

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 кондиціонуванням повітря у приміщенні збирального цеху»

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Грещука А.В.

(прізвище, ініціали)

II курсу Ам-20 групи

Керівник к.т.н., доц. Муратов В.Г.

(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: _____

(посада, прізвище та ініціали)

(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)

Одеса – 2024 рік

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 програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в</u> <u>автоматизації</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС

Хобін В.А.

« 22 » грудня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Грещук Антон Валентинович

1. Тема роботи «Підвищення ефективності автоматичного керування кондиціонуванням повітря у приміщенні збирального цеху»

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 кондиціонування повітря в приміщенні, та задачі підвищення його ефективності засобами автоматичного керування.

Розділ 2. Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП кондиціонування повітря в приміщенні.

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.

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

Муратов В.Г.
Грещук А.В.

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 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 Грещук А.В. Керівник роботи Муратов В.Г.

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 Грещук А.В.
ПІБ Підпис

АНОТАЦІЯ

Грещук А.В. «Підвищення ефективності автоматичного керування кондиціонуванням повітря у приміщенні збирального цеху».

Кваліфікаційна робота магістра. – Одеса: ОНТУ 2024. – 102 с.
Бібліограф.:_22_Іл.:_101_Табл.:_7.

Основною метою роботи є підвищення ефективності процесу кондиціонування повітря у приміщенні за рахунок вдосконалення існуючих алгоритмів автоматичного керування технологічним процесом. Удосконалення алгоритмів керування проводилося шляхом підвищення динамічної точності алгоритмів регулювання. В якості базового було використано пропорційно-інтегрально диференціальний алгоритм регулювання. В даній роботі удосконалені алгоритми САР температури та вологості у приміщенні. В алгоритмі регулювання реалізовано регулятор змінної структури. Надалі підвищення ефективності САР проводилося шляхом дослідження доцільності використання нечіткого алгоритму регулювання. Надалі розроблену систему керування було реалізовано у цифровому вигляді. Аналіз працездатності САР проводився шляхом аналізу на дотримання гранично припустимих вимог та аналізу САР на грубість. Ключові слова: кондиціонування повітря, промисловий кондиціонер, математична модель, імітаційна модель, система автоматичного регулювання, САР підвищеної динамічної точності, автономна САР, логічне керування, графічний інтерфейс.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	8
Розділ 1 Технологічний процес кондиціонування повітря і задачі підвищення його ефективності засобами автоматичного керування.....	11
1.1 Короткий опис технологічного процесу кондиціонування повітря 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	15
1.3 Аналіз існуючих САК технологічного процесу кондиціонування повітря.....	18
1.4 Недоліки відомих САК ТП кондиціонування повітря, обґрунтування напрямків удосконалення САК	19
1.5 Комплекс математичних моделей ТП кондиціонування повітря як об'єкту регулювання, їх реалізація в формі імітаційних моделей	20
1.6 Типові структури і алгоритми САК ТП, що реалізують функції регулювання, результати їх параметричної оптимізації і перевірка на робастність (грубість).....	26
1.7 Висновки за розділом.....	30
Розділ 2 Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП кондиціонування повітря	31
2.1 Специфічні особливості ОР і обґрунтування вибору методів корекції САР для підвищення їх динамічної точності.....	31
2.2 Розробка структурної схеми модернізованої САК	31
2.3. Доопрацювання математичної моделі ОК для вирішення задачі регулювання.....	33
2.4. Розробка імітаційної моделі САР температури та відносної вологості повітря у приміщенні з регулятором змінної структури та дослідження її роботи.....	35
2.5 Висновки за розділом.....	47
Розділ 3 Вдосконалення алгоритмів, які реалізують функції регулювання САК технологічного процесу кондиціонування повітря, на основі застосування логічного регулятора та штучних нейронних мереж	48
3.1 Обґрунтування актуальності застосування систем управління побудованих на базі апарата нечіткої логіки та штучної нейронної мережі для розглянутого об'єкта керування	48

3.2 Реалізація в програмному середовищі MATLAB/Simulink моделей каналів регулювання розглянутого об'єкта керування з нелінійними статичними характеристиками	50
3.3 Синтез САР з нелінійною моделлю ОК і традиційним ПД-регулятором	53
3.4 Синтез САР з нелінійним ОК на основі нечіткого регулятора.....	55
3.5 Синтез САР з нелінійним ОК на основі нейронного регулятора.....	65
3.6 Аналіз результатів функціонування САУ з традиційним регулятором, з регулятором побудованим на базі апарату нечіткої логіки і з нейронним регулятором.....	74
3.7 Висновки за розділом.....	76
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПІДГОТОВКА ДО ВПРОВАДЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ	78
4.1 Існуюча програмно-технічна структура підсистеми управління процесом кондиціонування повітря і формулювання задач по її розвитку для впровадження розробок	78
4.2 Розробка, налаштування і тестування прикладного програмного забезпечення для реалізації алгоритмів управління.....	86
4.3 Оцінка економічної ефективності впровадження розробок.....	98
4.4 Висновки за розділом.....	99
Висновки.....	100
Список використаної літератури.....	101

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І ОДИНИЦЬ

АК - алгоритм керування;

ВМ - виконавчий механізм;

ОК - об'єкт керування;

ОР - об'єкт регулювання;

ПЗО - пристрій зв'язку з об'єктом;

РО - регулюючий орган;

САК - система автоматичного керування;

САР – система автоматичного регулювання;

СКЗ - спрощений коригуючий зв'язок;

ТП - технологічний процес;

ВСТУП

Для забезпечення високоефективної роботи персоналу будь-якого підприємства важливо забезпечити необхідні умови праці. Однією з основних складових цих умов є забезпечення сприятливого мікроклімату у закритих виробничих приміщеннях. До основних показників мікроклімату повітря робочої зони відносяться температура та відносна вологість. На параметри мікроклімату та стан людського організму також впливає інтенсивність теплового випромінювання нагрітих поверхонь, температура яких перевищує температуру у виробничому приміщенні. Також важливим є забезпечення приміщення чистим повітрям, зокрема шляхом постійного провітрювання.

Тривала дія на організм людини несприятливих метеорологічних умов погіршує самопочуття, знижує продуктивність праці і часто призводить до різних захворювань і порушень стану здоров'я. Завдання роботодавця для збереження здоров'я працюючих, створити на робочому місці оптимальні, або допустимі мікрокліматичні умови. Комфортне самопочуття працюючого забезпечується відповідним співвідношенням температури, відносної вологості і швидкості руху повітря.

Повітря у робочій зоні виробничих приміщень у цехах підприємств повинно відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України від 01.12.99 № 42.

Кондиціонування повітря - це створення і автоматична підтримка в закритих приміщеннях температури, вологості, чистоти, складу швидкості руху повітря, які є найбільш сприятливими для самопочуття людей (комфортне кондиціонування) або ведення технологічних процесів, роботи обладнання і приладів (технологічне кондиціонування). Сутністю технологічного процесу кондиціонування повітря є цілеспрямоване перетворення матеріальних і енергетичних потоків в спеціальному технологічному обладнанні (промисловому кондиціонері) з метою отримання заданих продуктів із заданими властивостями, тобто показниками якості.

У роботі наведені дослідження систем керування процесом кондиціонування повітря. Розроблені алгоритми керування процесом, котрі забезпечують високу якість

регулювання регламентованих змінних. Виконане імітаційне моделювання поведінки системи керування, що реалізує розроблені алгоритми.

Мета і задачі дослідження.

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності автоматичного керування кондиціонуванням повітря у приміщенні збирального цеху за рахунок застосування систем з алгоритмами автоматичної оптимізації та нейромережевими алгоритмами управління. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз існуючих систем керування процесами кондиціонування повітря, на підставі яких обґрунтовано задачі роботи;
- синтезувати моделі систем управління підвищеної динамічної точності і систем автоматичної оптимізації режимів функціонування системи кондиціонування повітря;
- синтезувати моделі нейромережових систем автоматичного управління процесами кондиціонування повітря;
- проаналізувати ефективність та якість регулювання розроблених моделей систем шляхом їх імітаційного моделювання.

Об'єкт дослідження: Системи керування процесами кондиціонування у приміщенні збирального цеху підприємства

Предмет дослідження: Моделі та алгоритми систем автоматичного управління і оптимізації процесу кондиціонування повітря у приміщенні.

Методи дослідження базуються на теорії автоматичного управління, теорії багатоконтурних систем управління; теорії нечіткої логіки, нейромережових систем і імітаційного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів:

- формалізовано алгоритм нейромережевого управління процесами кондиціонування повітря у приміщенні на основі задачі нечіткого управління;
- спеціальні САР з компенсацією запізнення в контурі регулювання систем автоматичного кондиціонування повітря, що дозволяють підвищити швидкодію при регулюванні параметрів, підвищити точність управління
- показники кондиціонованого повітря, що характеризують його якість побічно, але доступні для квазібезперервного виміру безпосередньо в ході процесу, які

дозволяють у реальному часі автоматично стабілізувати значення основних показників якості пари в умовах інтенсивних неконтрольованих збурень.

Практичне значення отриманих результатів.

Матеріали досліджень відповідної магістерської роботи можуть бути використані в наступних дипломних проектах і магістерських роботах за відповідною темою пов'язаною з кондиціонуванням повітря у приміщенні.

Апробація результатів випускної роботи магістра. Основні положення і результати роботи доповідалися і обговорювалися на науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти ОНТУ (2023).

Публікації. Підготовлено комплект документів для подачі патенту на корисну модель на тему «Спосіб автоматичного керування кондиціонування повітря у приміщенні».

Структура і обсяг роботи. Випускна робота магістра складається з вступу, основної частини, що включає 4 розділи, висновків, списку використаних джерел і додатків.

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ І ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

1.1 Короткий опис технологічного процесу кондиціонування повітря і основного обладнання

Кондиціонування повітря - це створення і автоматична підтримка в закритих приміщеннях температури, вологості, чистоти, складу, швидкості руху повітря, які є найбільш сприятливими для самопочуття людей (комфортне кондиціонування) або ведення технологічних процесів, роботи обладнання і приладів (технологічне кондиціонування). Відповідно до санітарно-гігієнічних вимог найбільш сприятлива температура в громадських, адміністративно-побутових приміщеннях 20-22° С, а допустимі коливання - від 20 до 28° С.

Системи кондиціонування можна класифікувати наступним чином:

- за ступенем забезпечення метеорологічних умов в обслуговуваному приміщенні системи кондиціонування поділяються на три класи, першого, другого і третього;
- за призначенням об'єкту застосуванням - технологічні та комфортні;
- за наявністю джерел тепла та холоду автономні і неавтономні;
- за принципом розміщення системи кондиціонування відносно об'єкту, що обслуговується - центральні і місцеві;
- за кількістю приміщень, що обслуговуються - однозональні та багатозональні;
- за типом об'єктів, що обслуговуються - побутові, напівпромислові та промислові.

Системи кондиціонування першого класу забезпечують необхідні для технологічного процесу параметри відповідно до нормативних документів; другого класу - санітарно-гігієнічні норми або необхідні технологічні норми, третього - допустимі, якщо вони не можуть бути забезпечені вентиляцією в теплий період року без вживання штучного охолодження повітря.

Автономні СКВ у своєму складі мають весь комплекс обладнання, що дозволяє провести необхідну обробку повітря відповідно до нормативних вимог по очищенню, нагріванню, охолодженню, осушенню, зволоженню, переміщенню і розподілу повітря, а також засоби автоматичного контролю та управління. Для їх роботи

необхідно подати лише електроенергію. До автономних СКВ відносяться моноблочні віконні, шафові кондиціонери, спліт-системи. Неавтономні СКВ не мають вбудованих агрегатів, які є джерелами тепла або холоду. До них теплоносій подається від інших джерел тепло- та холодопостачання. Центральні СКВ являють собою неавтономні агрегати, розташовані поза обслуговуваних приміщень. В агрегатах проводиться підготовка повітря з подальшим його розподілом по приміщеннях за допомогою повітропроводів. Місцеві СКВ випускаються на базі автономних і неавтономних кондиціонерів та встановлюються в обслуговуваному приміщенні. Багатозональні СКВ застосовуються для обслуговування декількох приміщень або приміщення з нерівномірним розподілом тепло- і вологовиділення.

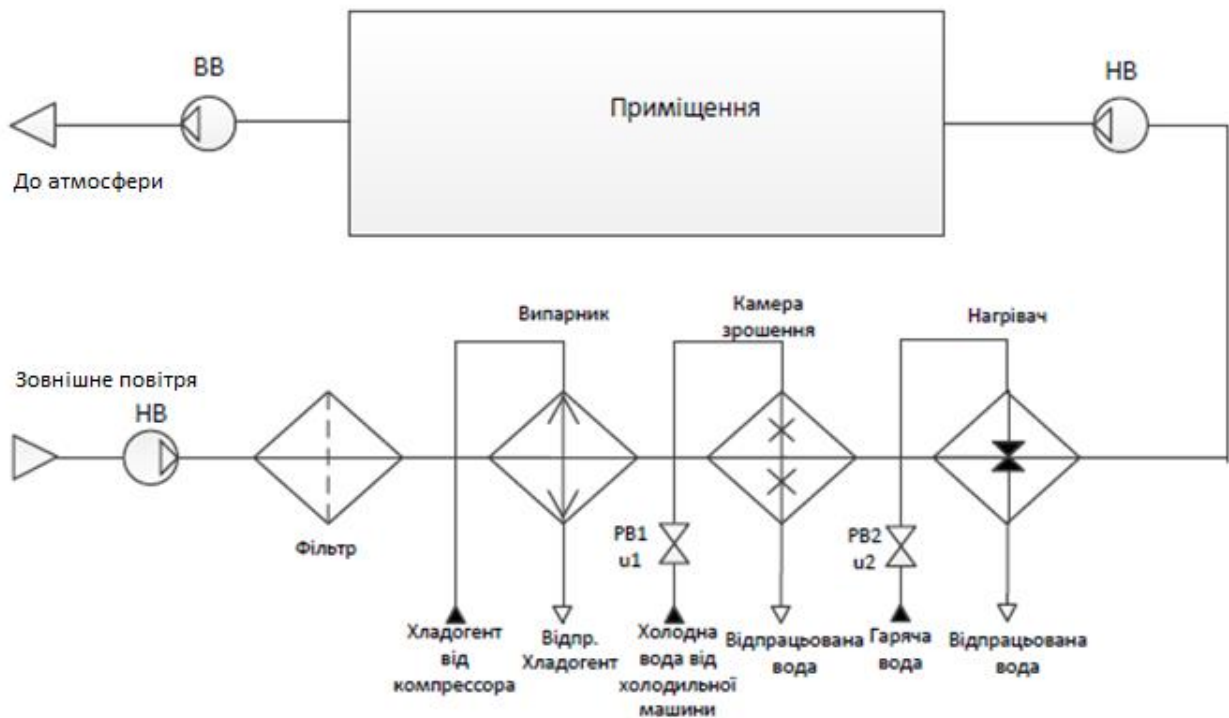


Рис. 1.1 – Технологічна схема кондиціонування повітря в робочому приміщенні.

Сутністю технологічного процесу кондиціонування повітря є цілеспрямоване перетворення матеріальних і енергетичних потоків в спеціальному технологічному обладнанні (промисловому кондиціонері) з метою отримання заданих продуктів із заданими властивостями, тобто показниками якості.

Технологічний процес кондиціонування повітря для подачі його до виробничого приміщення реалізується наступним чином. Для опису процесів впливу повітря і-д діаграма вологого повітря. Зовнішнє повітря (точка Н) 35 ° С, 80% відносної вологості та 22,4 г/кг через вхідний повітряний фільтр потрапляє у кондиціонер. Тут він спрямовує в випарник холодильної машини, де за рахунок теплообміну з холодоносієм охолоджується до температури 20° С та 11.8 г/кг (точка В) і потрапляє в камери зрошення. Тут, в результаті теплообміну з водою, що розбризкується, повітря набуває параметри «точки 18 роси» Тр - 13° С 9.4 г\кг 100% відносної вологості. Потім повітря направляють у нагрівач, де за рахунок теплообміну з гарячою водою він набуває параметри припливного повітря (точка Пр) 23.5° С, 9.4 г/кг та припливним вентилятором направляють у приміщення (точка П) із заданими температурою $\theta = 24 \pm 1$ ° С та відносної вологості $\phi = 50 \pm 5\%$. В результаті тепловолого виділень у приміщенні від людей, обладнання тощо повітря отримує параметри повітря, що відсмоктується (точка У) 27 град, 10 г/кг, 45% (відносна вологість зменшується через ріст температури) і видаляється з приміщення витяжним вентилятором у зовнішнє середовище.

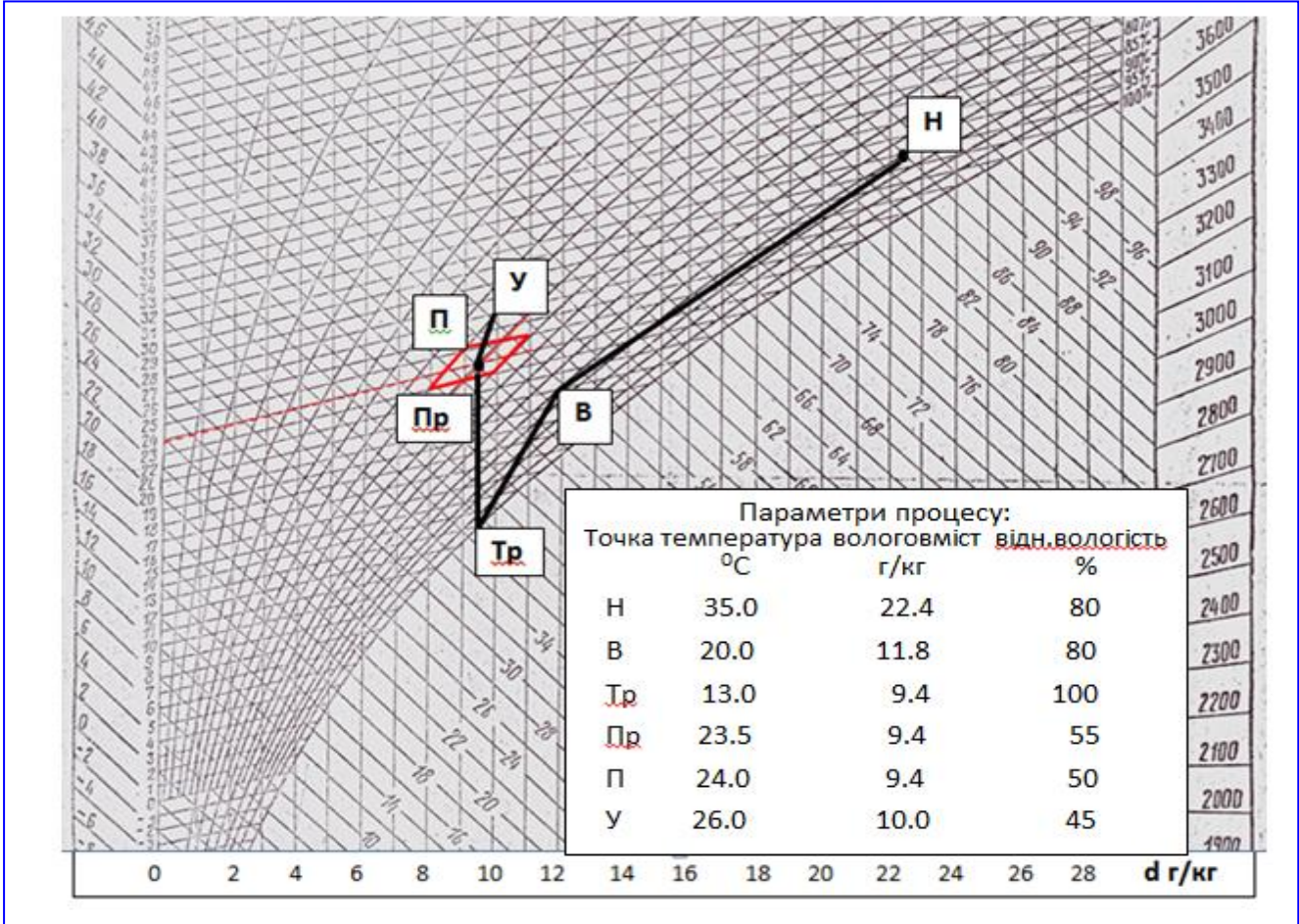


Рис. 1.2 – Представлення технологічного процесу на i-d діаграмі вологого повітря.

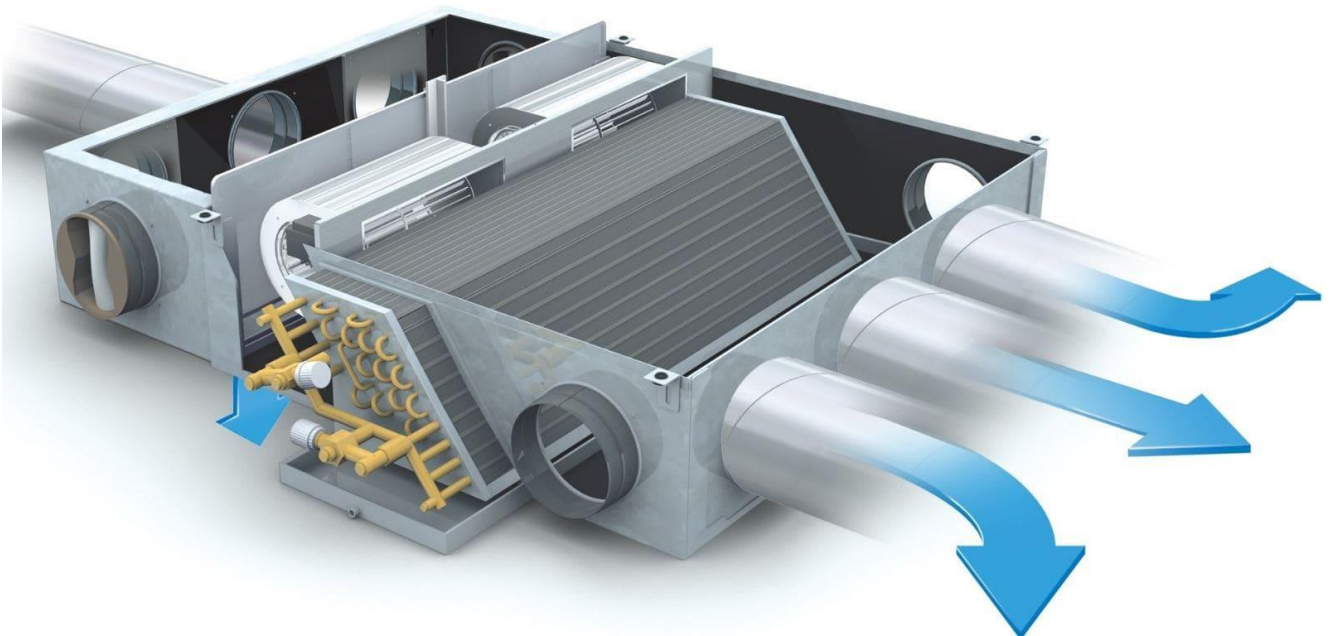


Рисунок 1.3 – Конструкція каналного кондиціонера

Основні технічні характеристики установки FSM-30:

Витрати повітря: 1800...3600 м³ /год.;
Статичний корисний тиск: 50...135 Па;
Звуковий тиск в 1м: 47,2...56,8 дБ;
Номінальна потужність двигунів: 2 X 420 Вт;
Загальний максимальний струм: 2 X 2,8 А;
Максимальна загальна споживана потужність: 2 X 0,6 кВт;
Питома потужність вентилятора: 940 Вт / (м³ /с);
Відповідність 2009/125/ЕС ЕгР: 2015;
Швидкостей вентилятора: 3 Мінімальний ступінь захисту: IP 44;
Мінімальний клас температури: F; Електричне живлення: 230В, 50Гц;

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

Основу нормативів становлять три основних регламенти відповідно до яких треба визначити регламентовані технологічні параметри.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких в результаті технологічного процесу виходить продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу такими параметрами є: Температура повітря в приміщенні - θ ; вологість повітря в приміщенні - ϕ .

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів цього технологічного обладнання. До таких параметрів можна віднести: $P_{ха}$ – тиск холодагенту, кПа;; $P_{хв}$ – тиск холодної води, кПа;

Техніко-економічний і екологічний регламент – визначає умови ефективного ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір 20 номінальних або гранично-допустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. При відхиленні параметрів процесу кондиціонування повітря від регламентованих значень, обумовлених зміною параметрів, що характеризують умови ведення процесу, навіть при досить ефективному керуванні ним, можуть перевищувати припустимі значення. Однак при виході за допуски технологічних регламентів

технологічний процес не зупиняється, а вихід за допуски ліквідується із часом. Наслідком виходу технологічних параметрів за допуски є зниження якості і збільшення енерговитрат. Допуски на відхилення поточних значень регламентованих параметрів діляться на тривалі та короткочасні. Припустимі відхилення визначають зону незначних відхилень, середнє значення параметру якої можна вважати близьким до нормативного, тому ці відхилення не ліквідують. Короткочасні припустимі відхилення параметрів перевищують зону незначних відхилень і призводять до зниження ефективності процесу, тому вони припустимі тільки протягом обмеженого часу, що задається й входить у регламент. Вихід параметрів за зону короткочасно припустимих відхилень свідчить про відхилення технологічного процесу або експлуатації обладнання, що можуть призвести до аварії. Для аналізу нормативів ведення процесу кондиціонування повітря складемо таблицю регламентів (таблиця 1.1).

№	Найменування параметрів	Познач	Од. вим	Ном. знач. параметру	Припустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі (t→∞)	Короткочасні (0<t<∞)	
					Велич	Велич	t, сек
1	Вологість повітря у приміщенні	φ	%	50	0,5	3	300
2	Температура повітря у приміщенні	θ	°С	24	0,5	2	300

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

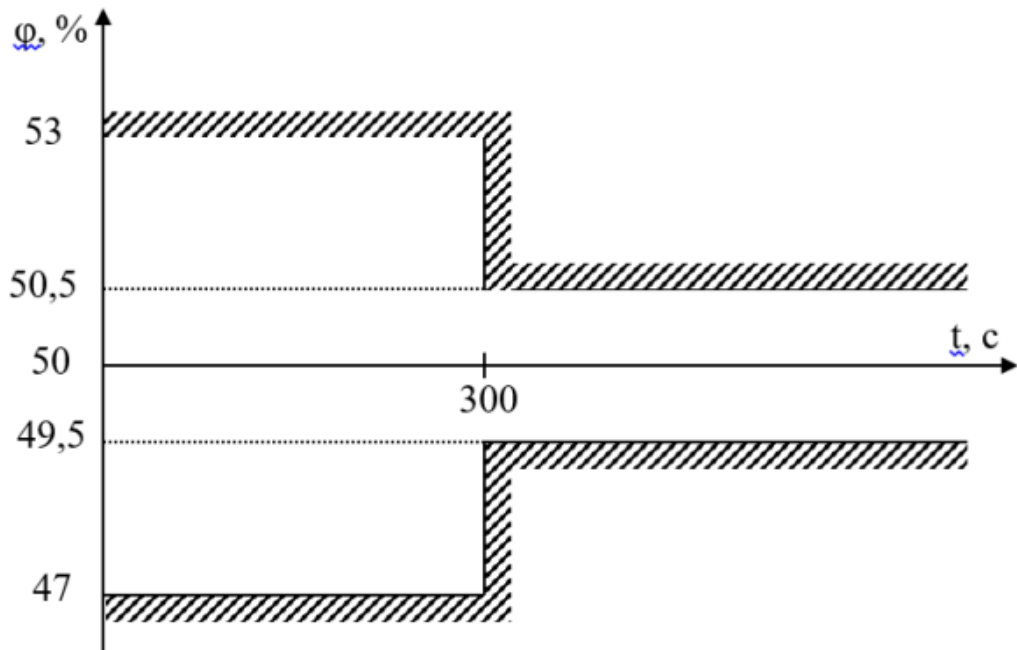


Рис. 1.4 – Регламентні зони для відносної вологості кондиціонованого повітря

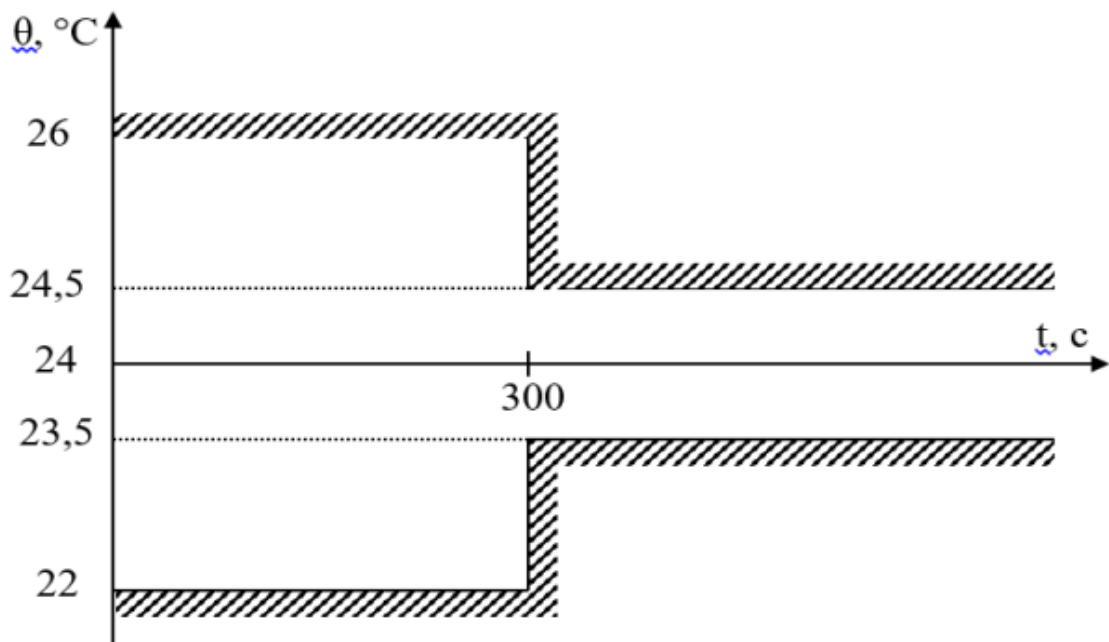


Рис. 1.5 – Регламентні зони для температури кондиціонованого повітря

Як видно з регламентів на САР для процесу кондиціонування повітря особливо жорсткі вимоги пред'являються до тривалих відхилень, так як саме недотримання цих регламентів може призвести до суттєвого порушення режимів роботи основного технологічного .

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від

номінальних внаслідок зміни умов, у яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами та можуть бути згруповані за певними ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. Для даного процесу до них відносять $F_{хв}$ – витрати холодної води, м³/год; $F_{гв}$ – витрати гарячої води, м³/год; $F_{вха}$ – витрати відпрацьованого холодагенту, м³/год;

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного обладнання зовні та витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів відносять $P_{ха}$ – тиск холодагенту, кПа, $P_{гв}$ – тиск гарячої води, кПа, $F_{пов}$ – витрати повітря, що нагнітається до приміщення, м³/год;

Механічні параметри технологічного обладнання характеризують стан його робочих органів. До них віднесемо, u_1 – положення регулюючого органу подачі холодної води, % ; і u_2 – положення регулюючого органу подачі гарячої води, % ;

1.3 Аналіз існуючих САК технологічного процесу кондиціонування повітря

Питанням автоматизації кондиціонування повітря в приміщенні займалося чимало дослідників. До існуючих систем можна віднести:

1. САР з ПІ-регуляторами:

Пропорційно-інтегральні регулятори (ПІ) широко використовуються в системах кондиціонування повітря. ПІ-регулятори прості в налаштуванні та експлуатації.

2. САР з ПІД-регуляторами:

Пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори (ПІД) є більш складними, ніж ПІ-регулятори. Це забезпечує більш точне та стійке регулювання параметрів. ПІД-регулятори можуть бути складнішими в налаштуванні, ніж ПІ-регулятори.

Так Муратов В.Г. запропонував спосіб автоматичного керування процесом кондиціонування повітря у приміщенні з підвищенням ефективності технологічних процесів за рахунок зниження витрат енергії на кондиціонування та розробки ефективних все режимних САУ мікрокліматом, забезпечуючих стабілізацію заданих значень температури та вологості повітря в приміщенні [6].

1.4 Недоліки відомих САК ТП кондиціонування повітря, обґрунтування напрямків удосконалення САК.

Розглянуті варіанти САК процесом кондиціонування повітря у приміщенні збирального цеху реалізують функціями регулювання температури повітря та відносної вологості повітря у приміщенні не є ідеальними. Для промислових приміщень та приміщень торгівельних центрів часто реалізують процес кондиціонування приміщень без додаткового зволоження повітря і тоді реалізують системи регулювання тільки температур повітря на вході до приміщення та безпосередньо у приміщенні. В усіх системах регулювання переважно використовують типові ПІД-регулятори.

Слід зазначити що процес кондиціонування повітря у приміщенні як об'єкт є досить складним для керування. Канали регулювання мають значні запізнення та інерційності які можуть змінюватися в процесі роботи в залежності від властивостей приміщення в якому забезпечується необхідний температурний та вологий режим. Кількість людей, процеси що виконуються в приміщенні, надходження додаткового повітря через вікна та двері все це впливає на динамічні властивості приміщення як об'єкта керування. Коефіцієнти передачі також можуть змінюватися. Також на об'єкт діють координатні збурення що пов'язані зі зміною параметрів повітря яке надходить в установку. Всі ці нестационарні властивості потрібно враховувати при синтезі систем регулювання. На практиці ці властивості не завжди враховуються і дуже часто системи з ПІД регуляторами працюють у режимі автоколивань (тобто є нестійкими) і це призводить до значного погіршення в забезпеченні необхідного мікроклімату у приміщенні.

Розглянуті методи підвищення динамічної точності САР теж не забезпечують повністю вирішення цієї проблеми.

Таким чином в умовах нестационарних властивостей об'єкта керування і дії координатних збурень типові алгоритми регулювання не завжди можуть забезпечити необхідну динамічну точність, і як наслідок температура та відносна вологість в приміщенні можуть змінюватись у широких діапазонах, порушуючи межі, встановлені технологічним регламентом, що може призвести до погіршення в забезпеченні необхідного мікроклімату у приміщенні. Тому метою вдосконалення САК процесом кондиціонування повітря у приміщенні є підвищення запасу стійкості та динамічної точності систем регулювання температури та відносної вологість у приміщенні, що забезпечить виконання технологічних регламентів і підтримання необхідного мікроклімату у приміщенні в нестационарних умовах.

1.5 Комплекс математичних моделей ТП кондиціонування повітря як об'єкту регулювання, їх реалізація в формі імітаційних моделей

Задачею функціонування системи кондиціонування повітря, є набуття необхідних параметрів повітря, тому дотримання всіх регламентів функціонування у її роботі дуже важливе. Ціль управління об'єктом - не допустити вихід за допустимі значення технологічних параметрів, а саме: - θ температура повітря в камері ($^{\circ}\text{C}$) та - φ рівень відносної вологості в камері (%) Таким чином, проаналізувавши процес кондиціонування з точки зору задачі регулювання, можна сказати, що необхідно побудувати 2-х каналну систему автоматизованого регулювання перерахованих параметрів. Складемо структурну схему об'єкта регулювання:

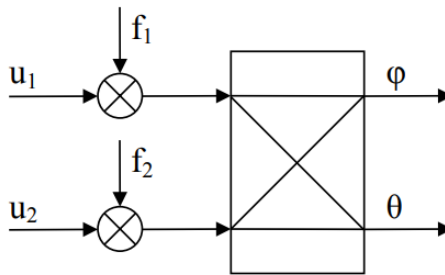


Рис. 1.6 – Структурна схема процесу кондиціонування повітря як об'єкту регулювання.

На рисунку:

u_1 – положення регулюючого органу подачі холодної води, %х.р.о.;

u_2 – положення регулюючого органу подачі гарячої води, %х.р.о.;

φ – відносна вологість повітря в приміщенні, %;

θ – температура повітря в приміщенні, °С;

f_1, f_2 – вектори неконтрольованих збурень,

В пакеті Simulink середовища Matlab були розроблені схеми моделювання моделі ОК.

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
«u ₁ – φ»	$W_o(p) = \frac{-0,2 \cdot e^{-119p}}{81,4p + 1}$	$W_o(p) = \frac{-0,2 * e^{-84,85p}}{(54,9p + 1)^2}$
«u ₁ – θ»	$W_o(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-144,8p}}{88,5p + 1}$	$W_o(p) = \frac{-0,15 * e^{-107,8p}}{(59,7p + 1)^2}$
«u ₂ – φ»	$W_o(p) = \frac{-0,8 \cdot e^{-59,5p}}{46,5p + 1}$	$W_o(p) = \frac{-0,8 \cdot e^{-40p}}{(31,4p + 1)^2}$
«u ₂ – θ»	$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-49,7p}}{34,8p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-35p}}{(23,5p + 1)^2}$

Таблиця 1.2 – Результати ідентифікації моделей каналів

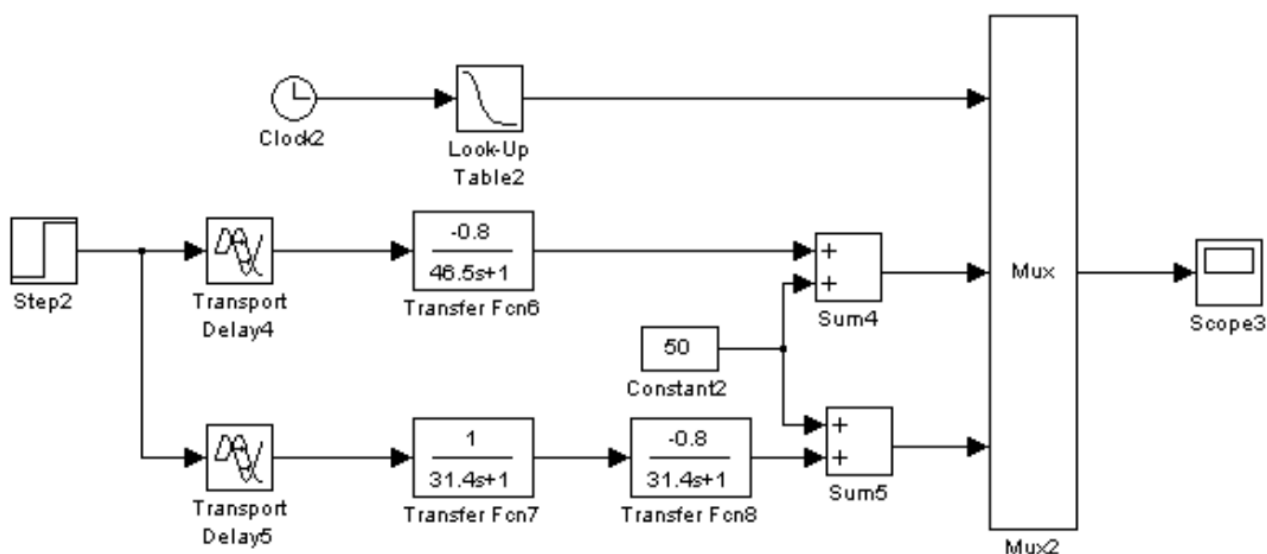


Рис. 1.7 – Схема моделювання ОК за каналом «u₁ – φ»

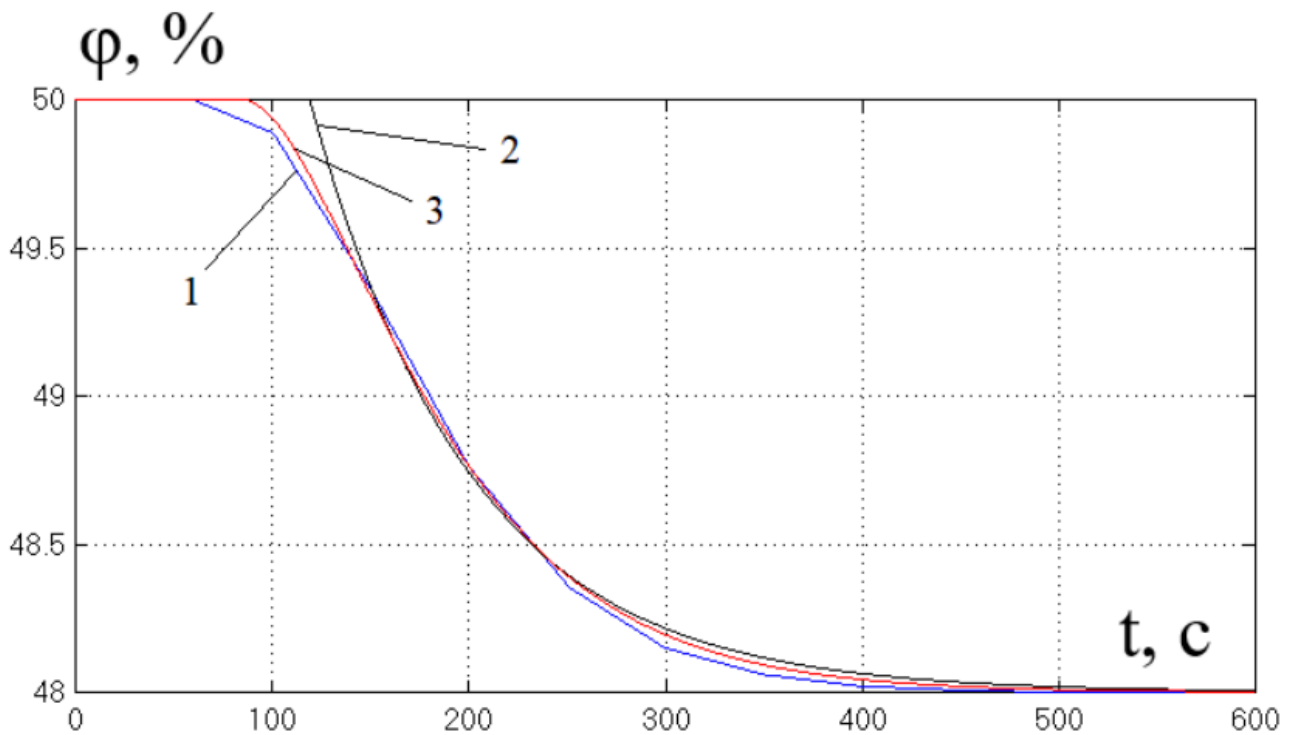


Рис. 1.8 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_1 - \varphi$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

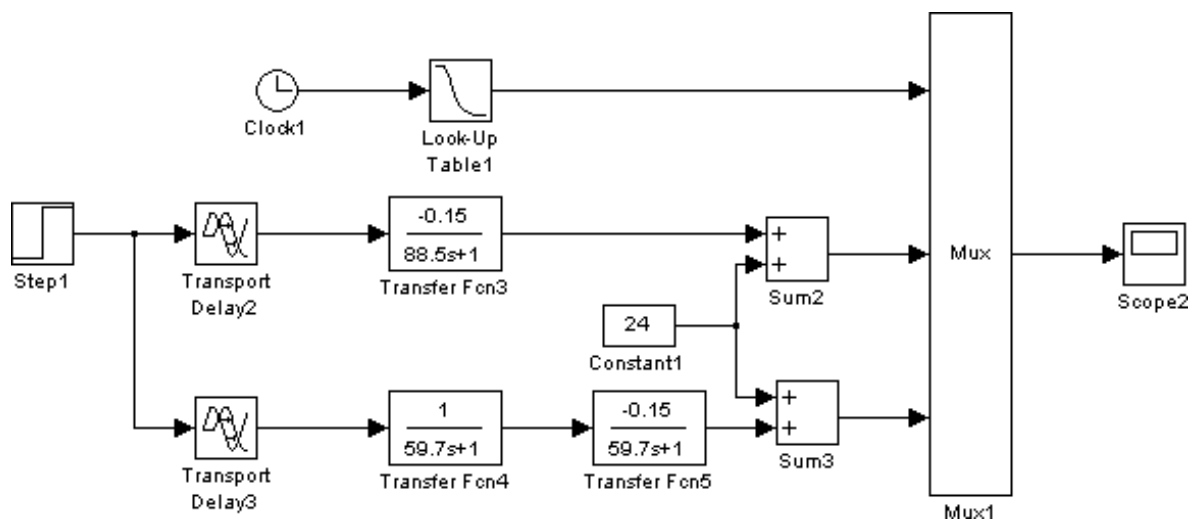


Рис. 1.9 – Схема моделювання ОК за каналом « $u_1 - \theta$ »

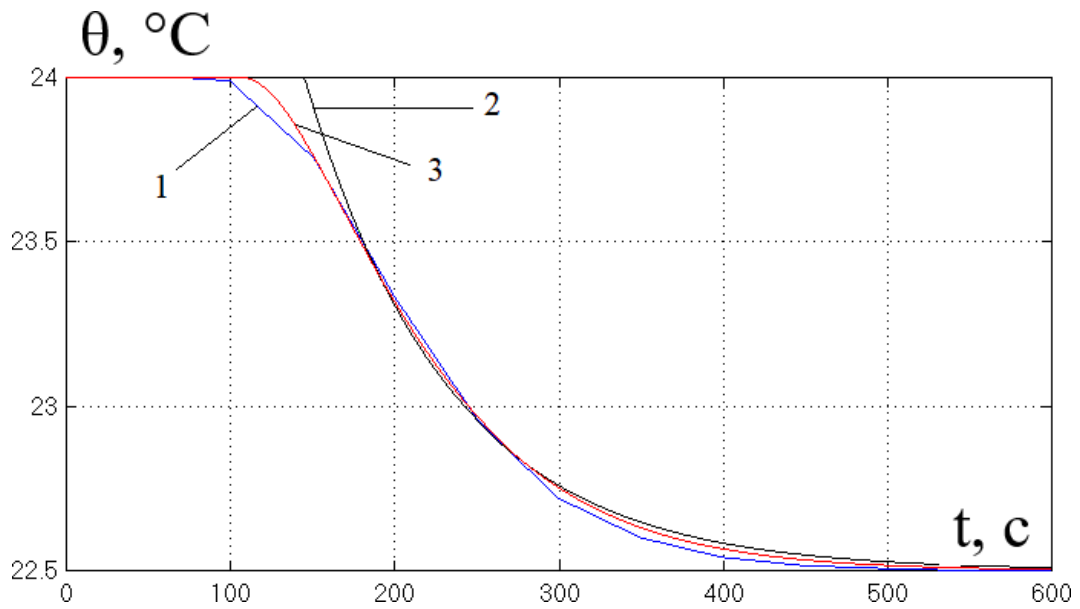


Рис. 1.11 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_1 - \theta$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

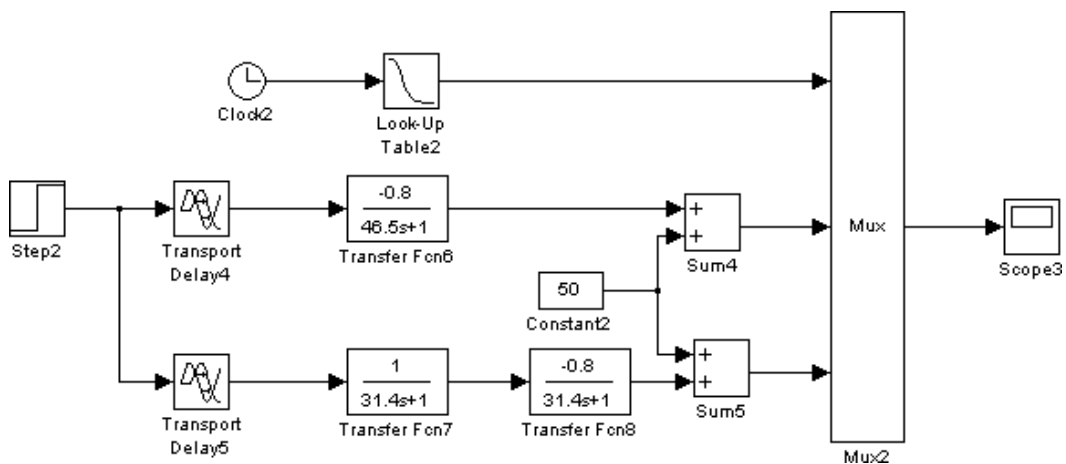


Рис. 1.12 – Схема моделювання ОК за каналом « $u_2 - \phi$ »

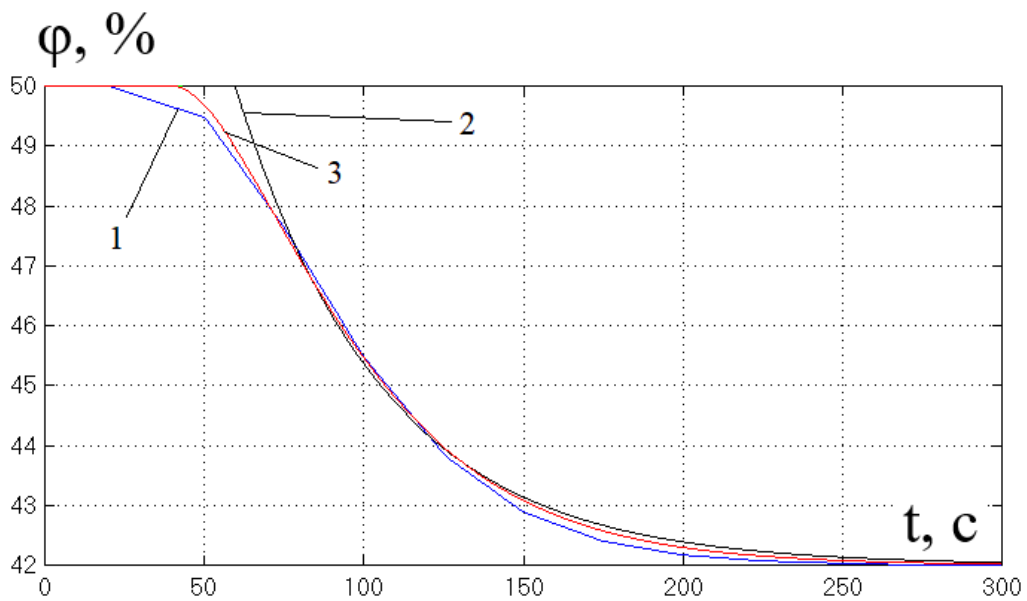


Рис. 1.13 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_2 - \varphi$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

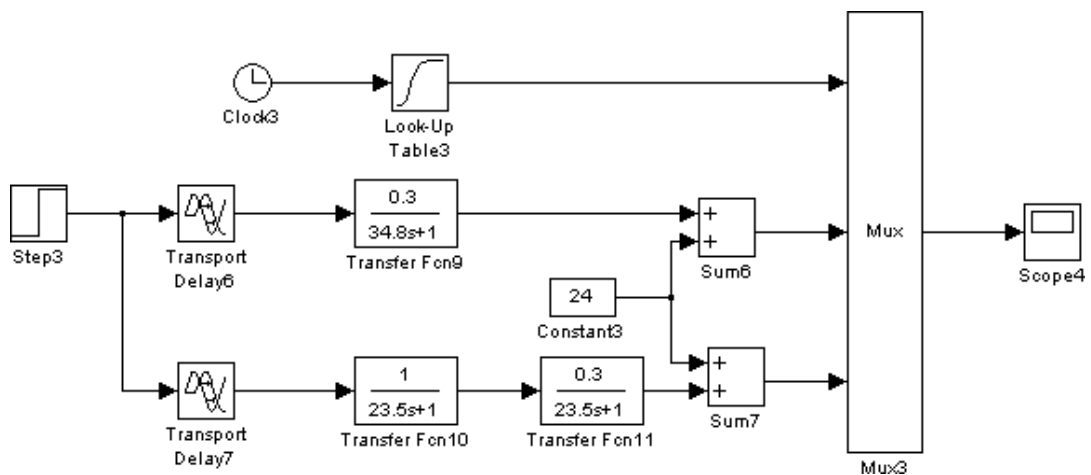


Рис. 1.14 – Схема моделювання ОК за каналом « $u_2 - \theta$ »

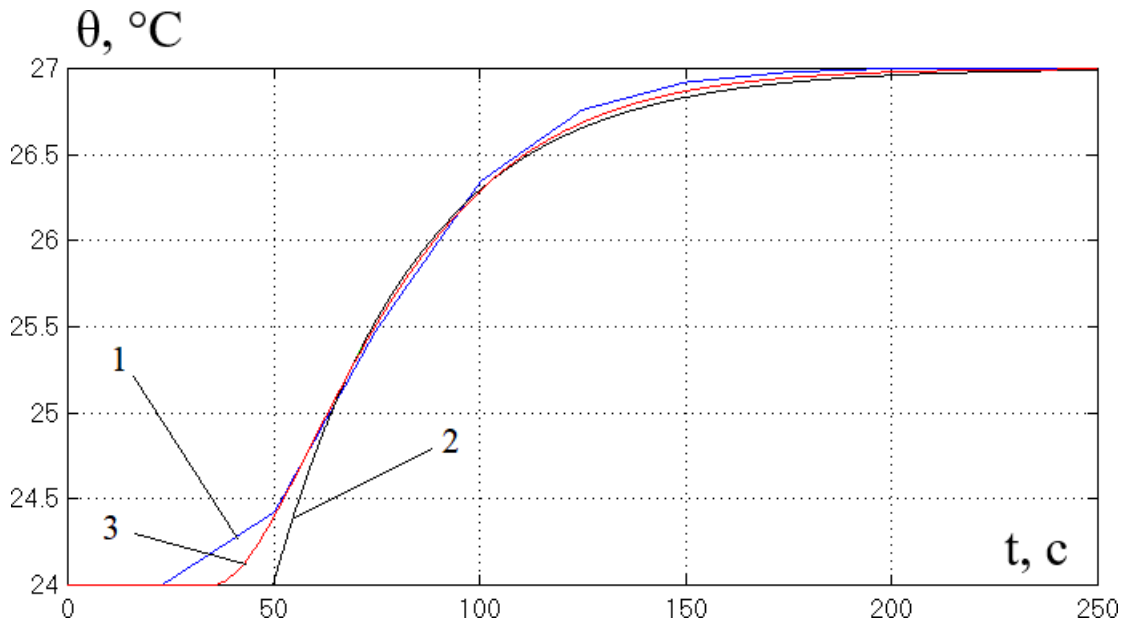


Рис. 1.15 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_2 - \theta$ »: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку.

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

Відповідно до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування структурна схема САК матиме вигляд, наведений на рис.

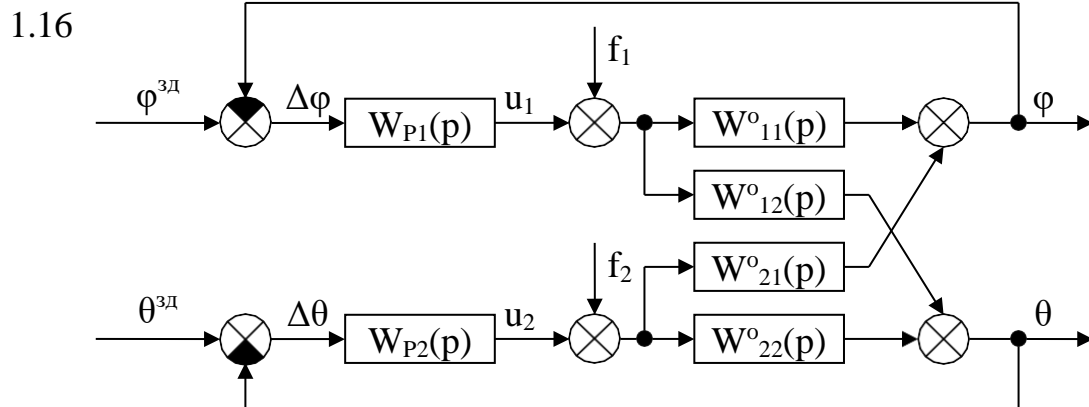


Рис. 1.16 – Структурна схема САК процесу кондиціонування повітря базової структури

На рисунку:

u_1 – положення регулюючого органу подачі холодагенту;

u_2 – положення регулюючого органу подачі гарячої води; φ – відносна вологість кондиціонованого повітря;

θ – температура кондиціонованого повітря;

$\varphi^{здн}$ – задане значення відносної вологості кондиціонованого повітря;

$\theta^{здн}$ – задане значення температури кондиціонованого повітря;

$\Delta\varphi$ – помилка регулювання відносної вологості кондиціонованого повітря;

$\Delta\theta$ – помилка регулювання температури кондиціонованого повітря;

f_1, f_2 – вектори неконтрольованих збурень;

$W_{p1}(p)$ – передаточна функція регулятора відносної вологості кондиціонованого повітря;

$W_{p2}(p)$ – передаточна функція регулятора температури кондиціонованого повітря.

Рівняння руху ПД-регулятора:

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_{yП} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0$$

Передаточна функція ПД-регулятора:

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} + T_{yПp} \right)$$

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 1.17.

Вибір початкових наближень настроювальних параметрів алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР.

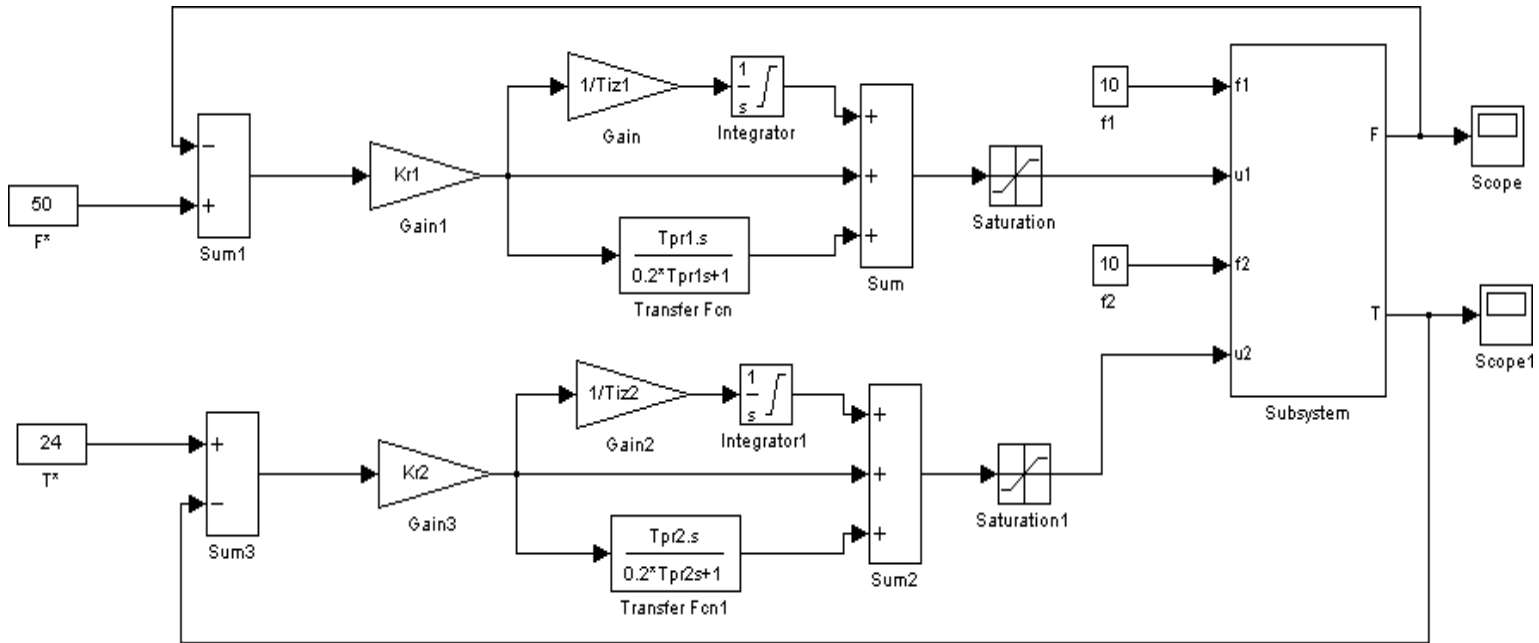
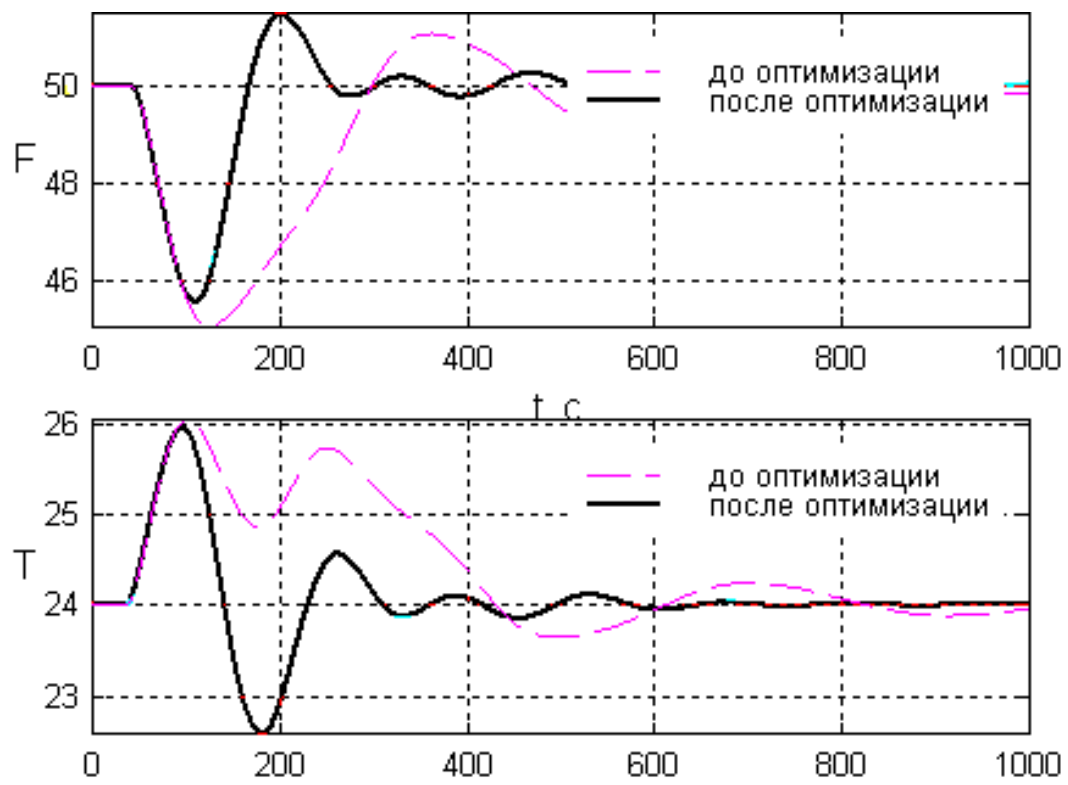


Рис. 1.17 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регуляторами



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	-2.8876	-15	-3.4	0	до - 12557.0576
Tiz1	70.9379	1	238	500	после - 12179.1687
Tpr1	32.0305	0	60	300	оптимизации.
Kr2	2.1862	0	2.3	20	Количество шагов
Tiz2	14.2203	1	99.4	500	процедуры оптимизации
Tpr2	60.564	0	25	100	максимальное -1800
					фактическое -1237

Рис..1.18 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів

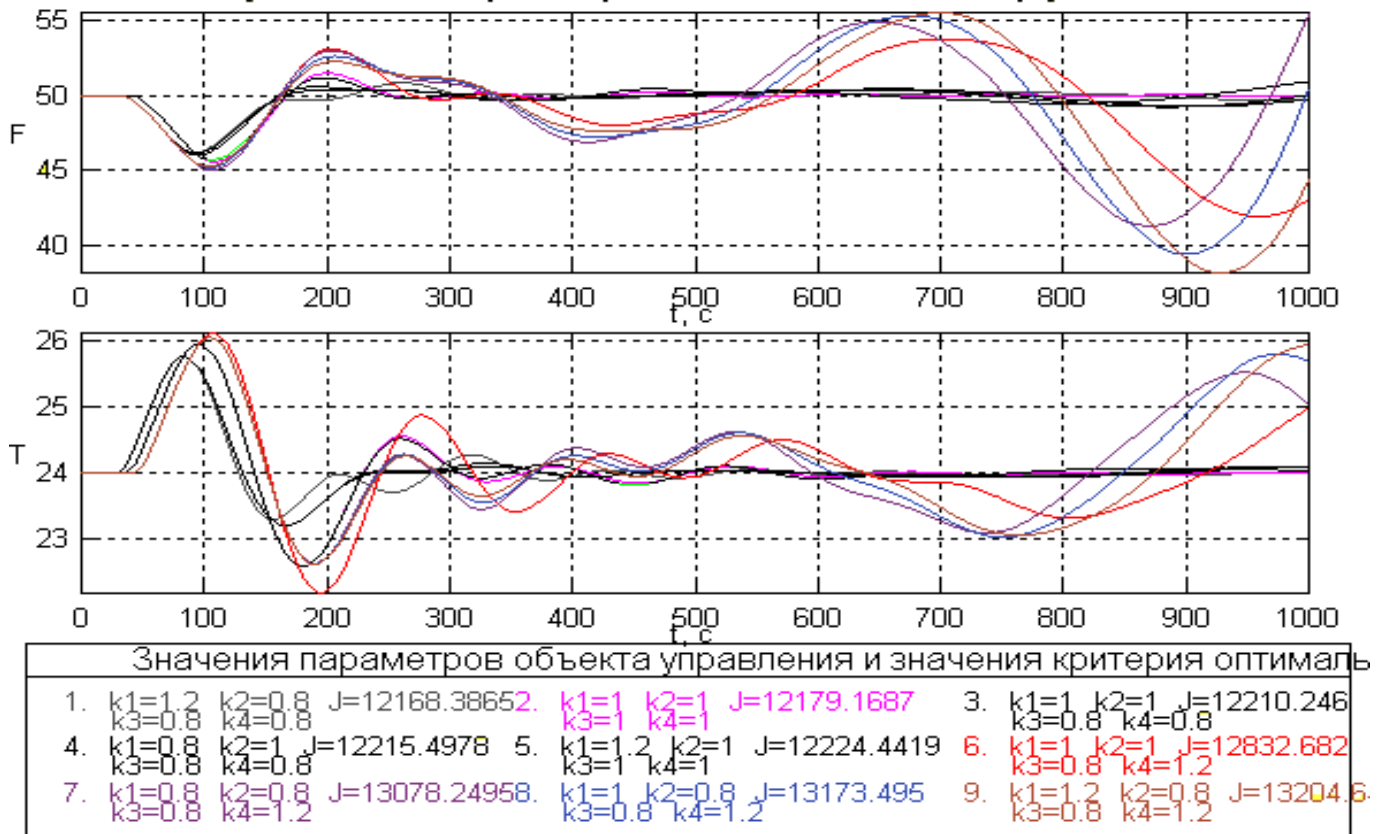


Рис. 1.19 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регуляторами

Як видно з результатів, САР з ПІД-регулятором не є грубою.

1.7 Висновки за розділом

Виходячи з вищевказаних обґрунтувань доцільно доопрацювати математичну модель ОК та розробити САР з регулятором змінної структури.

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ, ЩО РЕАЛІЗУЮТЬ ФУНКЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ САК ТП КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

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

Детально проаналізувавши вибраний об'єкт регулювання, можна зробити висновок, що на вологість повітря в приміщенні має значний вплив температура в приміщенні. Цей перехресний зв'язок в ОК знижує динамічну точність САР. Основним шляхом підвищення динамічної точності даної САР являється побудова САР з регулятором змінної структури.

2.2. Розробка структурної схеми модернізованої САК.

На основі представленої структурної схеми ОК (рис. 1.1) розроблена САР температури та відносної вологості у приміщенні, що передбачає регулювання цих параметрів на основі регулятора змінної структури. Структурна схема САК представлена на рис. 2.7. Для регулювання відносної вологості повітря в приміщенні в якості керуючої дії (U_1) будемо використовувати положення регулюючого органу подачі холодної води у камеру зрошення як більш дієвий вплив на вологовміст та відносну вологість повітря.

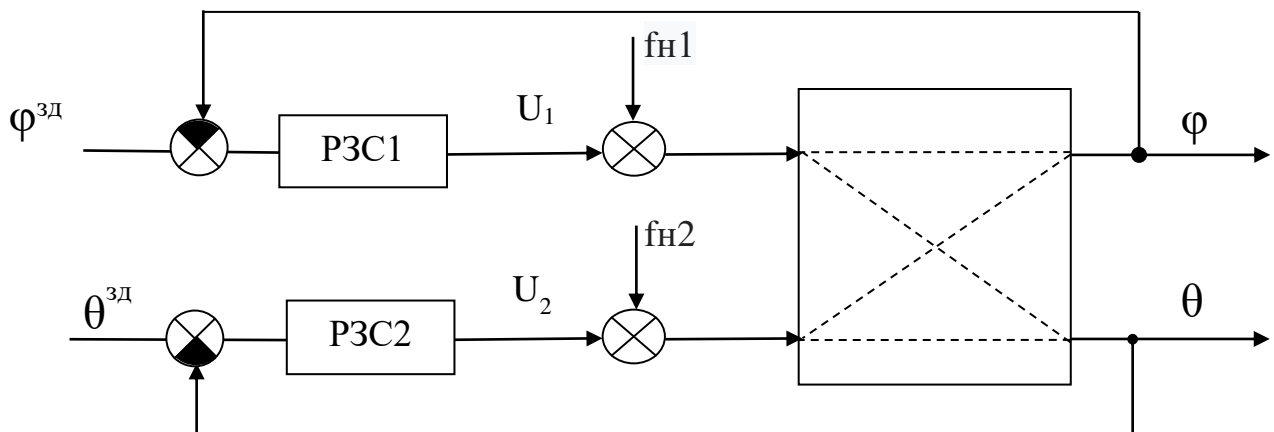


Рис. 2.1. Структурна схема САР температури та відносної вологості повітря в приміщенні з регуляторами змінної структури.

На рисунку:

φ – відносна вологість повітря в приміщенні, %;

θ – температура повітря в приміщенні, °С;

U_1 – положення регулюючого органу подачі холодної води у камеру зрошення, %х.р.о.;

U_2 – положення регулюючого органу подачі гарячої води до нагрівача, %х.р.о.;

РЗС1 – регулятор відносної вологості повітря змінної структури;

РЗС2 – регулятор температури повітря змінної структури;

$\varphi^{зд}$ - задане значення відносної вологості повітря в приміщенні, %;

$\theta^{зд}$ – задане значення температури повітря в приміщенні, °С;

$f_{н1}$, $f_{н2}$ – вектори неконтрольовані збурення, що приведені до входу ОК.

Настроювальні параметри регуляторів змінної структури розраховуються за спеціально розроблені методиками. Методики реалізовано у вигляді математичних рівнянь та інтегровано безпосередньо в алгоритм регулятора

змінної структури. Розрахунок параметрів регулятора виконується на основі значень параметрів моделі об'єкта керування першого порядку. Тобто на основі значень коефіцієнта передачі, запізнення та постійної часу моделі першого порядку. Тому для настроювання регуляторів змінної структури за каналами регулювання температури та відносної вологості повітря у приміщенні потрібно провести ідентифікацію моделей першого порядку та на їх основі розрахувати усі параметри регулятора.

2.3. Доопрацювання математичної моделі ОК для вирішення задачі регулювання

При розробці структурної схеми САР температури та відносної вологості у приміщенні для регулювання відносної вологості повітря в приміщенні в якості керуючої дії (U_1) прийняли положення регулюючого органу подачі холодної води у камеру зрошення як більш дієвий вплив на вологовміст та відносну вологість повітря. Це потребувало переробки існуючої моделі динаміки каналів регулювання і зміни моделей динаміки за каналом регулювання $U_1 - \varphi$, та перехрестним каналом $U_1 - \theta$. Доробка моделей проводилася з урахуванням існуючих динамічних властивостей каналів ОК. Отримана схема моделювання ОК наведена на рис.2.2, а нормовані перехідні характеристики моделей першого і другого порядків каналів керування ОК $U_1 - \varphi$ та $U_2 - \theta$ наведено на рис. 2.3.

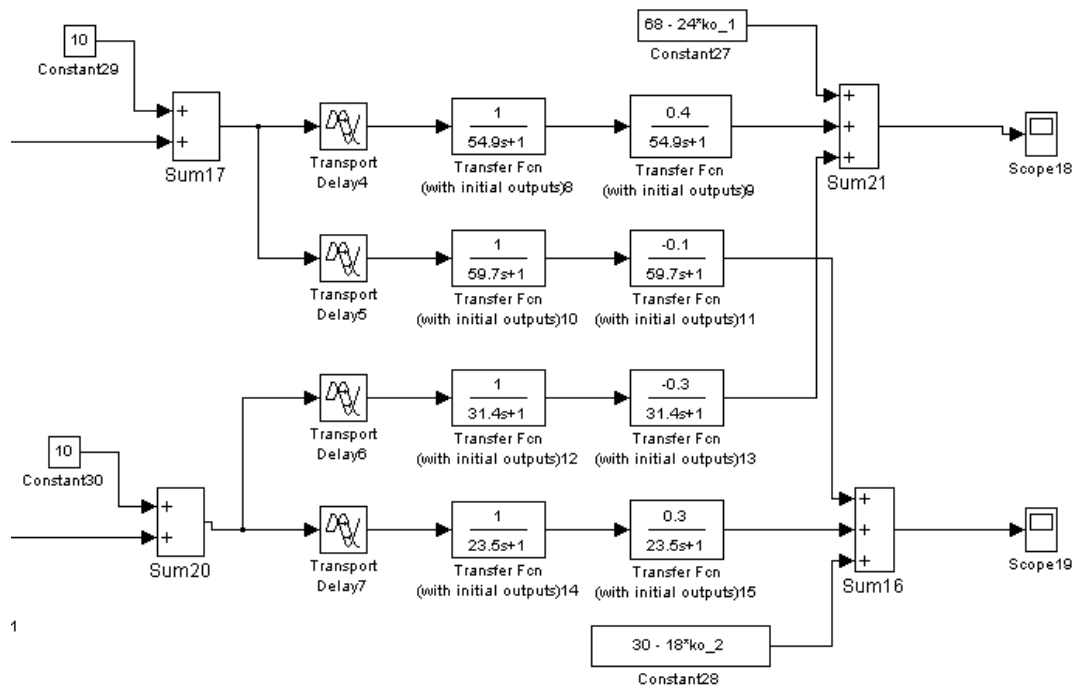


Рис. 2.2. Схема моделювання моделі динаміки ОК.

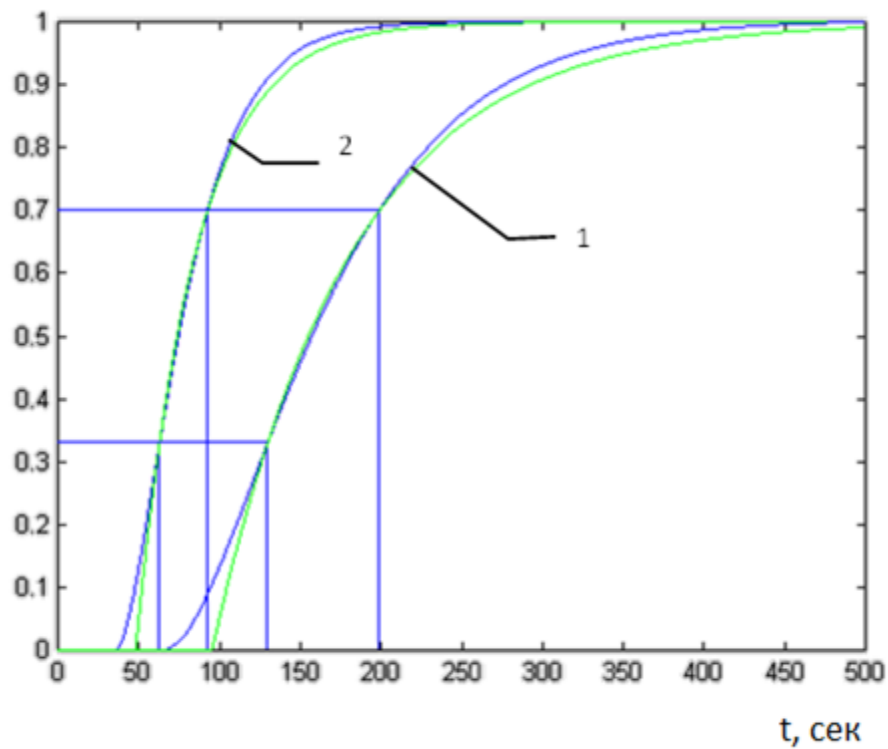


Рис. 2.3. Нормовані перехідні характеристики моделей першого і другого порядків за каналами керування $U_1 - \varphi$ (граф.1) та $U_2 - \theta$ (граф.2)

$$W_{u1-\varphi}^o(p) = \frac{0,4 \cdot e^{-95p}}{(86p + 1)} \quad W_{u2-\theta}^o(p) = \frac{0,3 \cdot e^{-48p}}{(37p + 1)} .$$

Передаточні функції моделей першого порядку мають наступний вигляд:

Моделі першого порядку каналів керування необхідні для розрахунку початкових параметрів типових алгоритмів ПІД-регулювання та алгоритму керування регулятора зі змінною структурою.

2.4. Розробка імітаційної моделі САР температури та відносної вологості повітря у приміщенні з регулятором змінної структури та дослідження її роботи.

Дослідження роботи САР з регулятором змінної структури будемо проводити у порівнянні з роботою САР з типовим ПІД регулятором. Модель динаміки ОК була змінена тому на першому етапі дослідження проведемо оптимальний параметричний синтез САР з ПІД регулятором. Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів і перевірки на грубість в середовищі Simulink представлена на рис. 3.3 і 3.4. Інтегральний критерій оптимальності залишаємо незмінним – інтегральний модальний. Результати оптимального параметричного синтезу регуляторів наведено на рис.3.4.

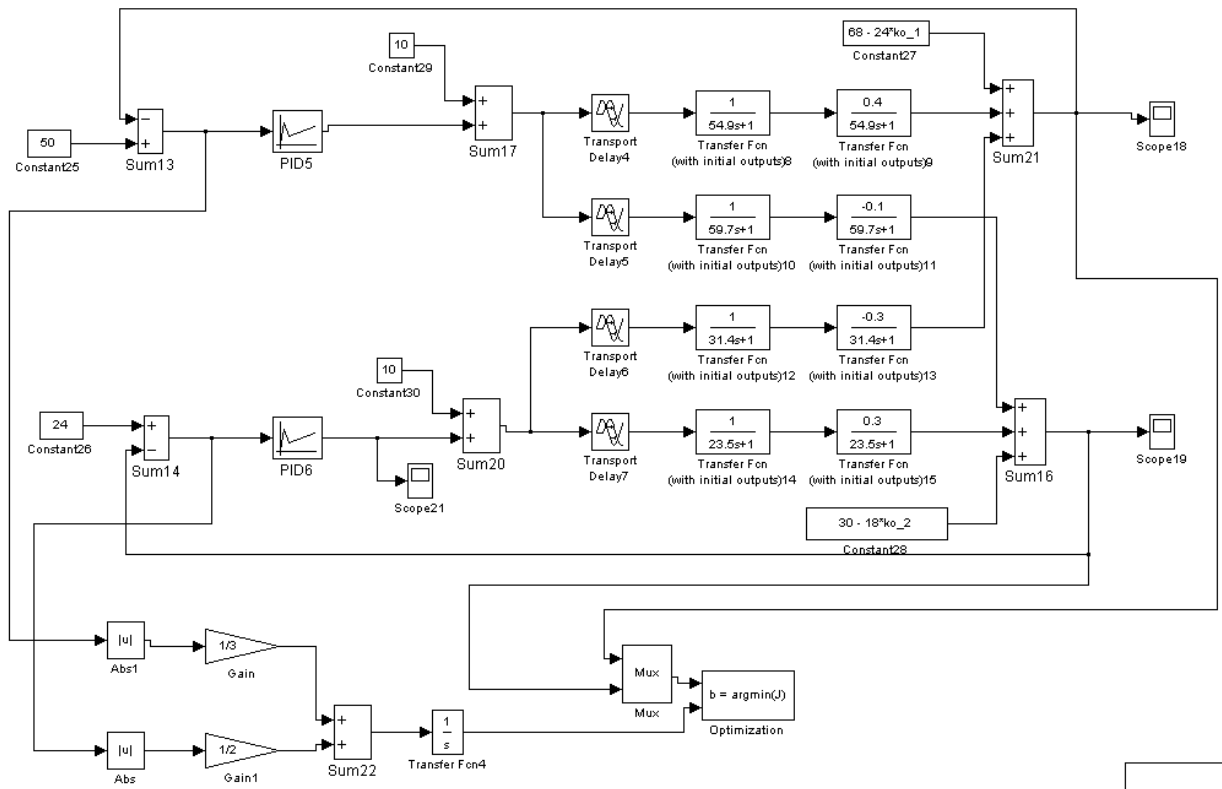


Рис. 2.4. Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів і перевірки на грубість.

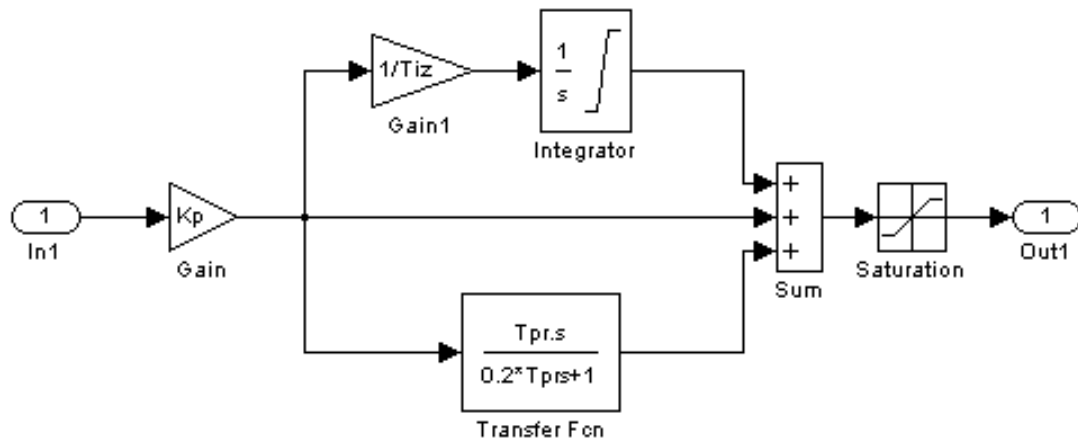
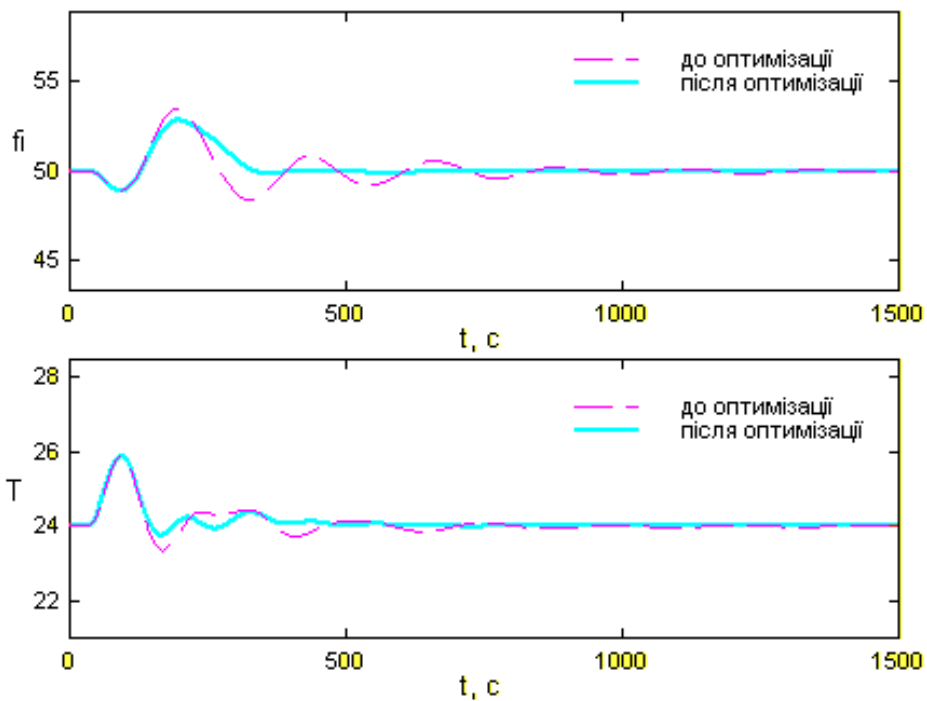


Рис. 2.5. Схема моделювання ПІД-регулятора.



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
kr1	3.0523	0.1	4.16221	10	до - 363.2235
Tiz1	85.1242	5	65.8549	150	після - 225.1031
Tpr1	38.7601	4	46.67	70	оптимізації.
kr2	4.0767	0.1	4.98548	10	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	61.4627	5	65.09	150	максимальна - 750
Tpr2	23.8618	4	16.9386	70	фактична - 468

Рис.2.6. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів.

В процесі роботи системи кондиціонування повітря у приміщенні може змінюватися еквівалентний час запізнення в каналах ОК. Слід відзначити, що внаслідок нелінійності параметри каналів можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на grubість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень $10\%x.p.o.$ Результати перевірки САР на grubість наведено на рис.3.5.

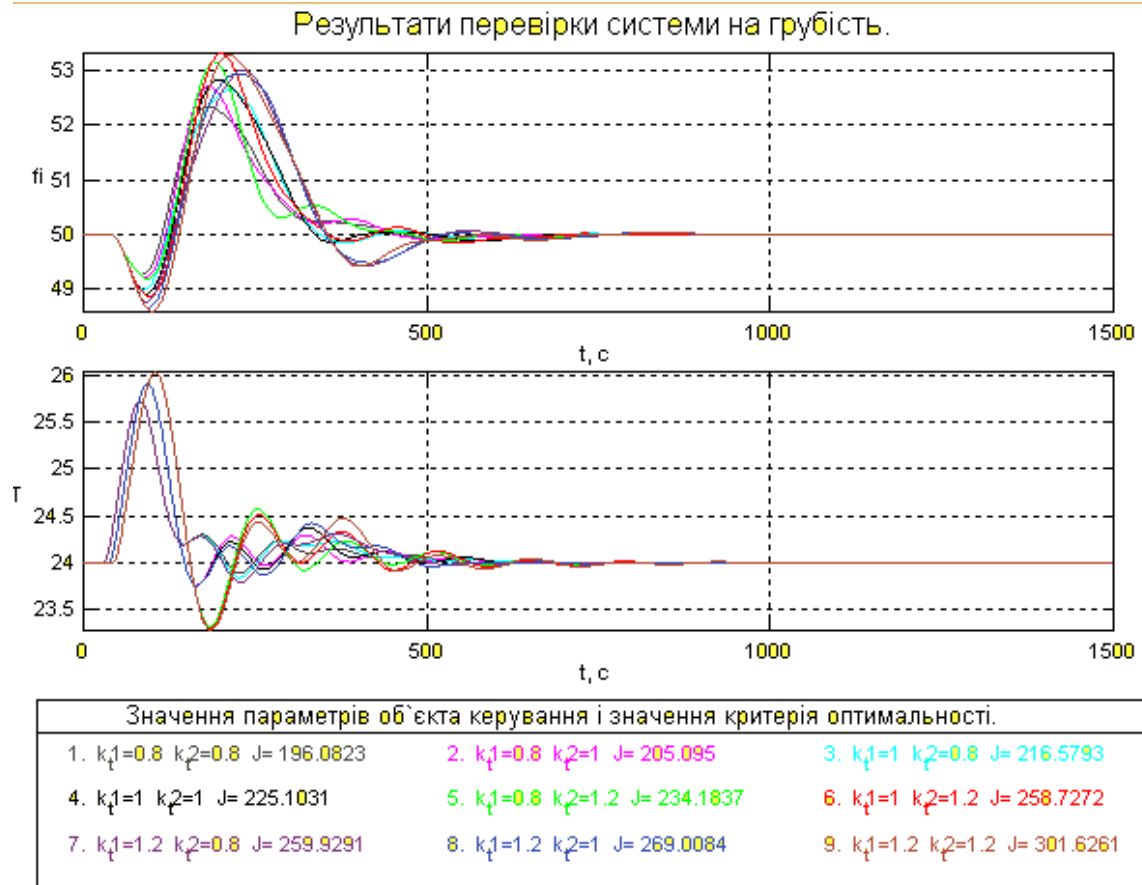


Рис. 2.7. Результати аналізу на грубість САР з ПІД-регуляторами при зміні часу запізнення в каналах керування.

За результатами перевірки можна зробити висновок що САР є грубою.

В каналах регулювання при певних обставинах може змінюватися і коефіцієнт передачі. Тому додатково проведемо перевірку системи на грубість при зміні одночасно часу запізнення та коефіцієнту передачі у межах до $\pm 20\%$. Результати перевірки на грубість наведено на рис. 3.6.

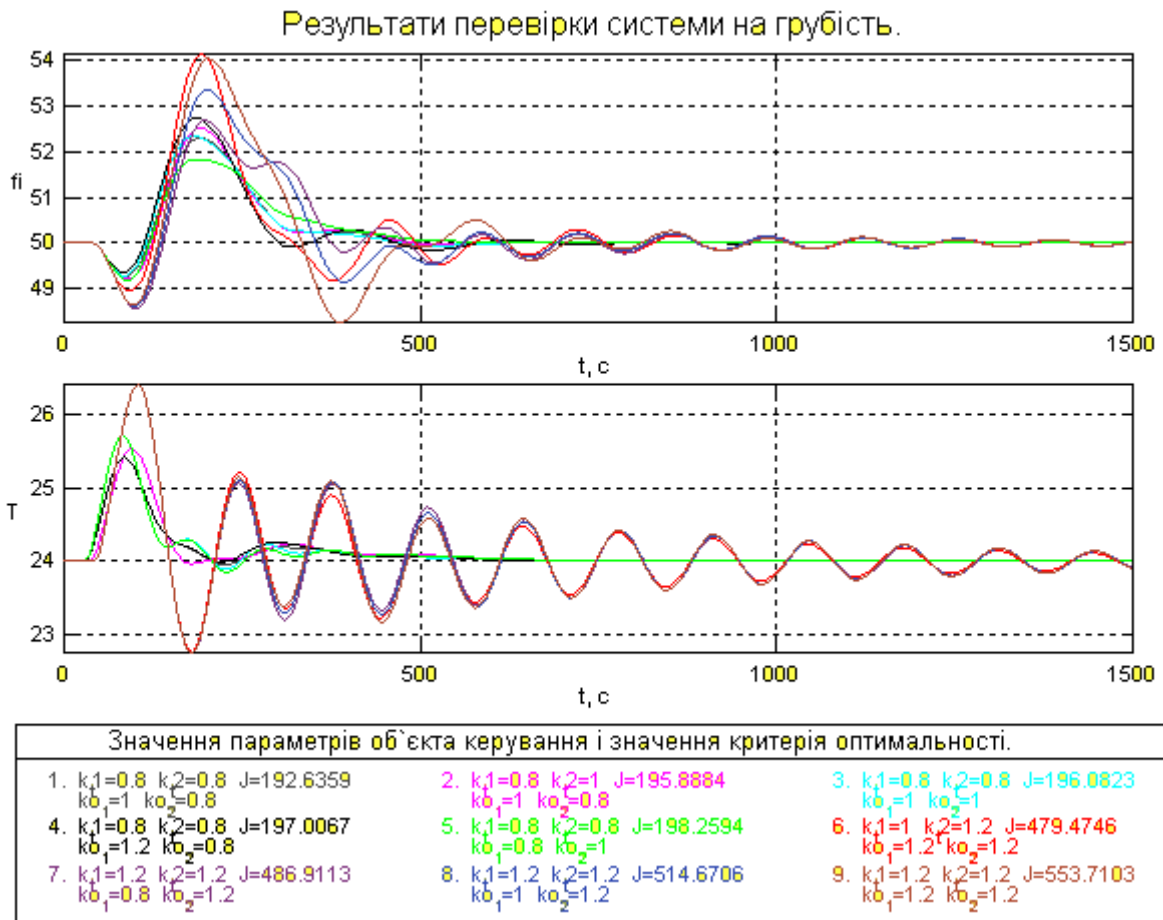


Рис. 2.8. Результати аналізу на грубість САР з ПІД-регуляторами при зміні часу запізнення та коефіцієнтів передачі в каналах керування.

За результатами перевірки можна зробити висновок що САР є грубою, тобто вона цілком працездатна.

Замінено у системі регулювання ПІД регулятори на регулятори змінної структури. Схема моделювання САР з регулятором змінної структури наведена на рис.3.7. Налаштування регуляторів змінної структури проведемо на основі моделей динаміки першого порядку. Тобто параметри моделі будуть задані як налаштувальні параметри без проведення оптимального параметричного синтезу.

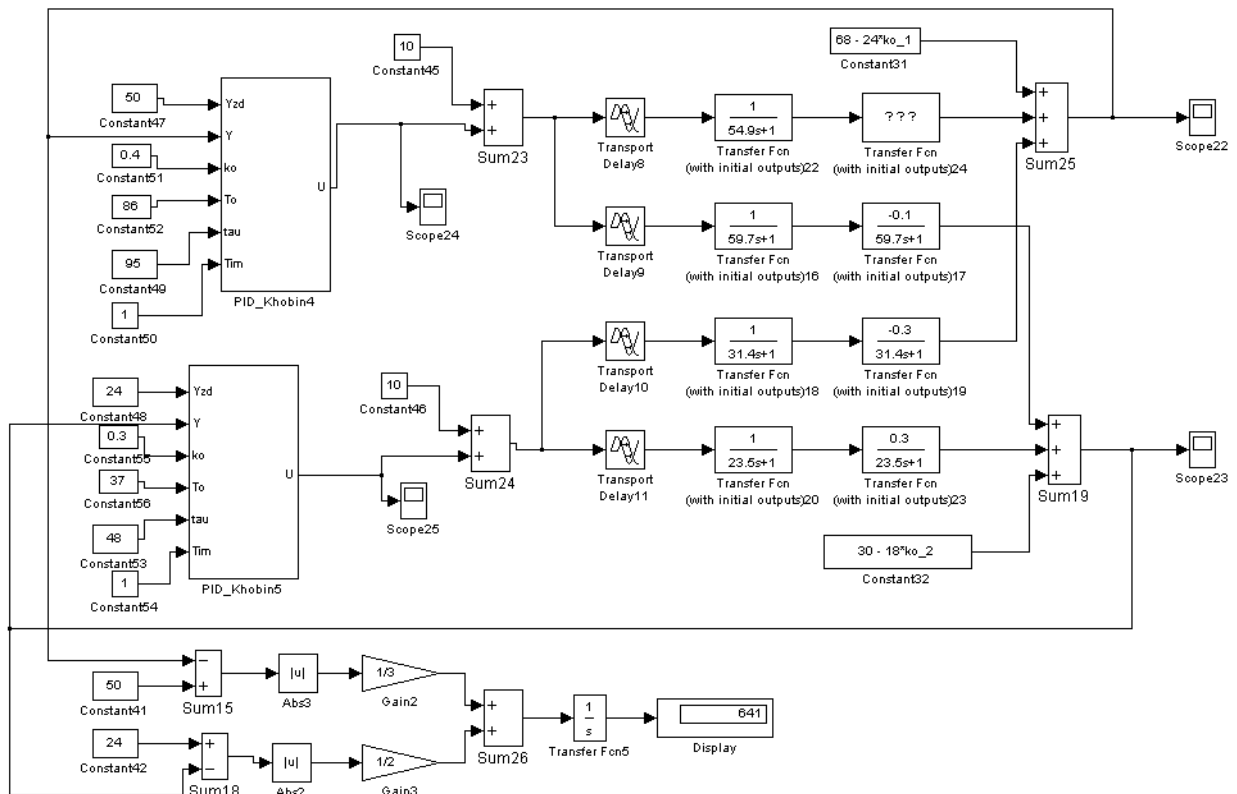


Рис. 2.9. Схема моделювання САР з регулятором змінної структури.

Регулятор змінної структури має більш складну реалізацію з декількох взаємопов'язаних підсистем. Загальний вид внутрішньої структури моделі регулятора наведено на рис. 2.8, а внутрішня структура підсистеми розрахунку керуючої дії наведено на рис. 2.9.

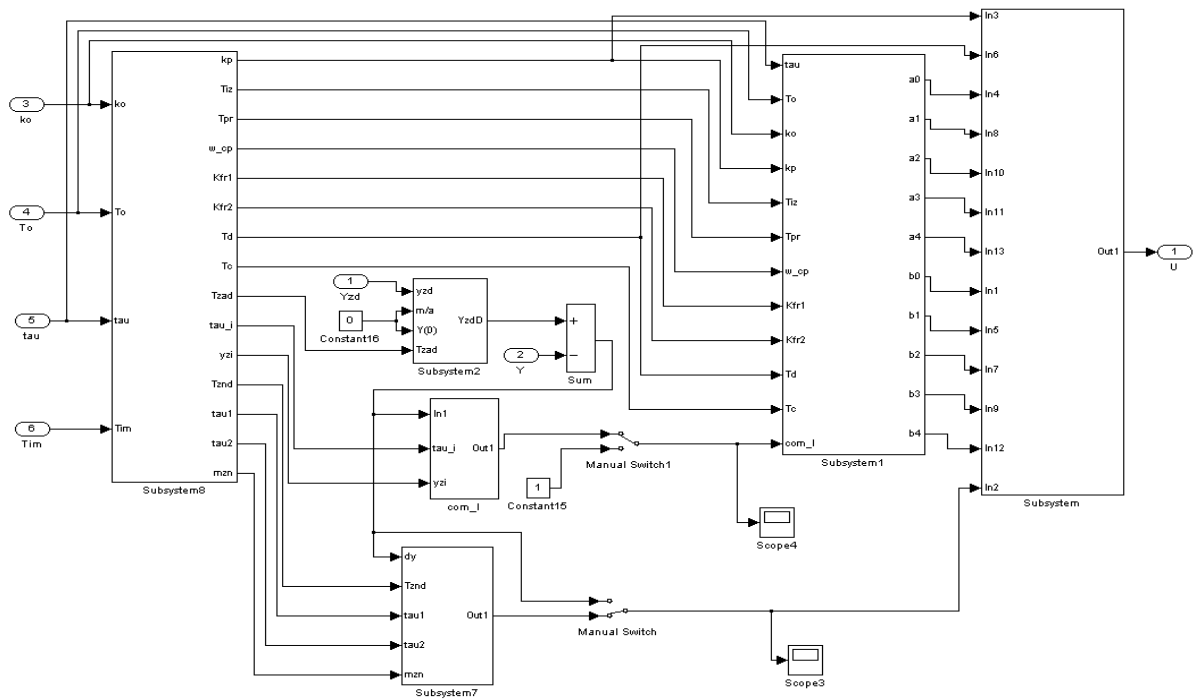


Рис. 2.10. Схема моделювання регулятора змінної структури.

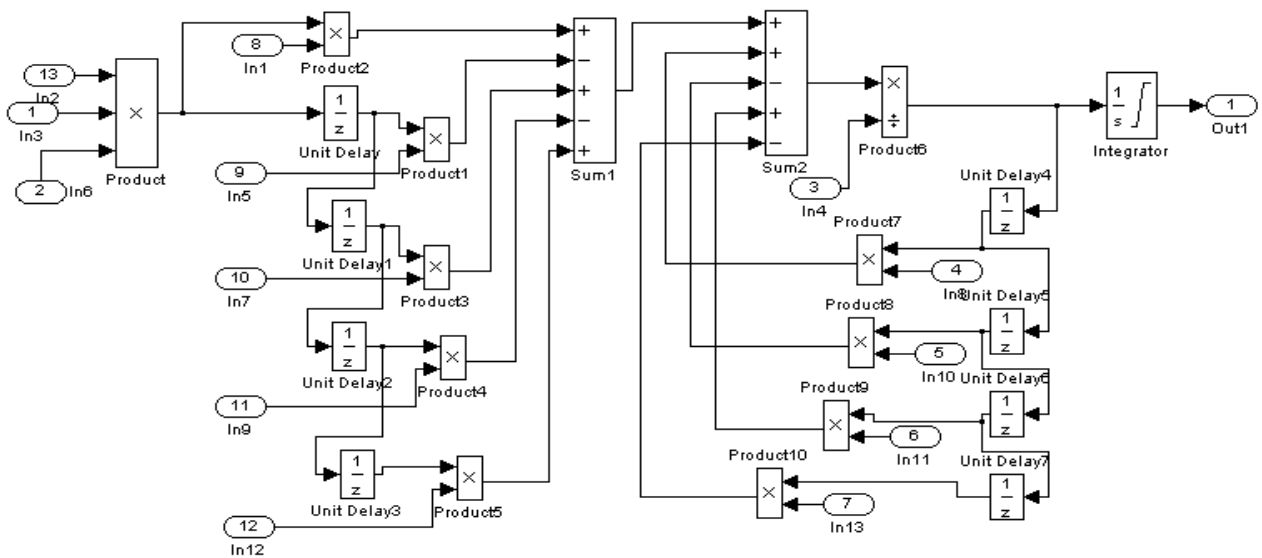


Рис. 2.11. Внутрішня структура блоку розрахунку керуючої дії регулятора змінної структури.

Дослідження роботи систем будемо проводити в перехідних режимах роботи. В ПІД регуляторах встановимо оптимальні значення параметрів регуляторів, що отримані за результатами оптимального параметричного синтезу (рис. 3.4). В регуляторах змінної структури на входах задамо параметри

відповідних моделей динаміки першого порядку (коефіцієнт передачі, постійну часу, час запізнення) каналів керування. На основі цих параметрів моделей в регуляторі розраховуються значення внутрішніх його параметрів (коефіцієнт передачі, час ізодрому, час попередження і т.д.).

Проведемо дослідження роботи отриманих систем керування в умовах дії детермінованих ступінчастих збурень за каналами дії неконтрольованих збурень. На рис. 2.12 наведено схему моделювання для проведення досліджень

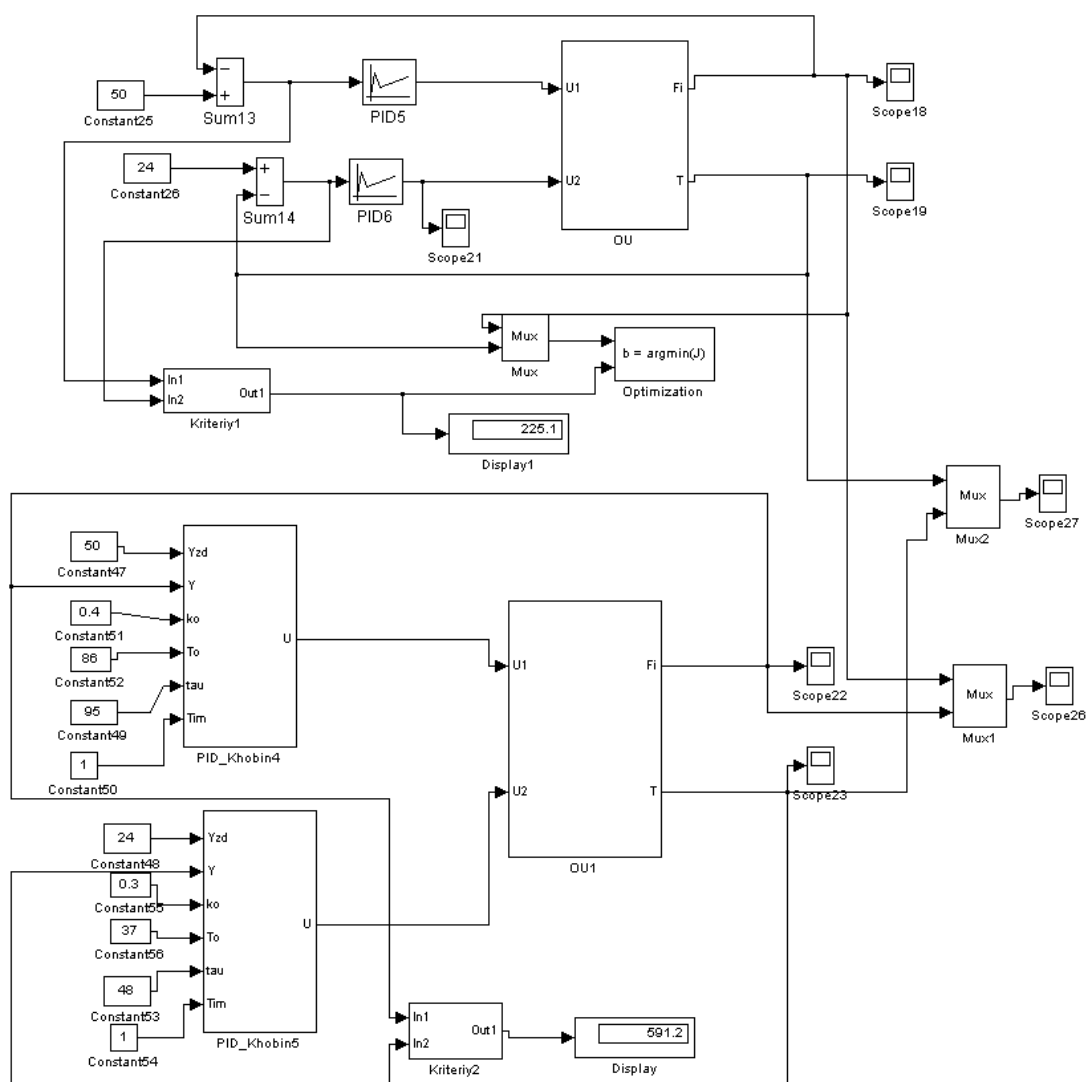


Рис. 2.12. Схема моделювання для проведення порівняльного аналізу.

На рис 2.11 наведено результати моделювання САР з ПІД-регулятором та з регулятором змінної структури в перехідних режимах при дії ступінчастого збурення за каналом дії неконтрольованих збурень. Параметри моделі ОК

встановлені номінальні. Перехідні характеристики САР з ПІД регулятором мають синій колір, а перехідні характеристики САР з регулятором змінної структури мають зелений колір.

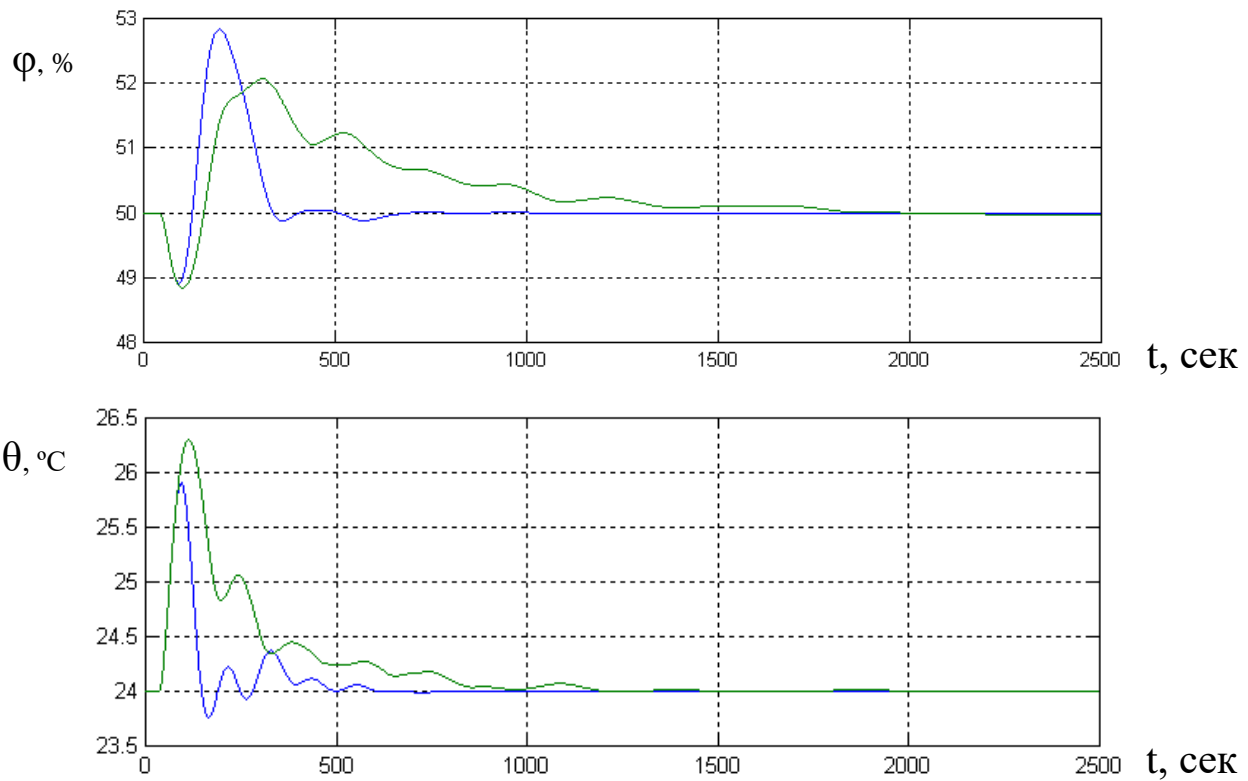


Рис. 2.13. Перехідні характеристики САР з ПІД регулятором (синій колір) і перехідні характеристики САР з регулятором змінної структури (зелений колір) при номінальних параметрах ОК.

За результатами моделювання бачимо що САР з ПІД регуляторами працює трошки краще, забезпечуючи менший час перехідного процесу. При цьому критерій оптимальності має наступні значення ($I_{\text{під}} = 225$, $I_{\text{рзс}} = 591$).

Проведемо дослідження роботи систем у несприятливих умовах коли час запізнення та коефіцієнт передачі в каналах керування об'єкту можуть збільшуватися. На рис. 2.12 наведені перехідні характеристики САР при збільшенні запізнення в каналі керування відносної вологості в 1.9 рази. При цьому критерій оптимальності має наступні значення ($I_{\text{під}} = 740$, $I_{\text{рзс}} = 659$). Тобто якість роботи САР з ПІД регулятором погіршилася.

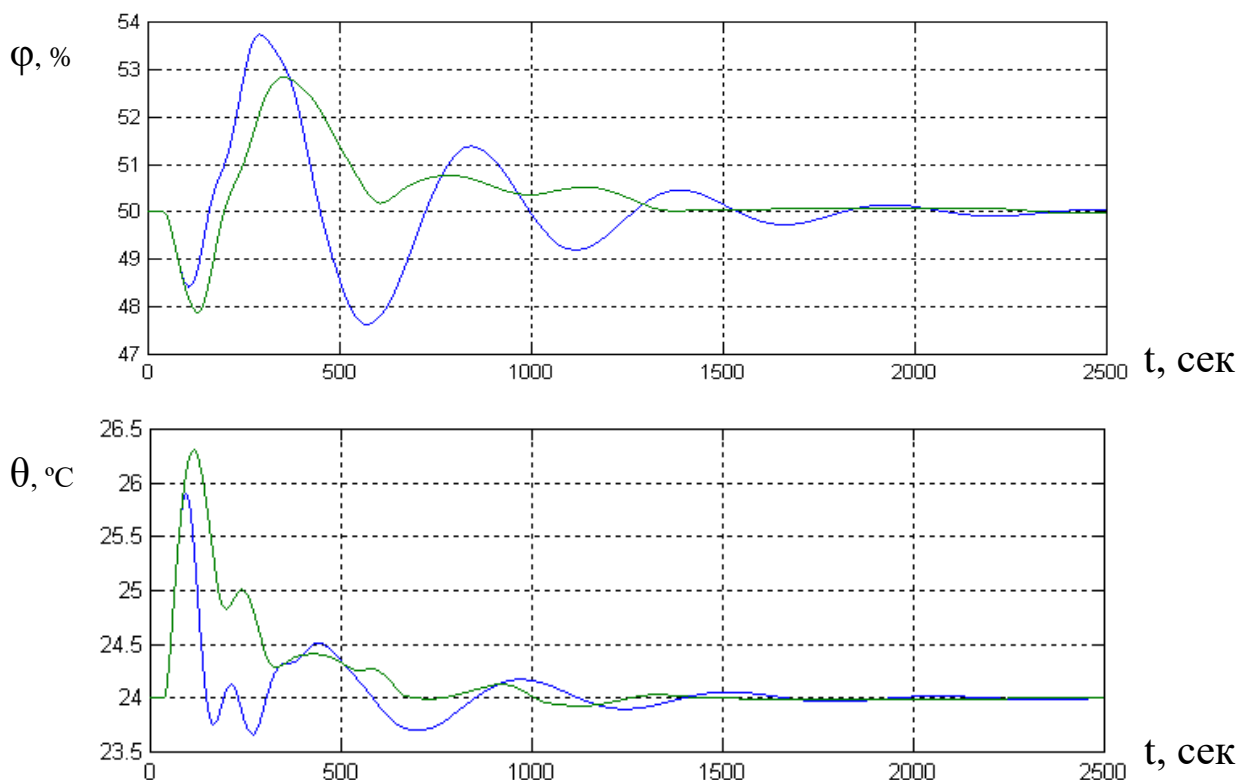


Рис.2.14. Перехідні характеристики САР з ПД регулятором (синій колір) і перехідні характеристики САР з регулятором змінної структури (зелений колір) при збільшенні запізнення в каналі керування відносною вологості в 1.9 рази.

Далі розглянемо роботу систем при дії параметричних збурень у більш широкому діапазоні, тобто при зміні параметрів моделі ОК до критичних значень, коли одна з систем стає нестійкою. На рис.2.13 – 2.16 наведено перехідні характеристики САР для експериментів де по черзі змінювалися час запізнення та коефіцієнт передачі до критичних значень. Коефіцієнт передачі та час запізнення змінюються в каналах керування $U1 - \varphi$ та $U2 - \theta$.

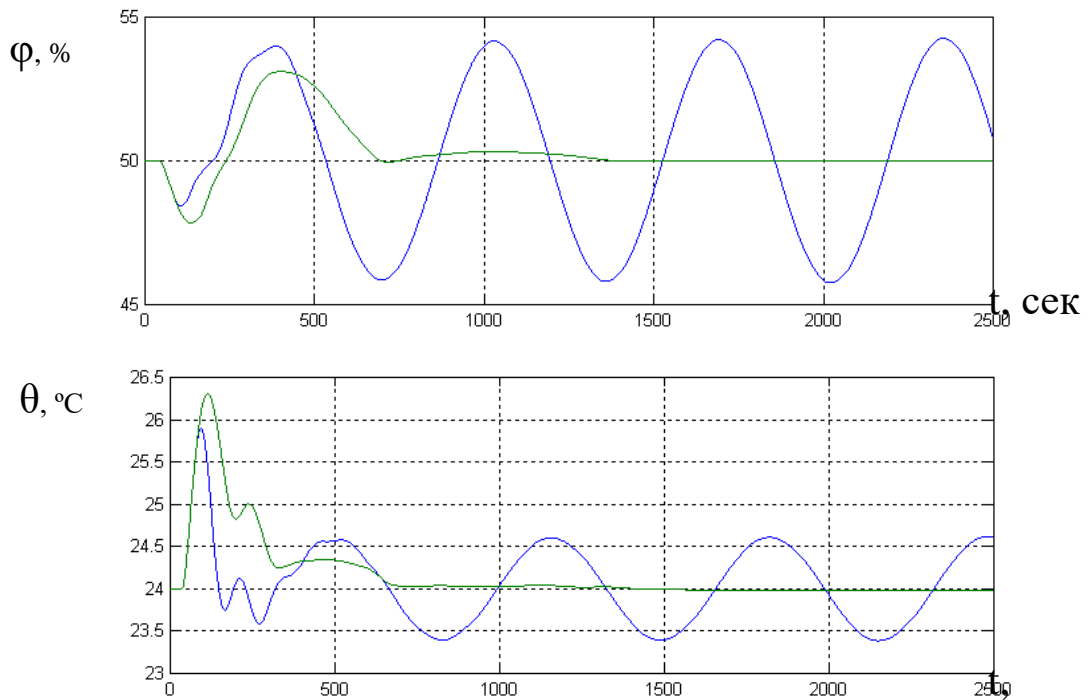


Рис.2.15. Перехідні характеристики САР з ПІД регулятором (синій колір) і перехідні характеристики САР з регулятором змінної структури (зелений колір) при збільшенні запізнення в каналі керування відносної вологості в 2.4 рази.

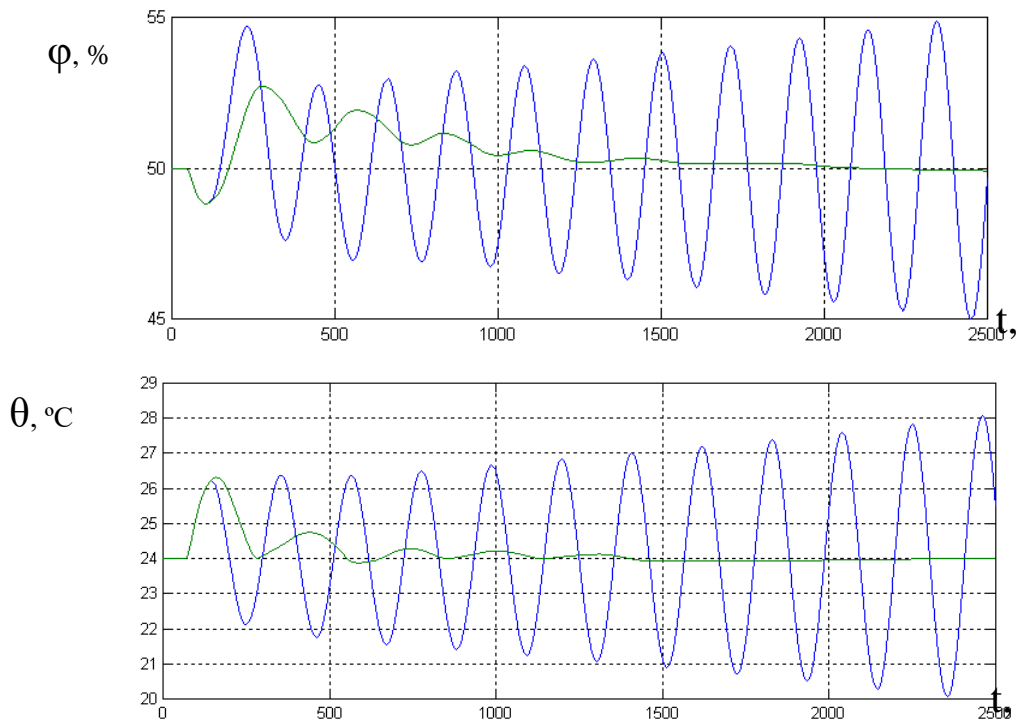


Рис.2.17. Перехідні характеристики САР з ПІД регулятором (синій колір) і перехідні характеристики САР з регулятором змінної структури (зелений колір) при збільшенні запізнення в каналі керування температури в 1.9 рази.

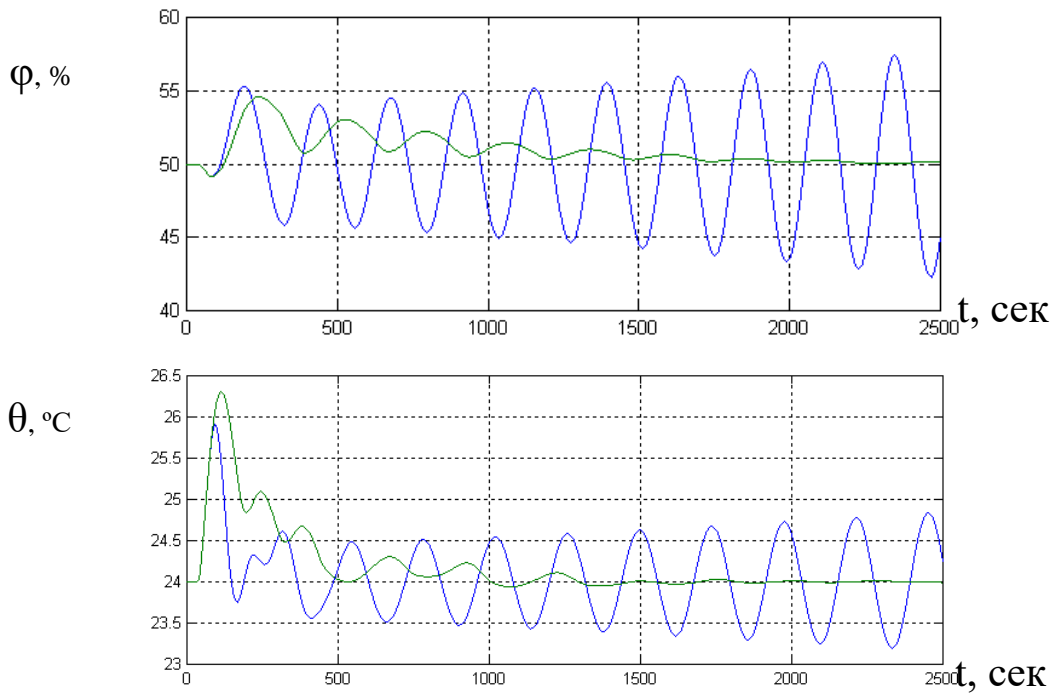


Рис.2.16. Перехідні характеристики САР з ПІД регулятором (синій колір) і перехідні характеристики САР з регулятором змінної структури (зелений колір) при збільшенні коефіцієнта передачі в каналі керування відносної вологості в 1.9 рази.

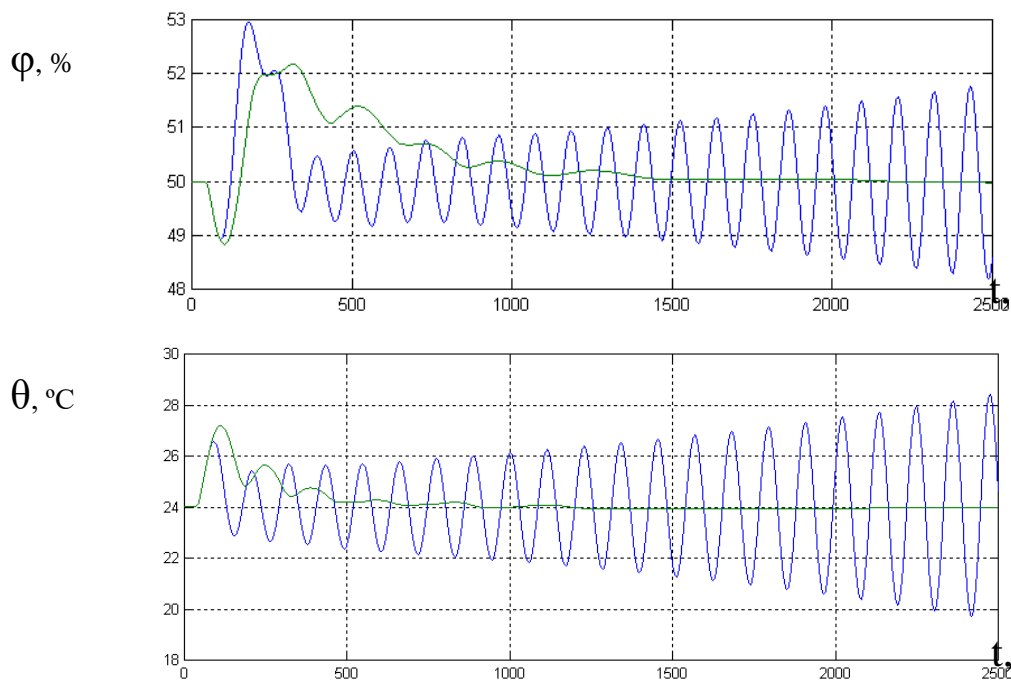


Рис.2.18. Перехідні характеристики САР з ПІД регулятором (синій колір) і перехідні характеристики САР з регулятором змінної структури (зелений колір) при збільшенні коефіцієнта передачі в каналі керування температури в 1.4 рази.

2.5 Висновки за розділом

За результатами експериментів можна зробити висновок, що САР з лінійним ПД – регулятором при дії інтенсивних параметричних збурень може становитися нестійкою, САР з регулятором зі змінною структурою залишається стійкою при усіх варіантах експериментів. Відповідно - САР із регулятором зі змінною структурою має більший запас стійкості і в умовах зміни параметрів ОК може забезпечувати більш високу динамічну точність. Також регулятор зі змінною структурою може краще підійти для керування об'єктами з високим рівнем невизначеності початкових значень їх параметрів. Коли номінальні параметри моделі ОК визначені приблизно.

Загалом за результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що система керування з регулятором змінної структури має більший запас стійкості ніж звичайна САР з ПД регулятором і при дії параметричних збурень забезпечує високу динамічну точність в порівнянні з САР з типовим ПД регулятором, система залишатися грубою особливо в умовах, коли параметри ОК коефіцієнт передачі та час запізнення є найбільш несприятливими для керування. Все це робить актуальним застосування в контурах регулювання φ та θ при кондиціюванні повітря спеціального регулятора змінної структури.

РОЗДІЛ 3 ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ, ЯКІ РЕАЛІЗУЮТЬ ФУНКЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ САК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ, НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ЛОГІЧНОГО РЕГУЛЯТОРА 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

Для того, щоб обґрунтувати актуальність застосування відповідної системи управління, необхідно визначити, до якої області вона відноситься згідно з рисунком

На рисунку 3.1 показані області ефективного застосування традиційних, нейромережових і нечітких систем управління.



Рисунок 3.1 – Область ефективного застосування різних систем управління

Таким чином, для визначення актуальності застосування нечіткої системи керування необхідно указати невизначеність параметрів об'єкта управління,

нелінійність статичної характеристики у де-якому режимі функціонування системи. Особливою проблемою в сфері автоматизації є управління об'єктами, функції яких описуються нелінійними залежностями. При проектуванні систем керування 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»).

Нечітке управління ефективне в умовах невизначеності інформації про динамічну поведінку складних об'єктів управління. Доцільність використання нечіткого підходу для побудови грубих регуляторів впливає з розгляду особливостей нечіткого управління. Основна перевага нечіткого підходу – можливість формування числа правил управління залежно від комбінації значень вхідних змінних регулятора і, отже, від зміни режиму роботи, рівня збурювань. Для технічних систем з випадковим характером впливу, що збурює, складністю розробки динамічної моделі, її високим порядком, та 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. Таким чином, в умовах наявності істотних невизначеностей у статичних і динамічних характеристиках рекуператора тепла повітря/повітря як об'єкта керування представляються труднощі в формалізації завдань синтезу регуляторів системи керування. У зв'язку з цим доцільним (актуальним) є застосування регуляторів, заснованих на нечіткій логіці. 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 дуже легко і наочно представляється і коректується вид функцій приналежності і нечіткого висновку. Отже, спрощується і настроювання системи автоматичного регулювання.

3.2 Реалізація в програмному середовищі MATLAB/Simulink моделей каналів регулювання розглянутого об'єкта керування з нелінійними статичними характеристиками

Для представлення статичної характеристики моделі об'єкта управління необхідно на вхід відповідного каналу регулювання подавати повільно наростаючу керуючу дію, а інші регульовані змінні підтримувати на номінальному рівні. Повільно наростаючий сигнал необхідно реалізувати за допомогою включення блоку Ramp у відповідну модель каналу регулювання, а для підтримання регульованих змінних інших каналів використаємо ПІД-регулятори. Структурна схема повної моделі ОК з додатковим блоком Ramp представлена на рис. 3.2.

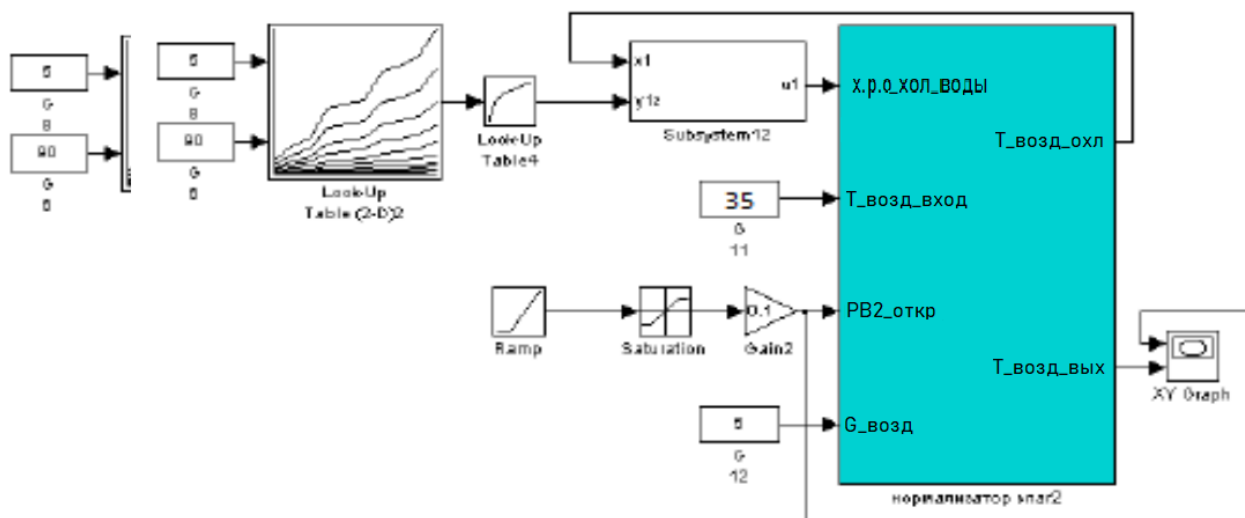


Рис. 3.2 – схема моделювання для отримання квазістатичних характеристик, реалізована в середовищі MATLAB\Simulink

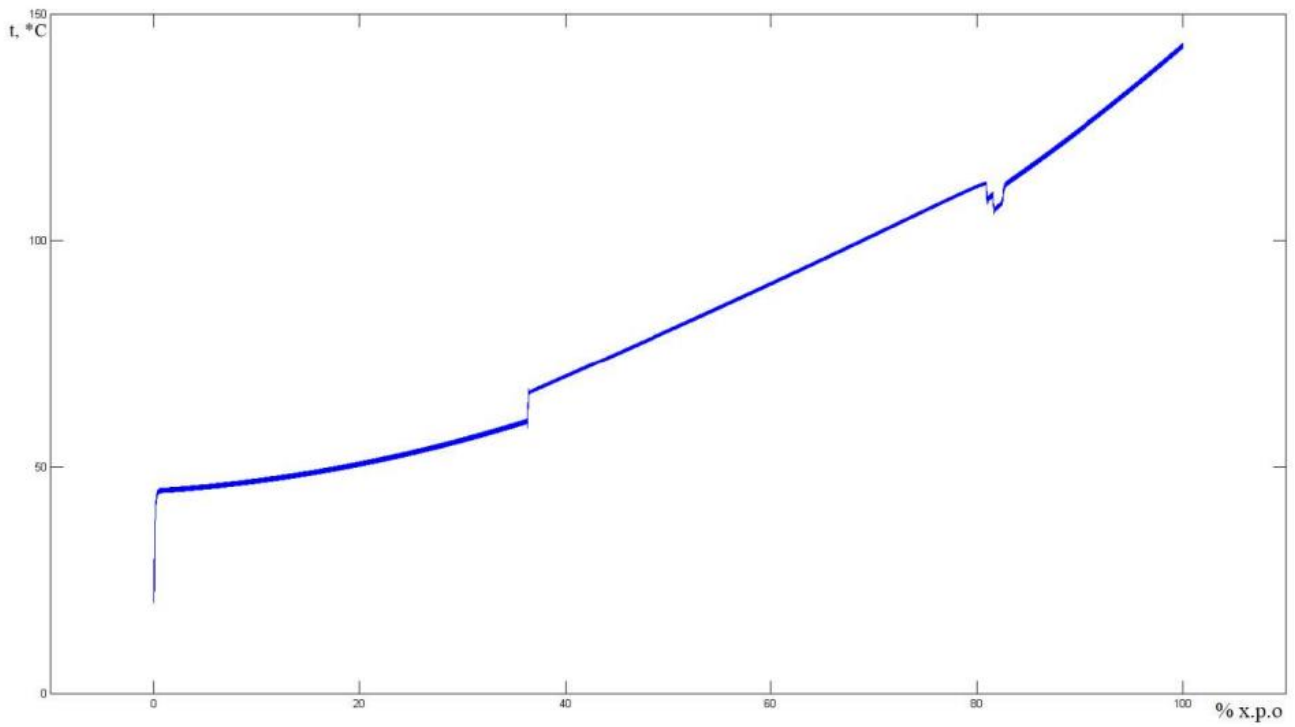


Рис. 3.3 – квазістатичні залежності температури повітря у приміщенні від ходу регулюючого органу при температурі повітря на вході випарника 35°C

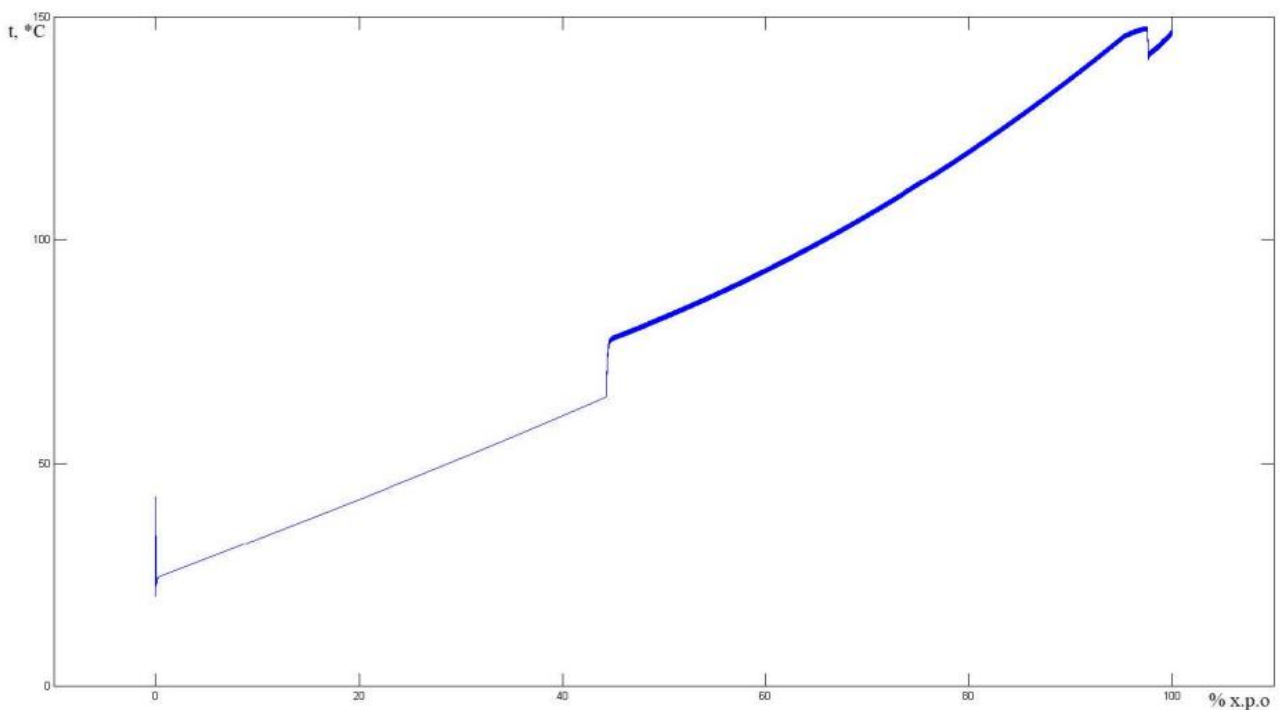


Рис. 3.4 – квазістатичні залежності температури повітря у приміщенні від ходу регулюючого органу при температурі повітря на вході випарника 30°C

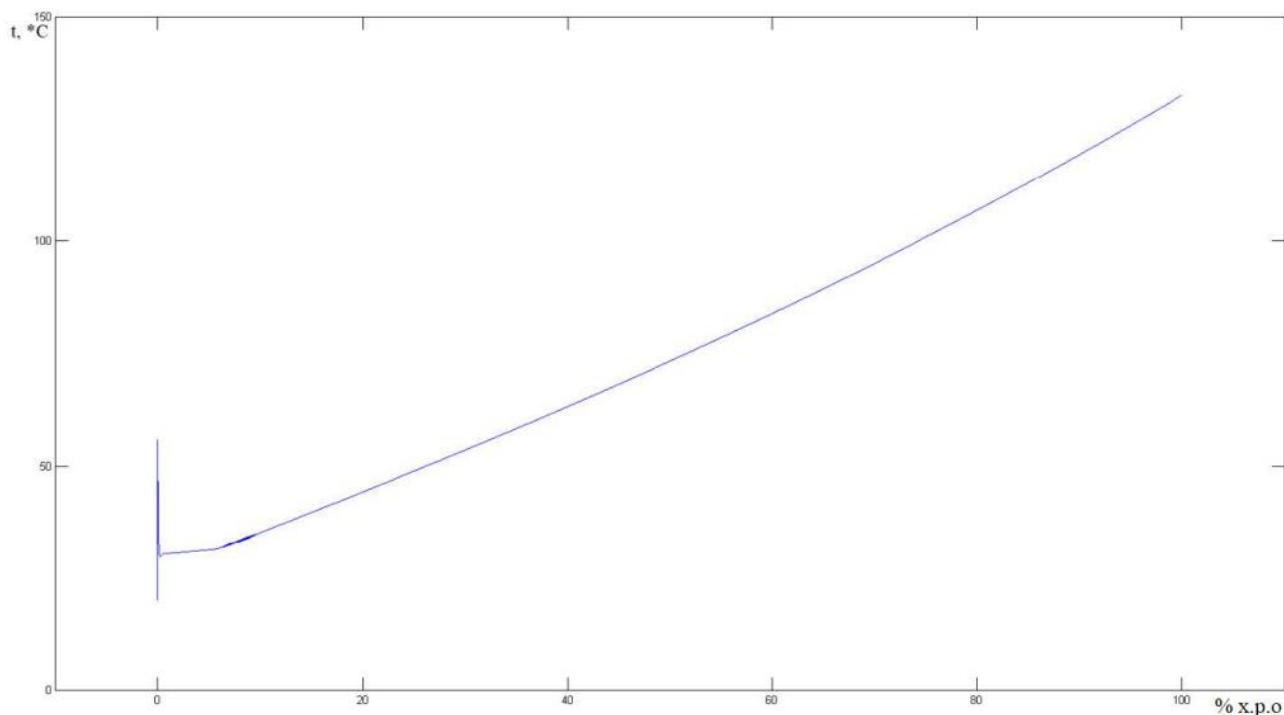


Рис. 3.5 – Квазістатичні залежності температури повітря у приміщенні від ходу регулюючого органу при температурі повітря на вході випарника 25°C.

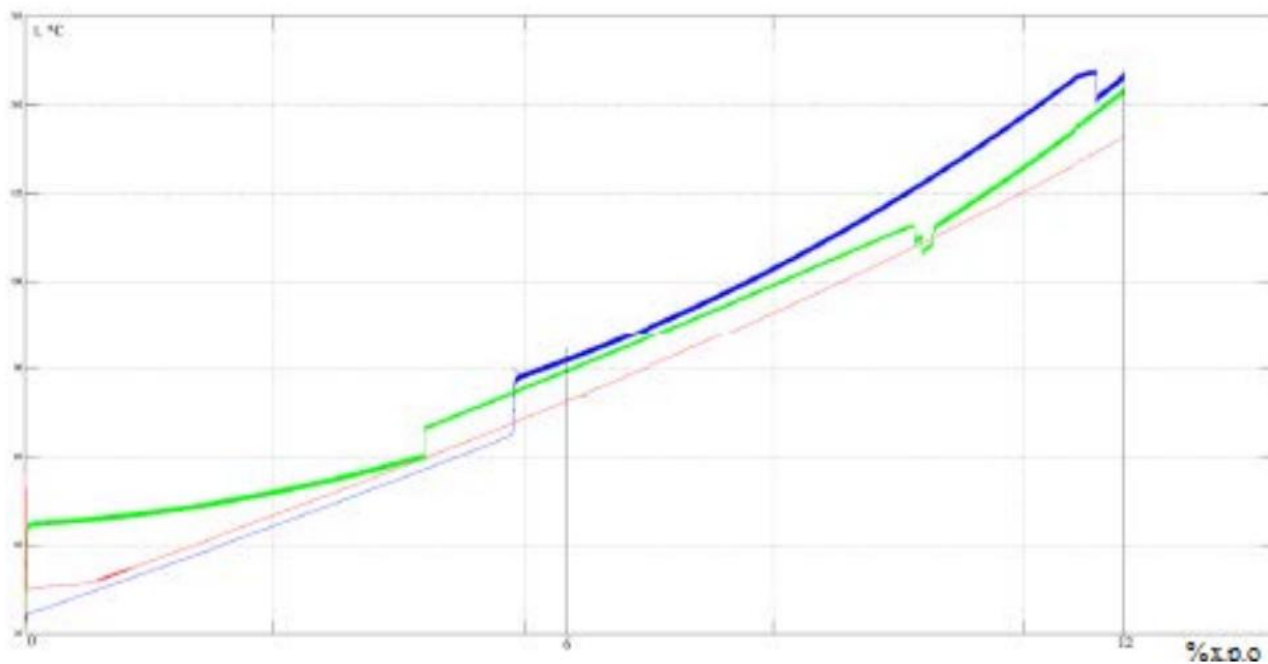


Рис. 3.6 – сімейство квазістатичних характеристик залежності

температури повітря у приміщенні в від ходу регулюючого органу при температурі на вході випарника 25°C (зелена), 30°C(синя) та 35°C(червона).

3.3 Синтез САР з нелінійною моделлю ОК і традиційним ПІД-регулятором

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_p = \frac{0,8 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{0,8 \cdot 21,9}{0,65 \cdot 0,27} = 98,8 \frac{\%x.p.o.}{^\circ C}$$

$$T_{IЗ} = 2,4 \cdot \tau_o = 2,4 \cdot 0,27 = 0,65c$$

$$T_{ПР} = 0,75 \cdot \tau_o = 0,75 \cdot 0,27 = 0,02c$$

В якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний модульний критерій, що сильно штрафує незначні відхилення і мало штрафує короткочасні відхилення. Тому ефективність роботи САР і підвищення її динамічної точності доцільно вести за такими критерієм:

$$J_2 = \int_0^{t_M} [|\Delta T_{гс}(t)|] \cdot dt$$

де t_M – час моделювання;

$\Delta T_{гс}(t)$ – відхилення температури догрітого повітря заданого значення.

Для оптимального параметричного синтезу САР кондиціонування повітря з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.6. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 3.8.

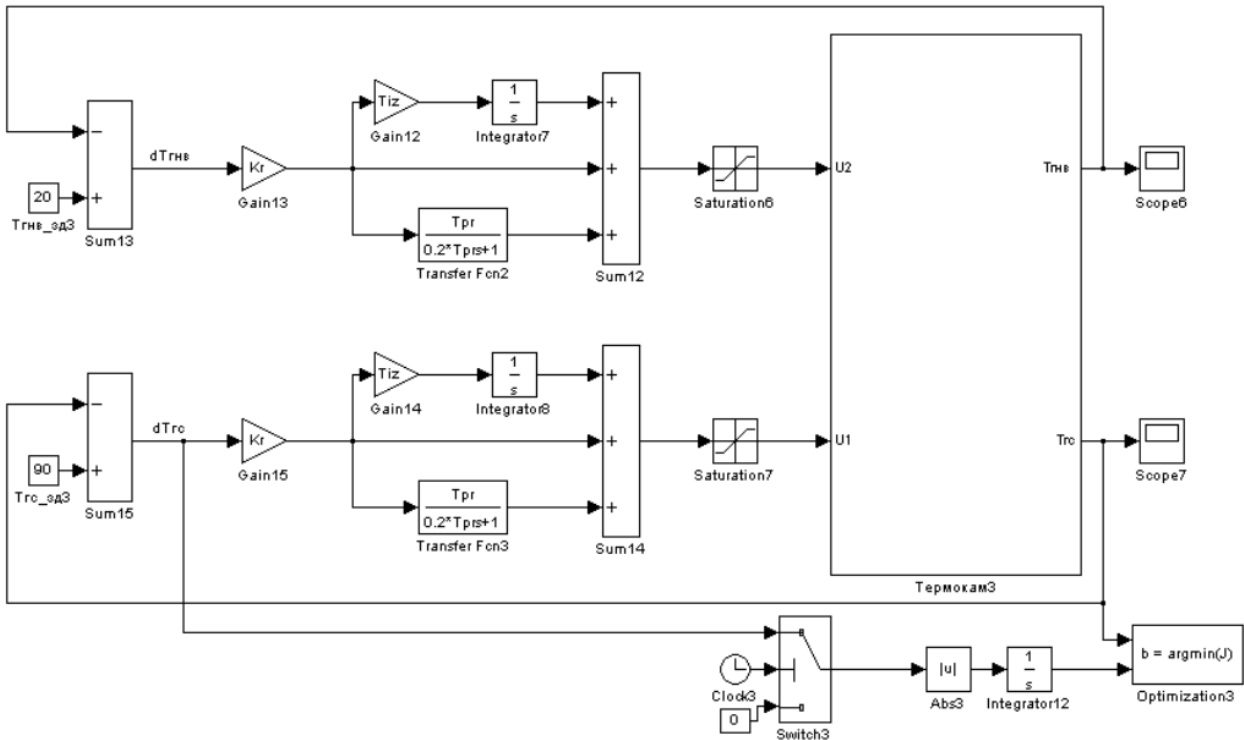
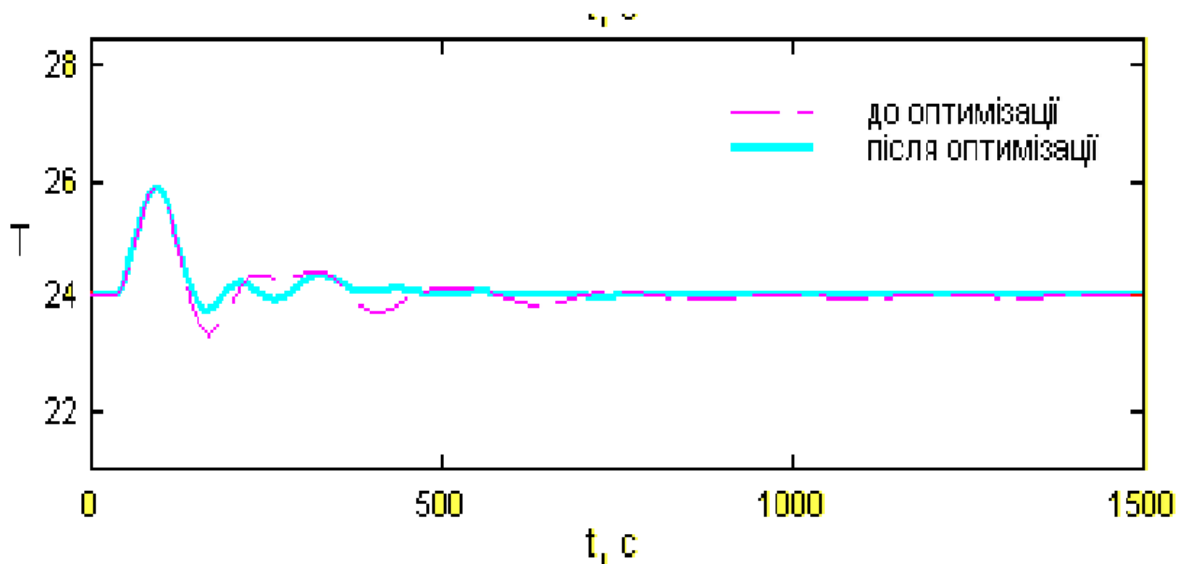


Рис. 3.7 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr	250	1	98.8	250	до - 11.2288
Tiz	0.1997	0.01	0.654	10	после - 7.7828
Tpr	0.38325	0.01	0.2	10	оптимизации.
					Количество шагов
					процедуры оптимизации:
					максимальное - 1500
					фактическое - 196

Рис. 3.8 – Результати оптимізації налаштувань ПД-регулятора

3.4 Синтез САР з нелінійним ОК на основі нечіткого регулятора

З урахуванням особливостей холодильної машини, як нелінійного об'єкта управління, доцільно застосувати в контурі регулювання відносної вологи нечіткий логічний регулятор (НЛР), який має властивості нелінійного регулятора. Застосування нечіткого-логічного регулятора (Fuzzy – регулятора) обумовлено наявністю нелінійного об'єкта управління, а також складного опису його статичних режимів роботи. Складність опису статичних режимів рекуператора 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 САР із Fuzzy – нечітким регулятором. 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 Рис 4.1. З погляду структури дана схема регулятора нічим не відрізняється від схем класичних нечітких регуляторів і будується за класичними зразками.

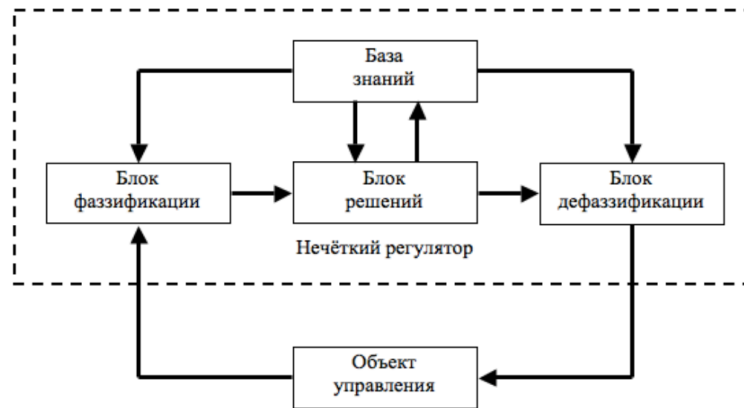


Рисунок 3.9 - Спрощена структурна схема нечіткого логічного регулятора

Всі визначені блоки (фазифікація, блок логічного розв'язку, дефазифікація), що представлені на рисунку 6, 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 2.8 зображено вікно налаштування *fis*-файлу для нечіткого регулятора температури повітря з відповідними вхідними та вихідними сигналами.

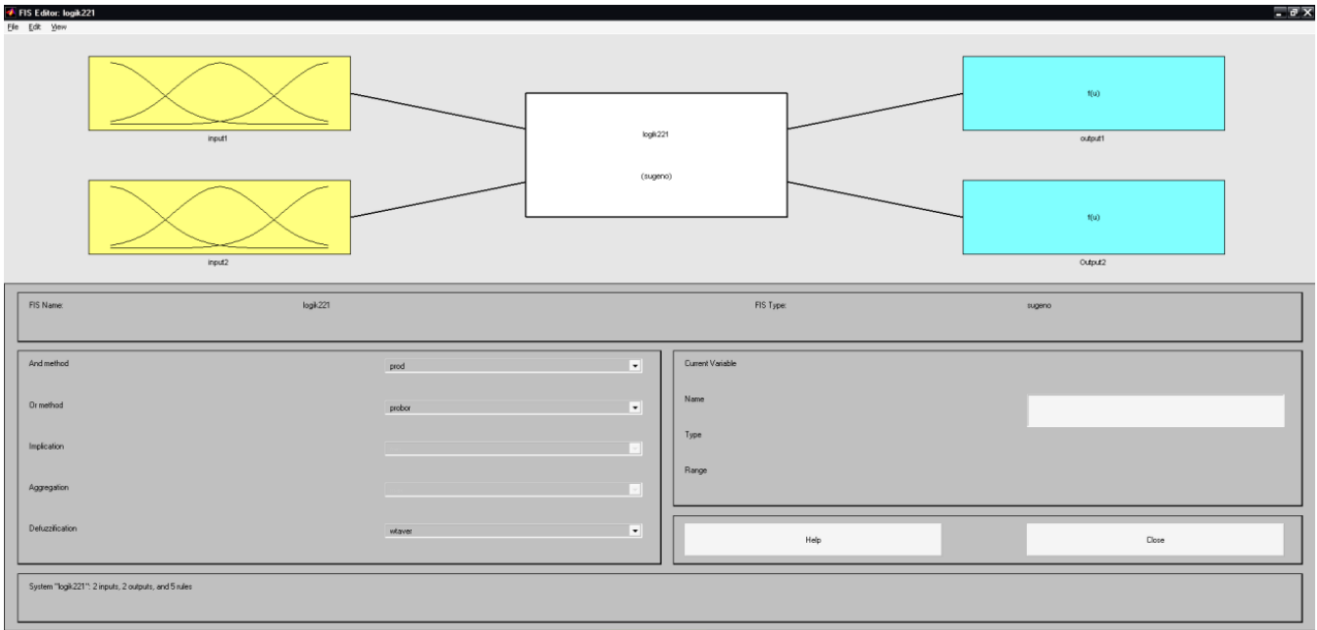


Рис. 3.10 – вікно налаштування нечіткого регулятора

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, $z_2 = f(x_1, \dots, x_n)$,

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 x, y – вхідні змінні, A_i, B_i – нечіткі множини $z_1=f(x_1, \dots, x_n)$ – довільна чітка функція. Якщо у якості f використовується поліном $f(x)=C_i$, то говорять про алгоритм Сугено 0-порядку. Тоді правила будуть мати наступний вигляд:

де C_1, C_2 – звичайні (чіткі) числа. 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 PE» 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 NE» 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 PE», 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 NE», то керуюча дія $u_1 = -w_1$, а приріст керуючої дії $\Delta u_1 = -w_2$. Відповідно вище представленим правилам складемо таблиці баз знань для НЛР кондиціонування повітря в приміщенні.

Як видно з рисунку, 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 аналітичною 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.

e_1 Δe_1	NE (Велика негативна Δe_1)	Z (приблизно нульова Δe_1)	PE (Велика позитивна Δe_1)
NE	–	$u_1 = 30000$; $\Delta u_1 = 1$;	–
Z	$u_1 = 30000$; $\Delta u_1 = 1$;	$u_1 = 0$; $\Delta u_1 = 0$;	$u_1 = -30000$; $\Delta u_1 = -1$;
PE	–	$u_1 = -30000$; $\Delta u_1 = -1$;	–

Таблиця 3.2 – Таблиця бази знань для нечіткого логічного регулятора

Всі функції приналежності були визначені у відповідному редакторі на базі експертних даних. На рисунку 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. Згідно з таблицею 2.9 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. 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.

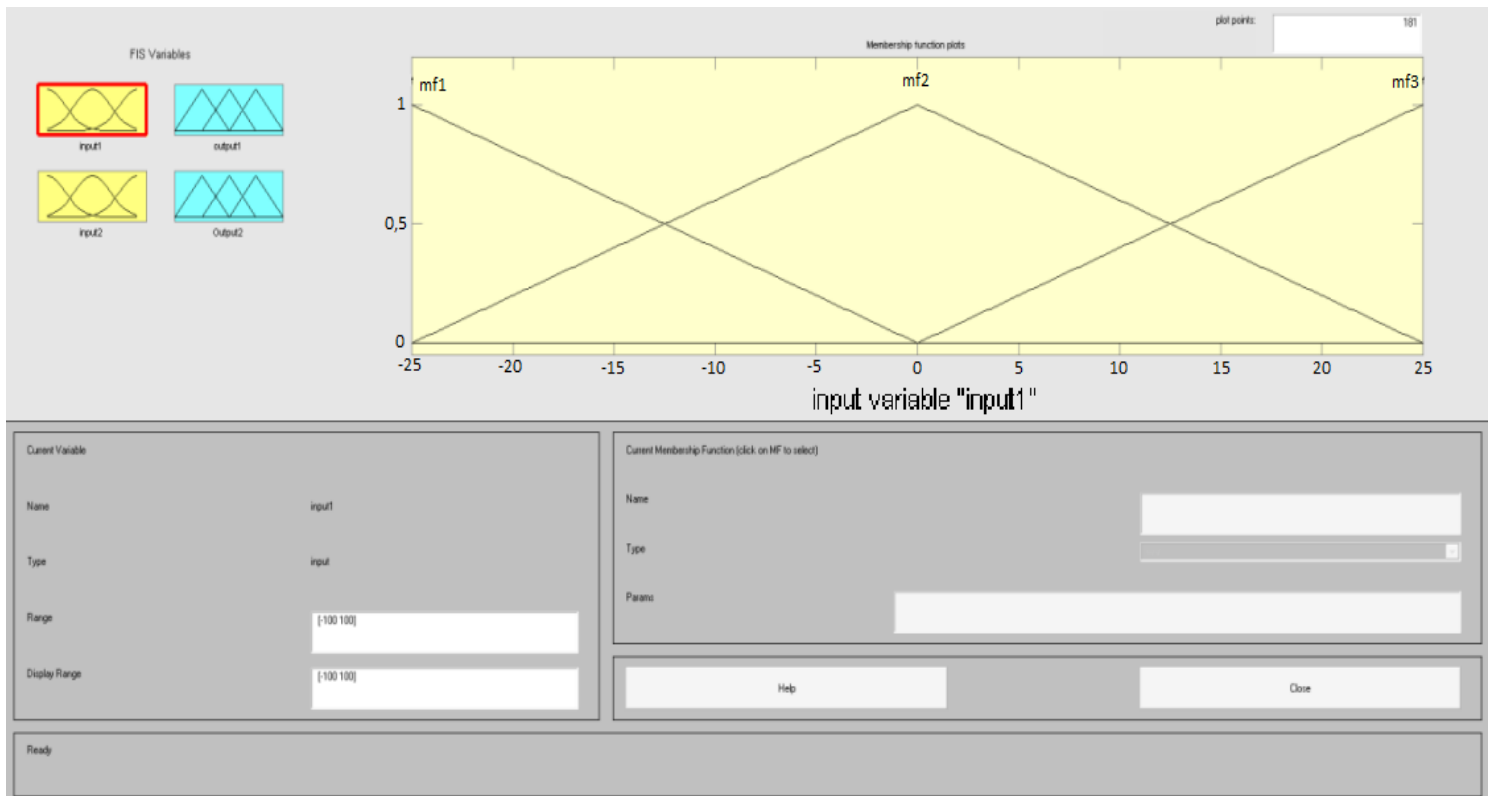


Рис. 3.11 - Вікна формування функцій приналежностей до нечітких безлічей помилка PE, Z, NE редактора нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

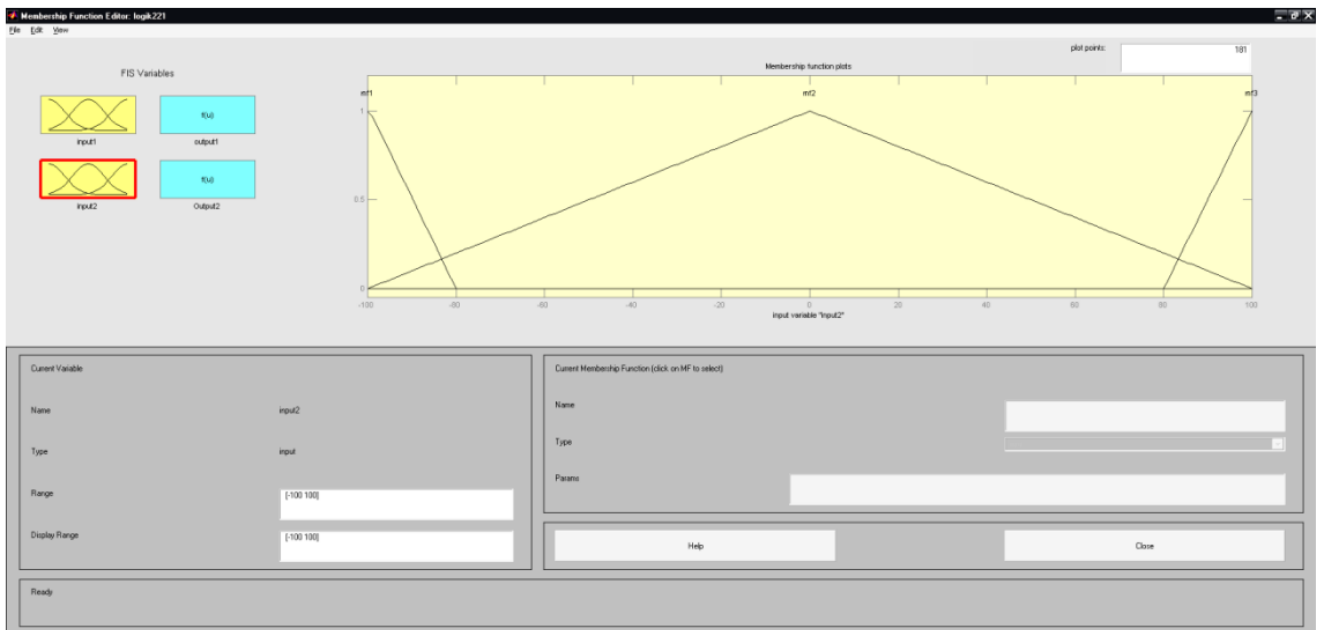


Рис. 3.12 - Вікна формування функцій приналежностей до нечітких безліч збільшення значення помилки PE, Z, NE редактора нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

У даному випадку вихідні значення сигналів S_i згідно з алгоритмом Сугено нульового порядку були визначені у вікні реактора, представленого на рисунку 2.13. Виходами синтезованого нечіткого регулятора визначені зміни «output1» та «output2». Вихід «output1» буде відпрацьовувати інтегральну І-складову регулятора, а «output2» – відповідно П-складов

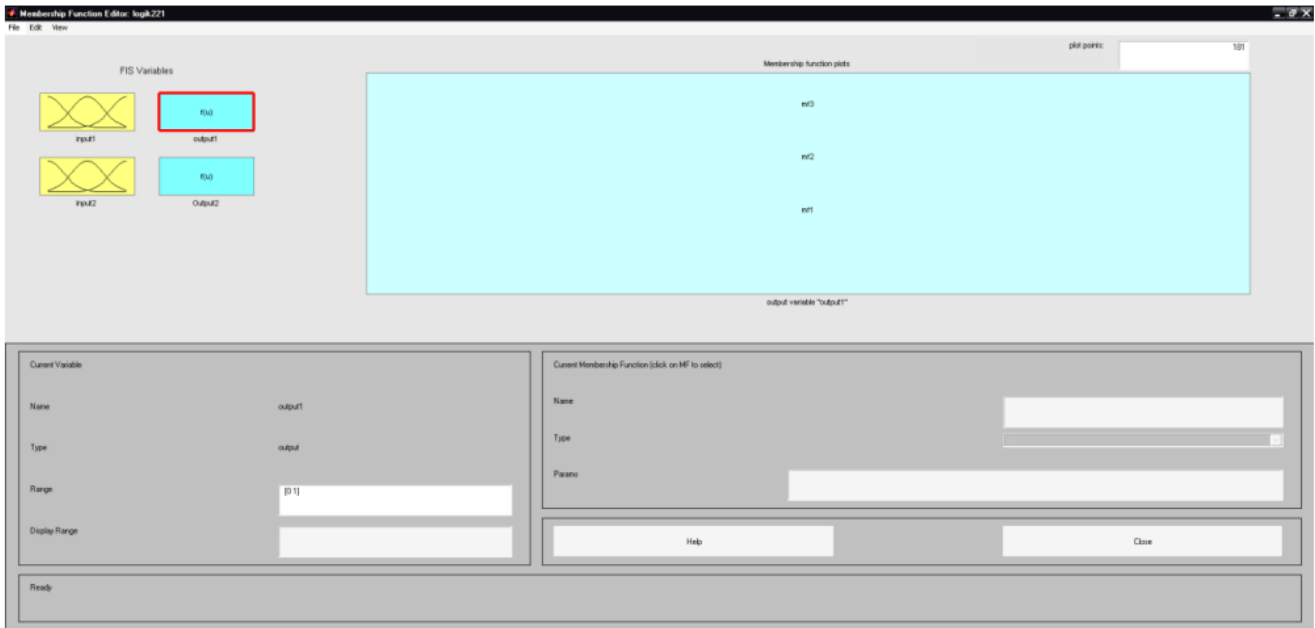


Рис. 3.13 - Вікно редактора правил функціонування нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

У кінцевому випадку була визначена схема моделювання САУ з нечітким регулятором, фрагмент якої представлений на рисунку 2.14.

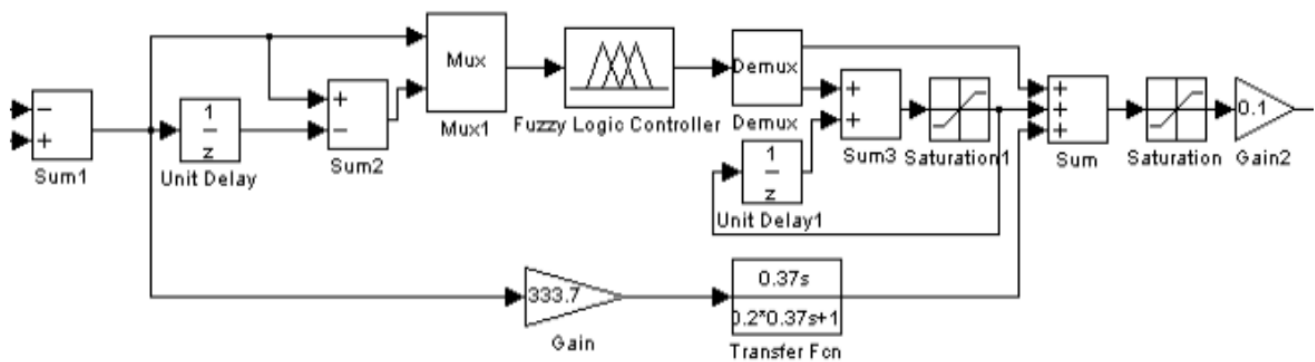


Рис 3.14 - фрагмент схеми моделювання САУ з нечітким регулятором

Для застосування методів нечіткої логіки насамперед необхідно перетворити звичайні чіткі змінні в нечіткі. Процес такого перетворення - фазифікація (від англійської "fuzzy"- "нечіткий"). Діапазон зміни змінної розбивається на множини NL, NM, NS, Z, PS, PM, PL, у межах кожної з яких будується функція приналежності змінної кожному з множин. На рис 4.2.1 функції приналежності

мають трикутну (найпоширенішу) форму, хоча в загальному випадку вони можуть бути будь-якими, виходячи зі змісту розв'язуваного завдання. Кількість множин також може бути довільним. Для нечітких множин існує загальноприйнята система позначень: N - негативний (Negative); Z - нульовий (Zero); P - позитивний (Positive); до цих позначень додають букви S (малий, Small), M (середній, Medium), L (великий, Large). Наприклад, NL - негативний великий; NM - негативний середній (Negative Medium); PL - позитивний великий. Кількість таких змінних (термов) може бути будь-яким, однак зі збільшенням їх кількості суттєво зростають вимоги до експерта, який повинен сформулювати правила для всіх комбінацій вхідних змінних. Якщо величина помилки e на вході нечіткого регулятора мала e_1 , то відповідне значення нечіткої зміни буде рівно PS зі ступенем приналежності підмножині PS, рівної $\mu(e_1)=0.82$, або рівно PM зі ступенем приналежності $\mu(e_1)=0.18$. Ступінь приналежності помилки e_1 іншим множинами (Z, PL, NS і ін.) дорівнює нулю. Таким чином, величина помилки e_1 виявилася перетвореною в нечіткі змінні. Для виконання функції регулювання над нечіткими змінними повинні бути виконані операції, побудовані на підставі висловлень оператора, сформульованих у вигляді нечітких правил. Сукупність нечітких правил і нечітких змінних використовується для здійснення нечіткого логічного висновку, результатом якого є керуючий вплив на об'єкт керування.

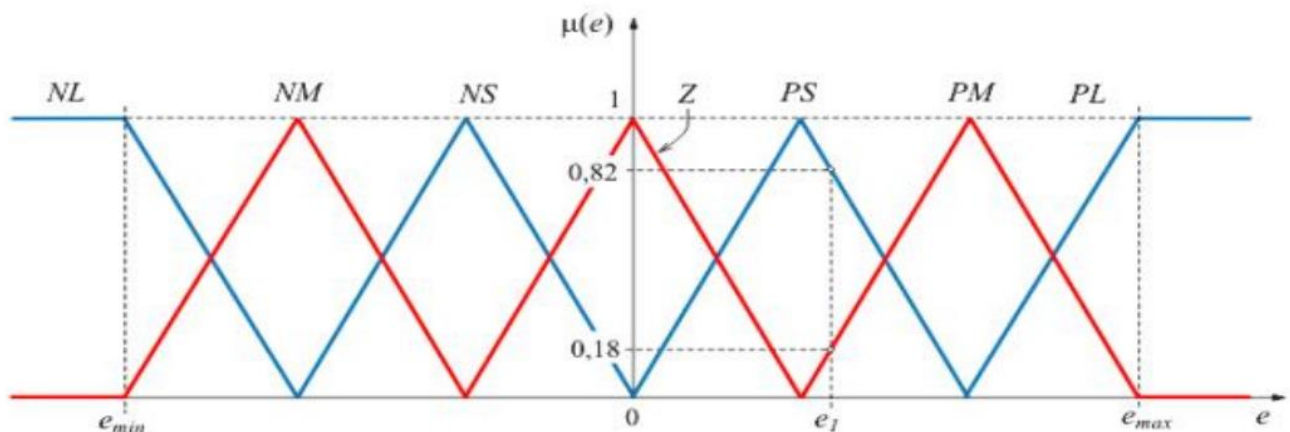


Рис. 3.15 – Розподіл області зміни змінної на множини і т.д. з функціями приналежності трикутної форми

Нечіткий висновок виконується у такий спосіб. Припустимо, що область зміни помилки e розділена на множини N, Z, P , область зміни керуючого впливу - на множини NL, NM, Z, PM, PL , тоді за допомогою експерта вдалося б сформулювати наступні правила роботи регулятора:

- Правило 1: якщо $e=N$ і $\dot{e} = de/dt P$, то $u=Z$
- Правило 2: якщо $e=N$ і $\dot{e} = de/dt P$, то $u= NM$
- Правило 3: якщо $e= N$ і $\dot{e} = de/dt P$, то $u= NL$
- Правило 4: якщо $e= N$ і $\dot{e} = de/dt P$, то $u = PM$
- Правило 5: якщо $e= N$ і $\dot{e} = de/dt P$, то $u= Z$
- Правило 6: якщо $e= N$ і $\dot{e} = de/dt P$, то $u= NM$
- Правило 7: якщо $e= N$ і $\dot{e} = de/dt P$, то $u= PL$
- Правило 8: якщо $e=N$ і $\dot{e} = de/dt P$, то $u= PM$
- Правило 9: якщо $e= N$ і $\dot{e} = de/dt P$, то $u= NM$.

Наведені правила часто записують у більш компактному табличному вигляді. Використовуючи правила, можна одержати значення керуючої зміни на виході нечіткого регулятора. Для цього потрібно знайти функцію приналежності зміни, утвореної за результатом виконання операцій висновку над множинами, що входять до системи правил.

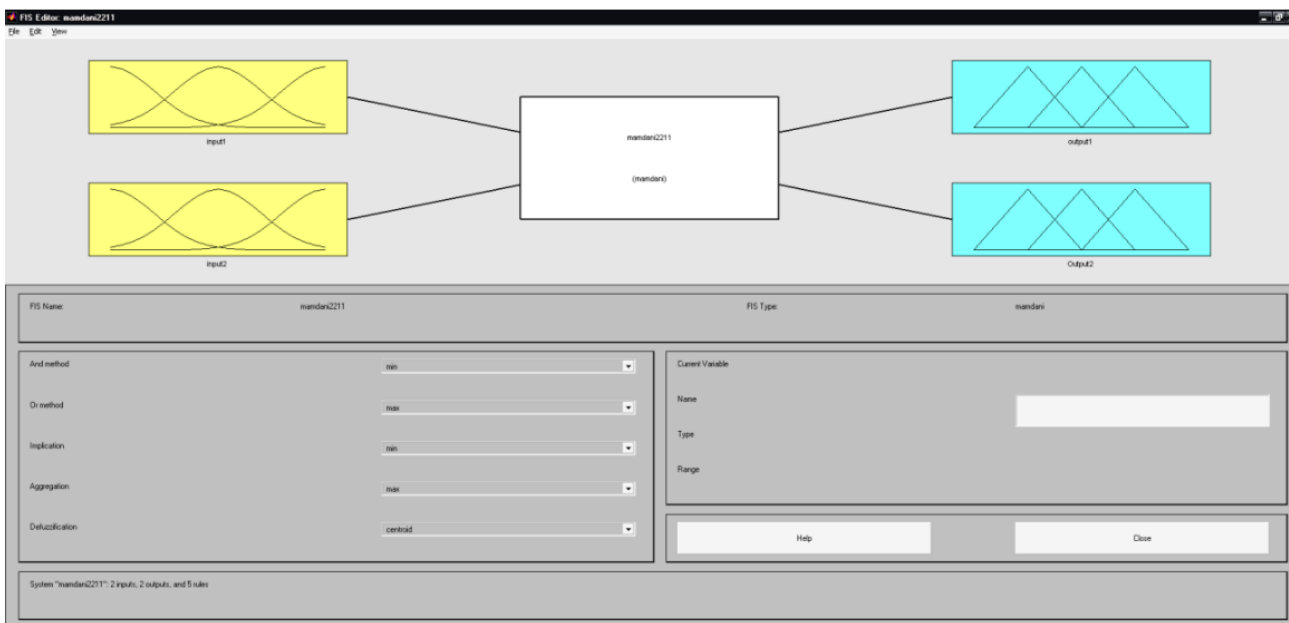


Рис. 3.16– вікно налаштування нечіткого регулятора Мамдані

e_1 Δe_1	PE (Велика позитивна Δe_1)	Z (приблизно нульова Δe_1)	NE (Велика негативна Δe_1)
NE	–	$u_1 = PE;$ $\Delta u_1 = PE;$	–
Z	$u_1 = PE;$ $\Delta u_1 = PE;$	$u_1 = Z;$ $\Delta u_1 = Z;$	$u_1 = NE;$ $\Delta u_1 = NE;$
PE	–	$u_1 = NE;$ $\Delta u_1 = NE;$	–

Таблиця 3.3 – Таблиця бази знань для нечіткого логічного регулятора температури повітря у приміщенні.

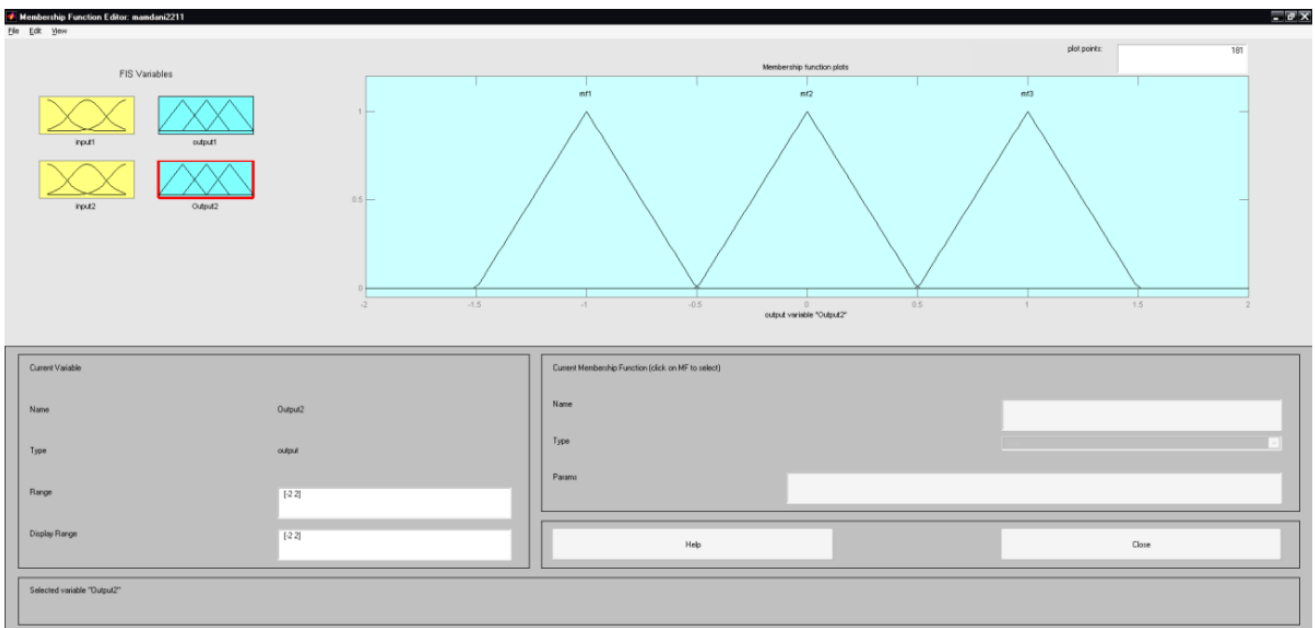


Рисунок 3.17 - Вікно редактора правил функціонування нечіткого регулятора Мамдані в середовищі MATLAB\Simulink

3.5 Синтез САР з нелінійним ОК на основі нейронного регулятора

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. Нейронна мережа – це послідовність нейронів (нейронелементів), з'єднаних між собою синапсами. Структура нейронної мережі прийшла в світ програмування прямо з біології. Найбільш поширена структура – багатошарова, застосовується в якості регуляторів нейромережевих алгоритмів управління. Математична модель, що застосовується у якості нейронелементу у нейромереживому алгоритмі управління, аналогічна відомим найбільш розповсюдженим моделям, які схожі з формальною моделлю нейрона Маккаллоха – Пітса. У даній моделі сигнали, що поступили на входи нейроелементу, множаться на свої ваги. Сигнал першого входу x_1 множиться на відповідну вагу w_1 . У підсумку отримуємо x_1w_1 . І так до n -ого входу. У підсумку на останньому вході отримуємо x_nw_n . Потім всі множення передаються в суматор. Уже виходячи з його назви можна зрозуміти, що він робить. Він просто підсумовує всі вхідні сигнали, помножені на відповідні ваги:

$$x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n = \sum_{i=1}^n x_iw_i$$

Просто так подавати виважену суму на вихід досить безглуздо. Нейроелемент повинен якимось обробити її і сформувати адекватний вихідний сигнал. Саме для цих цілей і використовують функцію активації. Вона перетворює зважену суму в якесь число, яке і є виходом нейрона. У зв'язку з тим, що нечіткій регулятора визначає приріст управляючої дія як позитивне значення, так і негативне значення, то при синтезі нейрорегулятора 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.

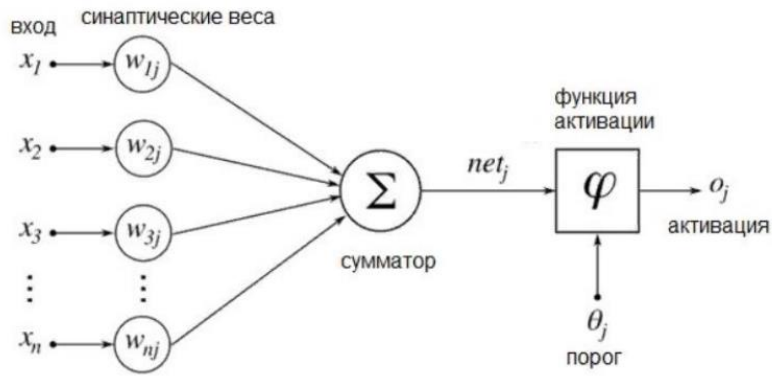


Рисунок 3.18 - Структурна схема моделі нейроелемента нейронного регулятора

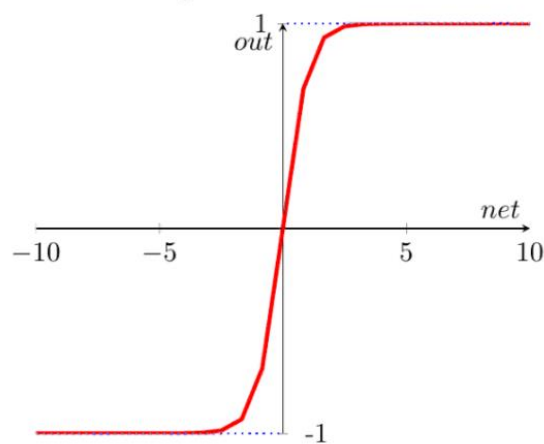


Рисунок 3.19 - Графічне представлення функції активації штучного нейрона, що застосовується у нейрорегуляторі.

Для визначення ваг між нейронними з'єднаннями за методом зворотного поширення було використано програмне середовище MATLAB, що дозволяє згенерувати задану нейрону 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.

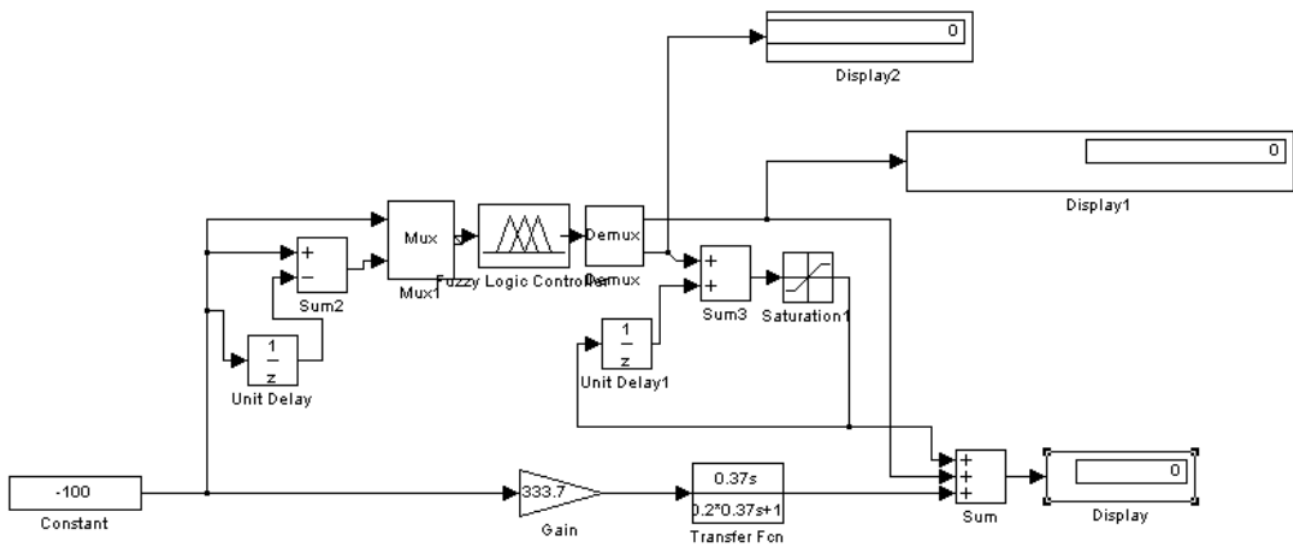


Рисунок. 3.20 – Схема для отримання даних для навчання нейронної мережі

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. Дані, представлені у таблиці 3.4, визначені на базі моделювання нечіткого регулятора.

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 3.20. В М-файлі було записано виконавчий код, що представлений на рисунках 3.21 і 3.22 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.

```
MATLAB Command Window
File Edit Window Help
[Icons]

» P=[-25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25];
» T=[0.262 0.210 0.157 0.105 0.052 0 -0.052 -0.105 -0.157 -0.210 -0.262]
» net = newff([-25 25],[2 1],{'tansig','tansig'});
» net.trainParam.epochs=100;
» net=train(net, P, T);
TRAINLN, Epoch 0/100, MSE 0.636351/0, Gradient 10.791/1e-010
TRAINLN, Epoch 25/100, MSE 3.06849e-007/0, Gradient 0.00376223/1e-010
TRAINLN, Epoch 50/100, MSE 1.94165e-007/0, Gradient 0.000285892/1e-010
TRAINLN, Epoch 75/100, MSE 1.63052e-007/0, Gradient 0.000571827/1e-010
TRAINLN, Epoch 100/100, MSE 1.31818e-007/0, Gradient 0.00043766/1e-010
TRAINLN, Maximum epoch reached, performance goal was not met.
» a = sim(net,P)
a =
Columns 1 through 7
0.2610 0.2105 0.1586 0.1052 0.052 0 -0.050 -0.1054 -0.1575 -0.2110 -0.2620
Columns 8 through 9
0.2610 0.2105 0.1586 0.1052 0.052 0 -0.050 -0.1054 -0.1575 -0.2110 -0.2620
» gensim(net)
»
```

Рисунок 3.21 - Виконавчий код для генерації нейромережі, що відтворює пропорційну складову нейрорегулятора.

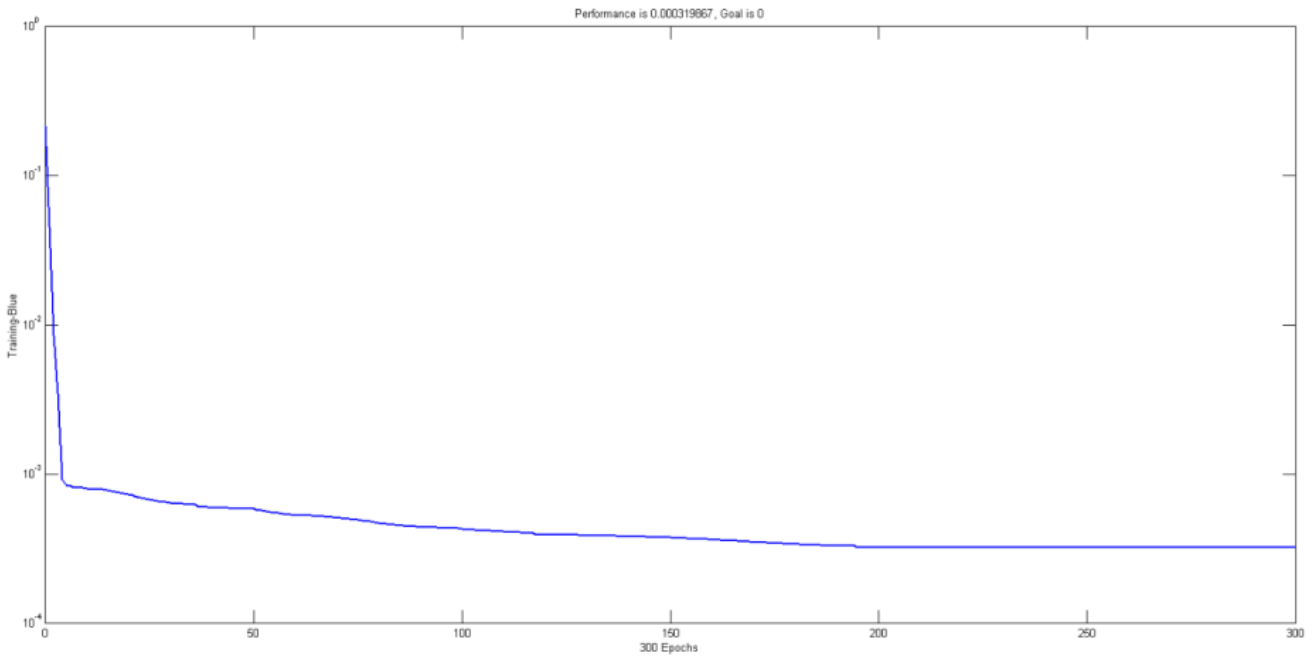


Рис 3.23 - Характеристика точності навчання інтегральної складової нейрорегулятора

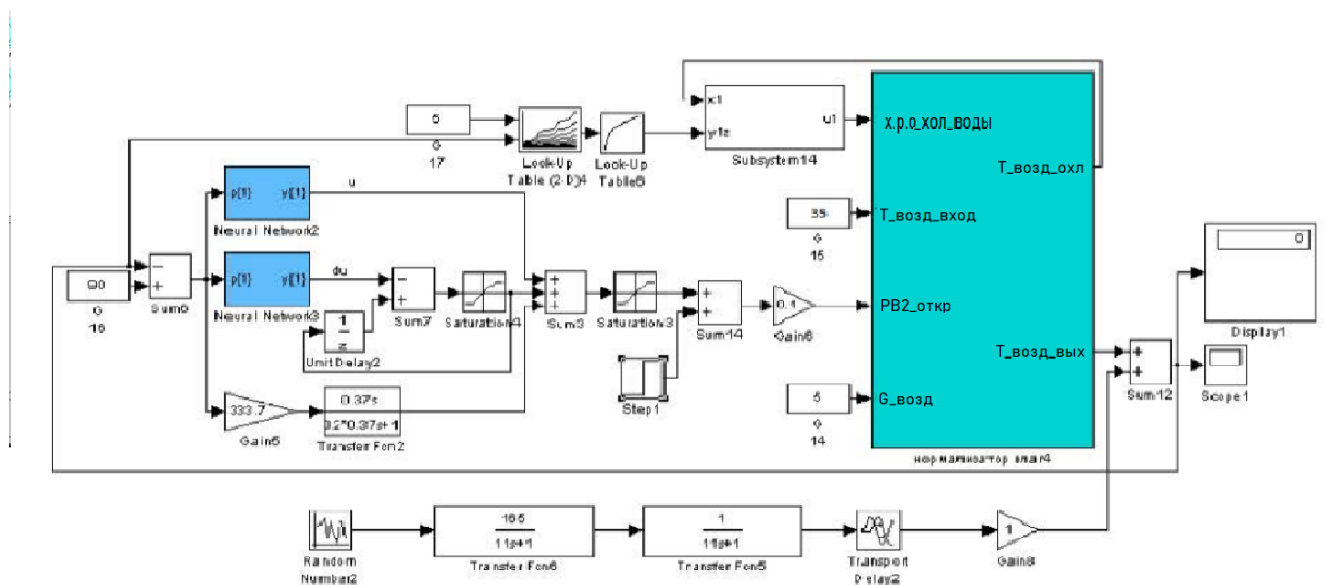


Рисунок 3.24 – фрагмент структурної схеми моделі САУ з нейрорегулятором яка представлена засобами середовища MATLAB\Simulink .

На основі даних параметрів сформованої нейронної мережі була визначена схема нейрорегулятора у середовищі MATLAB\Simulink. Схема нейрорегулятора, що представлена на рисунку 3.25, є розгорнутою схемою, що представлена на попередньому рисунку 3.24.

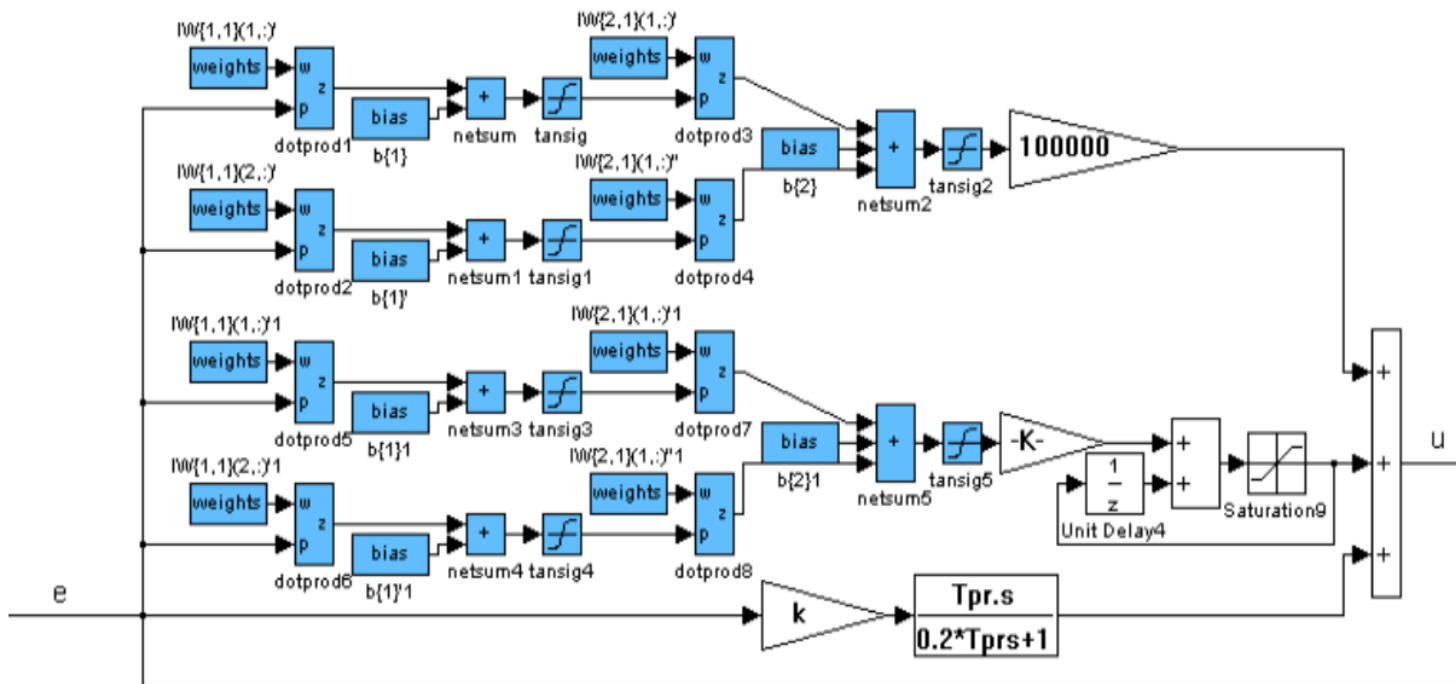


Рисунок 3.25 – Схема моделювання нейронного регулятора

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

Для покращення якості регулювання у роботі була проведена параметрична оптимізація САУ з нейронним регулятором. Оптимізувались чотири параметри настроювання нейрорегуляторів – це вагові коефіцієнти нейронних з'єднань першого-вхідного шару штучної нейронної мережі. Оптимізація нейронного регулятора проводилась при таких же умовах, які були при оптимізації САУ з традиційним ПД регулятором. 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 визначена модель САУ з нейрорегулятором і параметричним оптимізатором, фрагмент структурної схеми якої відображено на рисунку 8.1. У результаті параметричної оптимізації були отримані графіки перехідних процесів до і після оптимізації, а також оптимальні визначені ваги між-

нейронних з'єднань першого шару нейронної мережі. Графіки відповідних перехідних процесів та значення вагових коефіцієнтів представлені у відповідному вікні результатів оптимізації, представлених на рисунках 3.2, 3.3 та 3.4. На рисунку представлений результат оптимізації, який був отриманий при декількох попередніх процесах оптимізації при визначеному інтегральному критерії якості роботи системи. Таким чином вдалося покращити роботу нейрорегулятора за якістю функціонування, ще далі оптимізувавши обрані вагові коефіцієнти, а також вагові коефіцієнти між нейронних з'єднань вихідного шару нейронної мережі. Результати параметричної оптимізації показують, що нейрорегулятор на відмінність від традиційного нечіткого регулятора, має велику можливість налаштування під обраний об'єкт з нелінійною статичною характеристикою каналів регулювання. Для визначення принципової придатності оптимізованого нейрорегулятора необхідно визначити, чи не втрачає стійкість САУ при різних параметрах системи, які можуть бути відхилені від визначених на етапі розробки моделі у діапазоні $\pm 20\%$.

3.6 Аналіз результатів функціонування САУ з традиційним регулятором, з регулятором побудованим на базі апарату нечіткої логіки і з нейронним регулятором.

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. З графіків перехідних процесів можливо побачити, що час регулювання при виході системи на номінальний режим функціонування значно менший при САУ з регулятором, що представлений на базі штучної нейронної мережі. 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 похибки регулювання різних САУ при випадкових впливах. Результати представлені нижче:

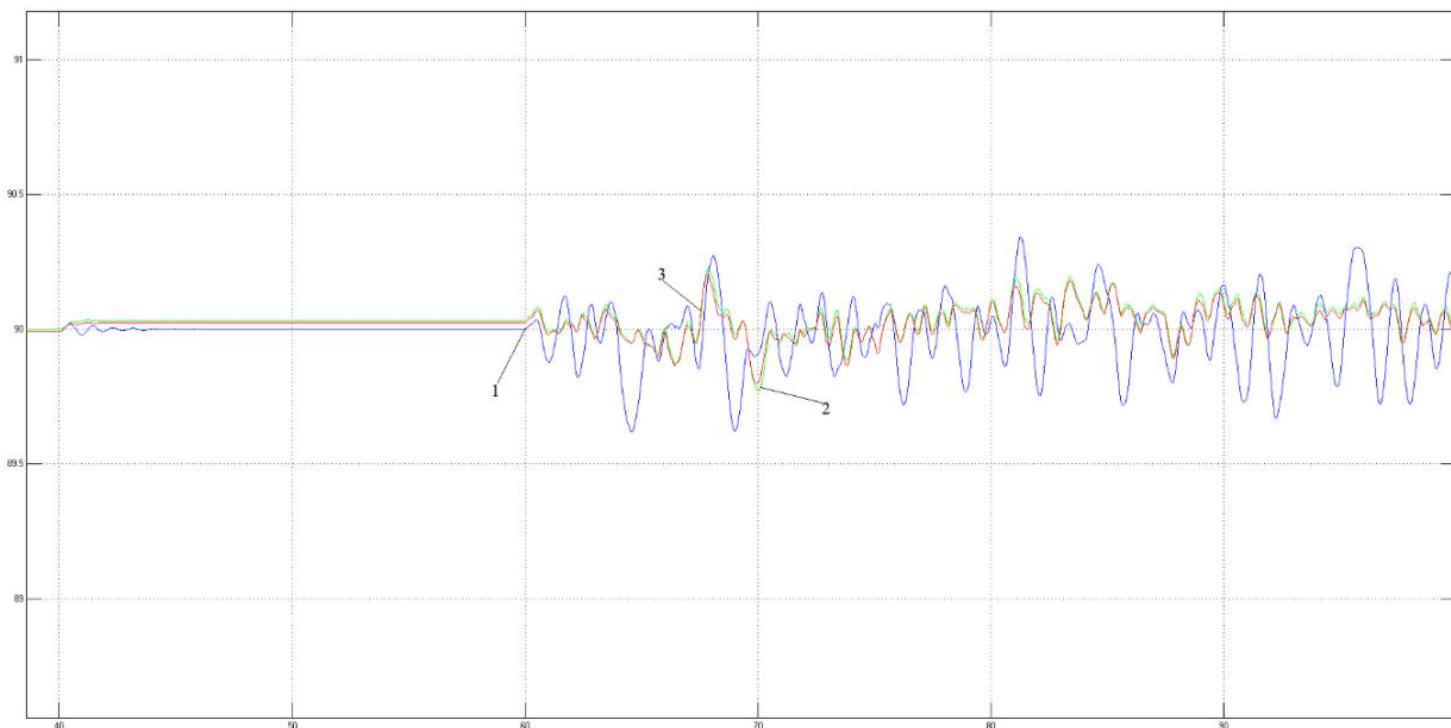
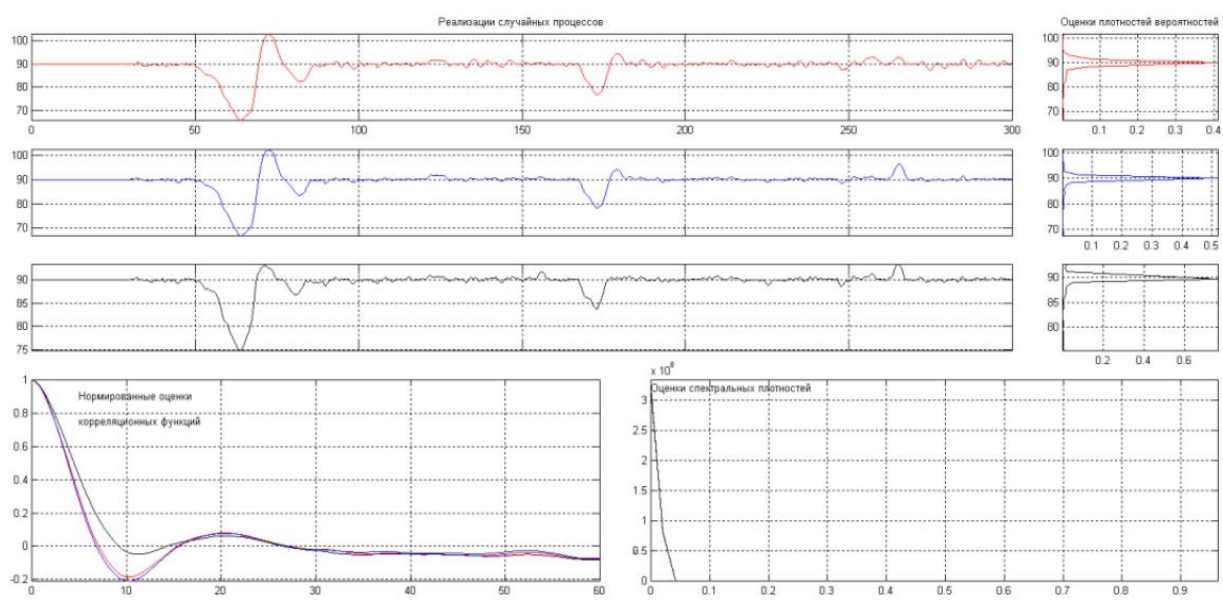


Рисунок 3.27 - Графіки перехідних процесів, отриманих в результаті моделювання різних САУ при детермінованих та випадкових складових впливу,

що збурює, графік 1 – перехідний процес в САУ з традиційним ПІД-регулятором; графік 2 – перехідний процес в САУ з нечітким регулятором; графік 3 – перехідний процес в САУ з регулятором побудованим на базі штучної нейронної мережі;

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 похибки регулювання різних САУ при випадкових впливах. Результати представлені на рисунку 3.28, у якому зображене вікно результатів аналізу, де показані середні квадратичні відхилення і математичні очікування значень похибки регулювання при різних САУ.



Числовые оценки по всему интервалу моделирования	Номер процесса					
	1		2		3	
Оценка среднего значения (математического ожидания)	89.1		89.3		89.5	
Оценка среднеквадратического отклонения	4.5		4.1		2.3	
Оценка среднеквадратического периода / частоты	13.6	/ 0.46	20.0	/ 0.31	13.0	/ 0.48

Дата проведения эксперимента 15-Дец-2022 1 27

Рисунок 3.28. Вікно результатів аналізу випадкових процесів

З рисунку 3.28 можливо побачити, що за середньо квадратичним відхиленням САУ з традиційним ПІД-регулятором і САУ з нейронним регулятором практично функціонують ідентично, а САУ з нечітким регулятором незначно гірше. В кінцевому випадку показники функціонування різних САУ за якістю регулювання були зведені до таблиці 3.5. З таблиці 3.5 можливо зробити остаточний висновок, що за якістю

регулювання САУ з нейронним регулятором незначно краще функціонує, ніж інші розглянуті САУ. САУ з традиційним ПІД-регулятором і САУ з нечітким регулятором функціонують за якістю регулювання практично ідентично при об'єкті з нелінійною статичною характеристикою за каналом регулювання.

САУ	САУ з традиційним ПІД-регулятором	САУ з нечітким регулятором	САУ з регулятором, представленим штучною нейронною мережею
Час регулювання	≈15	≈15	≈15
Максимальне динамічне відхилення	≈0,1	≈0,09	≈0,05
Інтегральний показник	178	167,8	170,9
Середнє квадратичне відхилення	4,5	4,1	2,3

Таблиця 3.5 – Показники якості регулювання різних САУ

3.7 Висновки за розділом

В процесі виконання роботи була розроблена модель САУ з нечітким регулятором. Нечіткий регулятор розроблений у відповідному редакторі середовища MATLAB\Simulink. Були визначені функції приналежності до нечітких множин, сформована база правил функціонування регулятора у табличному вигляді та у вікні відповідного редактора, визначений алгоритм нечіткого виводу – Сугено

0-порядку. Було встановлено, що за якістю регулювання така САР функціонує дещо краще, ніж САР з традиційним ПІД-регулятором при об'єкті управління з нелінійною статичною характеристикою за каналом регулювання. Для подальшої реалізації параметричної оптимізації САР за характеристиками нечіткого регулятора було виконано тренування визначеної штучної нейронної мережі, яка може виконувати роль нейрорегулятора. Була розроблена модель САР з регулятором, що є штучною нейронною мережею. Параметрична оптимізація САР з нейрорегулятором була проведена за тих же умов, що і САР з традиційним ПІД-регулятором. У результаті моделювання різних САР було встановлено, що за якістю регулювання САР з нейрорегулятором функціонує незначно краще, ніж інші САР, це за інтегральним показником якості регулювання відповідно 170,9 при САР з нейрорегулятором і 178 при САР з традиційним ПІД-регулятором. Середнє квадратичне відхилення регульованої зміни від заданого значення, при випадкових впливах, що збурюють, відрізняється: при САР з традиційним ПІД-регулятором 4,5 а при САР з нейрорегулятором 2,3. Таким чином, на основі виконаного синтезу і аналізу різних САР можна зробити заключний висновок, що нейрорегулятор має принципову придатність для практичного використання на базі промислового контролера при об'єктах управління з нелінійними характеристиками за каналам регулювання.

РОЗДІЛ 4

РЕАЛІЗАЦІЯ І ПІДГОТОВКА ДО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ НА ПІДПРИЄМСТВІ «ЗЕРНОВА СТОЛИЦЯ»

4.1 Існуюча програмно-технічна структура підсистеми керування процесом кондиціонування повітря у приміщенні збирального цеху і формулювання задач по її розвитку для впровадження розробок.

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

На рисунках 4.1 – 4.3 наведені рекомендації з монтажу контролерів Simatic S7-300 у шафі з урахуванням зазорів, можливості розсіювання тепла, а також схема заземлення у шафі.

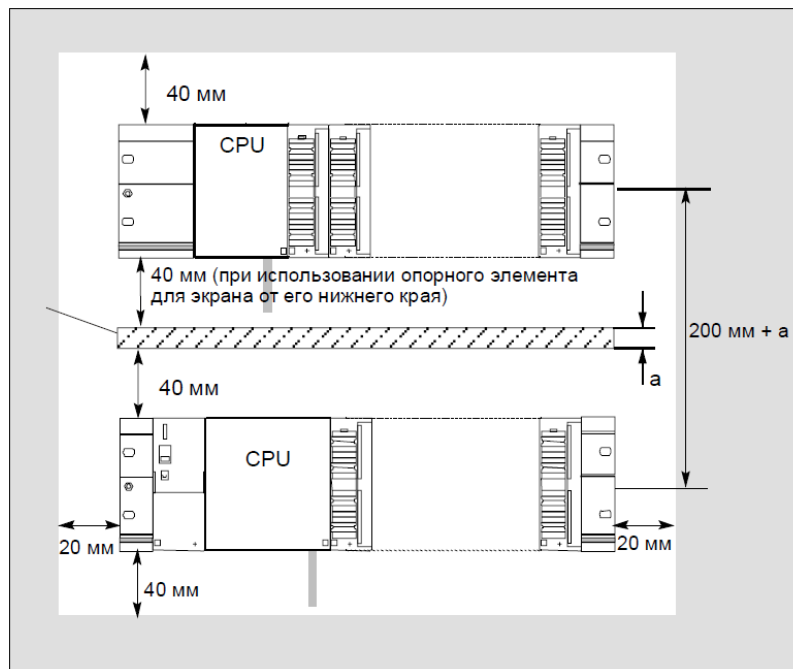


Рис. 4.1 – Зазори при встановленні контролерів S7-300 у шафі

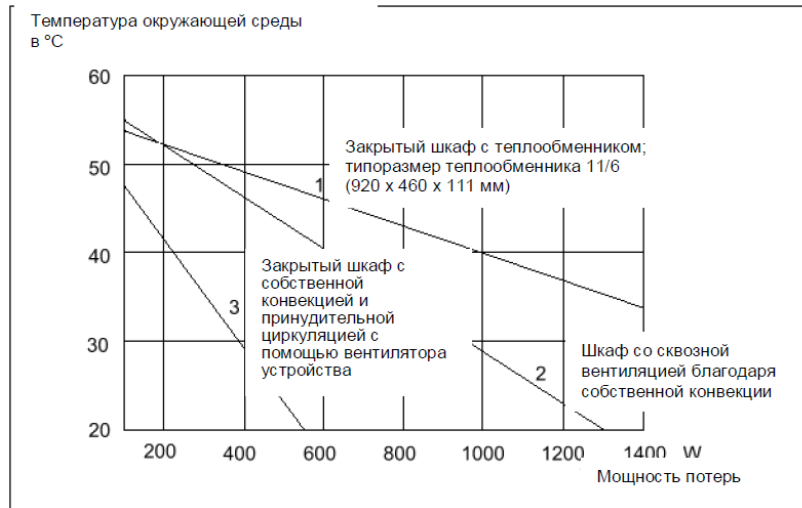


Рис. 4.2 – Діаграма припустимих потужностей розсіювання

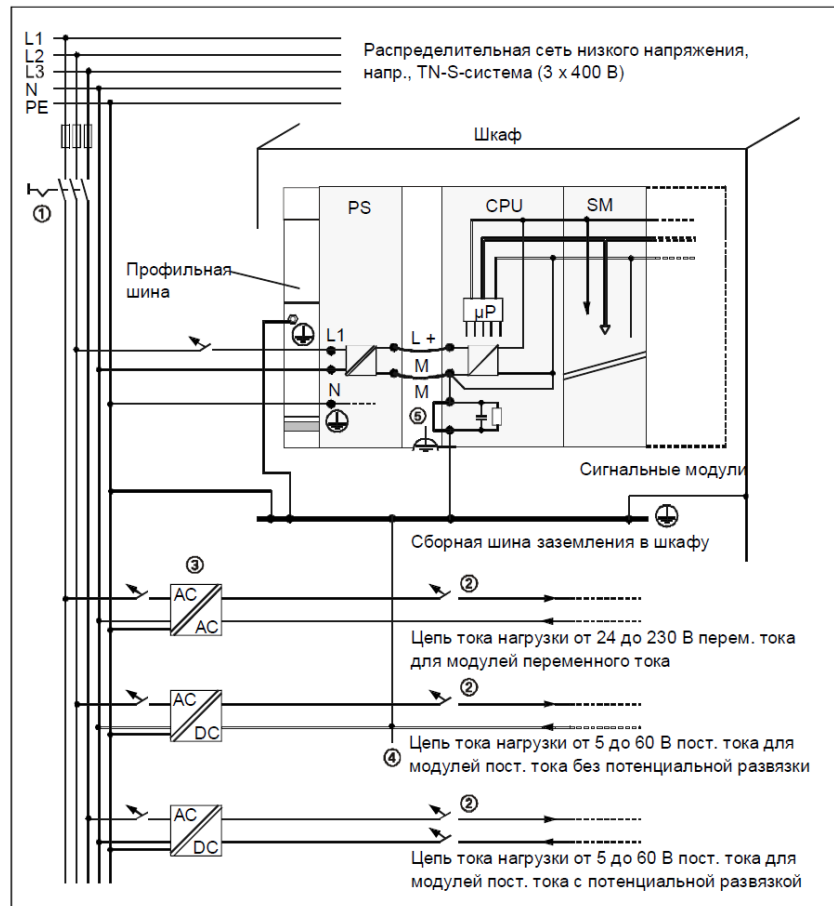


Рис. 4.3 – Схема заземлення в шафі

Приміщення де розташовано шафи є опалювальним, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання.

Технічну структуру системи керування процесом кондиціонування повітря у приміщенні розроблено на базі контролера Simatic S7-300. Для реалізації алгоритмів керування в модулях ПЗО контролера передбачено:

- аналогові входи (2),
- аналогові виходи (2),
- дискретні входи (9),
- дискретні виходи (4).

Виходячи з середньої складності алгоритмів керування, для реалізації системи керування процесом кондиціонування повітря у приміщенні було обрано контролер CPU 313C-2DP



Рис. 4.4 – Центральний процесор CPU 313C-2DP (6ES7 313-6CG04-0AB0)

Компактний центральний процесор CPU 313C-2DP (6ES7 313-6CG04-0AB0) CPU 313C-2 DP має наступні характеристики:

- 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.

- Спеціальна мікрокарта пам'яті (до 8 Мбайт), яка у ролі завантажувальної пам'яті, а також збереження архіву проекту (з коментарями і таблицею символів), архівування даних і управління рецептами.
- Можливість 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 .

Табл. 5.1 Технічні дані входів/виходів CPU

Центральные процессоры S7-300C	CPU 312C	CPU 313C-2 PTP	CPU 313C-2 DP
<i>Встроенные дискретные входы</i>			
Количество входных каналов:	10	16	16
• общее	8	12	12
• используемое технологическими функциями			
Адреса входов, устанавливаемые по умолчанию	DI124.0 ... DI125.1	DI124.0 ... DI125.7	DI124.0 ... DI125.7
Количество входных сигналов, одновременно фиксируемых триггерами:			
• горизонтальная установка:			
- при температуре до 40°C	10	16	16
- при температуре до 60°C	5	8	8
• вертикальная установка:			
- при температуре до 40°C	5	8	8
Гальваническое разделение:			
• между каналами и внутренней шиной контроллера	Есть	Есть	Есть
• между каналами	Нет	Нет	Нет
Допустимая разность потенциалов между различными цепями	=75В/~60В	=75В/~60В	=75В/~60В
Испытательное напряжение изоляции	=500В	=500В	=500В
Ток, потребляемый из цепи L+ при холостом ходе	Нет	70мА	70мА
Индикация состояний входных сигналов	1 зеленый светодиод на каждый канал		
Поддержка прерываний	<ul style="list-style-type: none"> • для каналов, сконфигурированных для работы в режиме • при использовании технологических функций (см. описание) • не используются для стандартных дискретных входов • для технологических функций (см. описание технологич 		
Диагностические функции			
Входное напряжение:			
• номинальное значение	=24В	=24В	=24В
• логической единицы	15...30В	15...30В	15...30В
• логического нуля	-3...+5В	-3...+5В	-3...+5В
• защита от неправильной полярности напряжения	Есть	Есть	Есть
Входной ток логической единицы	9мА	9мА	9мА
Задержка распространения входного сигнала при номинальном входном напряжении:			
• для стандартных входов	0.1/ 0.3/ 3.0/ 15мс, конфигурируется, по умолчанию 3.0мс		
• для входов, используемых технологическими функциями	48 мкс	16 мкс	16 мкс
Входная характеристика по IEC 1131	Тип 1	Тип 1	Тип 1
2-проводное подключение датчиков VERO:	Возможно	Возможно	Возможно
• допустимый установившийся ток	1.5мА	1.5мА	1.5мА
Длина кабеля для стандартных дискретных входов/ входов технологических функций, не более:			
• обычного	600м/ нет	600м/ нет	600м/ нет
• экранированного	1000м/ 100м	1000м/ 100м	1000м/ 100м

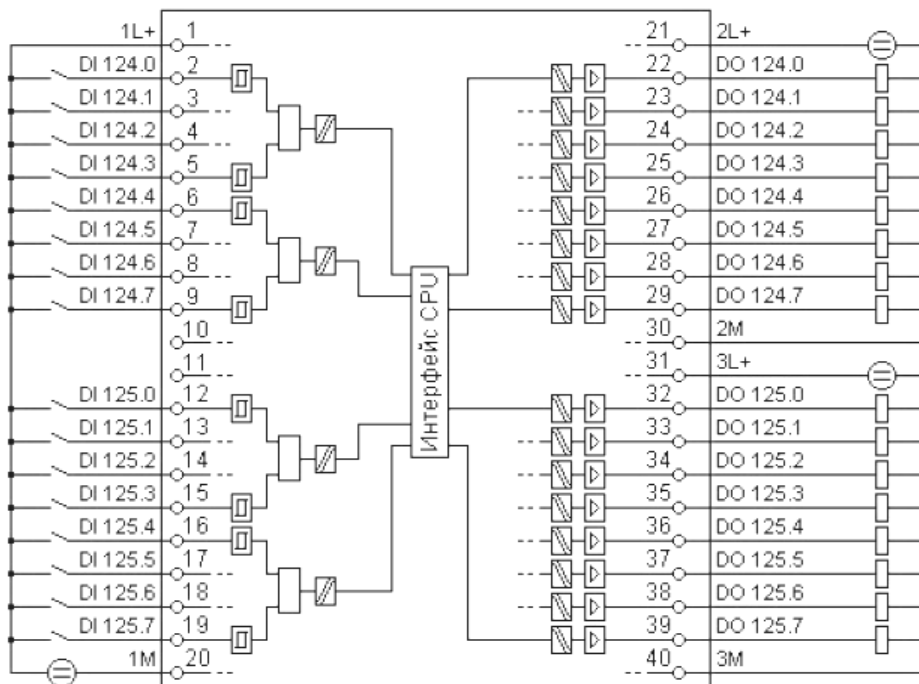


Рис. 4.5 – Схеми зовнішніх підключень модулю CPU 313C-2DP

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.

Для захисту вихідних ланцюгів модулів дискретного виходу від індуктивних перенапруг, які виникають при відключенні індуктивностей (котушок реле й контакторів), при монтажі слід керуватися наступними рекомендаціями:

Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

К катушкам, обтекаемым постоянным током, параллельно подключается, как показано на следующем рисунке, диод или стабилитрон.

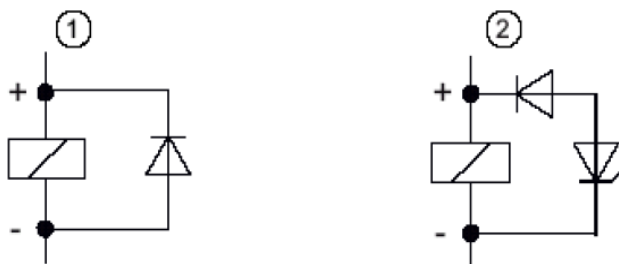


Рис. 3-2. Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

- ① с диодом
- ② со стабилитроном

Схема с диодом/стабилитроном обладает следующими свойствами:

- Можно полностью избежать перенапряжений, связанных с отключениями. Стабилитрон допускает более высокое отключаемое напряжение.
- Большая задержка отключения (в 6 – 10 раз больше, чем без защитной схемы).

Схема со стабилитроном обеспечивает более быстрое отключение, чем схема с диодом.

Схемы защиты для катушек, обтекаемых переменным током

К катушкам, обтекаемым переменным током, параллельно подключается, как показано на следующем рисунке, варистор или RC-цепочка.

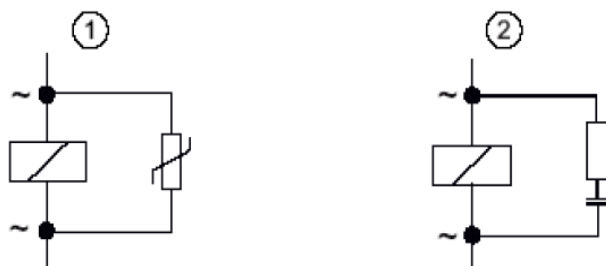


Рис. 3-3. Схемы защиты для катушек, обтекаемых переменным током

- ① с варистором
- ② с RC-цепочкой

Схема с варистором обладает следующими свойствами:

- Амплитуда перенапряжения, возникающего при отключении, ограничивается, но не демпфируется.
- Крутизна перенапряжения остается той же самой.
- Задержка отключения незначительна.

Схема с RC-цепочкой обладает следующими свойствами:

- Уменьшаются амплитуда и крутизна напряжения, возникающего при отключении.
- Задержка отключения незначительна.

Рис. 4.6 – Рекомендації Siemens при підключенні дискретних виходів

Для вводу/выводу аналогових сигналів був обраний аналоговий модуль вводу/выводу SM 334; AI 4 / AO 2 x 8 Bit (6ES7 334-0CE01-0AA0)

Характеристики

- 4 входи, 2 виходи;
- дозвіл вимірюваного значення 8 бітів + знак;
- обраний вид виміру: - напруга; - струм;
- гальванічна розв'язка між каналами и ланцюгами живлення електроніки.

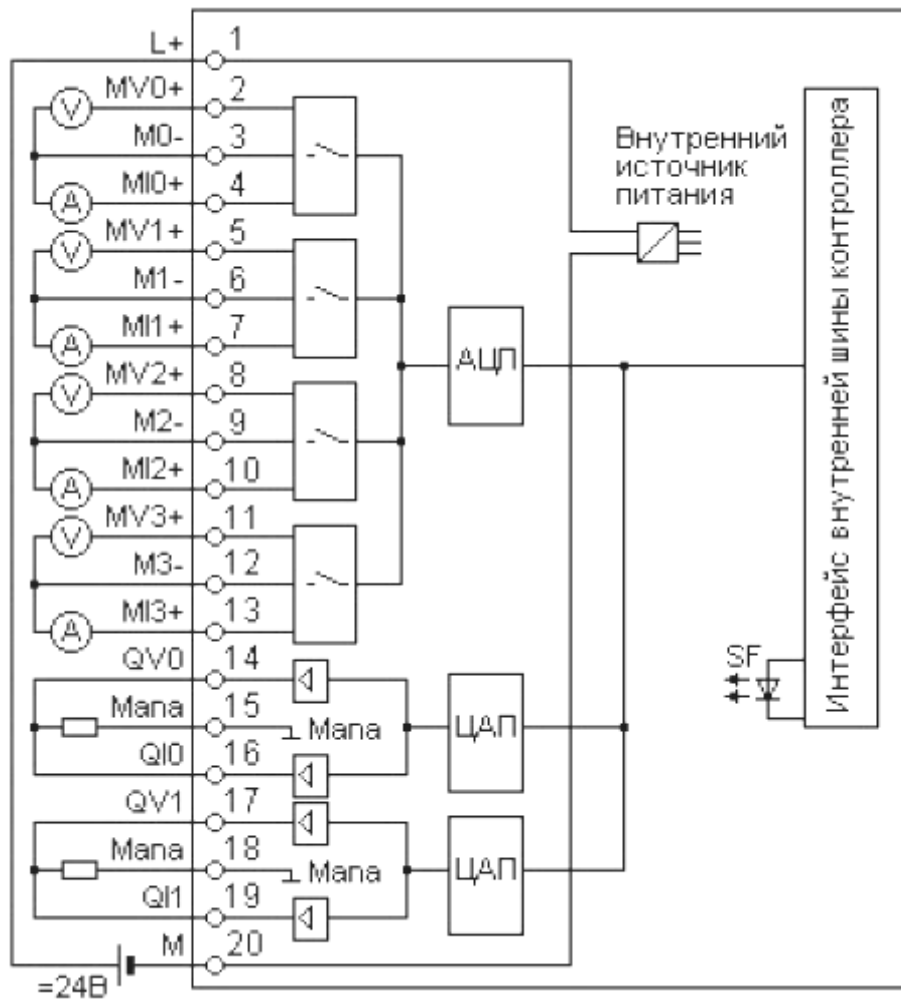


Рис. 4.7 – Схема підключення і принципова схема модулю SM 334; AI 4 / AO 2 x 8 Bit.

У таблиці нижче представлені технічні дані модуля та огляд параметрів, що налаштовуються чи встановлені за замовчуванням.

Табл. 4.2 Технічні дані для вибору датчиків та виконавчих пристроїв

Данные для выбора датчика	
Входные диапазоны (номинальные значения)/ входное сопротивление <ul style="list-style-type: none"> • Напряжение • Ток 	от 0 до 10 В/100 кОм от 0 до 20 мА/50 Ом
Допустимое входное напряжение для потенциального входа (разрушающий предел)	макс. 20 В длительно; 75 В в течение макс. 1 с (коэффициент заполнения 1:20)
Допустимый входной ток для токового входа (разрушающий предел)	40 мА
Подключение датчиков сигнала <ul style="list-style-type: none"> • для измерения напряжения • для измерения тока как 2-проводных преобразователей • как 4-проводных преобразователей 	с помощью 20-контактного фронтштекера возможно возможно с внешним источником питания возможно
Данные для выбора исполнительного устройства	
Выходные диапазоны (номинальные значения) <ul style="list-style-type: none"> • Напряжение • Ток 	от 0 до 10 В от 0 до 20 мА

Після вибору контролера та модулів ПЗО отримуємо схему технічної структури системи керування (рис. 5.)

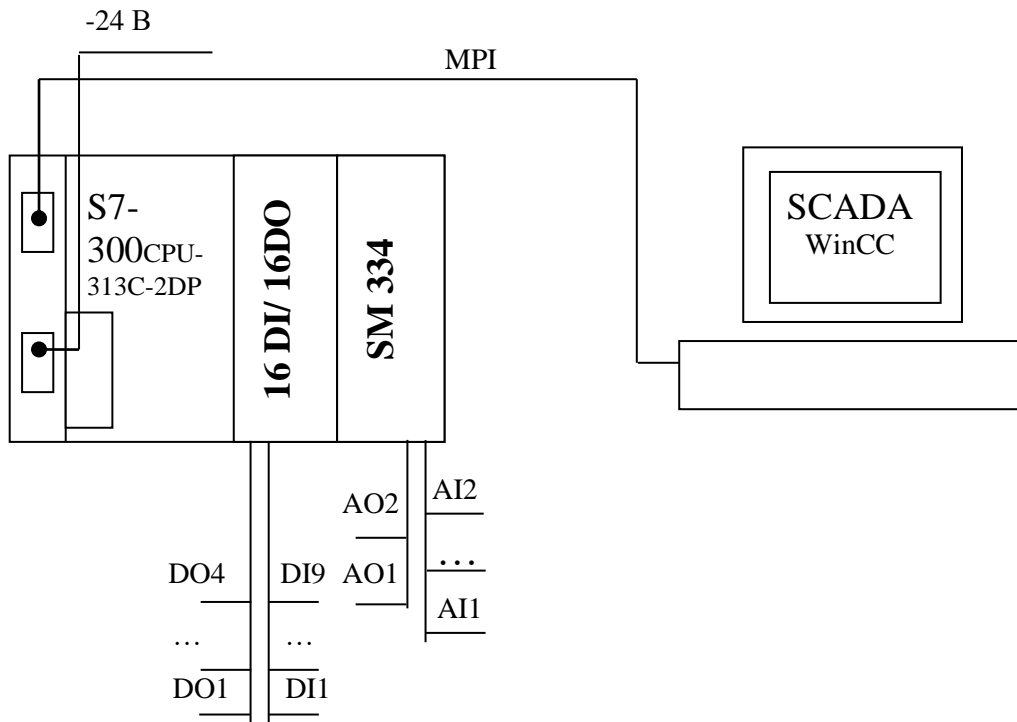


Рис. 4.8 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом кондиціонування повітря у приміщенні збирального цеху.

Існуюча система керування процесом кондиціонування повітря у приміщенні збирального цеху була доповнена функцію регулювання з

алгоритмом зі змінною структурою який забезпечує підвищення динамічної точності регулювання в умовах дії параметричних збурень. Також САР була доповнена алгоритмами на основі нейронних мереж. Інтегровані алгоритми не потребують істотного збільшення обчислюваних ресурсів. Існуюча система не потребує технічних доповнень та реалізації додаткових каналів вимірювання.

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

Прикладне програмне забезпечення, що реалізує розроблені складні алгоритми керування може розроблятися безпосередньо у середовищі Simatic Step 7 з використанням стандартних мов програмування контролерів. Наприклад мовами STL та SCL. Для цього потрібно розроблені у системі Simulink алгоритми керування перевести у цифрову форму та вид придатний для програмування (наприклад різницеві рівняння у рекурентній формі), а потім написати відповідний код. На кожному етапі реалізації можливі помилки і в загальній такій підхід потребує багато часу. Альтернативою цьому є варіант прямої конвертації отриманих алгоритмів з системи Simulink у середу програмування контролерів Simatic Step 7. Такий підхід дозволяє отримати компактний перевірений код при малих затратах часу.

Програмну реалізацію розроблених алгоритмів будемо проводити з використанням пакету Simulink PLC Coder з його бібліотекою функціональних блоків PLCLib. Для цього використовуючи блоки бібліотеці PLCLib проведемо цифрову реалізацію алгоритмів керування процесом кондиціонування повітря у моделі Simulink. Розглянемо конвертацію алгоритмів регулювання з ПД регуляторами змінної структури та нейронними мережами. Отримана модель з ПД регуляторами змінної структури підготовленими до конвертації наведена на рис. 4.9.

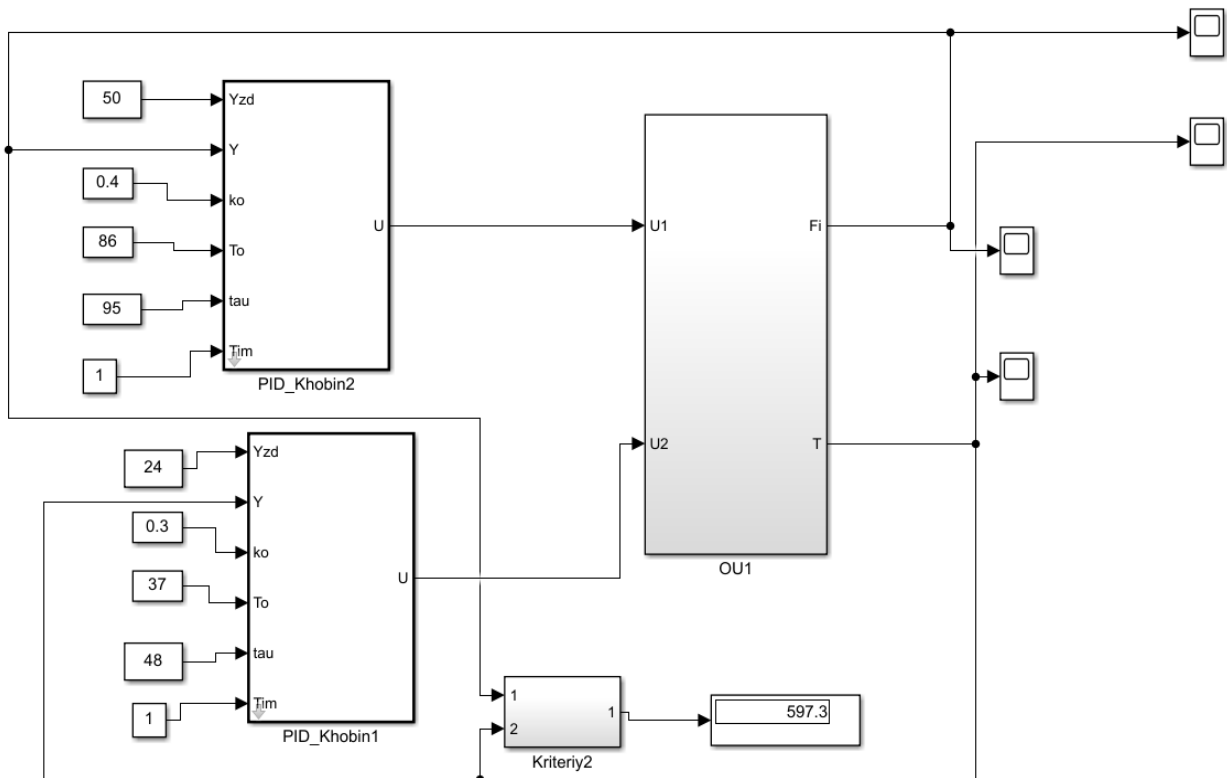


Рис. 4.9 – Схема моделювання САК процесом кондиціонування повітря у приміщенні збирального цеху з регулятором змінної структури.

Регулятор змінної структури має складну реалізацію з декількох взаємопов'язаних підсистем. Загальний вид внутрішньої структури моделі регулятора який підготовлено до конвертації наведено на рис. 5.10, а внутрішня структура підсистеми розрахунку керуючої дії, комутації інтегральної складової, динамічної зони нечутливості наведено на рис.5.11-5.13. В кожній підсистемі виконано цифрову реалізацію алгоритмів з використанням дискретних динамічних ланок з бібліотеки PLCLib. Це є запорукою відсутності помилок при конвертації.

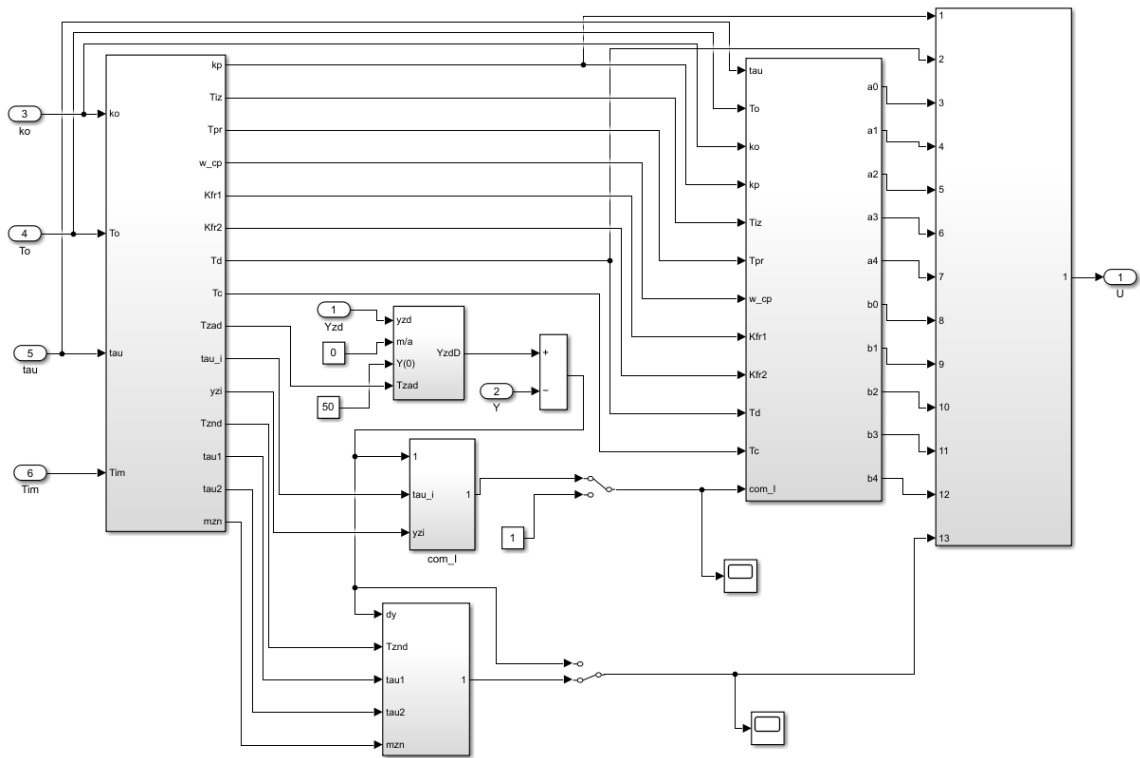


Рис. 4.10 – Загальна схема цифрового ПІД-регулятора змінної структури.

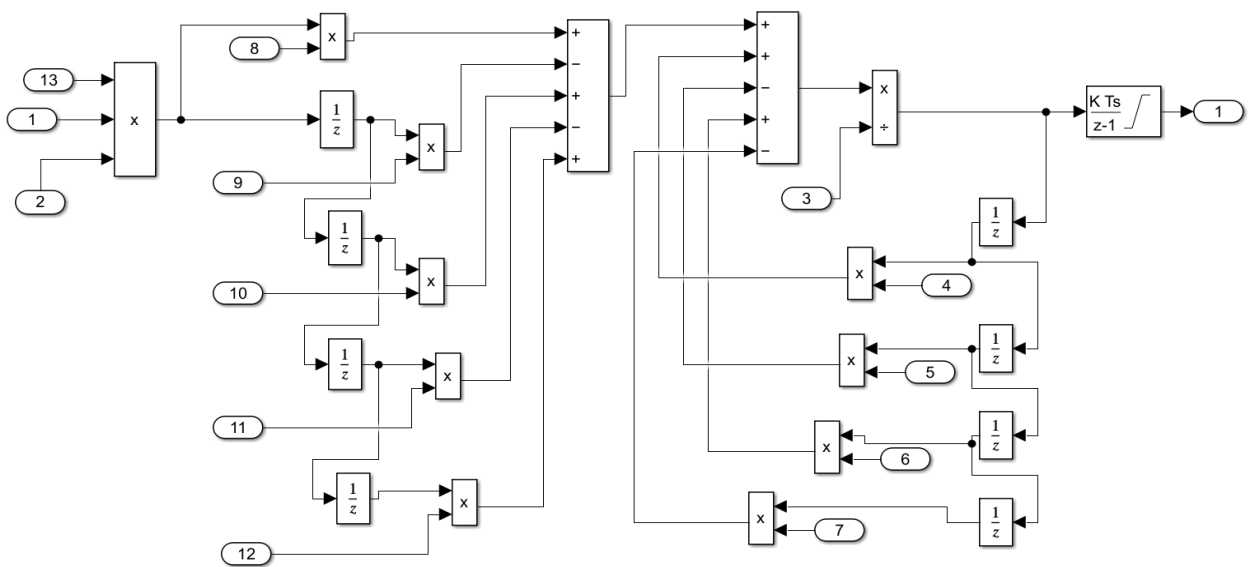


Рис. 4.11. Внутрішня структура цифрового варіанту блоку розрахунку керуючої дії регулятора змінної структури.

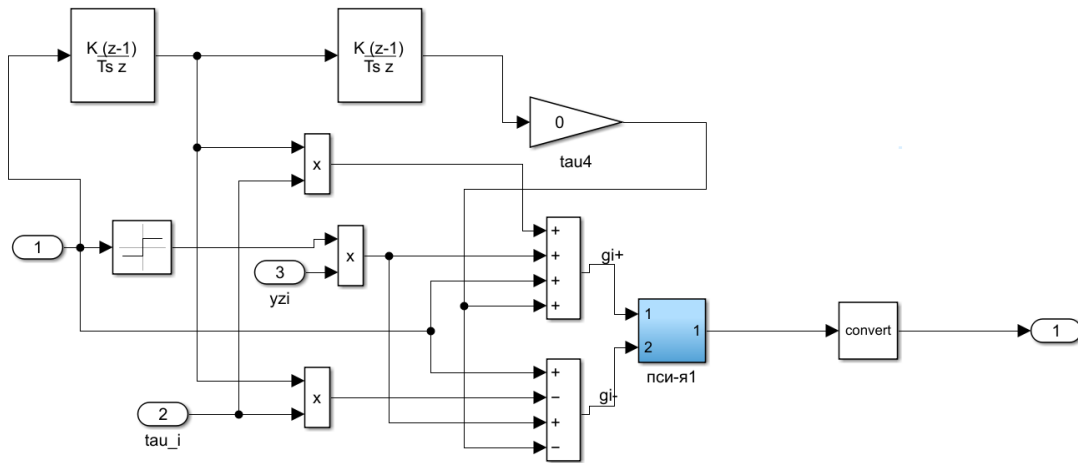


Рис. 4.12. Внутрішня структура цифрового варіанту блоку комутації інтегральної складової регулятора змінної структури.

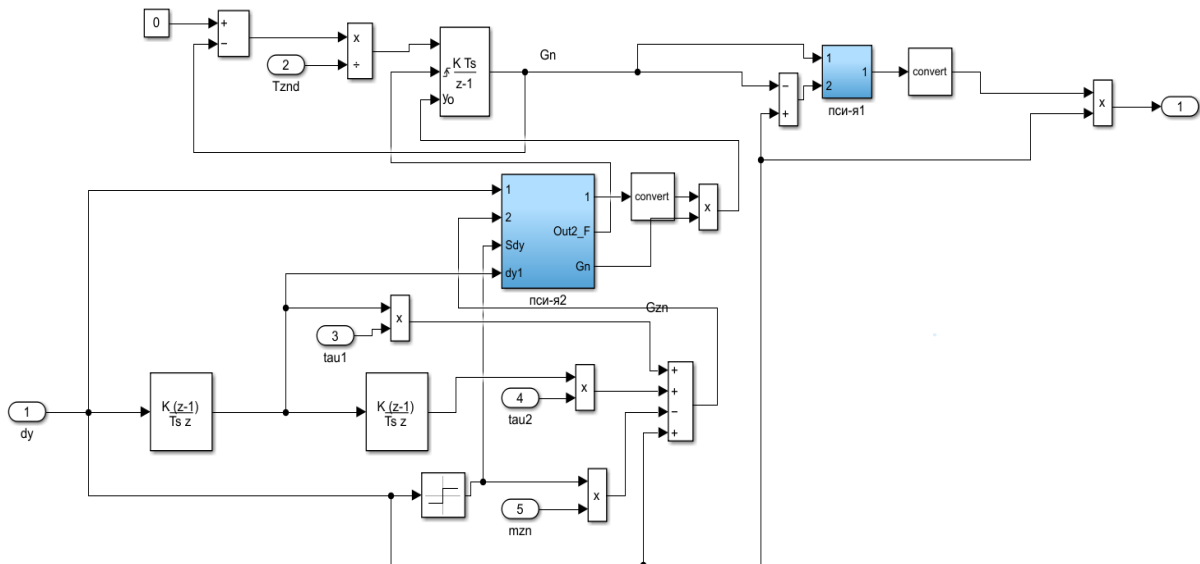


Рис. 4.13. Внутрішня структура цифрового варіанту блоку динамічної зони нечутливості регулятора змінної структури.

Результати моделювання системи керування при використанні цифрових алгоритмів які підготовлені до конвертації наведені на рис.5.14. Вони повністю відповідають попереднім результатам і підтверджують правильність цифрової реалізації алгоритмів регулювання при підготовці до конвертування.

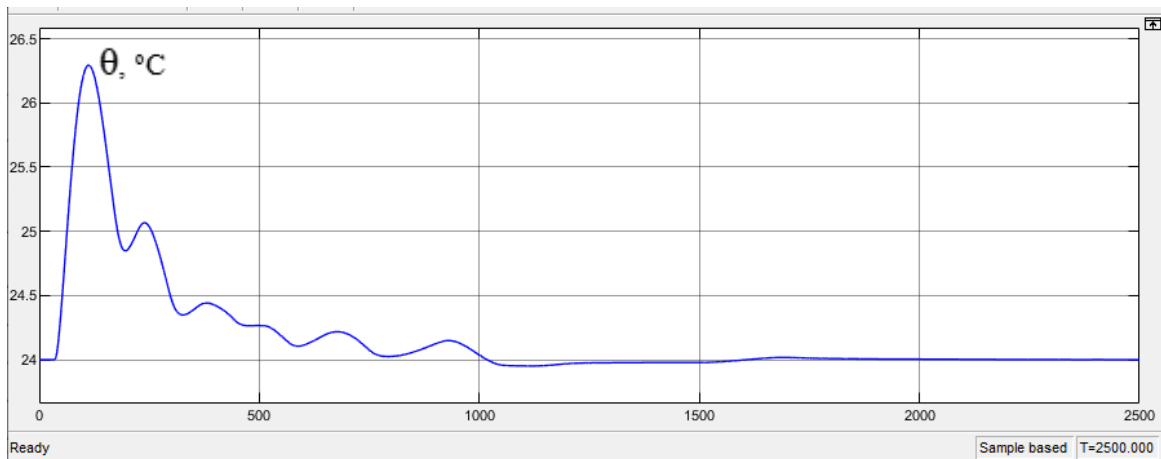
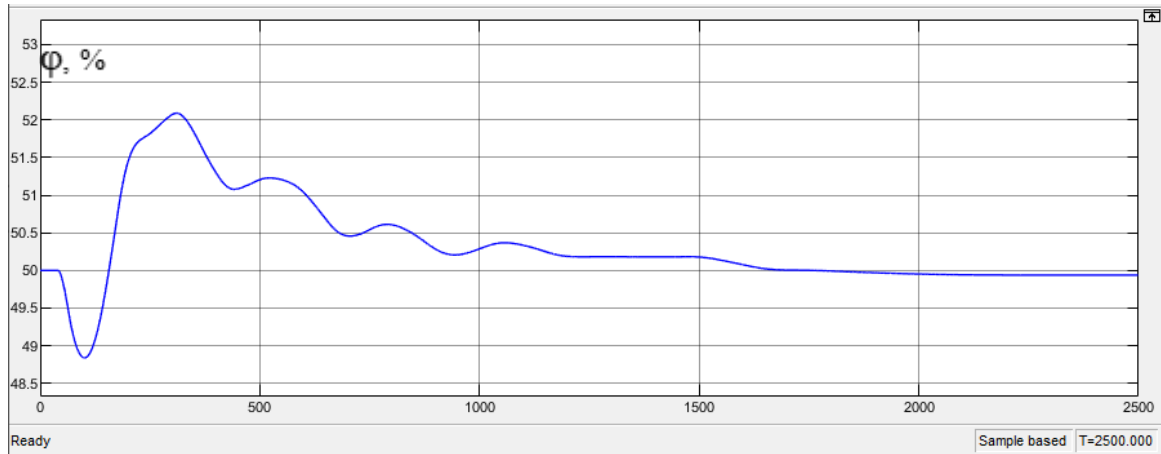


Рис. 4.14. Перехідні характеристики САР з регулятором змінної структури алгоритми якого підготовлені до конвертації при номінальних параметрах ОК.

Для кожної підсистеми яка буде конвертуватися у мову SCL середовища Step 7 проведемо налаштування рис 4.15.

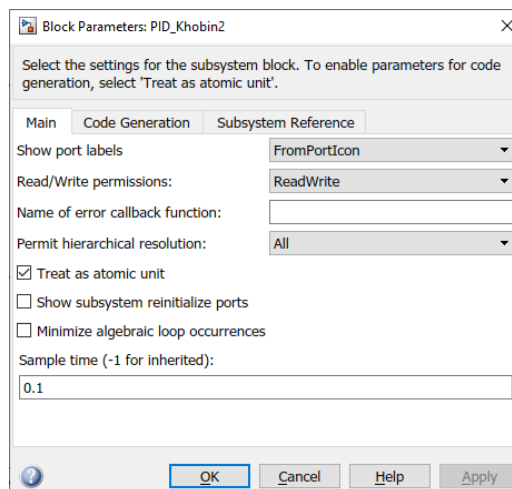


Рис. 4.15. Вікно налаштування підсистем для їх конвертації.

Пакет Simulink PLC Coder налаштуємо для компіляції коду для середовища Siemens SIMATIC Step7 4.4 (рис. 4.16).

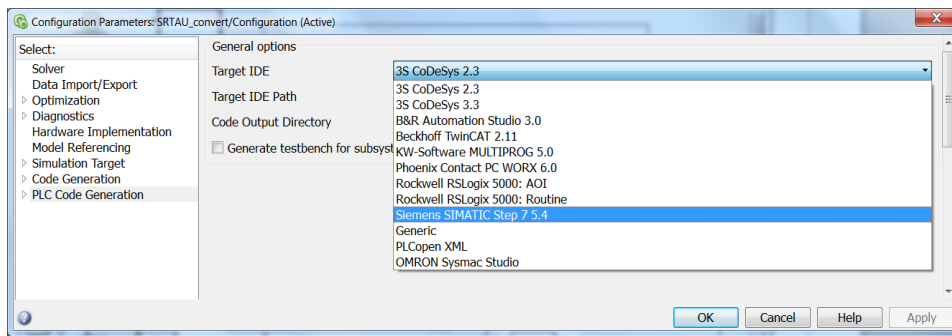


Рис. 4.16. Вікно налаштування пакету Simulink PLC Coder.

Далі послідовно проведемо генерацію програмного коду для блоку ПІД регулятора та блоків коригуючих зв'язку та задатчика. На рис. 4.17 та 4.18 наведена процедура генерації коду для ПІД регулятора.

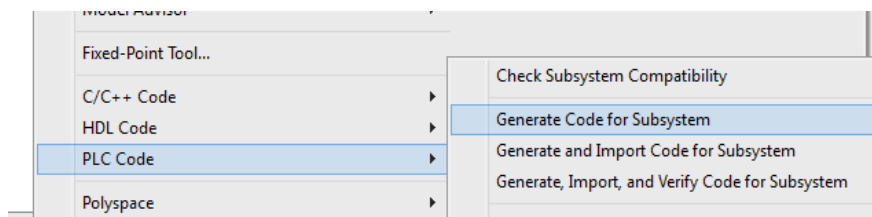


Рис 5.17 – Компіляція коду.

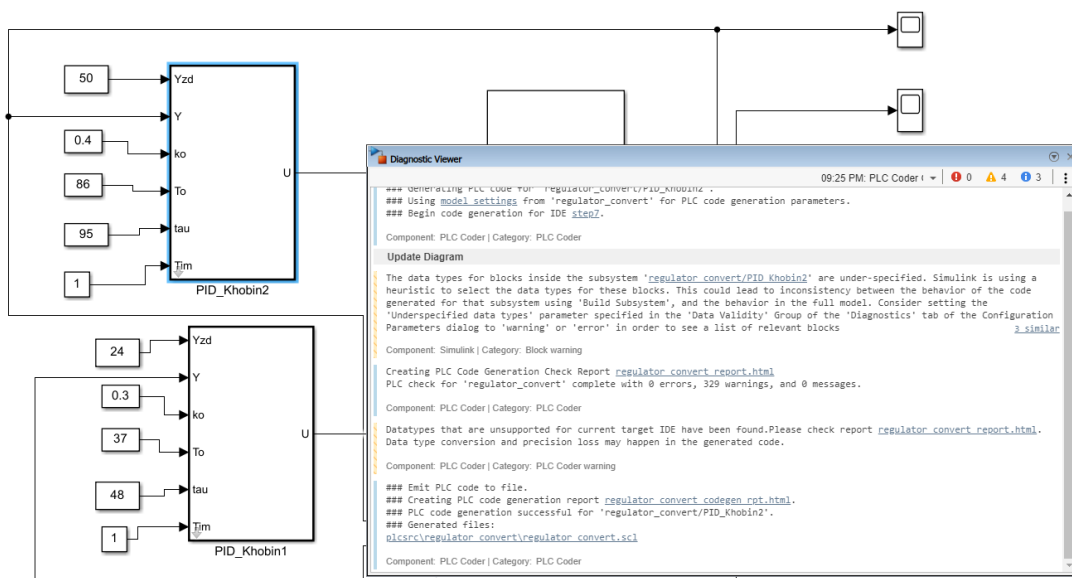


Рис. 4.18– Результати успішної генерації коду ПІД-регулятора змінної структури для середовища SIMATIC Step7 5.4.

На рис. 4.19 наведено вихідний генерований код мовою SCL для ПІД-регулятора.

```

Editor - D:\M2024\Група\A\plcsrc\regulator_convert\regulator_convert.scl
EDITOR VIEW
New Open Save Compare Go To Find Refactor Analyze Profiler SECTION Run Step Stop
FILE NAVIGATE CODE ANALYZE RUN
regulator_convert.scl
3 * File: regulator_convert.scl
4 *
5 * IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "regulator_convert/PID_Khobin2"
6 *
7 * Model name : regulator_convert
8 * Model version : 1.2
9 * Model creator : user
10 * Model last modified by : user
11 * Model last modified on : Wed Jun 12 21:01:35 2024
12 * Model sample time : 0.1s
13 * Subsystem name : regulator_convert/PID_Khobin2
14 * Subsystem sample time : 0.1s
15 * Simulink PLC Coder version : 3.6 (R2022a) 13-Nov-2021
16 * ST code generated on : Wed Jun 12 21:25:42 2024
17 *
18 * Target IDE selection : Siemens SIMATIC Step 7
19 * Test Bench included : No
20 *
21 *)
22 FUNCTION_BLOCK PID_Khobin2
23 VAR_INPUT
24   ssMethodType: INT;
25   Yzd: REAL;
26   Y: REAL;
27   ko: REAL;
28   b_To: REAL;
29   tau: REAL;
30   Tim: REAL;
31 END_VAR
32 VAR_OUTPUT
33   U: REAL;
34 END_VAR
35 VAR
36   c_DiscreteTimeIntegr: REAL;
37   UD_DSTATE_i: REAL;
38   d_DiscreteTimeIntegr: REAL;
39   UnitDelay7_DSTATE: REAL;
40   UnitDelay6_DSTATE: REAL;
41   UnitDelay5_DSTATE: REAL;
42   UnitDelay4_DSTATE: REAL;
43   UnitDelay3_DSTATE: REAL;
44   UnitDelay2_DSTATE: REAL;
45   UnitDelay1_DSTATE: REAL;
46   UnitDelay_DSTATE: REAL;
47   Memory_PreviousInput: BOOL;
48   UD_DSTATE_b: REAL;
49   UD_DSTATE: REAL;

```

Рис. 4.19. Вихідний генерований код мовою SCL блоку ПІД-регулятора змінної структури для середовища програмування Step7.

Програмну реалізацію алгоритмів керування на базі нейронних мереж проводимо аналогічним чином. На рис. 4.20 наведена схема моделювання нейронної мережі для регулятора.

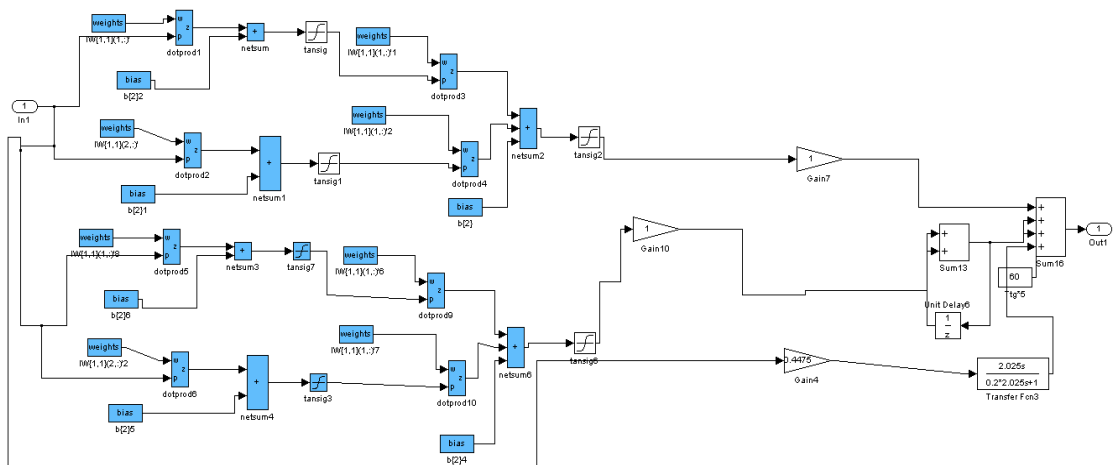


Рис. 4.20. Схема нейронної мережі для регулятора.


```

SCL - [regulator_convert -- Project(SIMATIC 300(1) CPU 313C-2 DP)
File Edit Insert PLC Debug View Options Window Help
[*]
*
* File: regulator_convert.scl
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "regulator_convert/PID_Khobin2"
*
* Model name          : regulator_convert
* Model version       : 1.2
* Model creator       : user
* Model last modified by : user
* Model last modified on  : Wed Jun 12 21:01:35 2024
* Model sample time    : 0.1s
* Subsystem name      : regulator_convert/PID_Khobin2
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 3.6 (R2022a) 13-Nov-2021
* ST code generated on  : Wed Jun 12 21:25:42 2024
*
* Target IDE selection : Siemens SIMATIC Step 7
* Test Bench included  : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK PID_Khobin2
VAR_INPUT
  ssMethodType: INT;
  Ysd: REAL;
  Y: REAL;
  Ko: REAL;
  b_To: REAL;
  tau: REAL;
  Tim: REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  U: REAL;
END_VAR
VAR
  c_DiscreteTimeIntegr: REAL;
  UD_DSTATE_i: REAL;
  d_DiscreteTimeIntegr: REAL;
  UnitDelay7_DSTATE: REAL;
  UnitDelay6_DSTATE: REAL;
  UnitDelay5_DSTATE: REAL;
  UnitDelay4_DSTATE: REAL;
  UnitDelay9_DSTATE: REAL;
  UnitDelay2_DSTATE: REAL;
  UnitDelay1_DSTATE: REAL;
  UnitDelay_DSTATE: REAL;
  Memory_PreviousInput: BOOL;
  UD_DSTATE_b: REAL;
  UD_DSTATE: REAL;
  e_DiscreteTimeIntegr: INT;
  Constant1: REAL;
  f_DiscreteTimeIntegr: REAL;
  g_DiscreteTimeIntegr: INT;
  h_DiscreteTimeIntegr: INT;
  UD_DSTATE_p: REAL;
  rtb_Sum_h: REAL;
  rtb_Product6_p: REAL;
  rtb_Product5_p: REAL;

```

Рис. 4.22 – Приклад імпортованого генерованого коду ПІД-регулятора змінної структури в середовищі Step 7.

Загальний вигляд розробленого проекту керування процесом кондиціонування повітря в середовищі Step 7 з доданими новими блоками наведено на рис.4.23.

Object name	Symbolic name	Created in language	Size in the work me...	Type	Version (Header)	Name (Hea...
System data	---	---	---	SDB	---	---
DB1	---	FBD	124	Organization Block	0.1	---
DB35	CYC_INT5	STL	70	Organization Block	0.1	---
FB1	Valve	LAD	432	Function Block	0.1	---
FB2	Motor	LAD	558	Function Block	0.1	---
FB3	All_Valve_Motor	LAD	1242	Function Block	0.1	---
FB4	DEAD_T	STL	430	Function Block	1.0	DEAD_T
FB5	SAR	LAD	2442	Function Block	0.1	---
FB6	Logic_Control	LAD	330	Function Block	0.1	---
FB7	Valve_c	LAD	238	Function Block	0.1	---
FB9	LAG1ST	SCL	382	Function Block	1.0	LAG1ST
FB41	CONT_C	SCL	1462	Function Block	1.5	CONT_C
FB55	PID_Khobin	SCL	2490	Function Block	0.0	---
DB1	HMI_Valve_Motor_DB	DB	108	Data Block	0.1	---
DB2	DB_TAU1	DB	176	Data Block	0.1	---
DB3	DB_All_Valve_Motor	DB	280	Instance data block ...	0.1	---
DB4	DB_TAU2	DB	176	Data Block	0.1	---
DB5	DB_SAR	DB	880	Instance data block ...	0.1	---
DB6	DB_TAU2_1	DB	248	Data Block	0.1	---
DB7	HMI_SAU_DB	DB	168	Data Block	0.1	---
DB8	Logic_Control_DB	DB	60	Instance data block ...	0.1	---
DB9	DB_TAU1_1	DB	172	Data Block	0.1	---
DB10	DB_TAU1_1_1	DB	220	Data Block	0.1	---
DB11	DB_TAU1_to_2	DB	224	Data Block	0.1	---

Рис. 4.23 – Загальний вид вікна проекту в середовищі Step 7.

Алгоритми регулювання відносної вологості та температури в приміщенні реалізовані у блоці FB5. Фрагмент коду програми наведено на рис. 4.24.

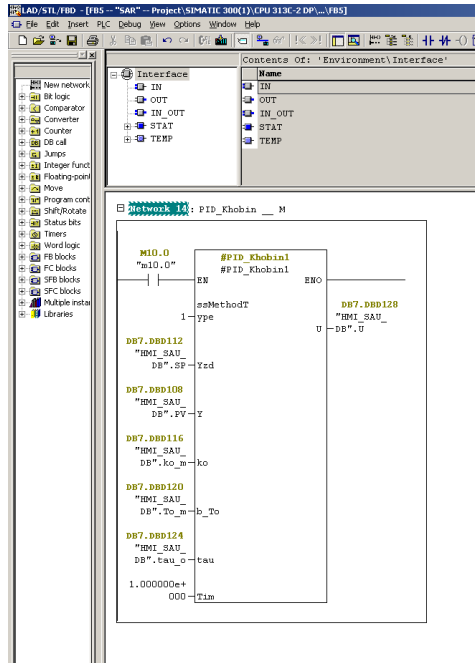


Рис. 4.24. Фрагмент програми в блоці FB5 яка реалізує розрахунок регулятора відносної вологості в приміщенні.

Проведемо тестування програми в режимі емуляції контролера. Для цього доповнимо програму регулювання моделлю об'єкта керування і запустимо розрахунок моделі САР. Фрагмент програми моделі ОК наведено на рис. 4.25. А результати тестування САР відносної вологості у приміщенні наведені на рис. 4.26 - 4.28. Графіки наведено у вікнах АРМ оператора SCADA – системи WinCCflexible.

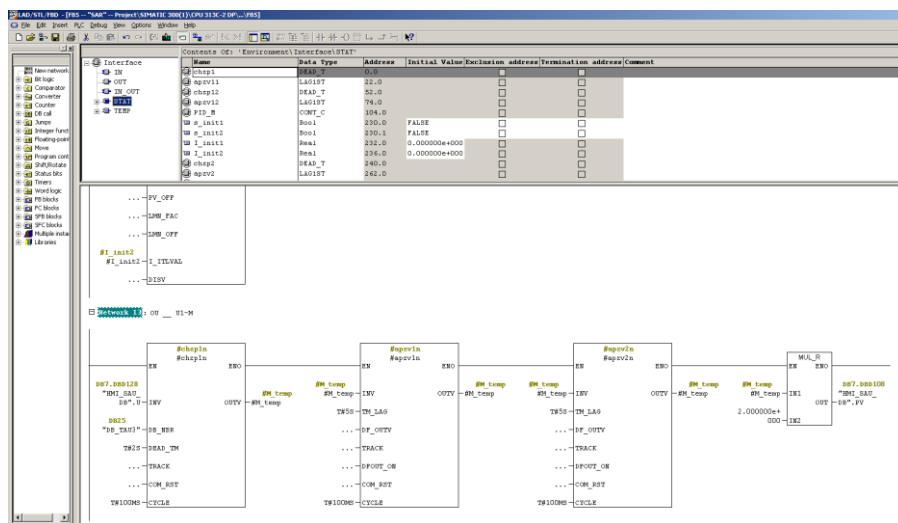


Рис. 4.25. Фрагмент програми в блоці FB5 яка реалізує розрахунок моделі каналу відносної вологості ОК.

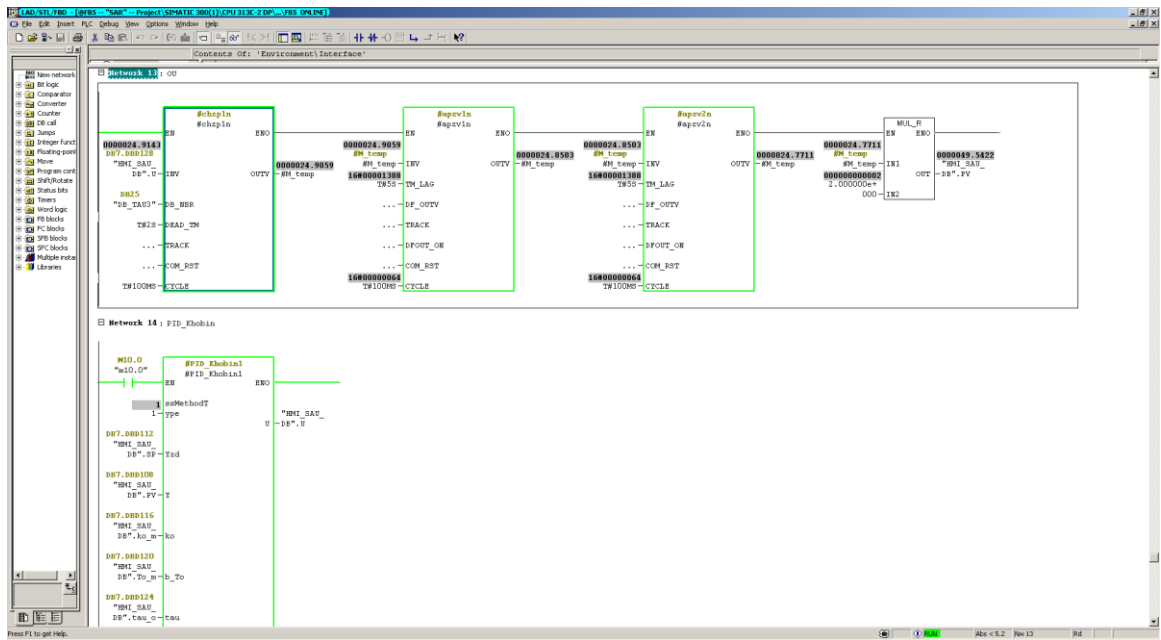


Рис. 4.26. Фрагмент програми алгоритмів регулювання у режимі відладки.

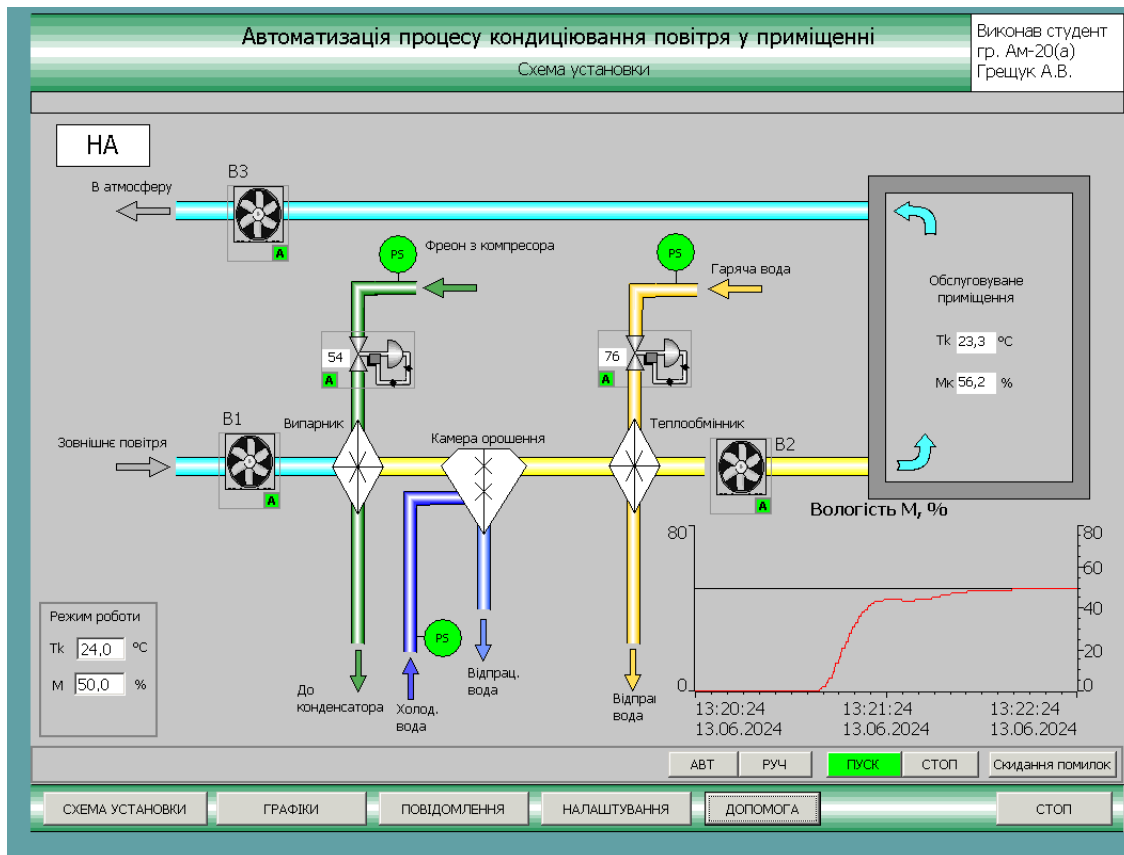


Рис. 4.27. Результати тестування САР відносної вологості у приміщенні (вікно SCADA).

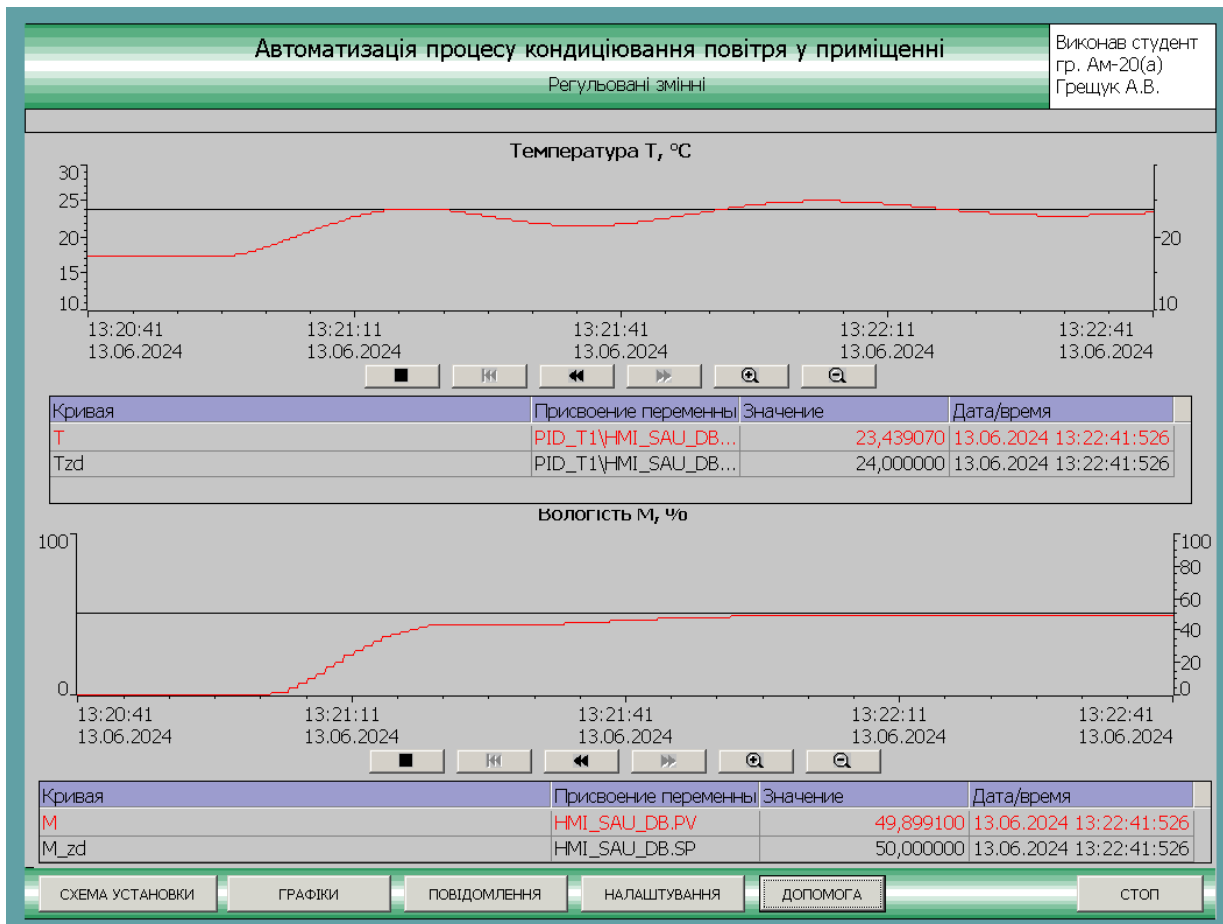


Рис. 4.28. Результати тестування САР відносної вологості та температури у приміщенні (вікно SCADA).

Результати тестування підтвердили працездатність отриманих в результаті конвертації програмних модулів, ефективність та надійність застосування пакету Simulink PLC Coder.

4.3 Оцінка економічної ефективності впровадження розробок.

За результатами досліджень можна зробити висновки що модернізована САК процесом кондиціювання повітря у приміщенні збирального цеху підприємства, яка реалізує нову функцію регулювання з алгоритмом зі змінною структурою, забезпечує підвищення динамічної точності підтримання температури і відносної вологості повітря у приміщенні на заданому значенні в умовах дії параметричних збурень та дає можливість забезпечити високу якість підтримання мікроклімату у приміщенні та зниження браку готової продукції на 2-5%.

4.4 Висновки за розділом

1. В цьому розділі розглянута програмно-технічна структура системи автоматичного керування процесом кондиціонування повітря у приміщенні збирального цеху. Обґрунтовано обрані контролер, ПЗО та програмне забезпечення Step 7 фірми Siemens для реалізації системи.

2. Розроблені в системі Matlab моделі нових алгоритмів ПД регулювання зі змінною структурою за допомогою пакету Simulink PLC Coder були конвертовані та інтегровані 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 для складних нелінійних динамічних алгоритмів керування.

3. Вдосконалення системи керування забезпечить більш якісне керування процесом кондиціонування повітря у приміщенні збирального цеху.

ВИСНОВКИ

Детально проаналізувавши вибраний об'єкт регулювання, можна зробити висновок, що зміна температури повітря у приміщенні досить сильно має значний вплив на відносну вологість у приміщенні. Цей перехресний зв'язок в ОК знижує динамічну точність САР. Основним шляхом підвищення динамічної точності даної САР являється побудова САР інваріантної до цих збурень. У основу підвищення динамічної точності САР буде покладений регулятор змінної структури. А це потребує доробки моделі ОР. В даній роботі розроблена САР кондиціонування повітря в приміщенні збирального цеху з регулятором змінної структури та інваріантністю до змін температури повітря у приміщенні до відносної вологості повітря у приміщенні. Результати моделювання показують, що використання регулятора змінної структури дозволило істотно зменшити прямі та інтегральні показники якості тобто підвищилась динамічна точність САР. Було досліджено, що використання нейрорегулятора доречно, коли об'єкт є суттєво нелінійним і нестационарним, саме за цієї умови якість регулювання є вищою, ніж при типових САК. Використання нечіткої логіки в системах керування дозволяє зменшити втручання оператора в процес керування і, отже, дозволяє розробити нові методики керування більш адаптовані до промислового середовища. Була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування та програмне забезпечення системи автоматичного керування ТП кондиціонування повітря у приміщенні. Були вивчені основні характеристики контролерів фірми Siemens сімейства S7-300. Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів в середовищах Step7. Також було проаналізовано техніко-економічну ефективність від впровадження нової системи автоматичного регулювання.

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: ОДАПТ, 2000. – 16 с.
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. Муратов В.Г. Метод автоматического управления системой кондиционирования воздуха как объектом с переменной структурой//Холодильная техника, 1981, №3 – с.20-24.
7. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха, 2005 г.
8. Штокман Е.А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности, 2001 г.
7. Литвин В.В. Интеллектуальні системи [Текст] / Литвин В.В., Пасічник В.В, Яцишин Ю.В. – Львів: «Новий Світ» - 2008. - 406с.
8. Руденко О.Г. Штучні нейронні мережі [Текст] / Руденко О.Г., Бодянський Є.В. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404с.
9. 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.
10. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети [Текст] / Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. – М. : Физматлит, 2001. – 302 с.
11. Архангельській В.І. і др. Нейронні мережі в системах автоматизації [Текст] – К. : техніка, 1999. – 364с. 131

12. Васи́лець 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.

13. Сергей А. Терехов Лаборатория Искусственных Нейронных Сетей НТО-2, ВНИИТФ, Снежинск / [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://book.org/book/530233/94a2fe>, <https://www.twirpx.com/file/600450/>, <https://studfiles.net/preview/986654/>

14. User's Manual .WinCC flexible 2008 Compact / Standard / Advanced.

15. «MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики». – Дьяконов В.П., Круглов В.В М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 456 с.

16. Каталог ІК РІ «Промышленная связь для систем автоматизации и приводов». – Siemens AG, 2005. – 666с.

17. Каталог ST70 «SIMATIC – Компоненты для комплексной автоматизации». – Siemens AG, 2007. – 862с.

18. «Автоматизация с помощью программ Step 7 LAD и FBD». – Ганс Бергер, 2001. – 605с.

19. «Економіка підприємства: Підручник» / За заг. редакторка С.Ф. Покропивного-Вид. 2-ге, перероб. але доп. – К.: Київ, 2000. – 528 с.

20. Миронов А.О. «Система підтримки мікроклімату виробничого приміщення» Харків: ХНУР, 2020.-78с.

21. Іжевська Т.Л. «Центральні системи кондиціонування повітря з частковим непрямим випарним охолодженням і утилізацією холоду та теплоти вентиляційних викидів» Київ: КПІ ім.Сікорського, 2022.-96с.

22.Грунська К.В. «АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ У ЗЕРНОСХОВИЩАХ» Миколаїв: ЧНУ ім.Могили, 2022-8с.