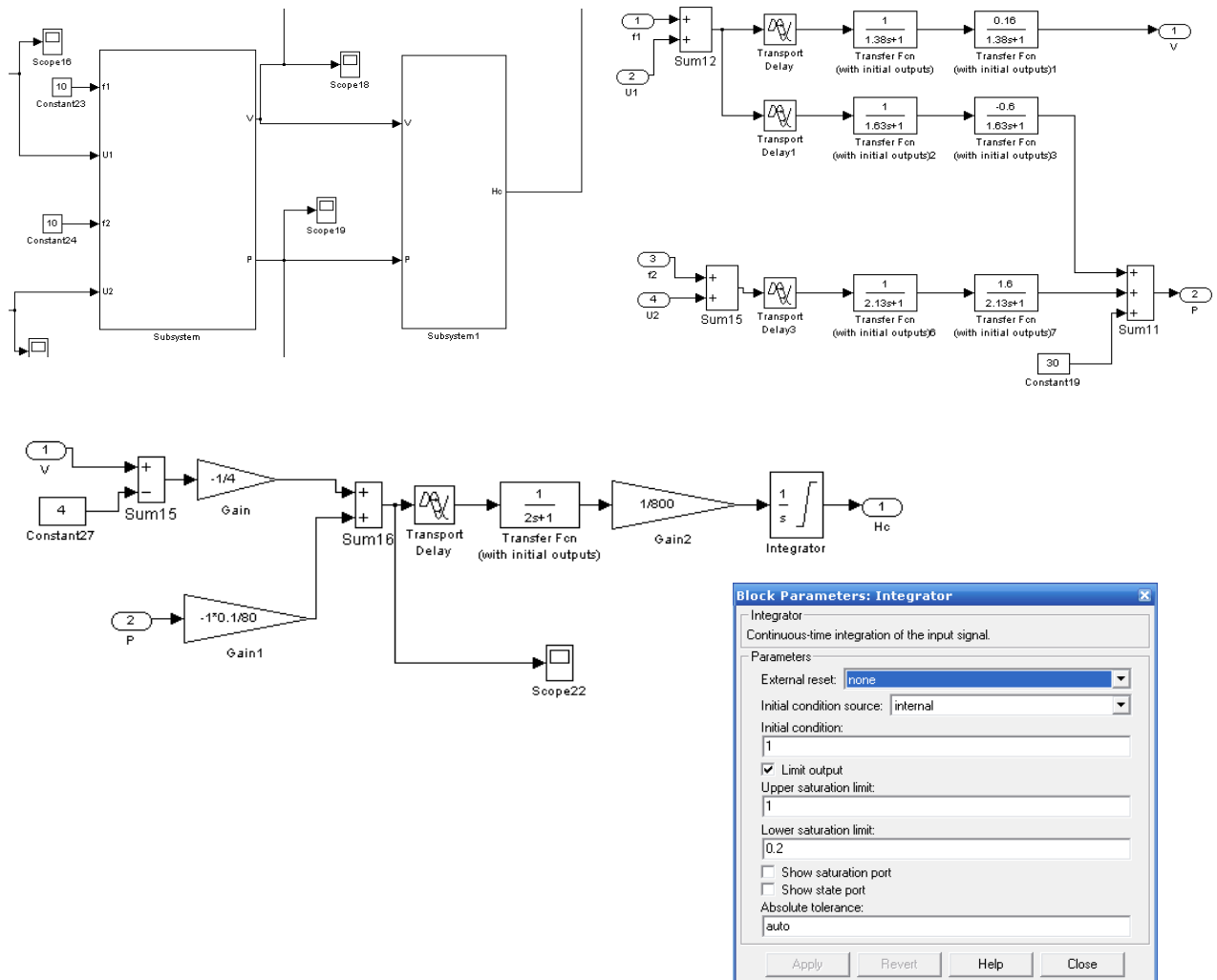


Рис. 4.3 – Схема моделювання об'єкта керування.

На основі наведеної моделі була реалізована імітаційна модель САР процесу масування м'яса.

4.5. Розробка імітаційної моделі програмної САР процесу масування м'яса та дослідження її роботи.

Доповнимо схему моделювання додатковим контуром каскадного регулювання рівня саломуру у чаші вакуумного масажера та функціональними блоками програмного задатчика $h_c^{3Д}(t)$. Отримана схема моделювання представлена на рис. 4.4.

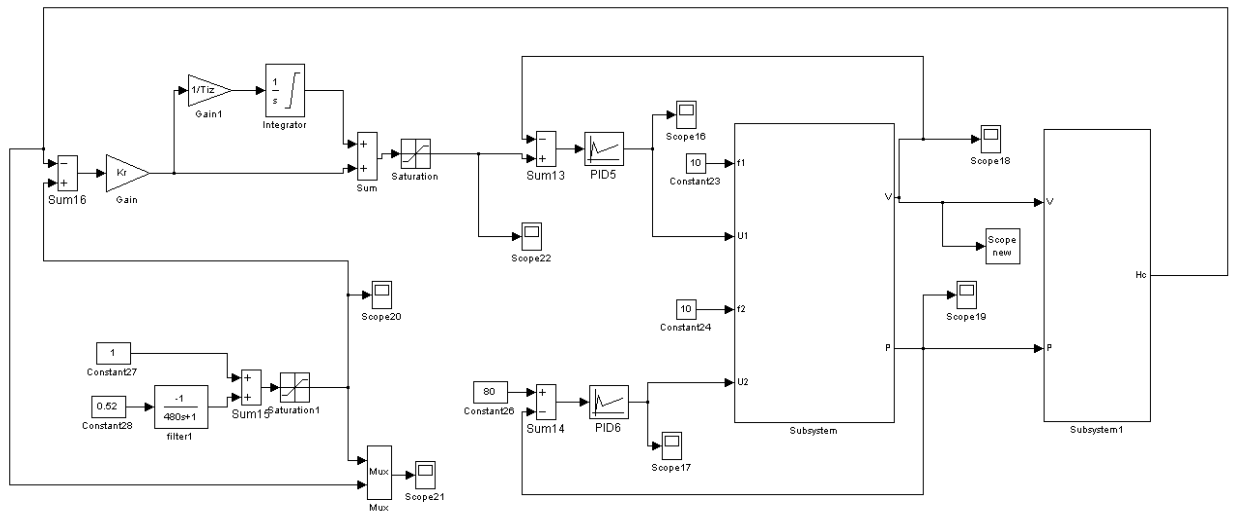


Рис.4.4. Схема моделювання САР з програмним задатчиком.

Програмний задатчик реалізовано на основі статичної аперіодичної ланки. Це дозволило сформулювати необхідний експоненційний закон зміни $h_c^{3d}(t)$ (необхідну циклограму $h_c^{3d}(t)$). Окремо схема моделювання програмного задатчика наведена на рис. 4.5.

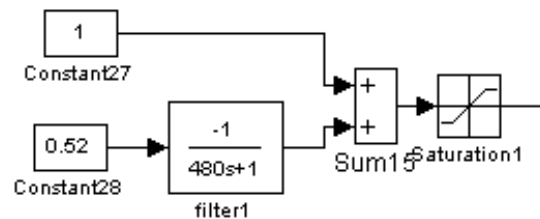


Рис. 4.5. Схема моделювання програмного задатчика.

Результати моделювання програмного задатчика наведено на рис. 4.6.

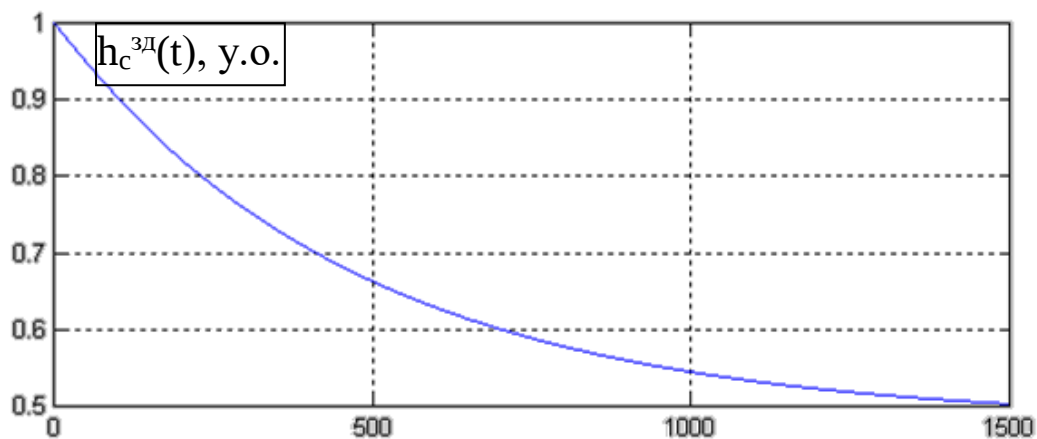


Рис. 4.6. Графік зміни $h_c^{3Д}(t)$ на виході програмного задатчика.

Проведемо налаштування головного ПИ – регулятора $h_c(t)$ в ручному режимі і розглянемо результати роботи САР для двох різних значень часу ізодрому $T_{iz1} \ll T_{iz2}$. Результати моделювання наведено на рис. 4.7 – 4.12.

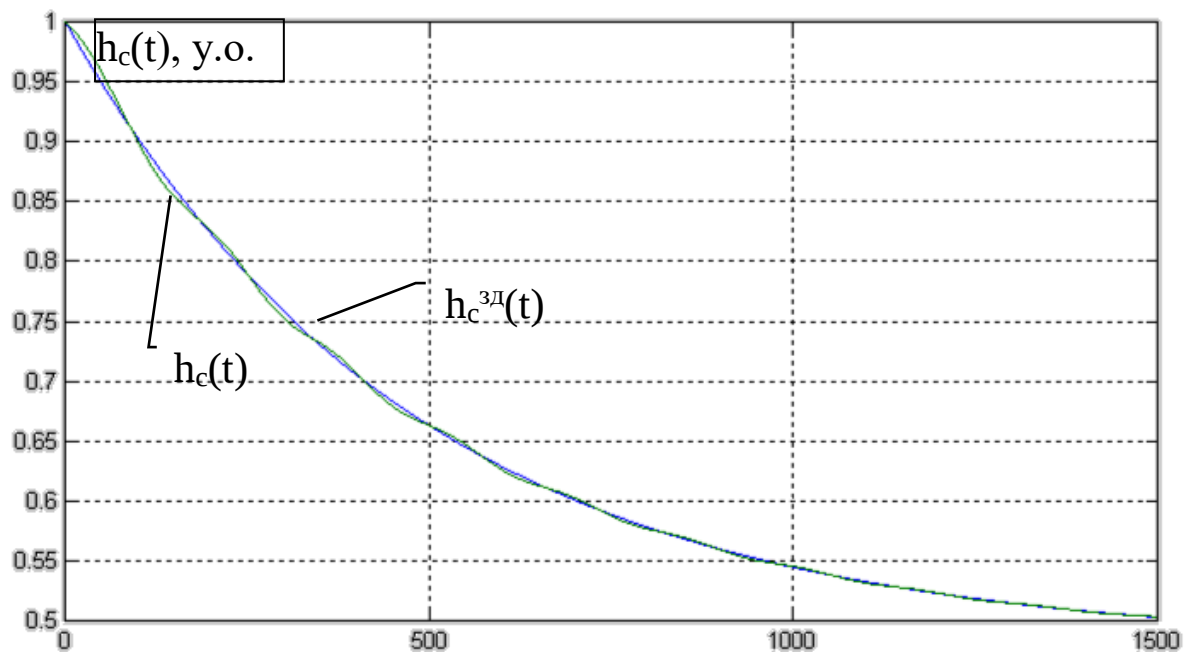


Рис. 4.7. Графік зміни $h_c^{3д}(t)$ та $h_c(t)$ при роботі системи (при T_{iz1}).

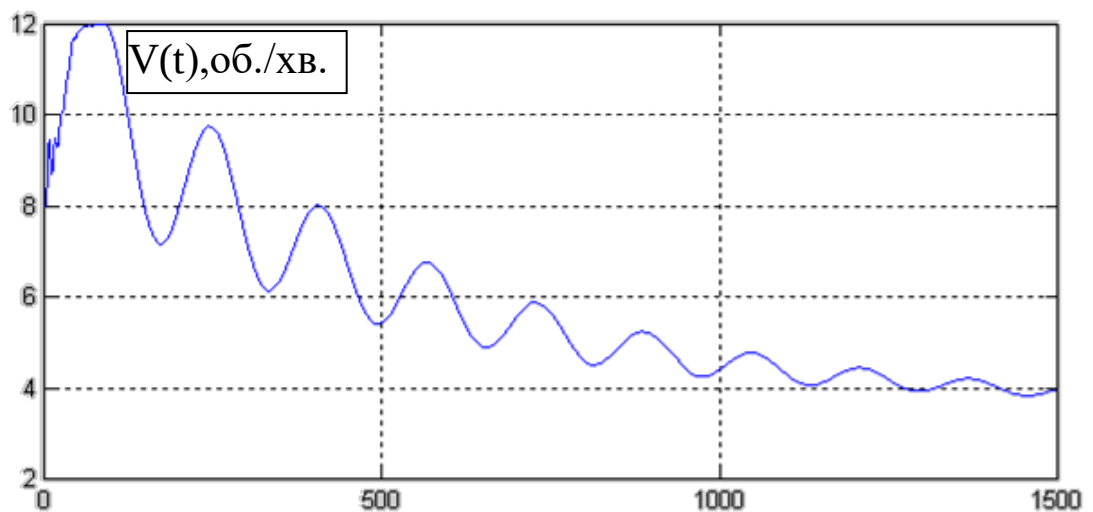


Рис. 4.8. Графік зміни $V(t)$ при роботі системи (при T_{iz1}).

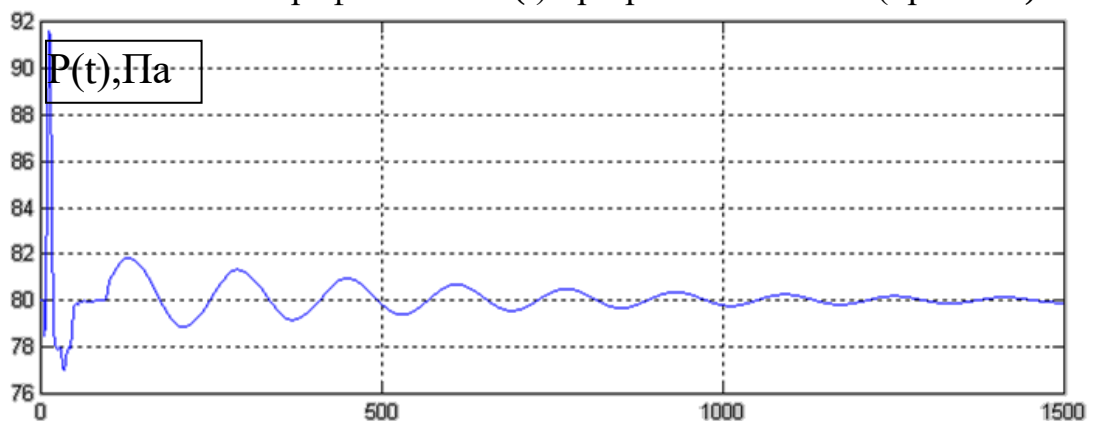


Рис. 4.9. Графік зміни $P(t)$ при роботі системи (при T_{iz1}).

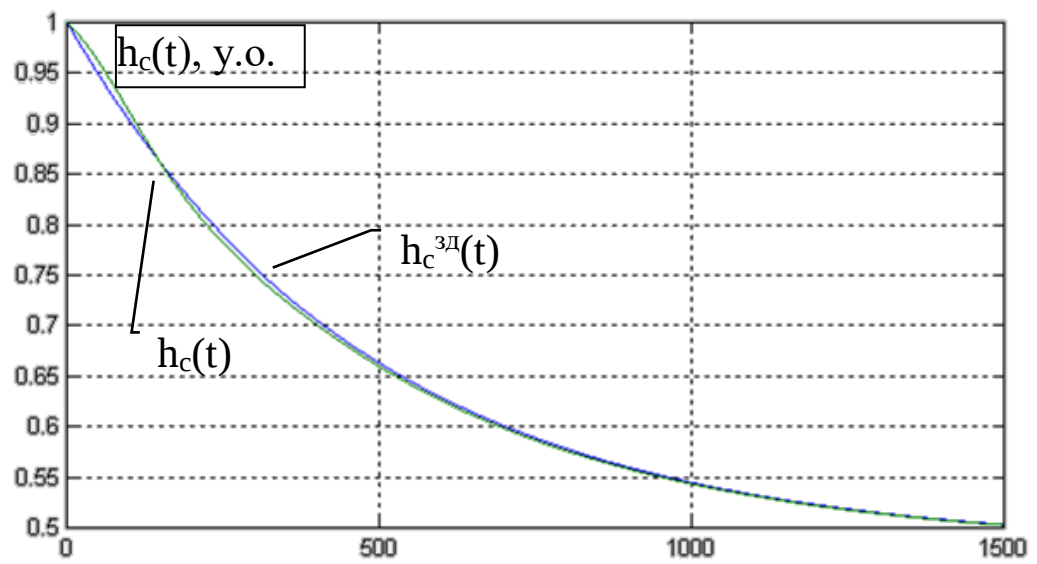


Рис. 4.10. Графік зміни $h_c^{3Д}(t)$ та $h_c(t)$ при роботі системи (при Tiz2).

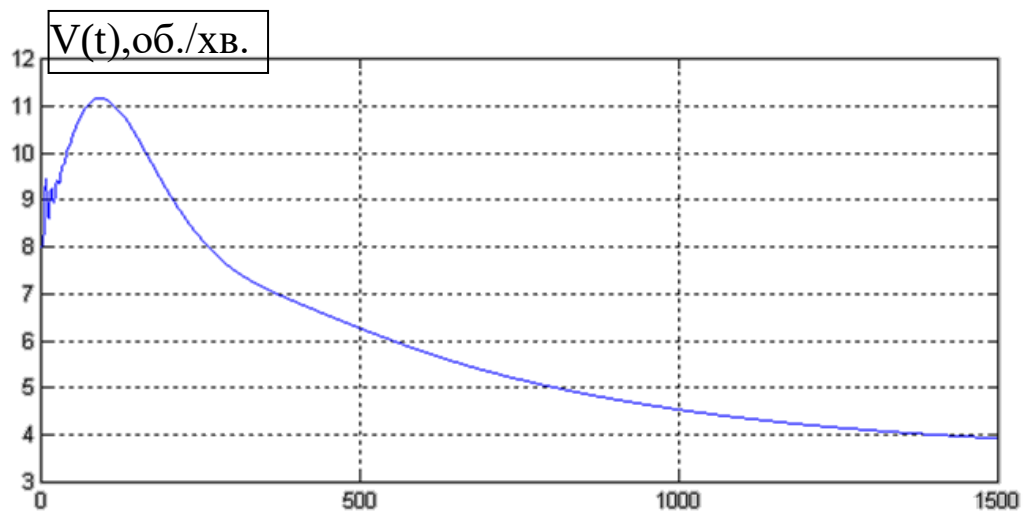


Рис. 4.11. Графік зміни $V(t)$ при роботі системи (при Tiz2).

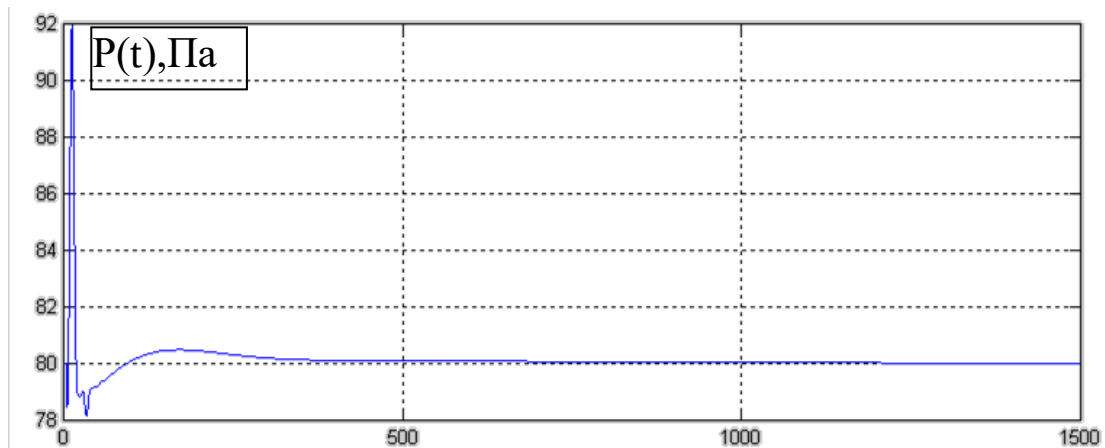


Рис. 4.12. Графік зміни $P(t)$ при роботі системи (при Tiz2).

За результатами дослідження можна зробити висновок що при певних налаштуваннях головного регулятора $W_{P3}(p)$ (в нашому випадку мале значення часу ізодрому T_{iz1}) каскадної САР рівня саломуру $h_c(t)$ можлива ситуація коли поточне значення рівня буде змінюватися за заданою програмою з достатньою точністю, але при цьому поточне значення $V(t)$ швидкості обертання чаші вакуумного масажера буде досить інтенсивно коливатися. Це може призвести до того що шматки м'яса не будуть зберігати свою цілісність і таким чином збільшиться брак готової продукції.

Проведемо оптимальний параметричний синтез каскадної САР (тільки головного регулятора) за різними критеріями оптимальності. Схема моделювання для проведення оптимального параметричного синтезу наведена на рис. 4.13. На рисунках нижче (рис.4.13 - 4.15) наведено результати оптимального параметричного синтезу головного регулятора каскадної САР за різними критеріями оптимальності: інтегральний квадратичний критерій, інтегральний модульний критерій, інтегральний модульний критерій зі штрафом швидкості. На рисунка 4.13 - 4.15 наведено два графіка $h_c(t)$ і $V^{зд}(t)$.

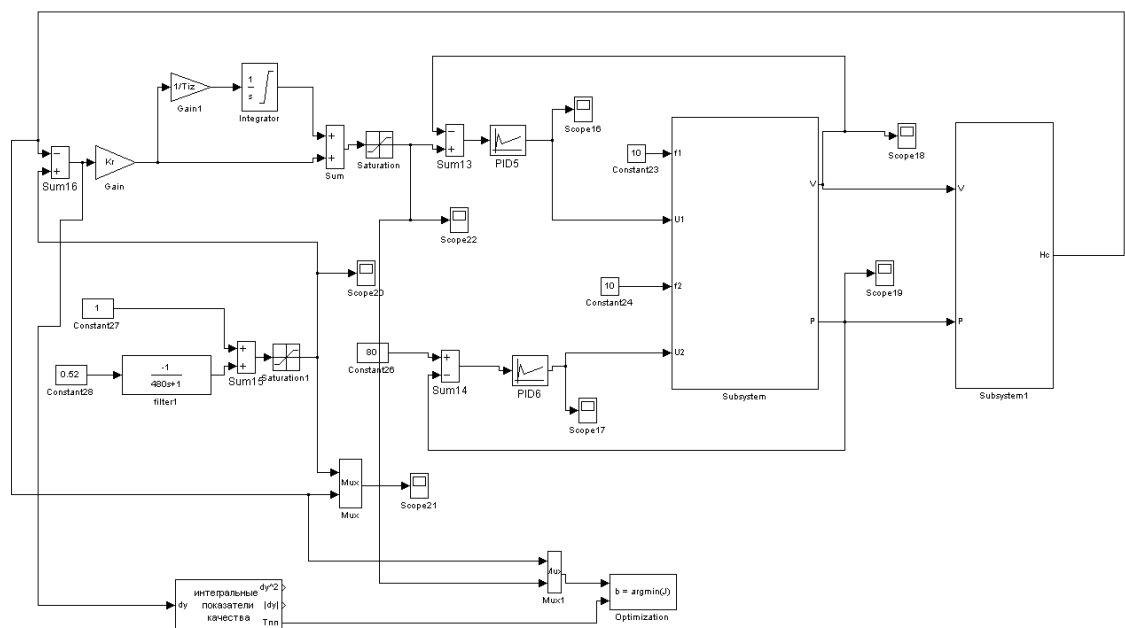


Рис. 4.13. Схема моделювання САР для проведення оптимального параметричного синтезу головного регулятору каскадної САР.

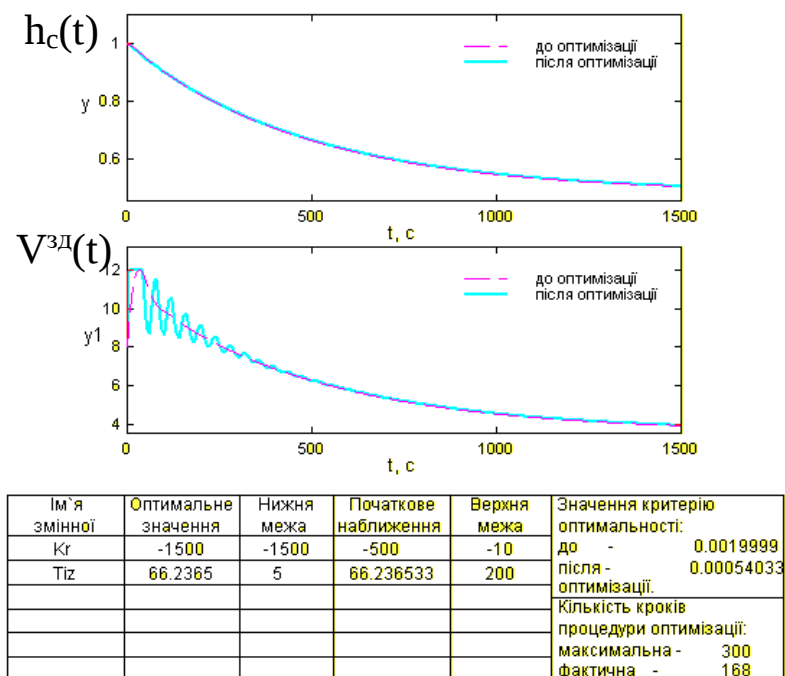


Рис. 4.13. Результати оптимального параметричного синтезу за інтегральним квадратичним критерієм.

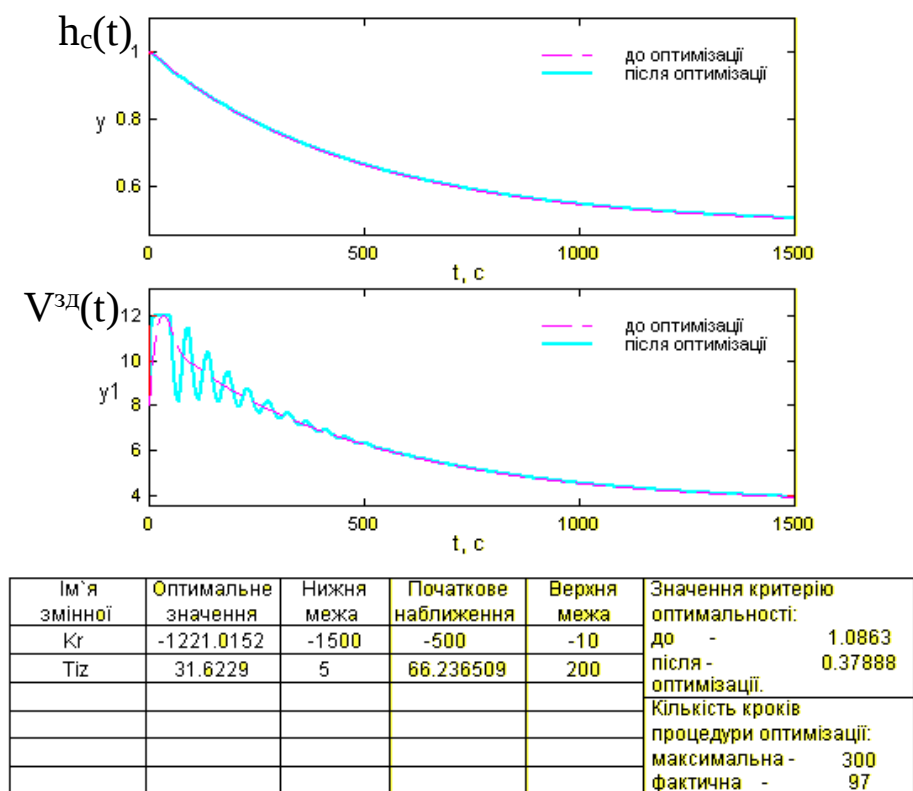


Рис. 4.14. Результати оптимального параметричного синтезу за інтегральним модульним критерієм.

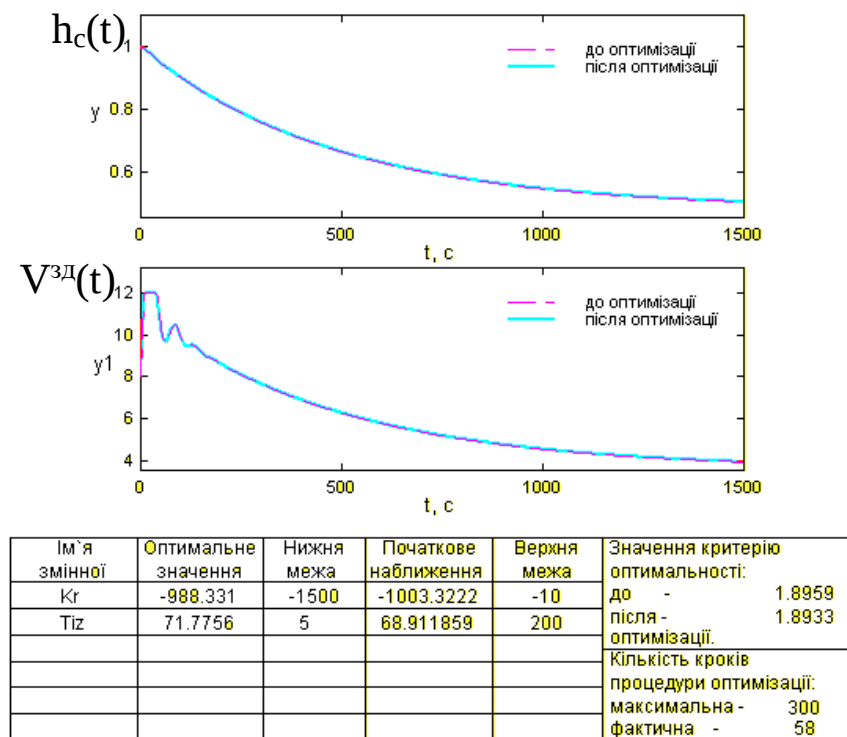


Рис. 4.15. Результати оптимального параметричного синтезу за інтегральним модульним критерієм зі штрафом швидкості.

Якщо коливання заданого значення $V^{3d}(t)$ швидкості обертання чаші вакуумного масажера є небажаним явищем, то проводити оптимальний параметричний синтез САР слід за інтегральним модульним критерієм зі штрафом швидкості. Результати перевірки такої САР на грубість наведено на рис. 4.16. При перевірці на грубість змінювались час запізнення та постійна часу інтегрування в каналі розрахунку $h_c(t)$ в діапазоні $\pm 20\%$ від номінального значення.

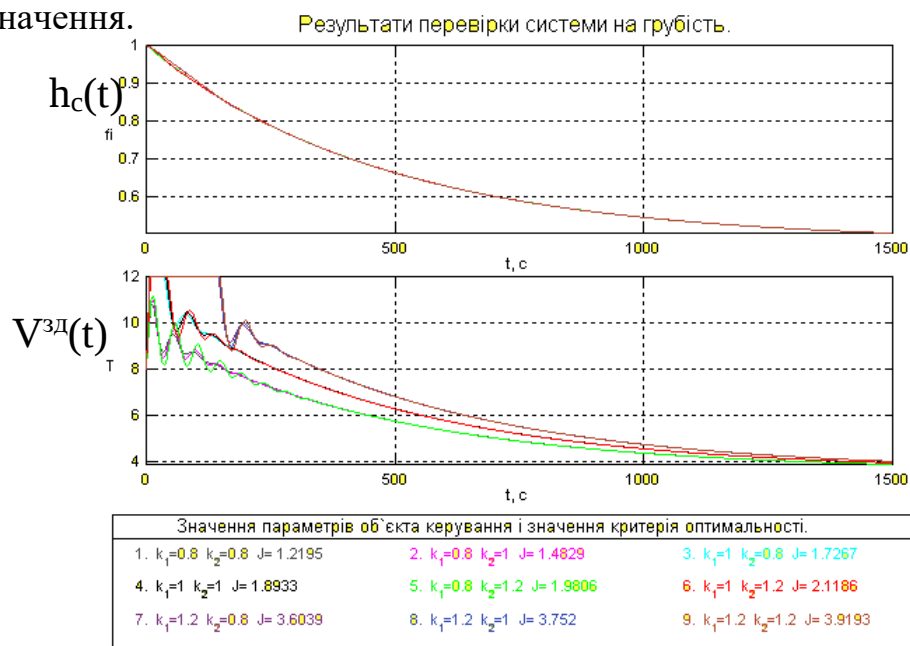


Рис. 4.16. Результати перевірки САР оптимальної за інтегральним модульним критерієм зі штрафом швидкості на грубість.

За результатами перевірки на грубість можна зробити висновок що система груба, але є виходи на обмеження (12 об./хв.) заданого значення $V^{зд}(t)$. Розглянемо ще один варіант САК для моделі ОК з іншими номінальними значеннями параметрів в каналі розрахунку $h_c(t)$. Результати оптимального параметричного синтезу каскадної САР $h_c(t)$ та перевірки її на грубість для варіанту ОК з іншим номінальним значенням постійної часу інтегрування T в каналі розрахунку $h_c(t)$ наведені на рис 4.17 і 4.18. Як видно задане значення швидкості $V^{зд}(t)$ на обмеження не виходить.

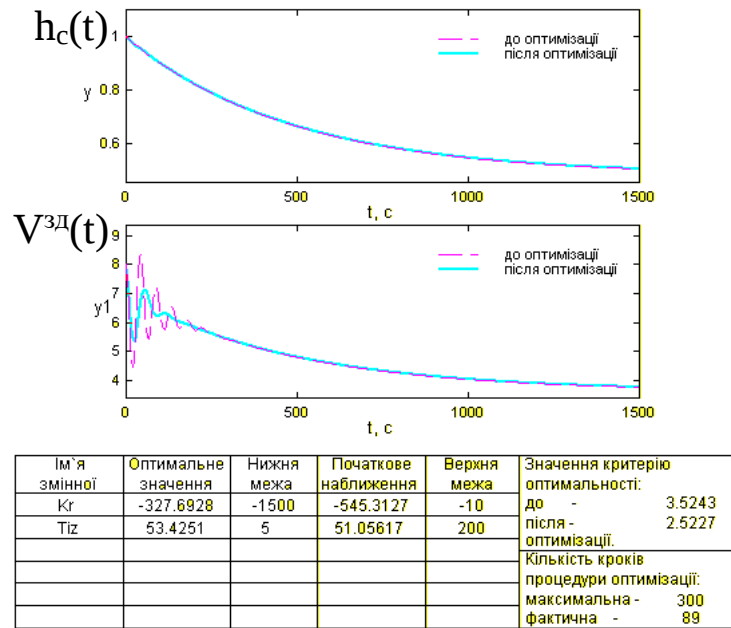


Рис. 4.17. Результати оптимального параметричного синтезу за інтегральним модульним критерієм зі штрафом швидкості.

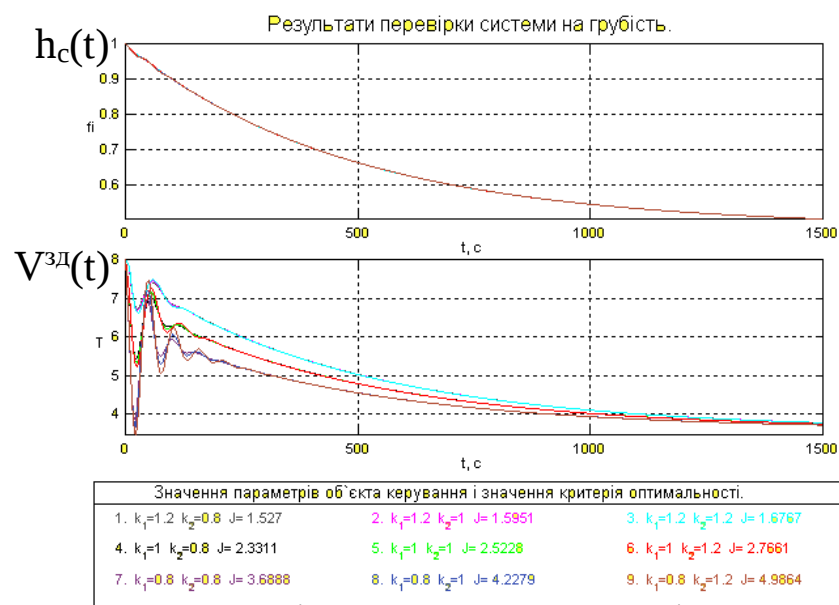


Рис. 4.18. Результати перевірки САР оптимальної за інтегральним модульним критерієм зі штрафом швидкості на грубість.

4.6 Висновки за розділом

У цьому розділі розроблена та досліджено модернізовану САР процесу масажування м'яса. САР додатково реалізує каскадний принцип керування рівнем саломуру з програмним задатчиком. Система забезпечує необхідне фільтраційне насичення м'яса саломуром і спеціями за цикл роботи масажера. Насичення м'яса саломуром проходить за заданою швидкістю, що відповідає технологічному регламенту. Система цю задачу вирішує і дозволяє зменшити брак готової продукції.

РОЗДІЛ 5

РЕАЛІЗАЦІЯ І ПІДГОТОВКА ДО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ НА ПІДПРИЄМСТВІ «АЛЬФАЙН»

5.1 Існуюча програмно-технічна структура підсистеми керування процесом масуванням м'яса і формулювання задач по її розвитку для впровадження розробок.

Систему керування розроблено на базі контролера S7-300 фірми Siemens. Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у настінній шафі зі ступенем захисту не менш IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні.

На наступних рисунках наведені рекомендації з монтажу Simatic S7-300 у шафі з урахуванням зазорів, можливості розсіювання тепла, а також схема заземлення.

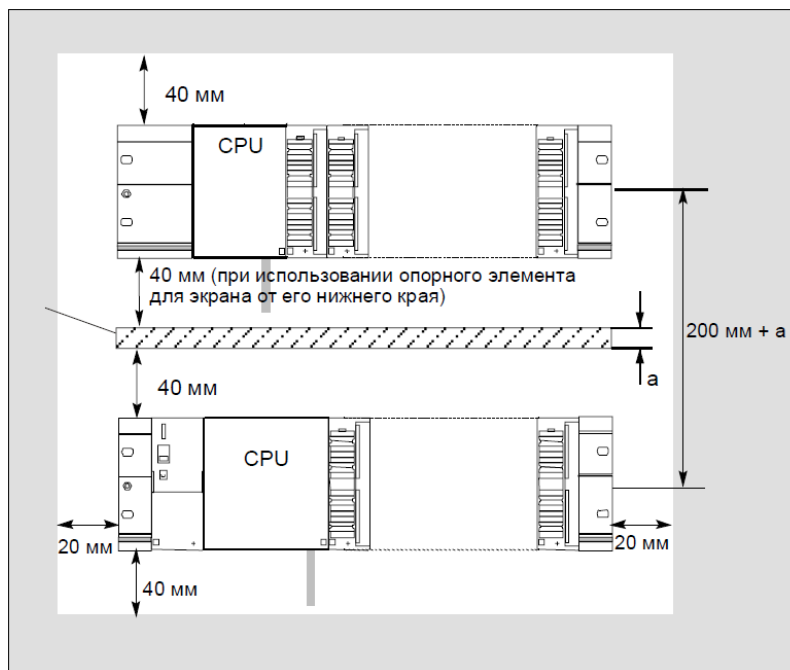


Рис. 5.1. Зазори при встановленні S7-300 у шафі

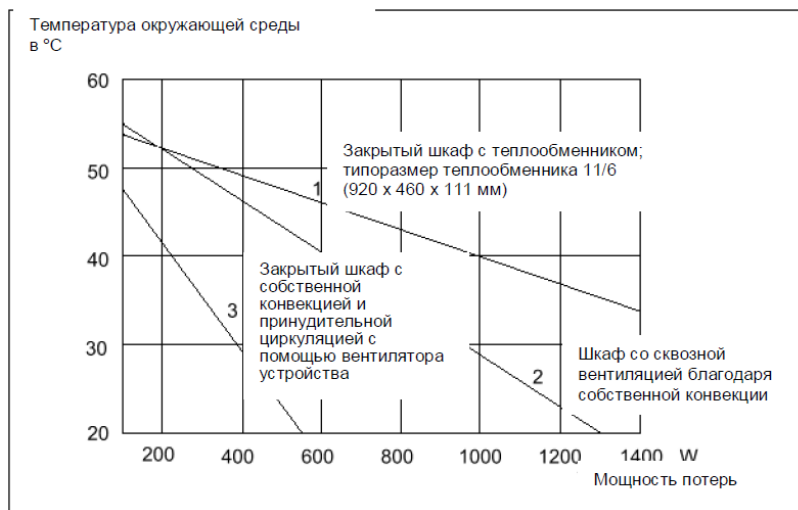


Рис. 5.2. Діаграма припустимих потужностей розсіювання

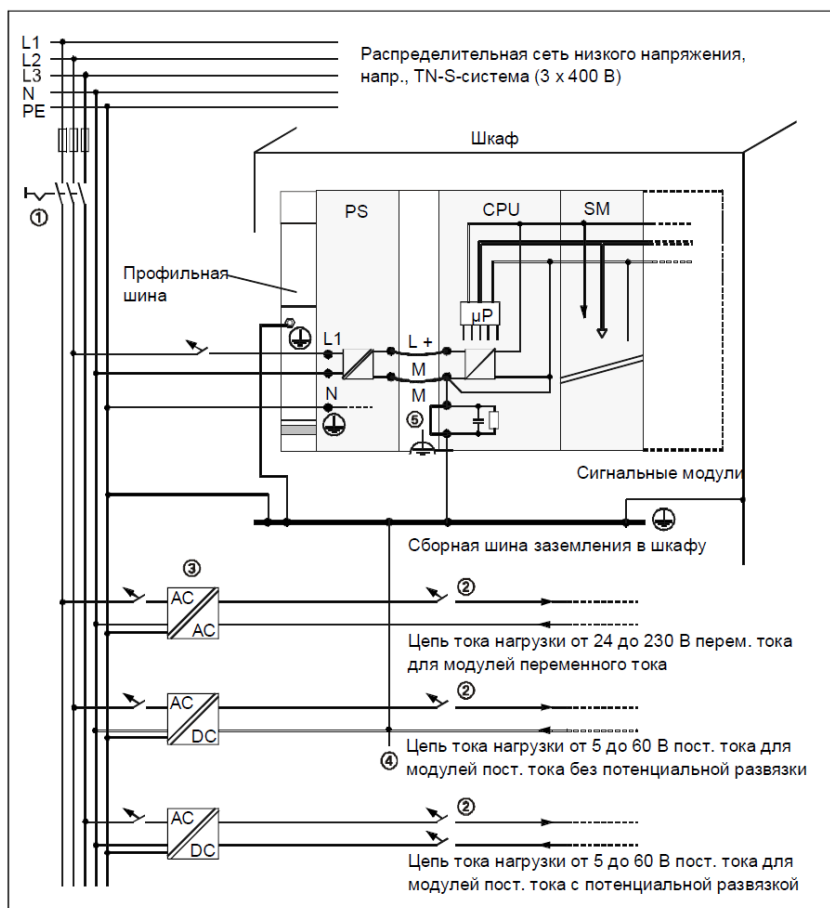


Рис. 5.3. Схема заземлення в шафі

Приміщення для розміщення контролера опалювальне, що дозволило використовувати модулі звичайного виконання, а не з розширеним температурним діапазоном, які дорожче.

Для реалізації алгоритмів керування в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені:

- аналогові входи (2),
- аналогові виходи (2),
- дискретні входи (6),
- дискретні виходи (3).

Фірма Siemens випускає найбільш широку гаму устаткування з можливістю підключення по мережі PROFIBUS/MPI, тому доцільно вибрати CPU із вбудованим портом PROFIBUS/MPI. Це дозволить при необхідності легко розширити функціональні можливості системи керування.

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити контролер та виводити з нього, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд.

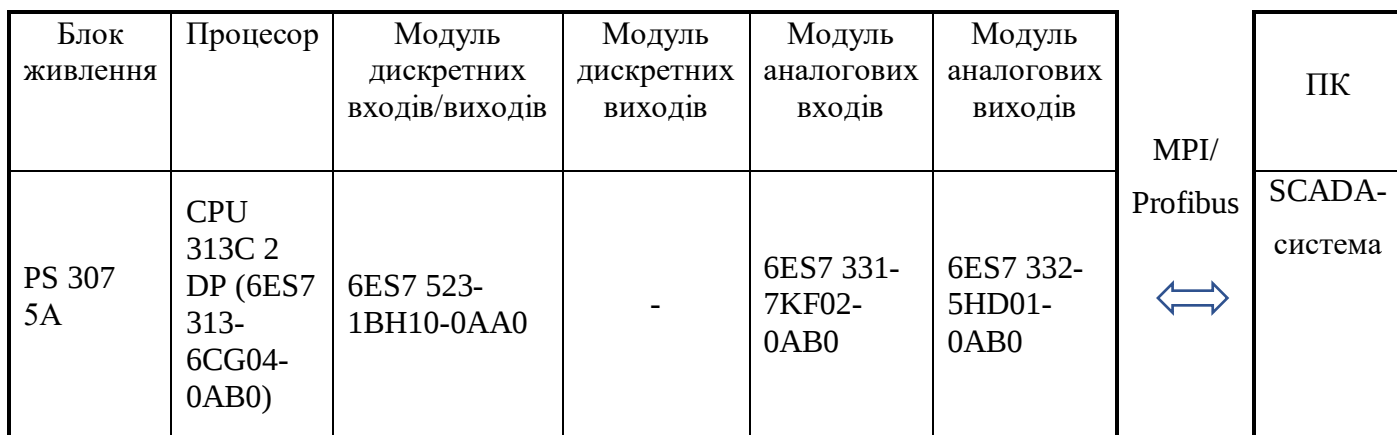


Рис. 5.4. Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом масуванням м'яса.

Вибір модулів системи

Виходячи з середньої складності алгоритмів керування, для реалізації системи

управління скористаємося контролером CPU 313C-2DP



Рис. 5.5. Загальний вид
контролеру
CPU 313C-2DP

Компактний
центральный процесор CPU
313C-2DP (6ES7 313-
6CG04-0AB0)
характеризується
наступними показниками:

- Мікропроцесор;
100-200 нс на виконання
бінарної інструкції. Робоча
пам'ять об'ємом 64 Кбайт,
RAM (приблизно 20 К
інструкцій);
для виконання завантаженої
секції програми та
зберігання оперативних
даних.

- Гнучкі можливості розширення; підключення до 31 модуля S7-300 (4-рядна конфігурація).
- Інтерфейс MPI; дозволяє встановлювати одночасно до 8 з'єднань з програмованими контролерами S7-300/400, програматорами, комп'ютерами та панелями операторів.
- Набір вбудованих входів і виходів; 16 дискретних входів = 24В і 16 дискретних виходів = 24В/0.5А .

Для підключення дискретних входів/виходів застосовано цифровий модуль вводу/виводу SM 323; DI 8/DO 8 x DC 24.

Властивості SM 323; DI 8 / DO 8 x DC 24 V / 0.5 A:

- 8 входів, потенційно розв'язаних групами по 8
- 8 виходів, потенційно розв'язаних групами по 8

- Номінальна вхідна напруга 24 В пост. струму
- Номінальна напруга на навантаженні 24 В пост. струму
- Входи придатні для перемикачів і 2-, 3- і 4-провідних реле близькості (BERO)
- Виходи придатні для електромагнітних вентилів, контакторів постійного струму і індикаторних ламп

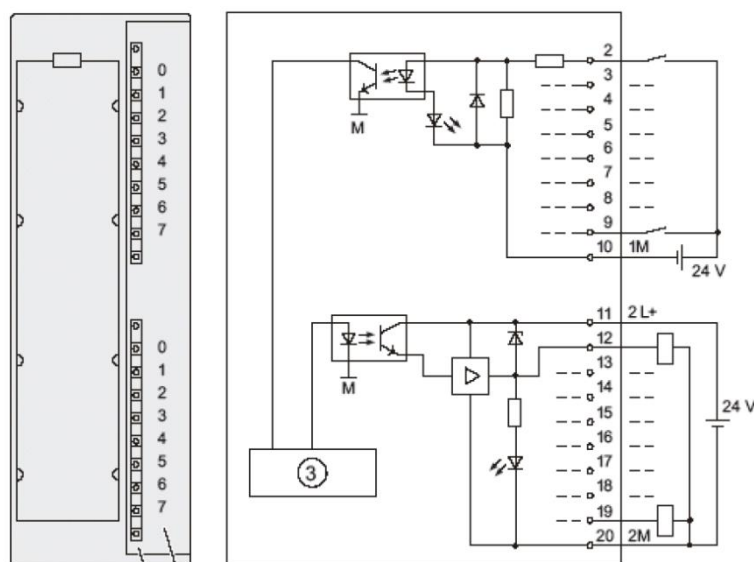


Рис. 5.6. Схеми зовнішніх підключень SM 323; DI 8/DO 8 x DC 24

Рекомендації щодо підключення дискретних сигналів. У тих випадках, коли від контакторів приходять сигнали ~ 220 В змінного струму, то для їхнього перетворення в сигнали $=24$ В постійного струму слід використовувати інтерфейсні реле, наприклад, фірми Relpol з відповідними схемами захисту вихідних ланцюгів модулів дискретного виходу від індуктивних перенапруг.

Для вводу аналогових сигналів був обраний аналоговий модуль SM 331; AI 8 x 12 Bit; (6ES7331-7KF02-0AB0).

Характеристики:

- 8 входів в 4 групах каналів
- Вид вимірювання встановлюється на групу каналів

Напруга; Струм; Опір; Температура

- Роздільна здатність встановлюється на групу каналів (9/12/14 бітів +

знак)

- Вибір діапазону вимірювань на будь-яку групу каналів
- діагностика і діагностичне переривання
- Контроль граничних значень настраюється для 2 каналів
- апаратне переривання при порушенні регламенту
- Гальванічна розв'язка з CPU і напругою на навантаженні

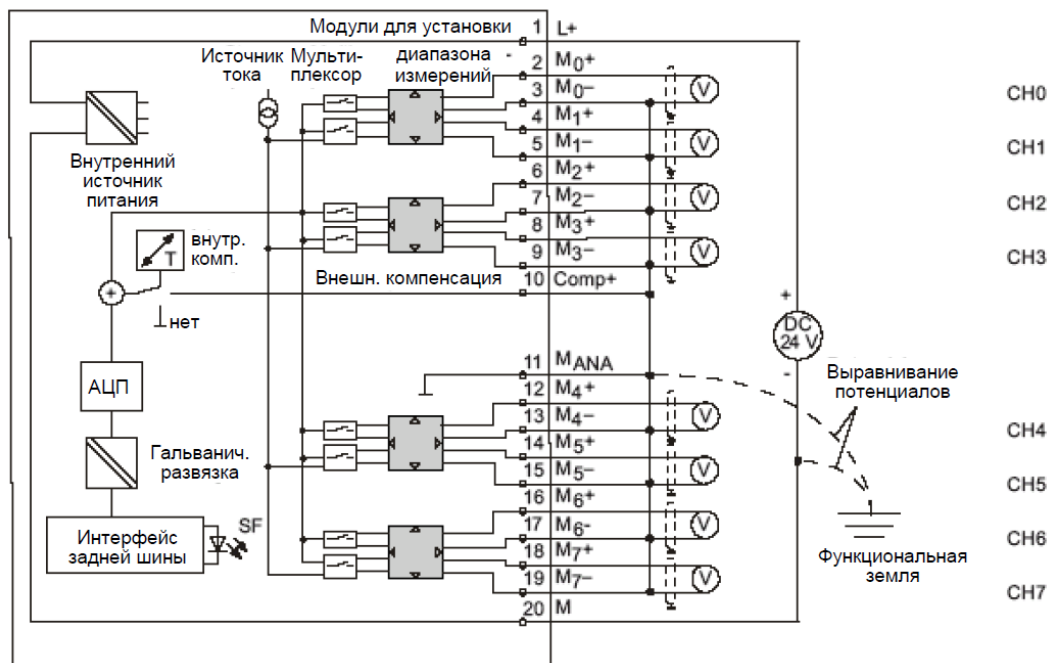


Рис. 5.7. Схема підключення SM 331; AI 8 x 12 Bit

Для виводу аналогових сигналів був обраний аналоговий модуль SM 332; АО 4 x 12 Bit; (6ES7332-5HD01-0AB0).

Властивості:

- 4 виходи в одній групі
- окремі вихідні канали можуть бути параметризовані як потенційні виходи або струмові виходи
- Роздільна здатність 12 біт
- діагностика і діагностичне переривання

- Гальванічна розв'язка щодо інтерфейсу з задньої шиною і напруги на навантаженні.

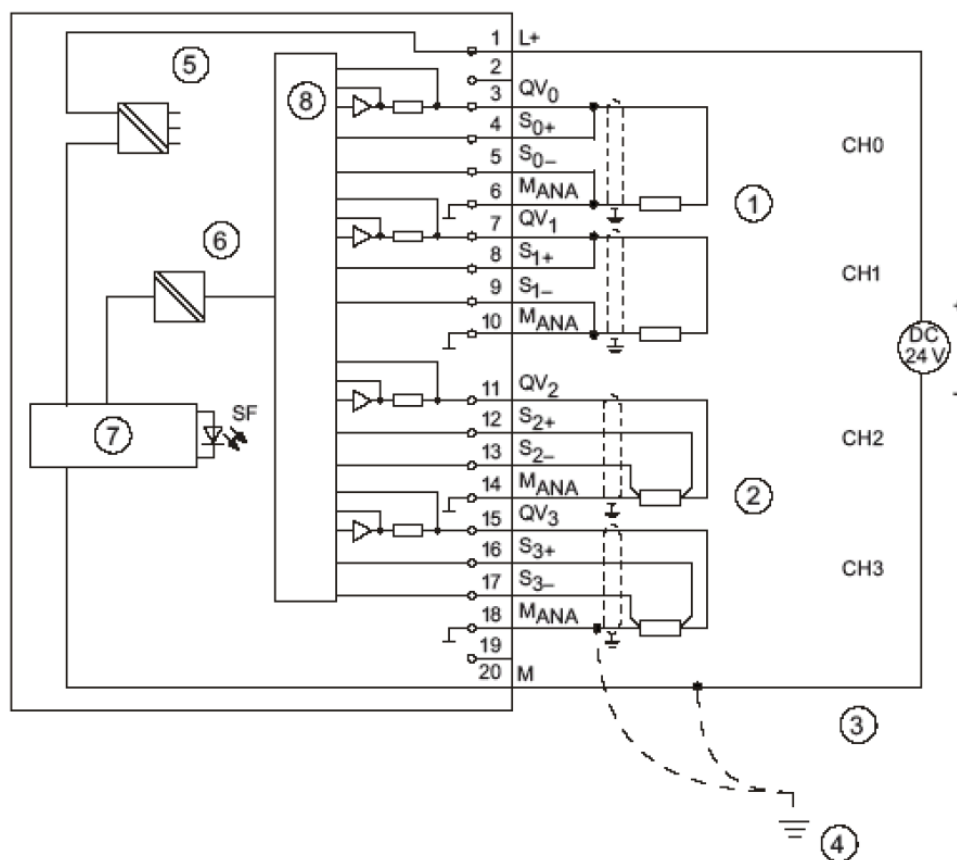


Рис. 5.8. Схема підключення SM 332; АО 4 x 12 Bit

Після вибору контролера та модулів ПЗО проводимо їх програмну конфігурацію у системі програмування Step 7 (рис. 5.9).

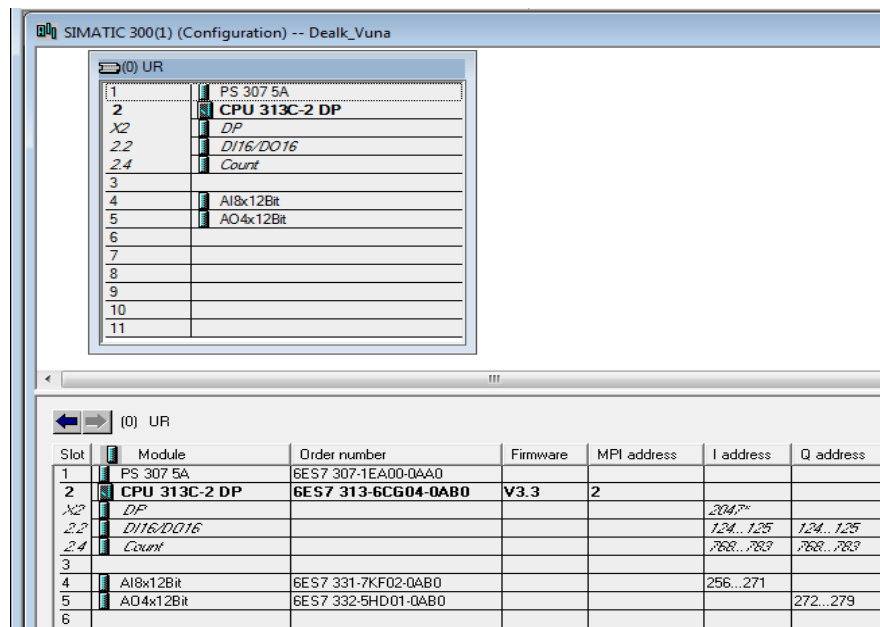


Рис.5.9. Загальний вид вікна програми «Hardware».

Існуюча система керування процесом масуванням м'яса доповнена алгоритмами формування програмного завдання рівня розсолу у масажері, та алгоритмами на основі нейронних мереж. Інтегровані алгоритми не потребують істотного збільшення обчислюваних ресурсів контролеру. Також існуюча система не потребує технічних доповнень.

5.2 Розробка, налаштування і тестування прикладного програмного забезпечення для реалізації алгоритмів керування.

Прикладне програмне забезпечення, що реалізує розроблені алгоритми керування процесом масуванням м'яса може розроблятися безпосередньо у середовищі Simatic Step 7 з використанням стандартних мов програмування контролерів STL, FBD, SCL. Для цього потрібно розроблені у системі Matlab алгоритми керування перевести у цифрову форму та вид придатний для програмування (різниці рівняння), а потім написати відповідний код. На кожному етапі реалізації можливі помилки і в загальні такий підхід потребує багато часу. Альтернативою цьому є варіант конвертації отриманих алгоритмів з пакету Simulink системи Matlab у потрібну середу програмування контролерів. В нашому випадку до середовища Step 7. Такий підхід дозволяє отримати компактний перевірений код при малих затратах часу.

Для програмної реалізації розроблених алгоритмів будемо використовувати пакет Simulink PLC Coder з його бібліотекою функціональних блоків PLCLib. Для цього з використанням блоків бібліотеки PLCLib проведемо цифрову реалізацію алгоритмів керування процесом масування м'яса у моделі Simulink. Розглянемо конвертацію алгоритмів регулювання з ПІД регуляторами та нейронними мережами. Отримана модель з алгоритмами підготовленими до конвертації наведена на рис. 5.10.

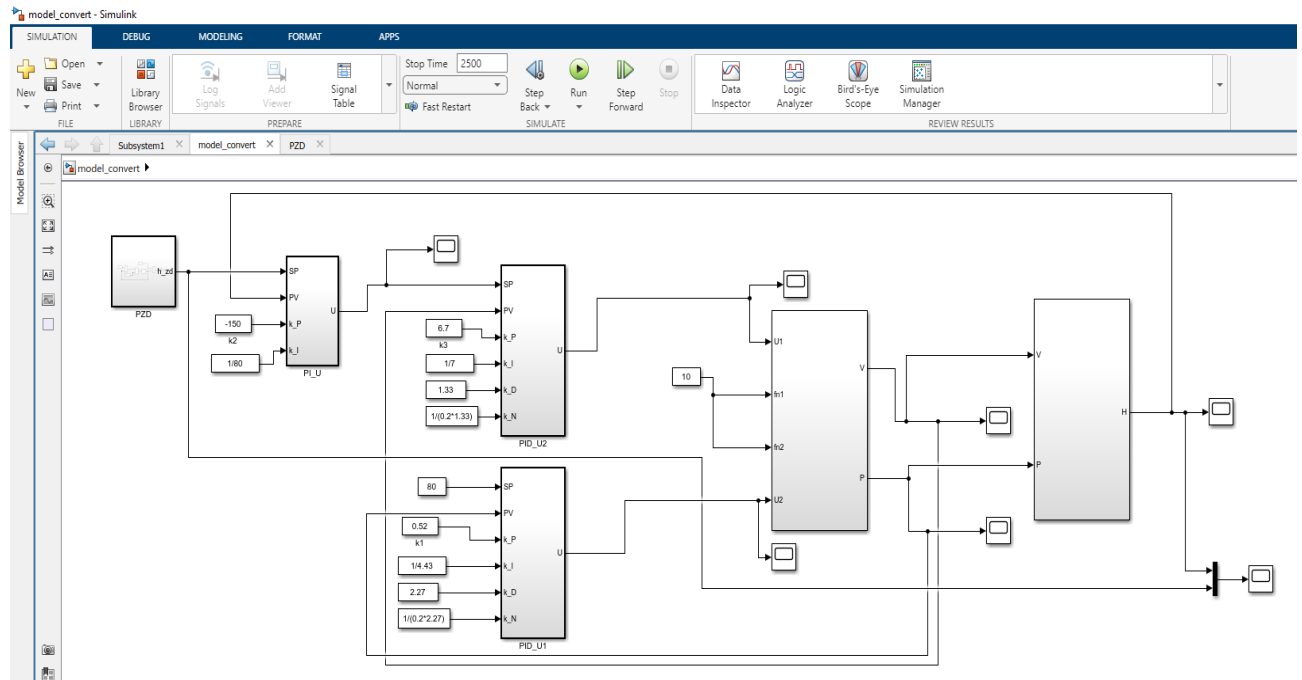


Рис. 5.10. Схема моделювання САК процесом масуванням м'яса з цифровими алгоритмами керування що підготовлені до конвертування в середовище Step7.

На рис. 5.11 – 5.13 наведені схеми моделювання ПІД регулятора, ПІ-регулятора та задатчика $h^{3Д}(t)$.

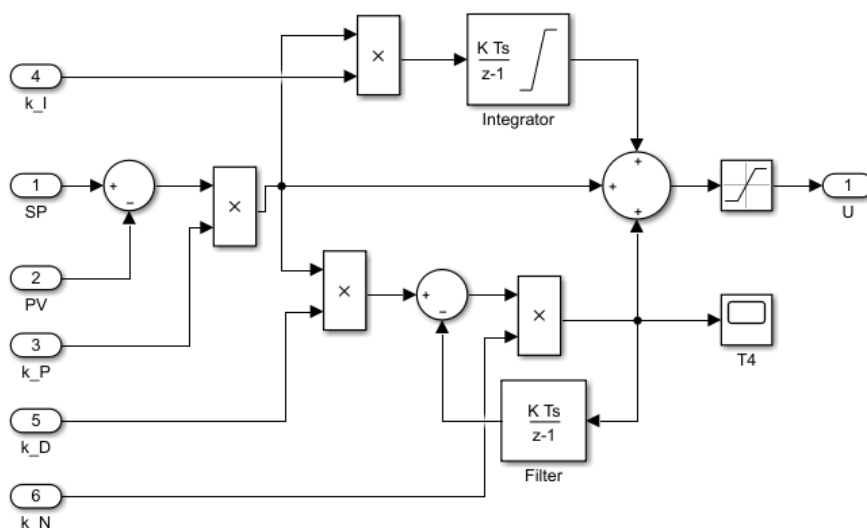


Рис. 5.11. Схема цифрового ПДД-регулятора.

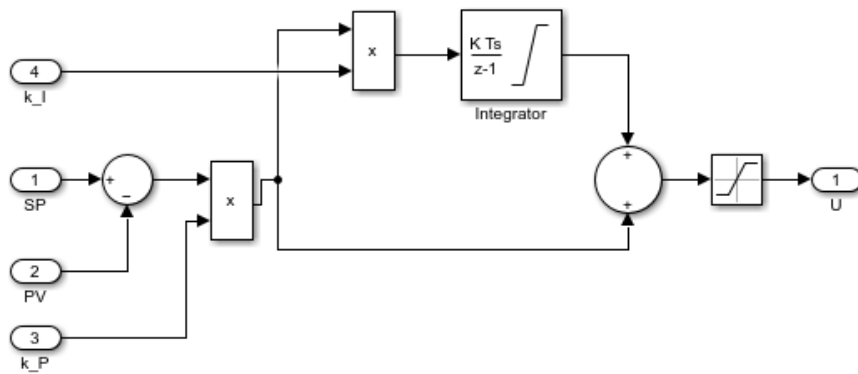


Рис. 5.12 – Схема ланки коригуючого зв'язку.

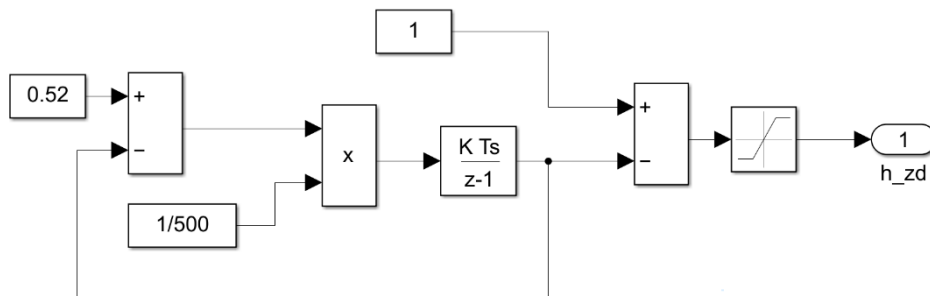


Рис. 5.13 – Схема моделювання задатчика.

Результати моделювання системи керування процесом масуванням м'яса при використанні цифрових алгоритмів які підготовлені до конвертації наведені на рис.5.14 - 5.16.

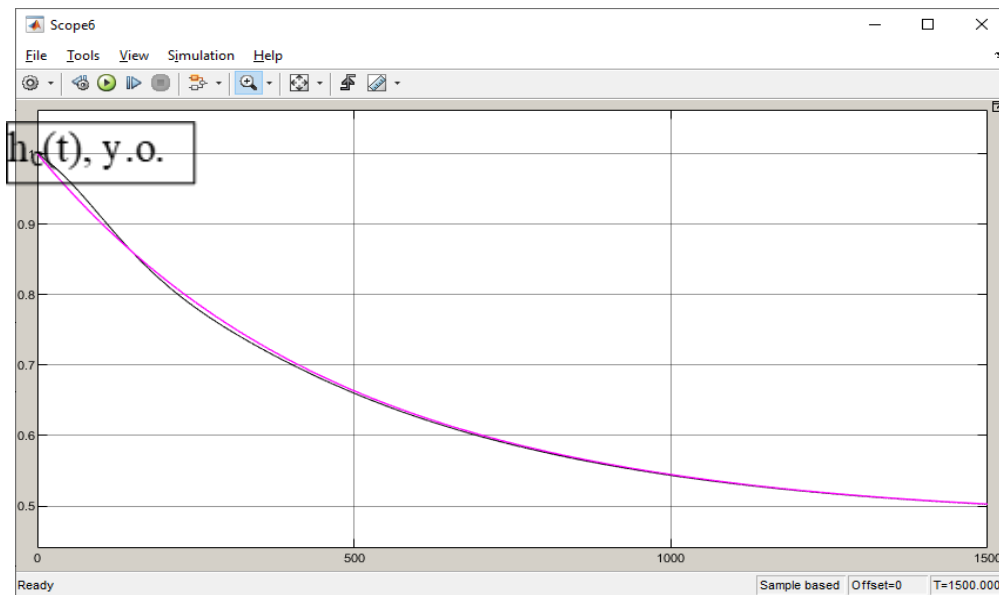


Рис. 5.14– Графік зміни $h_c^{3д}(t)$ та $h_c(t)$ при роботі системи.

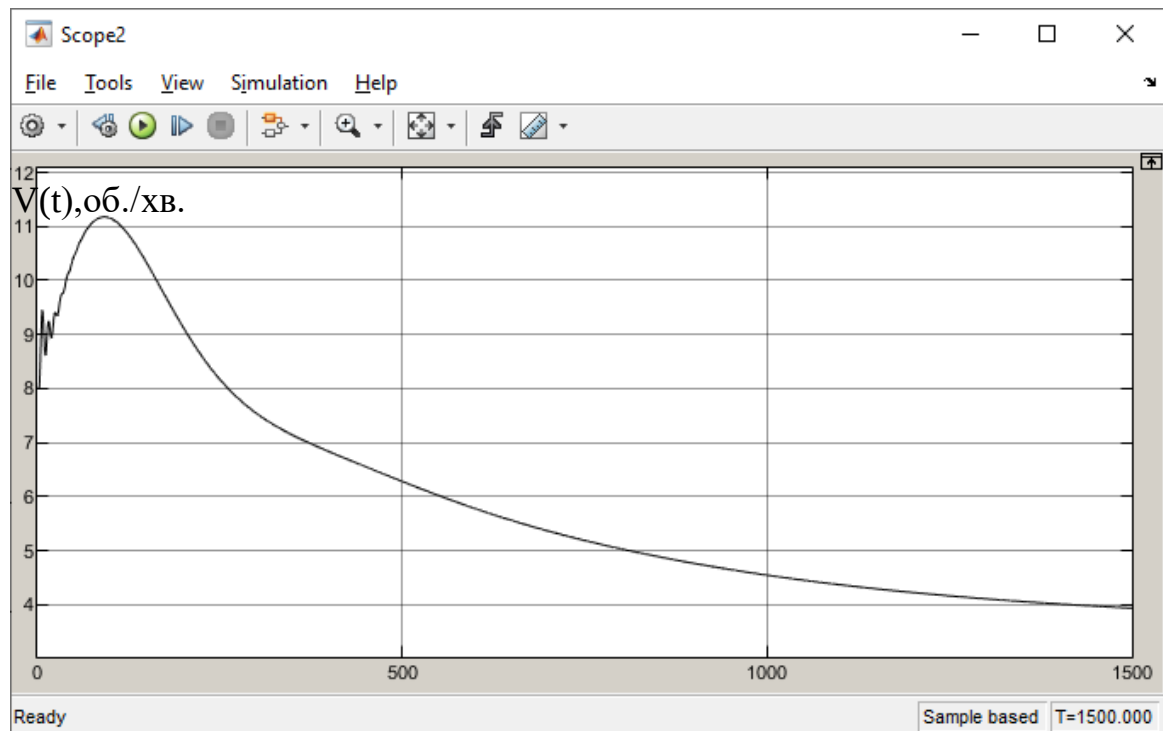


Рис. 5.15. Графік зміни $V(t)$ при роботі системи.

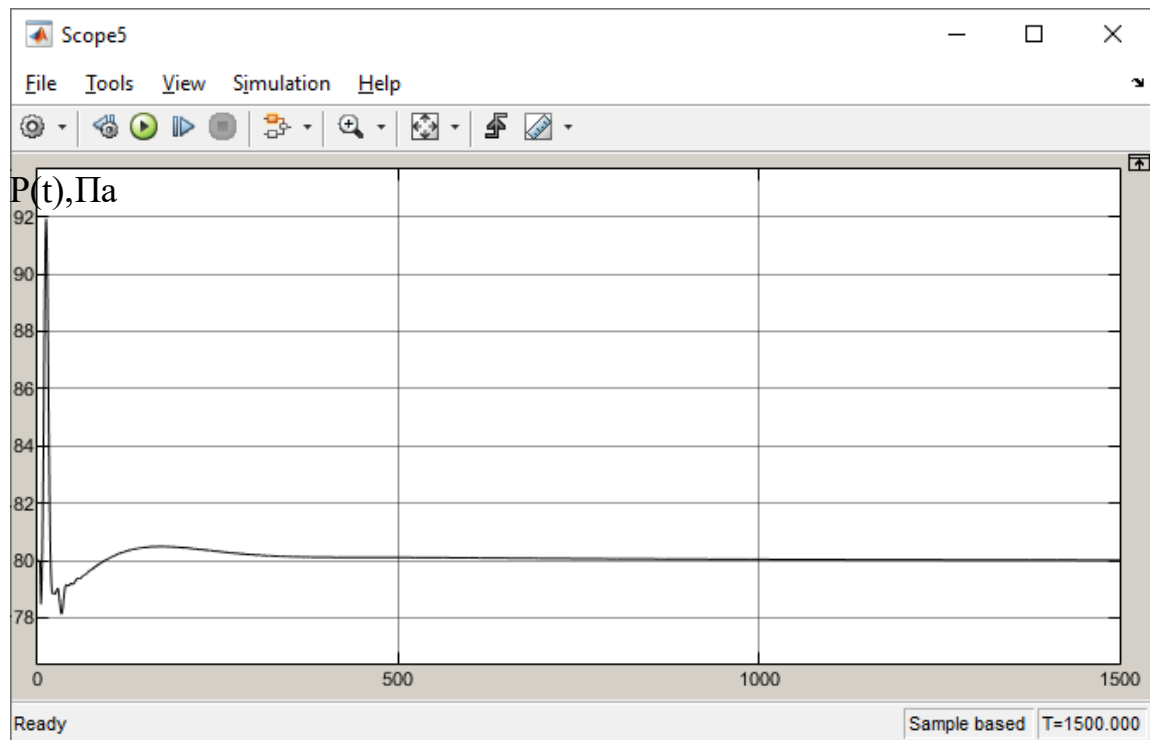


Рис. 5.16. Графік зміни $P(t)$ при роботі системи.

Для кожної підсистеми яка буде конвертуватися у мову SCL середовища Step 7 проведемо налаштування рис 5.17.

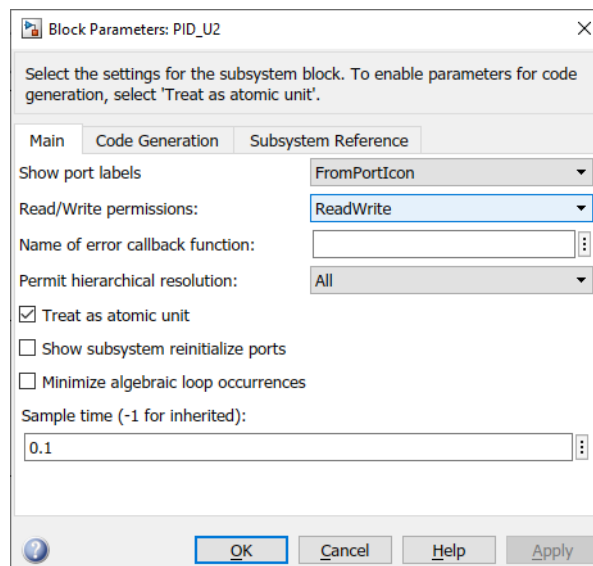


Рис. 5.18 – Вікно налаштування підсистем для їх конвертації.

Пакет Simulink PLC Coder налаштуємо для компіляції коду для середовища Siemens SIMATIC Step7 5.4 (рис. 5.19).

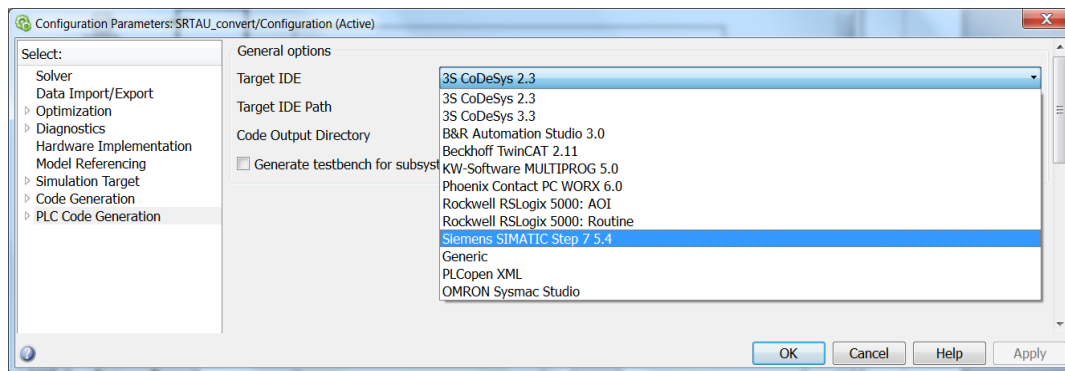


Рис. 5.19 – Вікно налаштування пакету Simulink PLC Coder.

Далі послідовно проведемо генерацію програмного коду для блоку ПД регулятора, ПІ регулятора та задатчика. На рис. 5.20 та 5.21 наведена процедура генерації коду для програмного задатчика.

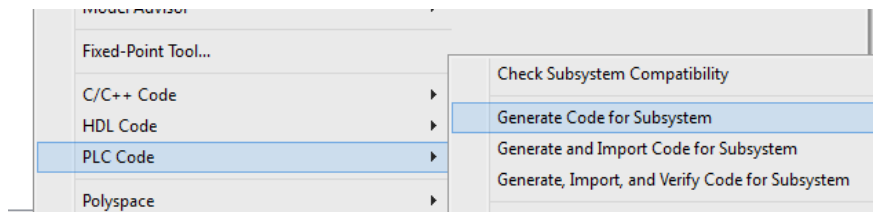


Рис 5.20 – Компіляція коду.

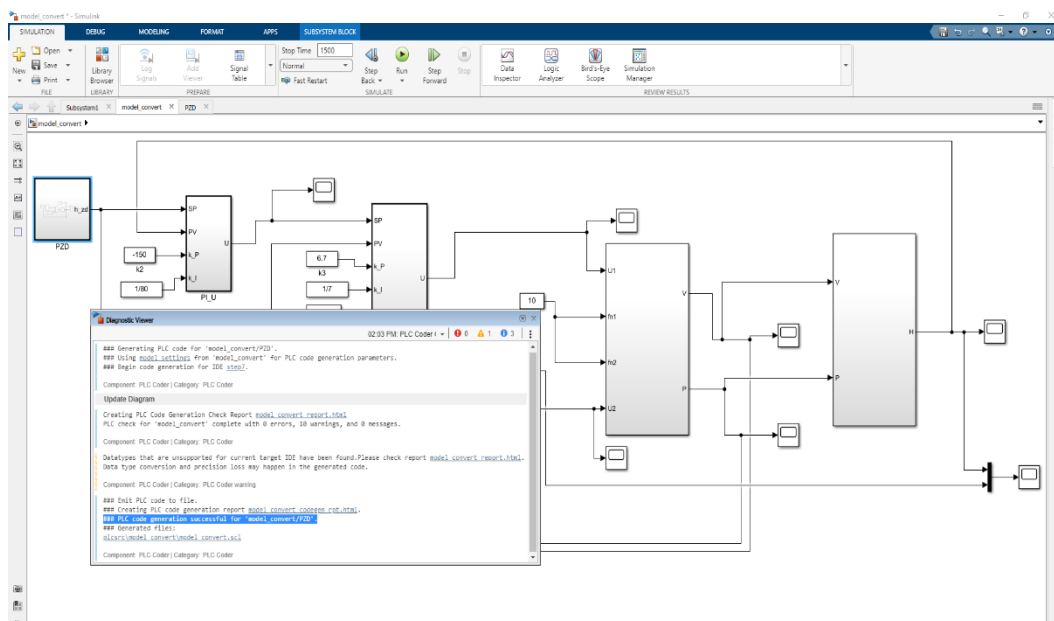


Рис. 5.21. Результати успішної генерації коду програмного задатчика для середовища SIMATIC Step7 5.4.

На рис. 5.22 наведено вихідний генерований код мовою SCL для програмного задатчика.

```

Editor - D:\M2024\Курсовая\Д\Папаєн\N5\plcsrc\model_convert\model_convert.scl
FILE VIEW
New Open Save Compare Go To Find Refactor Analyze SECTION Run Step Stop
model_convert.scl
1 (*
2 *
3 * File: model_convert.scl
4 *
5 * IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "model_convert/PZD"
6 *
7 * Model name : model_convert
8 * Model version : 1.7
9 * Model creator : user
10 * Model last modified by : user
11 * Model last modified on : Sat Jun 15 13:47:23 2024
12 * Model sample time : 0.1s
13 * Subsystem name : model_convert/PZD
14 * Subsystem sample time : 0.1s
15 * Simulink PLC Coder version : 3.6 (R2022a) 13-Nov-2021
16 * ST code generated on : Sat Jun 15 14:03:37 2024
17 *
18 * Target IDE selection : Siemens SIMATIC Step 7
19 * Test Bench included : No
20 *)
21
22 FUNCTION_BLOCK PZD
23 VAR_INPUT
24   ssMethodType: INT;
25 END_VAR
26 VAR_OUTPUT
27   h_zd: REAL;
28 END_VAR
29 VAR
30   c_DiscreteTimeIntegr: REAL;
31 END_VAR
32 CASE ssMethodType OF
33   0:
34     (* SystemInitialize for Atomic SubSystem: '<Root>/PZD' *)
35     (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' *)
36     c_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
37     (* End of SystemInitialize for SubSystem: '<Root>/PZD' *)
38   1:
39     (* Outputs for Atomic SubSystem: '<Root>/PZD' *)
40     (* Sum: '<S1>/Sum3' incorporates:
41      * Constant: '<S1>/Constant12'
42      * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' *)
43     h_zd := 1.0 - c_DiscreteTimeIntegr;
44     (* Saturate: '<S1>/Saturation1' incorporates:
45      * Constant: '<S1>/Constant12'
46      * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'
47      * Sum: '<S1>/Sum3' *)

```

Рис. 5.22. Вихідний генерований код мовою SCL блоку програмного задатчика для середовища програмування Step7.

Програмну реалізацію алгоритмів керування на базі нейронних мереж проводимо аналогічним чином. На рис. 5.23 наведена схема моделювання нейронної мережі.

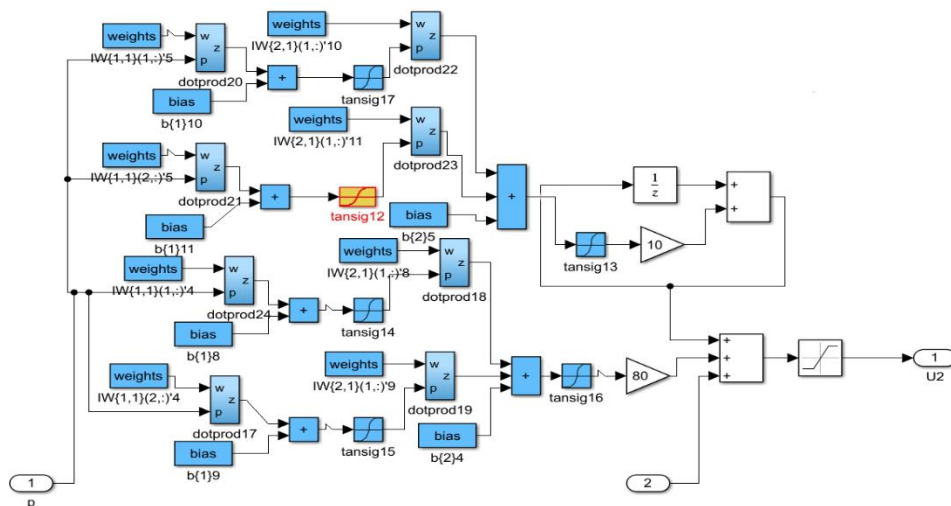


Рис. 5.23. Схема нейронної мережі.

Далі послідовно проведемо генерацію програмного коду для середовища SIMATIC Step7 5.4 На рис. 5.24 наведено вихідний генерований код мовою SCL для

блоку нейронної мережі.

```

/
FUNCTION_BLOCK Neuro
VAR_INPUT
    ssMethodType: INT;
    In1: REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Out1: REAL;
END_VAR
VAR
    c_DiscreteFilter1_st: REAL;
    UnitDelay6_DSTATE: REAL;
    rtb_Product_a: REAL;
    rtb_Sum13: REAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    0:
        (* InitializeConditions for DiscreteFilter: '<S1>/Discrete Filter1' *)
        c_DiscreteFilter1_st := 0.0;
        (* InitializeConditions for UnitDelay: '<S1>/Unit Delay6' *)
        UnitDelay6_DSTATE := 0.0;
    1:
        (* DiscreteFilter: '<S1>/Discrete Filter1' incorporates:
        * Gain: '<S1>/Gain4' *)
        rtb_Product_a := (0.4475 * In1) - (-0.7812 * c_DiscreteFilter1_st);
        (* Sum: '<S1>/Sum13' incorporates:
        * Constant: '<S12>/one'
        * Constant: '<S12>/one1'
        * Constant: '<S14>/one'
        * Constant: '<S14>/one1'
        * Constant: '<S15>/one'
        * Constant: '<S15>/one1'
        * Constant: '<S1>/IW(1,1) (1,:) '6'
        * Constant: '<S1>/IW(1,1) (1,:) '7'
        * Constant: '<S1>/IW(1,1) (1,:) '12'

```

Рис. 5.24. Вихідний генерований код мовою SCL блоку нейронної мережі для середовища програмування Step7.

Після генерації коду в середовищі MATLAB додаємо новий код у існуючий проект у середовищі Step 7. Процес інтеграції програмних модулів у проект Step 7 наведено на рис. 5.25, а на рис 5.26 приклад імпортованого генерованого коду програмного задатчика.

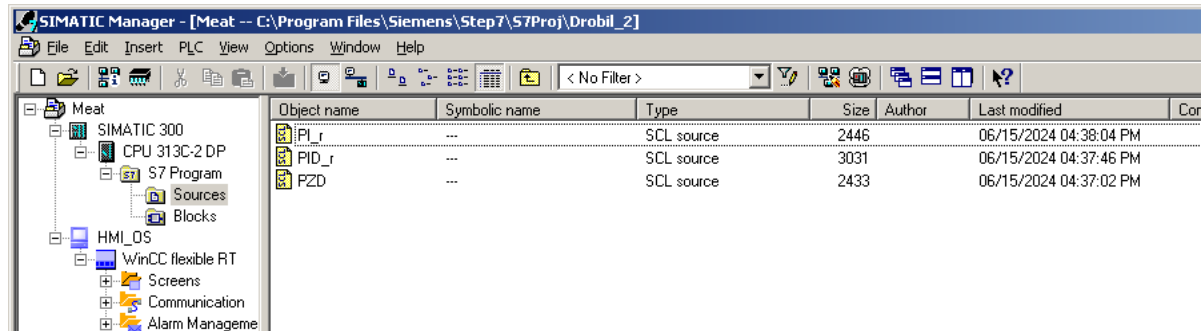


Рис. 5.25. Процедура імпорту генерованого коду регуляторів та програмного задатчика в середовище програмування Step 7 і створення відповідних функціональних блоків.

Алгоритми регулювання швидкості чаші, розрідження в чаші та рівня розсолу в чаші, а також програмний задатчик рівня реалізовані у блоці FB5. Фрагмент коду програми наведено на рис. 5.28.

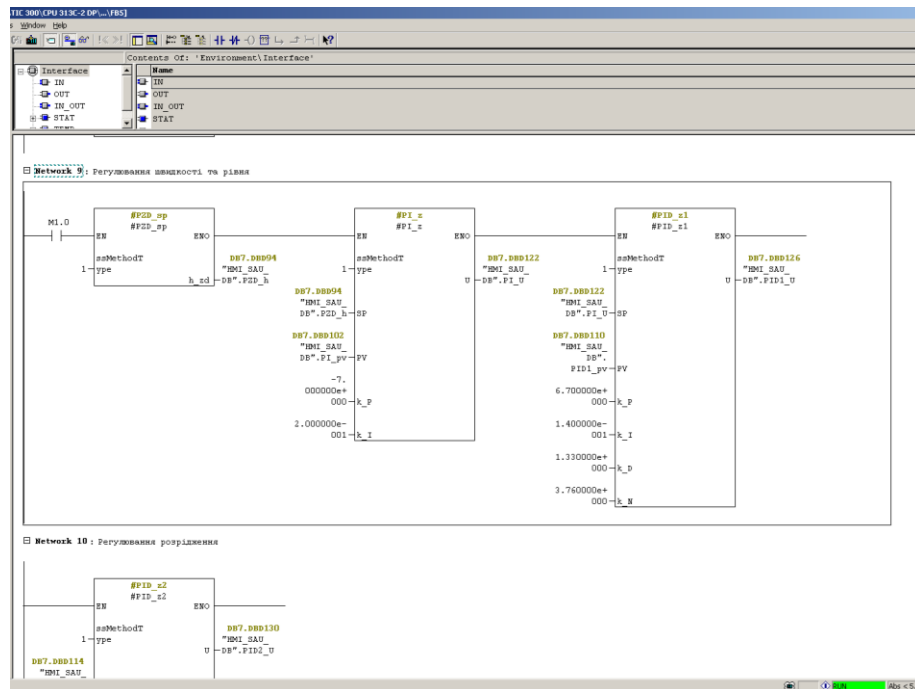


Рис. 5.28. Фрагмент програми в блоці FB5 яка реалізує розрахунок регуляторів та задатчика.

Проведемо тестування програми в режимі емуляції контролеру. Для цього доповнимо програму спрощеною моделлю об'єкта керування і запустимо розрахунок моделі САР. Фрагмент програми моделі ОК наведено на рис. 5.29. А результати тестування САР рівня розсолу в чаші та розрідження наведені рис. 5.30 - 5.32. Графіки наведено у вікнах SCADA – системи WinCCflexible.

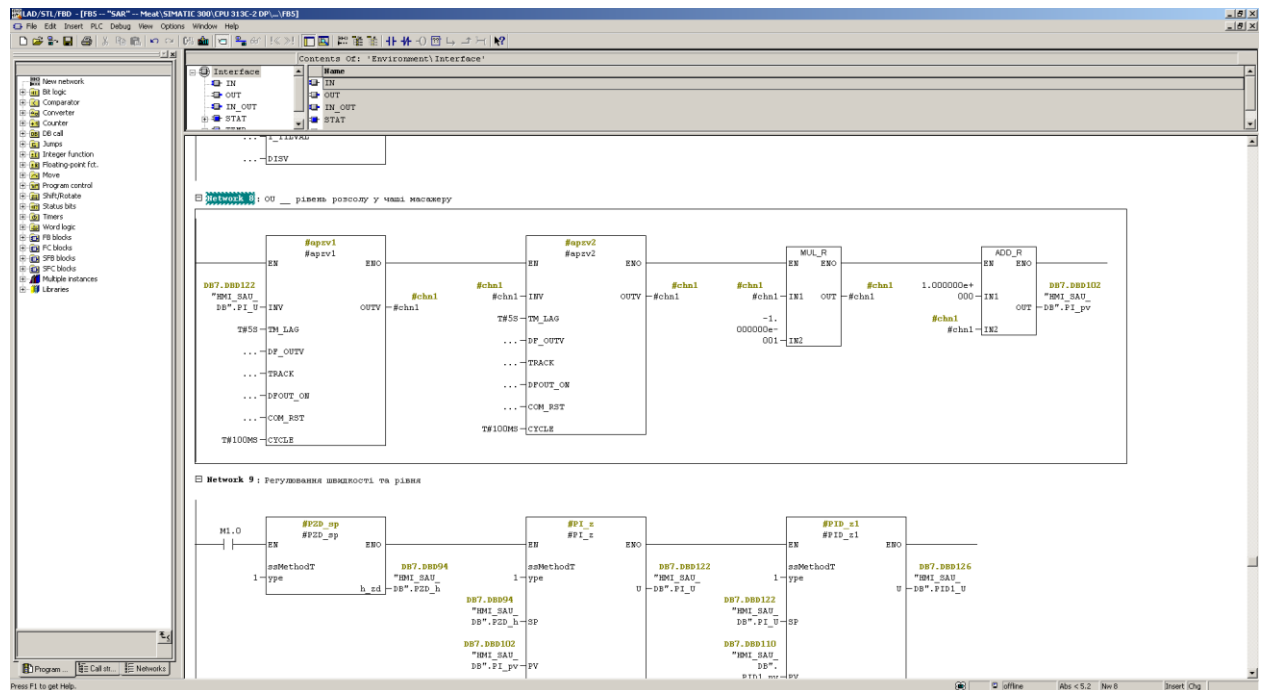


Рис. 5.29. Фрагмент програми в блоці FB5 яка реалізує розрахунок моделі ОК.

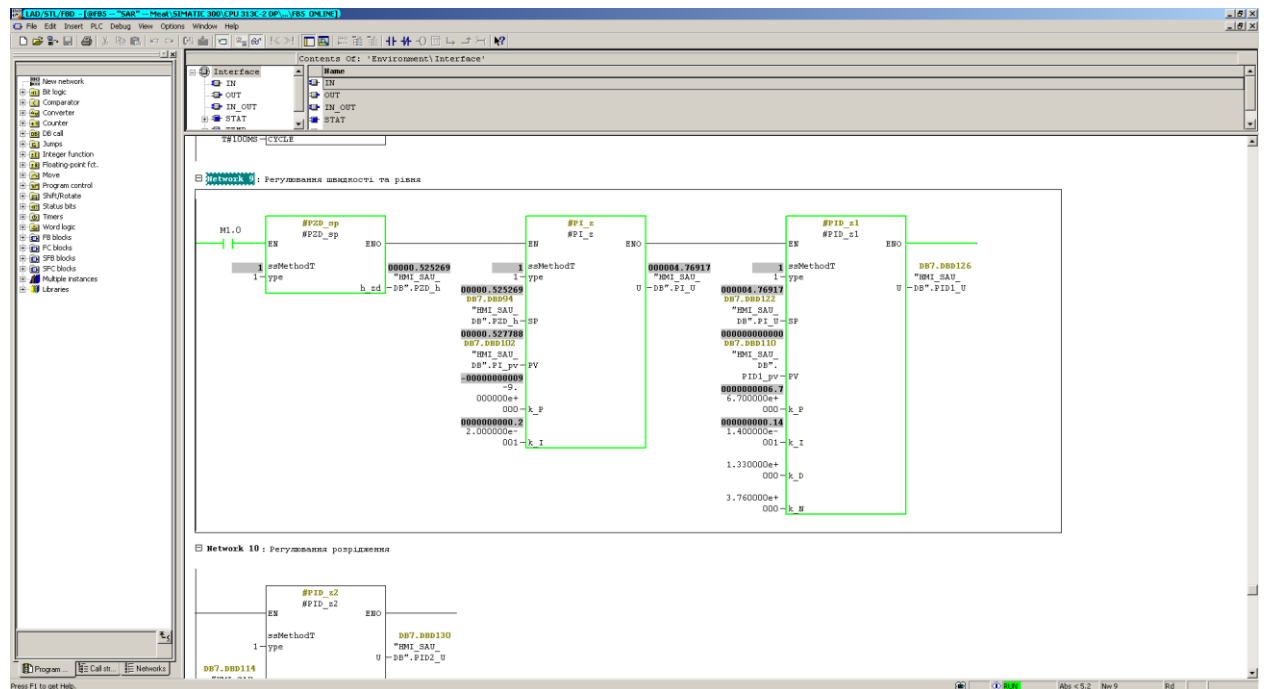


Рис. 5.30. Фрагмент програми алгоритмів регулювання у режимі відладки.

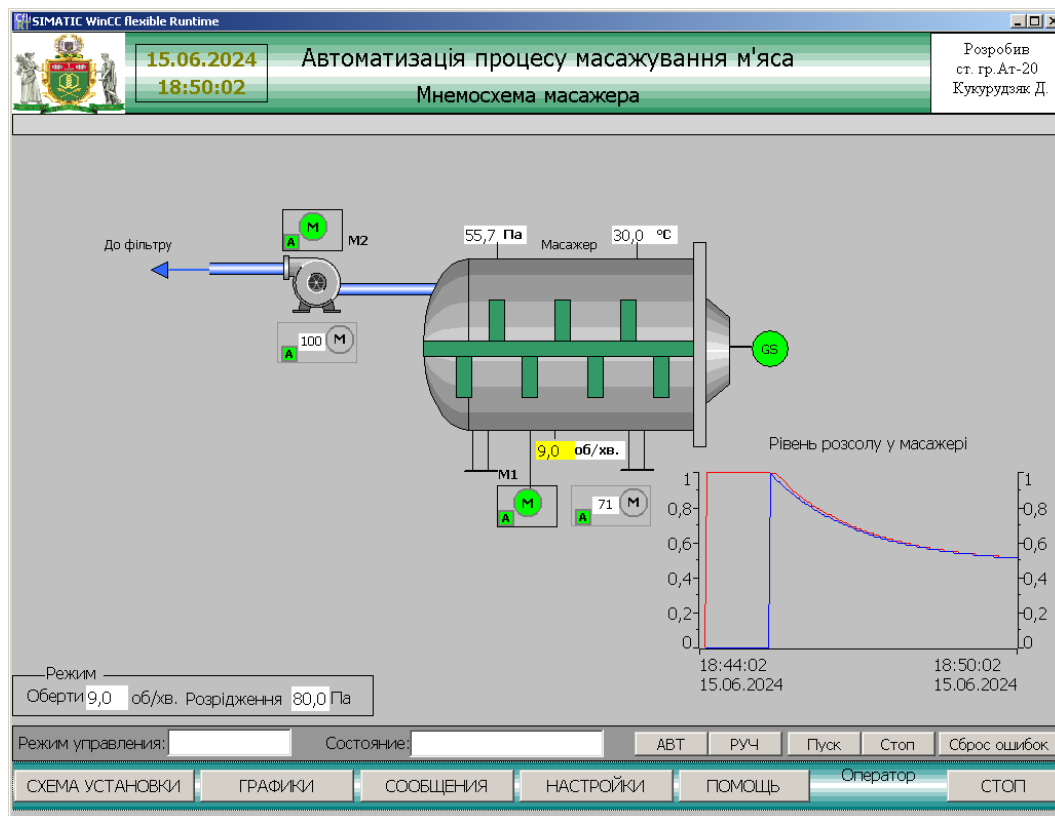


Рис. 5.31. Результаты тестування CAP (вікно SCADA).

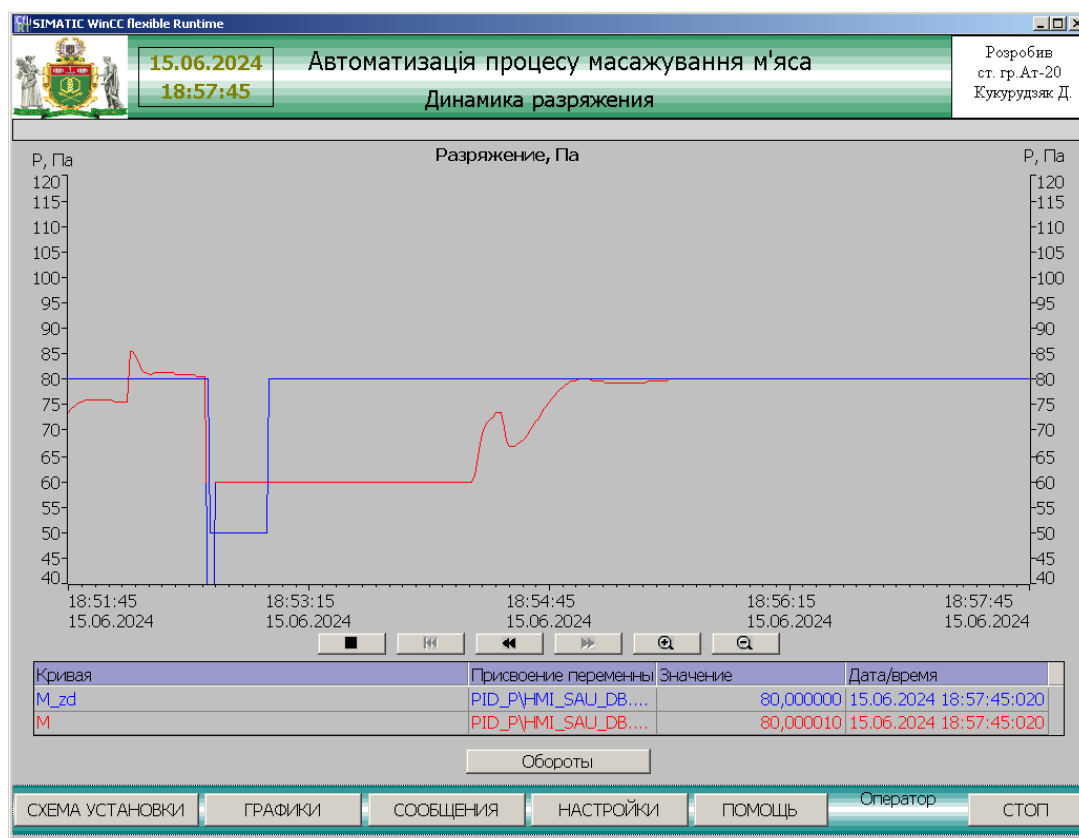


Рис. 5.32. Результаты тестування CAP (вікно SCADA).

Результати тестування підтвердили працездатність отриманих в результаті конвертації програмних модулів і ефективність застосування пакету Simulink PLCoder.

5.3. Оцінка економічної ефективності впровадження розробок.

За результатами моделювання можна зробити висновки що побудова програмної САР рівня розсолу в чаші дозволяє забезпечити необхідне фільтраційне насичення м'яса розсолом і спеціями за цикл роботи масажера. Насичення м'яса розсолом проходить за заданою швидкістю у відповідності до технологічного регламенту. Система цю задачу вирішує добре і дозволяє зменшити брак готової продукції. на 3-4%.

5.4 Висновки за розділом

1. В цьому розділі розглянута програмно-технічна структура системи керування процесом масуванням м'яса. Обґрунтовано обрані контролер, ПЗО та програмне забезпечення фірми Siemens для реалізації системи.

2. Розроблені в системі Matlab моделі нових алгоритмів керування процесом масуванням м'яса за допомогою пакету Simulink PLC Coder були конвертовані для інтеграції у середовище програмування контролерів фірми Siemens Simatic Step 7. Проведене тестування конвертованого програмного забезпечення підтвердило його працездатність та ефективність застосування конвертору пакета Simulink PLC Coder.

3. Вдосконалення системи керування забезпечить більш якісне масуванням м'яса за заданою у часі програмою та забезпечить високу якість делікатесних м'ясних продуктів.

Додаток А

Вихідний текст модулю ПІД регулятора.

```
SCL - [PID_R -- RGZSIMATIC 300(1)MCPU 313C-2 DP]
File Edit Insert PLC Debug View Options Window Help

FUNCTION_BLOCK FB1
VAR_INPUT
    ssMethodType: INT;
    SP: REAL;
    PV: REAL;
    k_P: REAL;
    k_I: REAL;
    k_D: REAL;
    k_N: REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    U: REAL;
    dPV: REAL;
END_VAR
VAR
    Integrator_DSTATE: REAL;
    Filter_DSTATE: REAL;
    rtb_Add: REAL;
    rtb_Add2: REAL;
    rtb_Product: REAL;
    rtb_Product3: REAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    0:
        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Integrator' *)
        Integrator_DSTATE := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Filter' *)
        Filter_DSTATE := 0.0;
    1:
        (* DiscreteIntegrator: '<S1>/Integrator' *)
        IF Integrator_DSTATE >= 100.0 THEN
            Integrator_DSTATE := 100.0;
        ELSIF Integrator_DSTATE <= -100.0 THEN
            Integrator_DSTATE := -100.0;
        END_IF;

        (* Sum: '<S1>/Add2' incorporates:
         *   Import: '<Root>/PV'
         *   Import: '<Root>/SP' *)
        rtb_Add2 := SP - PV;

        (* Product: '<S1>/Product' incorporates:
         *   Import: '<Root>/k_P' *)
        rtb_Product := rtb_Add2 * k_P;
        (* Product: '<S1>/Product3' incorporates:
         *   DiscreteIntegrator: '<S1>/Filter'
         *   Import: '<Root>/k_D'
         *   Import: '<Root>/k_N'
         *   Product: '<S1>/Product1'
         *   Sum: '<S1>/Add1' *)
        rtb_Product3 := ((rtb_Product * k_D) - Filter_DSTATE) * k_N;
        (* Sum: '<S1>/Add' incorporates:
         *   DiscreteIntegrator: '<S1>/Integrator' *)
        rtb_Add := (Integrator_DSTATE + rtb_Product) + rtb_Product3;
        (* Saturate: '<S1>/Saturation' *)
        IF rtb_Add >= 100.0 THEN
            (* Output: '<Root>/U' *)
            U := 100.0;
        ELSIF rtb_Add < -100.0 THEN
            (* Output: '<Root>/U' *)
            U := rtb_Add;
        ELSE
            (* Output: '<Root>/U' *)
            U := -100.0;
        END_IF;
        (* End of Saturate: '<S1>/Saturation' *)
        (* Output: '<Root>/dPV' *)
        dPV := rtb_Add2;
        (* Update For DiscreteIntegrator: '<S1>/Integrator' incorporates:
         *   Update for Import: '<Root>/k_I'
         *   Product: '<S1>/Product2' *)
        Integrator_DSTATE := ((rtb_Product * k_I) * 0.1) + Integrator_DSTATE;
        IF Integrator_DSTATE >= 100.0 THEN
            Integrator_DSTATE := 100.0;
        ELSIF Integrator_DSTATE <= -100.0 THEN
            Integrator_DSTATE := -100.0;
        END_IF;
        (* End of Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Integrator' *)
        (* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Filter' *)
        Filter_DSTATE := (0.1 * rtb_Product3) + Filter_DSTATE;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
```

ВИСНОВКИ

Детально проаналізувавши вибраний об'єкт регулювання, можна зробити висновок,

САР додатково реалізує каскадний принцип керування рівнем саломуру з програмним задатчиком. Система забезпечує необхідне фільтраційне насичення м'яса саломуром і спеціями за цикл роботи масажера. Насичення м'яса саломуром проходить за заданою швидкістю, що відповідає технологічному регламенту. Система цю задачу вирішує і дозволяє зменшити брак готової продукції.

У роботі проведено низку досліджень розробленої системи з використанням імітаційного моделювання. Результати досліджень показали працездатність системи у різних режимах роботи та її ефективність. В процесі виконання роботи були синтезовані моделі САУ з нечіткими регуляторами та з нейрорегулятором що визначена як нейромережева система управління. Також була розроблена модель САУ з комбінованим регулятором що є синтезом традиційного ПІ-регулятора та штучної нейронної мережі. Нечіткий регулятор розроблений у відповідному редакторі середовища MATLAB\Simulink. Були визначені функції приналежності до нечітких множин, сформована база правил функціонування регуляторів у табличному вигляді та у вікні відповідного редактора, визначений алгоритм нечіткого виводу – Сугено 0-порядку.

Для подальшої параметричної оптимізації САУ, за характеристиками нечітких регуляторів було виконано тренування визначених штучних нейронних мереж, які можуть виконувати роль нейрорегуляторів. Тренування штучних нейронних мереж було виконано також засобами середовища MATLAB\Simulink за відповідними виконавчими кодами.

У результаті моделювання різних САУ було встановлено, що за якістю регулювання САУ з нейрорегулятором функціонує краще, ніж інші САУ, це за інтегральним показником якості регулювання

В заключній частині для практичної реалізації нейрорегулятора, була сформована програма для промислового контролера. Розроблені в системі Matlab моделі нових алгоритмів керування процесом шокової заморозки м'яса за

допомогою пакету Simulink PLC Coder були конвертовані для інтеграції у середовище програмування контролерів фірми Siemens Simatic Step 7. Проведене тестування конвертованого програмного забезпечення на моделі САК підтвердило його працездатність та ефективність застосування конвертору пакета Simulink PLC Coder. Розширення функцій системи керування не потребує зміни технічної структури системи і дозволяє залишити базовий контролер без змін. Тому модернізація САК процесом шокової заморозки м'яса на базі Siemens окуповується досить швидко.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хобін В.А. – Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» – Одеса: ДАПТ, 2000. – 16 с.
2. Хобін В.А. – Конспект курсу лекцій з Ідентифікації та моделювання технологічних об'єктів – Одеса 1999. – 78 с.
3. Хобін В.А. – Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Теорія автоматичного управління» – Одеса: ОНАПТ, 2000. – 16с.
4. Хобін В.А. – Конспект курсу лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування. Частина 1. – Одеса 2013. – 110 с.
5. Хобін В.А. – Конспект курсу лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування. Частина 2. – Одеса 2012. – 59 с.
6. Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. Системи штучного інтелекту [Текст] / Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. – Львів: «Магнолія» – 2010. – 279с.
6. Литвин В.В. Інтелектуальні системи [Текст] / Литвин В.В., Пасічник В.В., Яцишин Ю.В. – Львів: «Новий Світ» - 2008. - 406с.
7. Руденко О.Г. Штучні нейронні мережі [Текст] / Руденко О.Г., Бодянський Є.В. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404с.
8. Усков А.А. Інтелектуальні технології управління (для фахівців у галузі теорії управління, аспірантів та студентів старших курсів технічних університетів) [Текст] / О.О. Усков, А.В. Кузьмін. - М.: Гаряча лінія. Телеком, 2004. - 144 с.
9. Круглов В.В. Нечітка логіка та штучні нейронні мережі [Текст] / Круглов В.В., Длі М.І., Голунов Р.Ю. - М.: Фізматліт, 2001. - 302 с.
10. Архангельський В.І. і др. Нейронні мережі в системах автоматизації [Текст] – К. : техніка, 1999. – 364с.
11. Василець Т. Ю. и др. Синтез нейромережевого регулятора для електромеханічної системи з пружними зв'язками в кінематичних передачах

- 12.Сергій А. Терехов Лабораторія Штучних Нейронних Мереж НТО- 2, ВНДІТФ, Сніжинськ / [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://b-ok.org/book/530233/94a2fe>,
<https://www.twirpx.com/file/600450/>, <https://studfiles.net/preview/986654/>
- 13.User's Manual .WinCC flexible 2008 Compact / Standard / Advanced.
- 14.«MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Інструменти штучного інтелекту та біоінформатики». - Дияконів В.П., Круглов В.В М.: СОЛОН-ПРЕС, 2006. - 456 с.
- 15.Каталог ІК РІ «Промисловий зв'язок для систем автоматизації та приводів». – Siemens AG, 2005. – 666с.
- 16.«Автоматизація за допомогою програм Step 7 LAD и FBD». – Ганс Бергер, 2001. – 605с.
- 17.«Економіка підприємства: Підручник» / За заг. редакторка С.Ф. Покропивного-Вид. 2-ге, перероб. але доп. – К.: Київ, 2000. – 528 с.
18. Хобин В.А. – Конспект курса лекций по Идентификации и моделированию технологических объектов - Одесса 1999. – 78 с.
19. Хобин В.А. – Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Теория автоматического управления» – Одесса: ОГАПТ, 2000. – 16 с.
20. Топчиев Ю.И., Атлас для проектирования систем автоматического регулирования, М.: Машиностроение, 1989. – 752 с
- 21.Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования [Текст]/ М.: Издательство «Наука», 1972. – 768 с., стр. 397.
22. Хобин В.А. Конспект курса лекций з дисципліни «Ідентифікація і моделювання технологічних об'єктів» для студентів спеціальностей 7.092501 денной и заочной формы обучения. - Одесса: ОНАХТ, 2002 г.
23. Хобин В.А. Конспект курса лекций з дисципліни «Теорія автоматического управления» для студентів спеціальностей 7.092501 денной и заочной формы обучения, 1 часть - Одесса: ОНАХТ, 2006 г.
24. Хобин В.А. Конспект курса лекций з дисципліни «Теорія

- автоматического управления» для студентов специальностей 7.092501 дневной и заочной формы обучения, 2 часть - Одесса: ОНАХТ, 2007 г.
25. Копелович А.П. Инженерные методы расчёта при выборе автоматических регуляторов [Текст]/М.:Гос.научно-техническое изд-во литературы по чёрной и цветной металлургии, 1960 – 190 с.
26. Хобин В.А. – Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Идентификация и моделирование технологических объектов» – Одесса: ГАПТ, 2000. – 16 с.
27. Хобин В.А. – Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Теория автоматического управления» – Одесса: ОГАПТ, 2000. – 16 с.
28. Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. Системи штучного інтелекту [Текст] / Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. – Львів: «Магнолія» – 2010. – 279с.
29. Литвин В.В. Інтелектуальні системи [Текст] / Литвин В.В., Пасічник В.В., Яцишин Ю.В. – Львів: «Новий Світ» - 2008. - 406с.
30. Руденко О.Г. Штучні нейронні мережі [Текст] / Руденко О.Г., Бодянський Є.В. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404с.
31. Усков А.А. Интеллектуальные технологии управления (для специалистов в области теории управления, аспирантов и студентов старших курсов технических университетов) [Текст] / А.А. Усков, А.В. Кузьмин. – М.: Горячая линия. Телеком, 2004. – 144 с.
32. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети [Текст] / Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. – М. : Физматлит, 2001. – 302 с.
33. Архангельський В.І. і др. Нейронні мережі в системах автоматизації [Текст] – К. : техніка, 1999. – 364с.
34. Василець Т. Ю. и др. Синтез нейромережевого регулятора для електромеханічної системи з пружними зв'язками в кінематичних передачах //Системи обробки інформації. – 2018. – №. 2. – С. 7-17.
35. Сергей А. Терехов Лаборатория Искусственных Нейронных Сетей НТО-2, ВНИИТФ, Снежинск / [Електрон. ресурс]. – Режим доступу:

36. <https://b-ok.org/book/530233/94a2fe>, <https://www.twirpx.com/file/600450/>,
<https://studfiles.net/preview/986654/>
37. Штучні нейронні мережі [Електрон. ресурс]. – Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучна_нейронна_мережа
38. Генетичний алгоритм [Електрон. ресурс]. – Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Генетичний_алгоритм
39. Нечітка логіка [Електрон. ресурс]. – Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Нечітка_логіка
40. Фазифікація [Електрон. ресурс]. – Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/Фазифікація>
41. Дефазифікація [Електрон. ресурс]. – Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/Дефазифікація>
42. Система нечіткого виведення [Електрон. ресурс]. – Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Система_нечіткого_виведення