

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

| | |
|---------------------------|--|
| Інститут | Навчально-науковий інститут Комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова |
| Факультет | Автоматизації та робототехніки |
| Кафедра | Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем |
| Ступінь ви- щої освіти | Магістр |
| Спеціальність | 151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» |
| Освітня про- грама | Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації |

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Тема: «Підвищення ефективності автоматичного керування компримуванням природного газу на дотискній компресорній станції»

Розробив В.О. Кіндзерський

Керівник

к.т.н., доцент

В.М. Левінський

Зав. кафедри АТПіРС

д.т.н., професор

В.А. Хобін

*«e-версія роботи ідентична
оригіналу»*

В.О. Кіндзерський

«e-версію роботи прийнято»

Депозитор кафедри АТПіРС

Т.В. Волик

Одеса-2023

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

| | |
|----------------------|---|
| Інститут | Навчально-науковий інститут Комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова |
| Факультет | Автоматизації та робототехніки |
| Кафедра | Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем |
| Ступінь вищої освіти | Магістр |
| Спеціальність | 151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» |
| Освітня програма | Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації |

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТП і РС
_____ д.т.н., проф. Хобін В.А.
«24» листопада 2021 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

1. Здобувач освіти **Кіндзерський Владислав Олександрович**
2. Тема роботи **«Підвищення ефективності автоматичного керування компримуванням природного газу на дотискній компресорній станції»**
3. Керівник кваліфікаційної роботи магістра **Левінський Валерій Михайлович, к.т.н., доцент**
П.п. 2 і 3 затверджено наказом ОНТУ від 11 листопада 2021 року № 945-03.
4. Строк подання студентом зброшурованої випускної роботи – 05 червня 2023 р.
5. 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.
6. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити):
Вступ (актуальність роботи, зв'язок з науковими напрямками робіт академії, 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 компримування природного газу на дотискній компресорній станції та задачі підвищення його ефективності засобами автоматичного керування.
Розділ 2. Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП компримування природного газу на дотискній компресорній станції.
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).

7. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

| 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 | | |

8. Дата видачі завдання 1 вересня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|--------------------------------|----------|
| 1 | Вступ та загальна характеристика роботи | 01.02.23 – 15.02.23 | |
| 2 | Технологічний процес та задачі підвищення його ефективності засобами автоматичного керування | 16.02.23 – 1.03.23 | |
| 3 | Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП | 02.03.23 – 17.03.23 | |
| 4 | Удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП, на основі застосування штучних нейронних мереж | 18.03.23 – 08.04.23 | |
| 5 | Розробка та дослідження САК, що реалізує нову, інтелектуально просунуту, функцію | 09.04.23 – 30.04.23 | |
| 6 | Реалізація та підготовка до впровадження результатів роботи | 01.05.23 – 15.05.23 | |
| 7 | Оформлення додатків та роботи в цілому | 16.05.23 – 23.05.23 | |
| 8 | Здача роботи на перевірку керівникові, виправлення зауважень, підпис керівника | 24.05.23 – 31.05.23 | |
| 9 | Брошування роботи, представлення її завідувачу кафедри, підпис, направлення роботи на зовнішнє рецензування та захист у ЕК | 01.06.23 – 05.06.23 | |

Студент

Кіндзерський В.О.

Керівник кваліфікаційної роботи

Левінський В.М.

АНОТАЦІЯ

Кіндзерський В.О. «Підвищення ефективності автоматичного керування компримуванням природного газу на дотискній компресорній станції»
Випускна робота магістра.– Одеса: ОНАХТ 2023.-157 ст. Бібліогр.: 26. Іл.: 126.
Табл.: 12.

Основною метою роботи є підвищення ефективності процесу компримування природного газу на дотискній компресорній станції за рахунок вдосконалення існуючих алгоритмів автоматичного керування процесом. Якість готової продукції та ефективність роботи установки безпосередньо буде залежати саме від температурних режимів процесу. Удосконалення алгоритмів керування проводилося шляхом підвищення динамічної точності алгоритмів регулювання. В якості базового було використано пропорційно-інтегрально-диференційний алгоритм регулювання. Підвищення динамічної точності системи автоматичного регулювання (САР) здійснювалося шляхом впровадження САР інваріантної до контрольованих збурень. Надалі підвищення ефективності САР проводилося шляхом дослідження доцільності використання системи гарантуючого управління. Дослідження показали доцільність використання саме алгоритмів гарантуючого управління.

Аналіз працездатності САР проводився шляхом аналізу на дотримання гранично припустимих вимог та аналізу САР на грубість.

Впровадження результатів роботи має дати підвищення ефективності процесу компримування природного газу за рахунок впровадження системи гарантуючого керування тиску газу після дроселювання, яка дозволяє вести процес при максимально допустимому тиску газу, що характеризують якість процесу компримування природного газу на дотискній компресорній станції, та підвищення енергоощадності процесу.

Ключові слова: природний газ, дотискна компресорна станція, система автоматичного керування, система гарантуючого керування, контрольовані збурення.

ЗМІСТ

| | стор. |
|---|-------|
| Перелік умовних позначень, символів і одиниць..... | 8 |
| Вступ..... | 9 |
| Розділ 1 Технологічний процес компримування природного газу на дотискній компресорній станції і підвищення його ефективності засобами автоматичного керування | 16 |
| 1.1 Короткий опис технологічного процесу компримування природного газу на дотискній компресорній станції та основного обладнання..... | 16 |
| 1.2 Аналіз впливу режимів ведення ТП і роботи обладнання на його техніко-економічні показники, аналіз відповідних регламентів і наслідків їх порушення... | 22 |
| 1.3 Аналіз існуючих САК технологічним процесом компримування природного газу на дотискній компресорній станції. | 25 |
| 1.4 Комплекс математичних моделей технологічного процесу компримування природного газу на дотискній компресорній станції..... | 26 |
| 1.5 Типові структури і алгоритми САК ТП, що реалізують функції регулювання, результати їх параметричної оптимізації і перевірка на робастність (грубість)..... | 48 |
| 1.6 Недоліки відомих САУ ТП компримування природного газу на дотискній компресорній станції, обґрунтування напрямів удосконалення САУ як нових джерел підвищення економічної ефективності технологічного процесу..... | 58 |
| 1.7 Висновки за розділом..... | 59 |
| Розділ 2 удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК ТП компримування природного газу на дотискній компресорній станції | 60 |
| 2.1 Структурний синтез САК підвищеної динамічної точності..... | 60 |

| | |
|--|-----|
| 2.2 Оптимальний параметричний синтез САК підвищеної динамічної точності і аналіз результатів синтезу..... | 61 |
| 2.3 Висновки за розділом..... | 65 |
| Розділ 3. Вдосконалення алгоритмів, які реалізують функції регулювання системою автоматичного керування технологічного процесу компримування природного газу на дотискній компресорній станції, на основі використання штучних нейронних мереж | 67 |
| 3.1 Обґрунтування актуальності застосування систем управління, побудованих на базі апарату нечіткої логіки, для розглянутого об'єкта керування..... | 67 |
| 3.2 Реалізація в програмному середовищі MATLAB\Simulink моделі каналу регулювання розглянутого об'єкта керування з нелінійною статичною характеристикою | 68 |
| 3.3 Параметричний синтез САУ з традиційним ПІД регулятором для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання | 70 |
| 3.4 Розробка моделі САУ з нечітким регулятором (НР) для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання | 73 |
| 3.5 Порівняльний аналіз функціонування САУ з традиційним ПІД регулятором і САУ з нечітким регулятором | 83 |
| 3.6 Обґрунтування актуальності застосування нейромережових алгоритмів управління | 85 |
| 3.7 Розробка моделі САУ з нейрорегулятором | 86 |
| 3.8 Параметрична оптимізація САУ з нейрорегулятором | 100 |
| 3.9 Аналіз функціонування різних САУ за якістю регулювання за умов впливів, що збурюють | 102 |
| 3.10 Розробка програмного забезпечення для реалізації нейрорегулятора на базі промислового контролера | 105 |
| 3.11 Висновки за розділом..... | 111 |

| | стор. |
|---|-------|
| Розділ 4 Розробка та дослідження сак процесу компримування природного газу на дотискній компресорній станції, що реалізує функцію мінімізації енерговитрат при гарантованні дотримання обмежень | 113 |
| 4.1 Обґрунтування актуальності додаткової функції САК для підвищення енергоефективності | 113 |
| 4.2 Розробка структурної схеми САК, яка реалізує функцію мінімізації енерговитрат при гарантуванні дотримання обмежень, формалізація алгоритму керування, обґрунтування значень параметрів налаштування такої САК | 114 |
| 4.3 Розробка схеми імітаційного моделювання САК і плану комп'ютерних експериментів з дослідження її ефективності, подання і аналіз результатів моделювання..... | 116 |
| 4.4 Висновки за розділом..... | 124 |
| Розділ 5. Реалізація і підготовка до впровадження результатів на підприємстві | 125 |
| 5.1. Існуюча програмно-технічна структура підсистеми управління процесом пастеризації яблучного соку і формулювання задач по її розвитку для впровадження розробок..... | 125 |
| 5.2. Розробка, налаштування і тестування прикладного програмного забезпечення для реалізації алгоритмів управління..... | 131 |
| 5.3 Оцінка економічної ефективності впровадження розробок..... | 145 |
| 5.4. Висновки за розділом..... | 145 |
| Висновки..... | 146 |
| Список використаної літератури..... | 148 |
| Додаток А..... | 150 |
| Додаток Б | 152 |

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;

МОНЧ – модуль оцінки частоти порушень;

МОВХ – модуль оцінки ймовірносних характеристик;

МРДНЧ – модуль розрахунку допустимої частоти порушень;

СГК – система гарантуючого керування.

ВСТУП

Актуальність теми

Компримування — одна з основних операцій при транспортуванні вуглеводневих газів по магістральних трубопроводах. Компримування - підвищення тиску з допомогою компресора - як частина комплексної підготовки газу є однією з основних операцій при транспортуванні вуглеводневих газів по магістральних трубопроводах, їх закачуванні в нафтогазові пласти для підтримування пластового тиску (з метою збільшення нафтоконденсатовилучення), в процесі заповнення підземних газосховищ, а також при скрапленні газів. Компримування здійснюється в один або декілька ступенів, тип і потужність компресора визначається залежно від кількості компримованого газу і необхідного ступеня підвищення тиску (ступеня стиснення). Компримування супроводжується підвищенням температури газу і, як правило, потребує його подальшого охолодження.

Дотискні компресорні станції, що забезпечують робочі параметри технології промислової підготовки газу, підтримують тиск подачі газу в магістральний газопровід. Для забезпечення максимальної ефективності цього процесу ним необхідно керувати без участі людини, тобто автоматично.

Актуальним є питання забезпечення автоматичного керування компримуванням природного газу на дотискній компресорній станції.

Мета і задачі дослідження.

Мета дослідження – засобами автоматичного керування підвищити ефективність процесу компримування природного газу у дотискній компресорній станції при комплексній підготовці газу, шляхом розробки обґрунтованих технічних рішень, підвищення якості регулювання регламентованих змінних та зменшення питомих витрат енергоресурсів при впровадженні модернізованої САК.

Завдання дослідження, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети :

1) розробити загальну концепцію побудови ефективної САК процесом компримування природного газу у дотискній компресорній станції, включаючи концептуальну модель об'єкту керування (ОК) і функціональну структуру її пристрою, що керує;

2) провести необхідні експерименти на дотискній компресорній станції і, за їх результатами, ідентифікацію математичних моделей (ММ) динамічних властивостей каналів управління пастеризатором як ОК, реалізувати її у формі імітаційної моделі і підтвердити адекватність;;

3) розробити алгоритми управління, що забезпечують необхідні запаси стійкості і високу динамічну точність реалізації функції регулювання, оптимізацію процесу по мінімуму питомих енерговитрат в реальному часі при гарантуванні відвертання аварійних ситуацій, пов'язаних з підтриманням тиску газу після дроселювання.

4) розробити систему модель системи гарантуючого керування тиску газу після дроселювання.

Об'єкт дослідження – керований технологічний процес компримування природного газу у дотискній компресорній станції.

Предмет дослідження – системи автоматичного керування технологічним процесом компримування природного газу у дотискній компресорній станції, включаючи моделі процесу як об'єкту керування.

Методи дослідження:

Основним використаним методом є діалектичний.

Також використано такі методи:

– аналіз, синтез, індукція, дедукція, спостереження, експеримент, вимір;
– загальної теорії систем, зокрема їх функціонально-структурного аналізу;

– програмно-технічного синтезу комп'ютерних систем, що інформаційно-управляють, і комп'ютерної обробки зображень;

– планування і проведення натурних експериментів, обробки їх результатів і ідентифікації моделей ОК;

– теорії автоматичного управління і її підрозділів - статистичній теорії автоматичних систем, теорії систем із запізнюванням, теорії систем гарантуючого управління, теорії цифрових систем управління ;

Основним експериментальним методом обрано імітаційне моделювання систем керування .

Наукова новизна отриманих результатів :

уперше обгрунтовані:

– альтернативні варіанти алгоритмів гарантуючого керування;
– система гарантуючого управління режимами компримування природного газу у дотискній компресорній станції;

– система керування з нейронним регулятором для процесу компримування природного газу у дотискній компресорній станції;

– функціонально-повна цифрова імітаційна модель процесу компримування природного газу у дотискній компресорній станції;

– САК підвищеної динамічної точності шляхом забезпечення інваріантності тиску газу до контрольованих збурень.

– загальна концепція побудови ефективної САК процесом компримування природного газу у дотискній компресорній станції, включаючи концептуальну модель ОК і варіанти функціональної структури її пристрою, що управляє, яка дозволяє розробляти такі САК для дотискної компресорної станції з різним набором доступних для безперервної зміни керівних дій і джерел безперервної інформації про показники якості природного газу;

уперше розроблені:

– імітаційна ММ процесу компримування природного газу у дотискній компресорній станції, така, що адекватно описує динаміку каналів регулювання, яка дозволяє при розробці САК дотискної компресорної станції проводити комп'ютерні експерименти по відладці і параметричній оптимізації

алгоритмів управління і по порівняльному аналізу її варіантів;

– імітаційна модель системи гарантуючого керування тиску газу після дроселювання, яка дозволяє вести процес при максимально допустимому тиску газу, гарантуючи при цьому максимальну ефективність процесу компримування природного газу у дотискній компресорній станції, і мінімізацію питомих енерговитрат на ведення процесу;

отримали подальший розвиток алгоритми регулювання процесу компримування природного газу у дотискній компресорній станції у напрямі підвищення запасу стійкості (робастності) цієї підсистеми в просторі параметрів ОК при збереженні її динамічної точності, який дозволяє забезпечити стійке керування процесом пастеризації яблучного соку при змінах в широких діапазонах властивостей навколишнього середовища і властивостей об'єкта.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

– підвищенні продуктивності і енергетичної ефективності процесів компримування природного газу у дотискній компресорній станції, підвищенні і стабілізації якості процесу компримування природного газу у дотискній компресорній станції, гарантованому відвертанні аварійних ситуацій, пов'язаних з порушенням обмежень на регламентовані змінні, зокрема на кількість пастеризаційних одиниць;

– можливості застосування розроблених і апробованих підходів до створення САК, включаючи їх функціональний склад, структури і алгоритми підсистем, для підвищення енергетичної ефективності на основі гарантуючого управління процесом компримування природного газу у дотискній компресорній станції;

– одержана імітаційна модель процесу компримування природного газу у дотискній компресорній станції, може використовуватись для попередньої оцінки ефективності процесу пастеризації, а також, як тренажер для підготовки оперативного персоналу, який обслуговує пастеризатори.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем вищої освіти зроблено таке.

Аналіз технологічного процесу компримування природного газу у дотискній компресорній станції, дозволив розкрити його суть та побудувати параметризовану технологічну схему, яка вміщує властивості вхідних та вихідних сировинних та енергетичних потоків.

Аналіз параметризованої схеми дозволив виділити серед всіх параметрів потоків групи сировинних, енергетичних та механічних вхідних параметрів та регламентованих, експлуатаційних, техніко-економічних вихідних параметрів і побудувати параметричну схему. На параметричній схемі було виділено основні регламентні параметри та відповідні керуючі впливи та побудовано структурну схему процесу компримування природного газу у дотискній компресорній станції, як об'єкту керування.

Структурна та параметрична ідентифікація каналів об'єкта керування, дозволила отримати математичні моделі об'єкта керування, за допомогою яких було одержано ПІ та ПІД алгоритми регулювання. Параметрична оптимізація алгоритмів дозволила одержати оптимальні параметри налагодження регуляторів. На підставі замкненого принципу регулювання для основних регульованих параметрів було побудовано САР базової структури. Її аналіз показав низьку динамічну точність в наслідок шкідливого впливу контрольованих збурень на контур тиску газу після дроселювання. Для усунення цього недоліка було побудовано САР підвищеної динамічної точності шляхом забезпечення інваріантності контуру тиску газу після дроселювання до контрольованих збурень. Порівняльний аналіз САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності показав підвищення інтегральних показників якості. Розроблені алгоритми пуску-зупинки системи врахували умови початкового стану та ведення процесу. Розроблено АРМ оператора-технолога і наладчика САУ в SCADA-системі. Складена в середовищі Step7 програма керування процесом, та реалізована на її основі SCADA-система в середовищі WinCC flexible для АРМ оператора-технолога і наладчика САК дозволяє в режимі реального часу стежити за ходом

технологічного процесу, та за необхідності впливати на нього. Обрані технічні засоби забезпечують належне та високоякісне керування процесом компримування природного газу у дотискній компресорній станції та відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Розроблений варіант комплексу технічної документації САК: схема автоматизації; принципова електрична схема контролю та керування; принципова електрична схема живлення; загальний вид щита оператора; монтажна схема щита оператора; схема зовнішніх проводок на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-300, задовольняє вимоги замовника САК. Розглянуті питання економічної ефективності запропонованого рішення та питання з охорони праці дозволили зробити обґрунтування та висновки щодо інвестиційно привабливості розробки проекту.

В пошуках більш ефективних систем автоматичного керування розроблено модель САК з нечітким регулятором з алгоритмом Сугено 0 порядку. Порівняльний аналіз САК з нечітким регулятором з алгоритмом Сугено 0 порядку та САК з традиційним ПД- регулятором показав, що за якістю регулювання вони функціонують практично ідентично.

Розроблено модель системи керування з нейронним регулятором. Порівняльний аналіз САК з нейронним регулятором та САК з традиційним ПД- регулятором показав, що за якістю регулювання вони функціонують практично ідентично.

Для підвищення якості керування процесом компримування природного газу у дотискній компресорній станції, побудована система гарантуючого керування. В якості регульованої координати обрано тиск газу після дроселювання.

Апробація результатів випускної роботи магістра. Основні положення і результати роботи доповідалися і обговорювалися на науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти ОНАХТ (2022).

Структура і обсяг роботи. Випускна робота магістра складається зі вступу, основної частини, що включає 5 розділів, висновків, списку

використаних джерел з 26 найменувань і _ додатків. Загальний обсяг роботи - 157 сторінок. Основна частина складає 157 сторінок, включаючи 126 рисунків і 12 таблиць.

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС КОМПРИМУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ДОТИСКНІЙ КОМПРЕСОРНІЙ СТАНЦІЇ І ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

1.1. Короткий опис технологічного процесу компримування природного газу на дотискній компресорній станції та основного обладнання.

Установка комплексної підготовки газу (УКПГ) призначена для: збору продукції газоконденсатних свердловин з газоконденсатного родовища; підготовки природного газу до транспортування в магістральний газопровід; компримування природного газу на дотискній компресорній станції та транспортування зкомпримованого газу споживачу; підготовки та стабілізації газового конденсату для перевезення автомобільним транспортом.

До складу УКПГ входять:

- блок попереднього очищення (сепарації), що забезпечує відділення від газу крапельної вологи, рідких вуглеводнів і механічних домішок. До складу блоку входять сепаратори і фільтр-сепаратори;
- технологічні установки очищення, осушення і охолодження газу. На газоконденсатних родовищах осушка і виділення легкоконденсівних вуглеводнів здійснюються шляхом низькотемпературної сепарації, низькотемпературної абсорбції або низькотемпературної масляної абсорбції;
- дотискні компресорні станції, що забезпечують робочі параметри технології промислової підготовки газу, підтримують тиск подачі газу в магістральний газопровід. Вони розташовуються перед або після установок технологічної підготовки газу. Для зниження температури компримованого газу після дотискної станції встановлюються апарати повітряного охолодження;
- допоміжні системи виробничого призначення (операційні майданчики з установками засобів зв'язку, електро-, тепло- і водопостачання, електрохімічного захисту, пожежогасіння, резервуарний парк зберігання).

Для газу, що подається в магістральні газопроводи, головним показником якості є точка роси (по волозі і вуглеводнях). Для холодної кліматичної зони точка роси по волозі не повинна перевищувати -20°C , по вуглеводнях — не вище -10°C . Крім цього регламентуються такі споживчі властивості газу, як теплота згоряння і допустимий вміст сірчистих сполук.

При використанні конденсату як газомоторного палива для автомобільного транспорту головним показником якості є розрахункове октанове число, що характеризує здатність палива забезпечити бездетонаційну роботу двигунів.

Газ, отриманий в результаті технологічного процесу, направляється на вузол комерційного обліку і далі в газопровід. Конденсат, після стабілізації до атмосферного тиску і відділення від води, відвантажується з ємностей конденсатного парку в автоцистерни. Супутня пластова вода, що виділилась з конденсату, направляється в ємності для зберігання.

Як об'єкт дослідження системи автоматизації було обрано дотискна компресорна станція.

Суть технологічного процесу – це цілеспрямоване перетворення матеріальних і енергетичних потоків у спеціальному технологічному устаткуванні. Для компримування (підвищення тиску з допомогою компресора) природного газу з свердловин призначена дотискна компресорна станція (ДКС), яка складається з вхідного сепаратора С-0-2 та дотискних компресорів КД-1, КД-2, а також вихідного сепаратора С-0 (рис. 1.2).

Газоводоконденсатна суміш (ГВКС) із свердловин після вузла входу з тиском $0,5...4,5$ МПа та температурою $+10...+30$ оС надходить в вхідний сепаратор С-0-2, де відбувається відділення рідини від газу. Відсепарована рідина, з сепараторів С-0-2, продувається в розділювачі в залежності від вхідних робочих тисків ДКС.

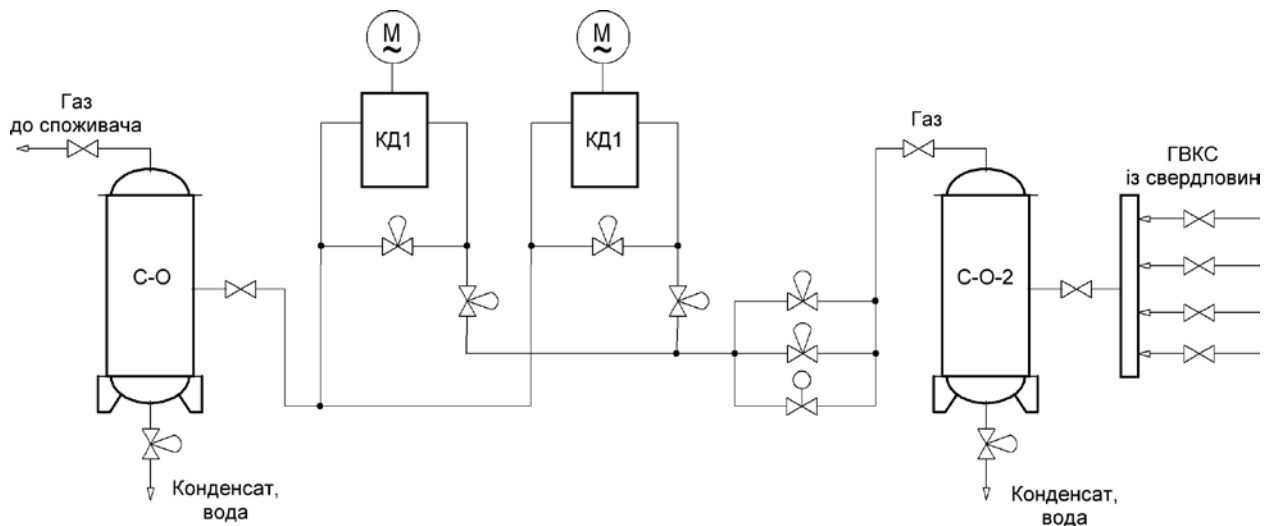


Рис. 1.2 – Технологічна схема дотискної компресорної станції.

Технологічною схемою також передбачено можливість використання сепаратора С-0 в якості вхідного сепаратора ДКС.

Газ із сепаратора С-0-2 з тиском 0,5...4,5 МПа та температурою +10...+30 оС надходить на вузол дроселювання газу, розташований перед дотискними компресорами. Вузол дроселювання газу складається з трьох паралельно розташованих ліній:

- з автоматичним регулюючим клапаном Ду200 мм;
- з автоматичним регулюючим клапаном Ду80 мм;
- з повнопрохідним байпасним краном Ду250 мм
- з електроприводом.

На вузлі дроселювання тиск газу знижується до 2,5 МПа і надходить у вхідний колектор ДКС Ду400 мм. При зниженні робочих тисків на вході ДКС нижче тиску 2,5 МПа, робота вузла дроселювання газу, відбувається по байпасній лінії. З вхідного колектору Ду400 мм природний газ надходить на вхід триступневих дотискних компресорів КД-1, КД-2, КД-3 марки Ariel JGD/4 з електричним приводом Siemens потужністю 1700 кВт, які працюють паралельно. Кожний дотискний компресор обладнаний вхідним регулятором тиску, для підтримання необхідного тиску на вході.

Далі зкомпримований газ по вихідному колектору Ду250 надходить на вузол обліку газу ДКС, звідки направляється споживачу. Також технологічною схемою передбачена можливість направлення зкомпримованого газу після вузла обліку ДКС на вхід сепаратора С-0, для додаткового очищення перед подачею його споживачеві.

Для запобігання утворенню гідратів, перед вузлом дроселювання газу, передбачена можливість здійснювати подачу інгібітору гідратоутворення з технологічної насосної УКПГ.

Великі середньошвидкісні поршневі компресори корпорації Аріель (США) роздільного типу є кращими при виборі установок для видобутку сировини, транспортування, зберігання, дожиму паливного газу та ін. Моделі JGK і JGT (рис. 1.3) мають однакові установки, однак JGT відзначається більшою швидкістю обертання (1500 об / хв проти 1200 об / хв), і більш коротким ходом поршня (114 мм проти 140 мм) в порівнянні з JGK. Для обох компресорів доступний великий вибір циліндрів.



Рис. 1.3 – Зовнішній вигляд поршневого компресора JGT/4

Переваги компресорів Ariel в порівнянні з конкурентами:

- відсутність водяного охолодження;
- зручність обслуговування;
- можливість стиснення газів з високим вмістом сірководню;
- жорстка рама;

- високоміцні болтові з'єднання.

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

- кількість виробленого в одиницю часу продукту не повинно бути меншим встановленої межі;
- втрати сировини та (або) продукту не повинні перевищувати нормативних значень;
- питомі, тобто на одиницю продукції, витрати енергії на процес не повинні перевищувати нормативних значень;
- режими роботи технологічного обладнання не повинні виходити за гранично-припустимі;
- шкідливий вплив технологічного процесу на людину та навколишнє середовище не повинен перевищувати нормативних значень;
- порушення режимів ведення технологічного процесу та роботи обладнання, що приводять до аварійних ситуацій, переростання яких в аварію приводить до істотних економічних втрат або навіть до катастрофічних наслідків, повинні бути досить рідкісними подіями та повинні бути передбачені заходи щодо запобігання переростання аварійних ситуацій в аварію.

Технологічний процес компримування газу доцільно реалізовувати, якщо забезпечуються:

- продуктивність не менше 30000 м³/год;
- напруга мережі 380 В ± 10%;
- споживана активна потужність електропроводу 1700 кВт;

Технологічний процес компримування газу неперервний, тому продуктивність компресорів має бути стабільною.

Умовою їх безперебійної і стабільної роботи є підтримка значення тиску в трубопроводі в заданому діапазоні, а саме: не нижче 1.7 МПа з боку входу в вузол дроселювання газу і не перевищувало 3 МПа з боку виходу із вузла.

Технологічна схема є графічним відображенням руху і перетворення матеріальних та енергетичних потоків. Кожен потік і процес перетворення його механічних, фізичних, хімічних і біологічних властивостей характеризується набором параметрів, які відображають їх властивості та умови перетворення потоків. Їх нанесення на схему технологічного процесу і є її параметризацією.

Проведемо параметризацію технологічної схеми компримування газу.

Результати параметризації наведені на рис. 1.4.

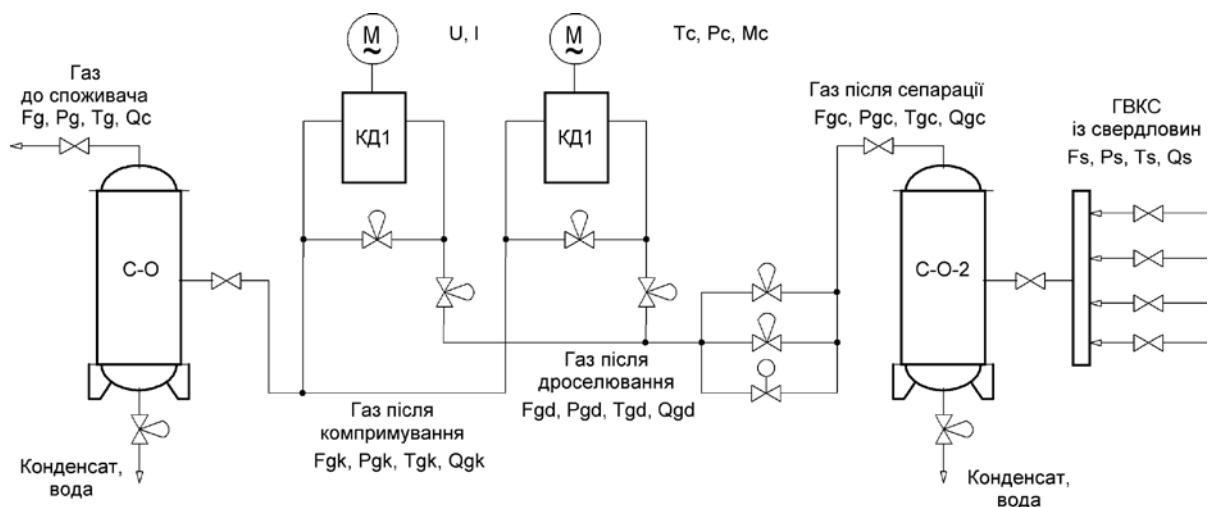


Рис. 1.4 – Параметризована схема процесу компримування газу

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

F_s, P_s, T_s, Q_s – витрати, тиск, температури і якісний склад суміші із свердловин;

$F_{gc}, P_{gc}, T_{gc}, Q_{gc}$ – витрати, тиск, температури і якісний склад газу після сепарації;

$F_{gd}, P_{gd}, T_{gd}, Q_{gd}$ – витрати, тиск, температури і якісний склад газу після дроселювання;

F_{gk} , P_{gk} , T_{gk} , Q_{gk} – витрати, тиск, температури і якісний склад газу після компримування;

F_g , P_c , T_g , Q_g – витрати, тиск, температури і якісний склад газу до споживача;

T_c , P_c , M_c – температура, тиск і вологість повітря;

Q_T – знос механічних частин компресора та відкладання на стінках трубопроводів;

U , I – параметри живлення двигунів електроприводів (ПЕД).

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

Основу нормативів складають три основних регламенти.

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 компримування газу таким параметром є: P_{gd} – тиск газу після дроселювання.

Експлуатаційна регламент - визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів цього технологічного обладнання. Для технологічного процесу компримування газу таким параметром є: I – струм живлення двигунів електроприводів.

Техніко-економічний та екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу та його екологічності. Він являє собою набір номінальних або гранично-допустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести: F_g / F_s – відносні вихід газу; Q_g – якісний склад газу до споживача; I / F_g – відносний струм навантаження ПЕД.

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, які викликаються зміною параметрів, що характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному управлінні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски. Залежно від наслідків, можна виділити два характерних типи таких порушень:

а) технологічний процес не припиняється, вихід за допуски ліквідується з плином часу, наприклад, за рахунок управління процесом;

б) технологічний процес припиняється повністю або частково, для його поновлення часто необхідна підготовка обладнання до повторного запуску (видалення сировини з машин, чистка робочих органів, їх заміна і т.д.).

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято поділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі і короткочасні відхилення.

Тривало допустимі відхилення визначають зону незначущих для даного процесу відхилень (ЗНВ) розглянутого параметра. У середині цієї зони значення параметра можна вважати приблизно рівним нормативному, тому відхилення, що не виходять з ЗНВ, можна не усувати.

Короткочасні допустимі відхилення параметрів перевищують їх ЗНО та призводять до зниження ефективності процесу, тому вони допустимі лише обмежений час, який задається і входить до регламенту. Вихід параметрів за зону короткочасно допустимих відхилень свідчить про порушення в технологічному процесі або в експлуатації обладнання, які можуть призвести до аварії.

Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів 1.1.

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

| № | Найменування параметрів | Позн. | Одиниця виміру | Номинальне значення | Допустимі відхилення від номіналу | | |
|---|------------------------------|-------|----------------|---------------------|-----------------------------------|--------------|--------|
| | | | | | Тривалі | Короткочасні | Час, с |
| 1 | Тиск газу після дроселювання | Pgd | МПа | 2,0 | ±0,03 | ±0,015 | 15 |

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних внаслідок зміни умов, в яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо: F_s , P_s , T_s , Q_s – витрати, тиск, температури і якісний склад суміші із свердловин.

Енергетичні параметри характеризують енергію, яка підводиться до технологічного устаткування ззовні і витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо: U – параметри живлення двигунів електроприводів.

Механічні параметри технологічного обладнання характеризують стан його робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо: Q_T – знос механічних частин компресора та відкладання на стінках трубопроводів.

Параметризована схема ТП має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами ТП досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми ТП. При цьому ті параметри, які відображають мету функціонування об'єкту моделювання та додаткових вимог до нього, тобто регламентовані параметри будуть вихідними, а параметри, що відображають умови функціонування об'єкту - вхідними.

Параметрична схема процесу компримування газу наведена на рис. 1.5.

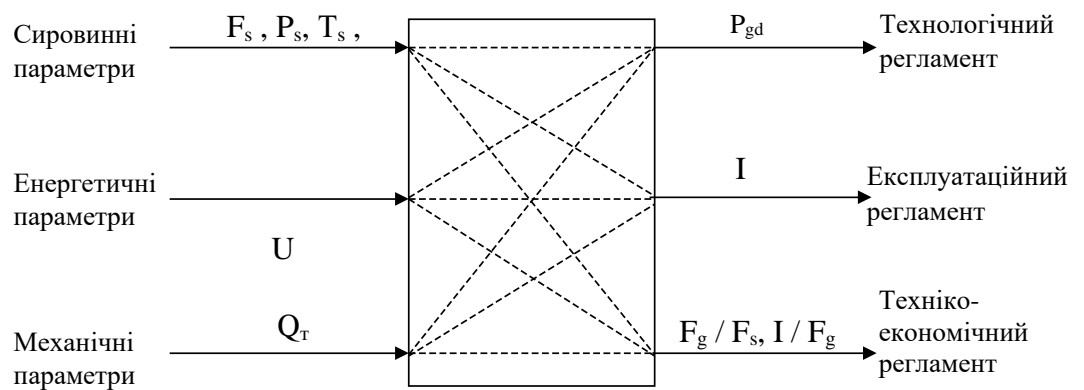


Рис. 1.5 – Формалізована параметрична схема процесу компримування газу

1.3. Аналіз існуючих САК технологічним процесом компримування природного газу на дотискній компресорній станції.

Для регулювання тиску при компримуванні природного газу на дотискній компресорній станції зараз використовуються застарілі методи найчастіше з використанням регуляторів прямої дії які забезпечують низьку статичну та динамічну точність регулювання. Застаріле технічне устаткування та недостатній рівень автоматизації на ділянці ще більш погіршують ситуацію. Одним з таких факторів являється досить неекономічне використання такого енергетичного ресурсу як електроенергія.

Сучасний напрямок розробки алгоритмів оптимального керування процесом компримування природного газу пов'язаний з розробкою алгоритмів які враховують технічний стан газоперекачувальних агрегатів (ГПА) [1,2]. Так у роботі [2] М.І. Горбійчуком та іншими авторами запропоновано технічний стан газоперекачувальних агрегатів оцінювати за допомогою певного рейтингу, в основі якого лежить відносний показник технічного стану ГПА. Задачу оптимального керування роботою компресорної станції сформульовано з врахуванням відносного показника технічного стану кожного агрегату, що дає змогу забезпечити мінімальні енергетичні витрати

на компримування природного газу, враховуючи як технологічні обмеження, так і технічний стан кожного агрегату. На основі аналізу методів оптимізації показано, що отриману задачу найбільш раціонально розв'язати методом сепарабельного програмування.

У сучасних умовах залишається актуальним підвищення динамічної точності систем регулювання тиску при компримуванні природного газу на дотискній компресорній станції з подальшим розширенням функцій які реалізує система для зменшення витрат електричної енергії в процесі компримуванні природного газу.

1.4. Комплекс математичних моделей технологічного процесу компримування природного газу на дотискній компресорній станції.

Структурна схема ОУ по суті справи є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОУ. Структурна схема процесу компримування газу приведена на рис. 1.6.

Для процесу компримування газу в якості контрольованого збурення доцільно обрати P_{gc} , – тиск газу після сепарації. Всі входні дії, крім управляючої дії і контрольованого збурення, віднесемо до неконтрольованих збурень f_n . Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до управляючих дій, а стохастичну складову – до регульованої координати.

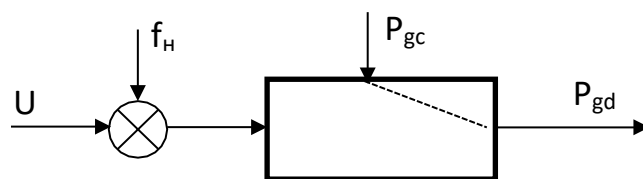


Рис. 1.6 – Структурна схема процесу компримування газу як об'єкту регулювання.

Перед початком експериментів доцільно на основі апріорних даних, виходячи з фізичної суті об'єкту, попередньо оцінити властивості каналів, моделі яких підлягають ідентифікації.

Для технологічного процесу компримування газу після нанесення збурюючих дій встановлюється динамічна рівновага регульованої змінної, тому за всіма каналами управління цей ОК має властивість самовирівнювання.

Для проведення ідентифікації моделей каналів ОК сплануємо та проведемо активний експеримент.

План активного експерименту:

1. За допомогою зміни управляючої дії домагаємося значення регульованої координати в околиці її номінального значення. Для нашого ОК значенню $U=50\%$ х.р.о. буде відповідати значення регульованої координати $P_{gd} = 2$ МПа.

2. Чекаємо закінчення перехідного процесу в каналі та настання сталого режиму, при якому вихідна змінна перестане змінюватися.

3. Змінимо управляючу дію ступінчастим чином на 10% х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідної змінної до настання нового сталого режиму.

Результати активного експерименту при зміні U $50\% \rightarrow 60\%$ х.р.о. наведені на рис. 1.7.

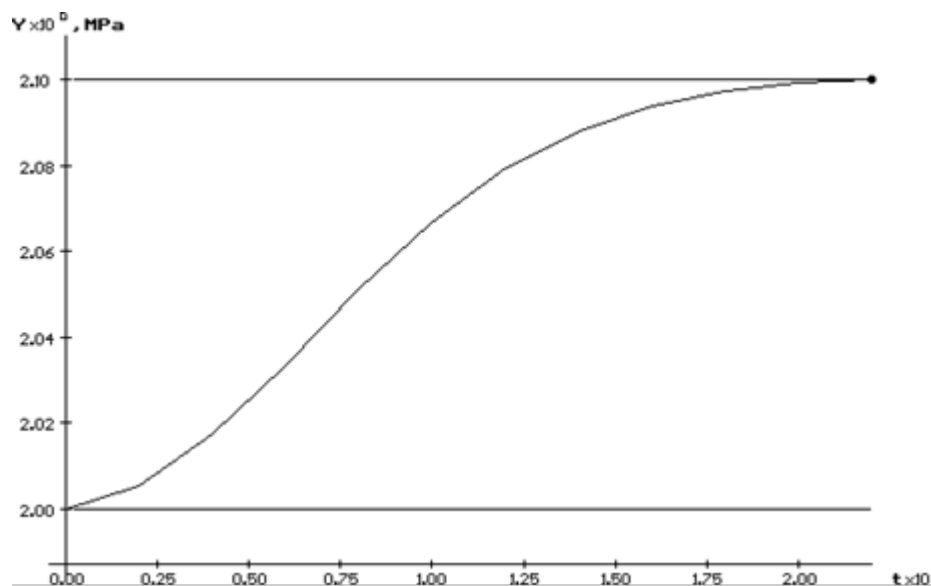


Рис. 1.7 – Результати активного експерименту за каналом $U - P_{gd}$

За результатами активних експериментів (рис. 1.7) модель каналу управління може бути описана передатними функціями першого та другого порядку:

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2}$$

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (K_0), сталу часу (T_0) і час запізнення (τ_0).

Для каналу $U - P_{gd}$:

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_0 = \Delta P_{gd} / \Delta U = 2,1 - 2/60 - 50 = 0,01 \text{ МПа/\%хро} \quad (2.2)$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”. Для їх визначення скористаємося можливостями програми IDENT. Стала часу (T_0) і час запізнення (τ_0) наведені на рисунках.

Для моделі 1-го порядку.

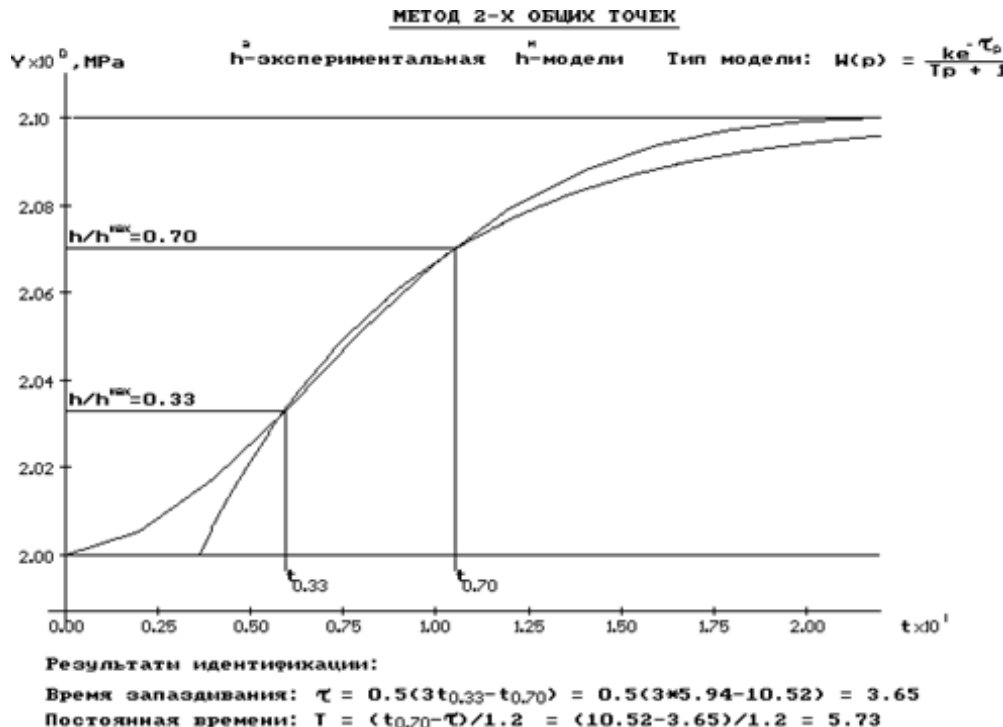


Рис. 1.8 – Параметрична ідентифікація каналу $U - P_{gd}$

Для моделі 2-го порядку.

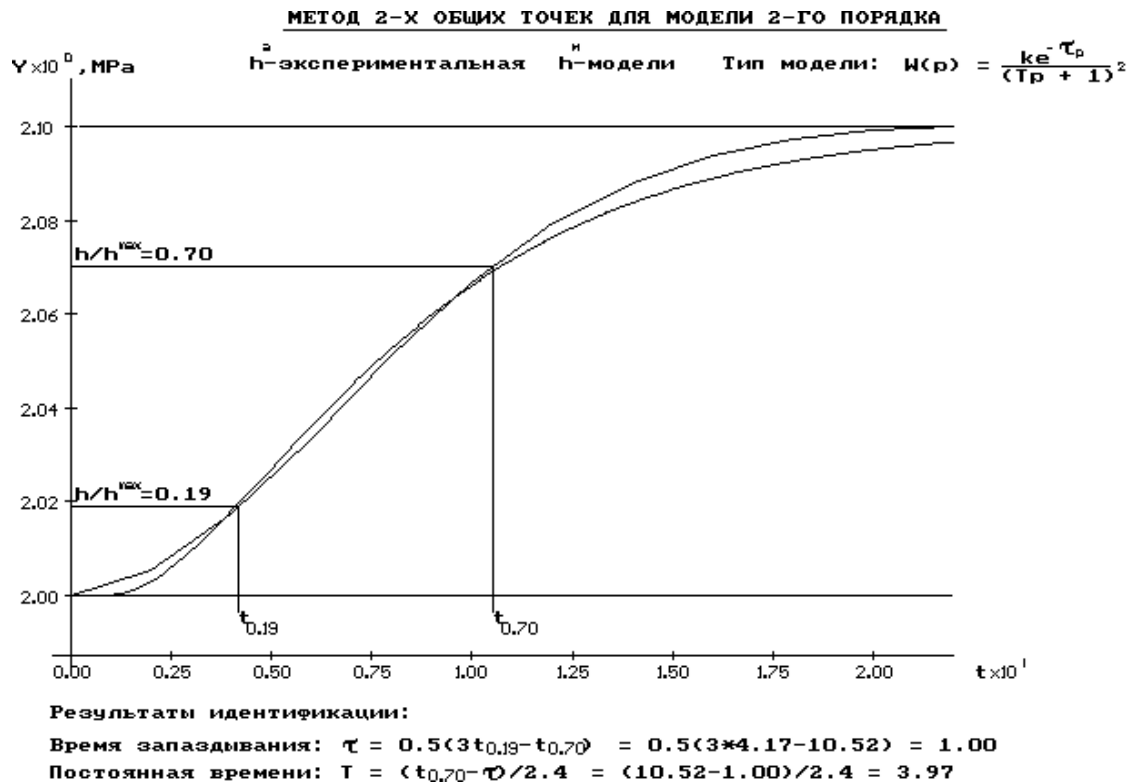


Рис. 1.9 – Параметрична ідентифікація каналу U- P_{gd}

Таблиця 1.2 – Результати ідентифікації динамічних властивостей ОК

| Канал ОК | Передатна функція 1го порядку | Передатна функція 2го порядку |
|--------------------|--|--|
| U- P _{gd} | $W(p) = \frac{0,01 * e^{-3,7p}}{5,7p + 1}$ | $W(p) = \frac{0,01 * e^{-1p}}{(4p + 1)^2}$ |

Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів контрольованих координатних збурень.

Якщо вхідні змінні ОК недоступні для цілеспрямованої зміни, то для отримання моделі ОК за такими каналами застосовні статистичні методи ідентифікації. Інформація для реалізації цих методів збирається в ході пасивного експерименту, коли на досить тривалих інтервалах часу синхронно фіксуються в часі важливі зміни вхідних і вихідних змінних каналів ОК. Статистична ідентифікація може проводитися в часовій або в частотній областях. У часовій області ідентифікується імпульсна перехідна (вагова) функція (ІПФ), а в частотній – АЧХ і ФЧХ. Найбільш розроблені методи

ідентифікації застосовні для лінійних стаціонарних ОК. У цьому випадку вхідні і вихідні змінні каналів приймаються стаціонарними та стаціонарно пов'язаними.

Оскільки можливості отримати реальні експериментальні дані немає, то з навчальною метою можна скористатися генератором даних. Для генерації результатів пасивного експерименту з метою дослідження каналу контрольованого збурення треба бути готовими до відповіді на наступні запитання:

1. Яким є мінімальне і задане значення регульованої координати P_{gd} ? Для досліджуваного ОК $P_{gd}^{MIN} = 0$ МПа; $P_{gd}^{ЗД} = 2$ МПа.

2. Яким є мінімальне та максимальне значення контрольованого збурення P_{gc} ? Для досліджуваного ОК $P_{gc}^{MIN} = 2.8$ МПа, $P_{gc}^{МАКС} = 3.2$ МПа.

3. Збільшення значення сигналу збурення приведе до збільшення регульованої змінної P_{gd} ? Для досліджуваного ОК збільшення P_{gc} приведе до збільшення P_{gd} .

4. Яким є значення та розмірність часу запізнення в каналі керування для досліджуваної регульованої координати P_{gd} ? Для досліджуваного ОК $\tau_o = 3,7$ с.

Генерацію результатів пасивного експерименту буде забезпечувати додаток rgen середовища Матлаб. Результати генерації випадкових процесів, що відповідають сигналу контрольованого збурення P_{gc} та регульованої координати P_{gd} для досліджуваного ОК наведено на рис.1.10.

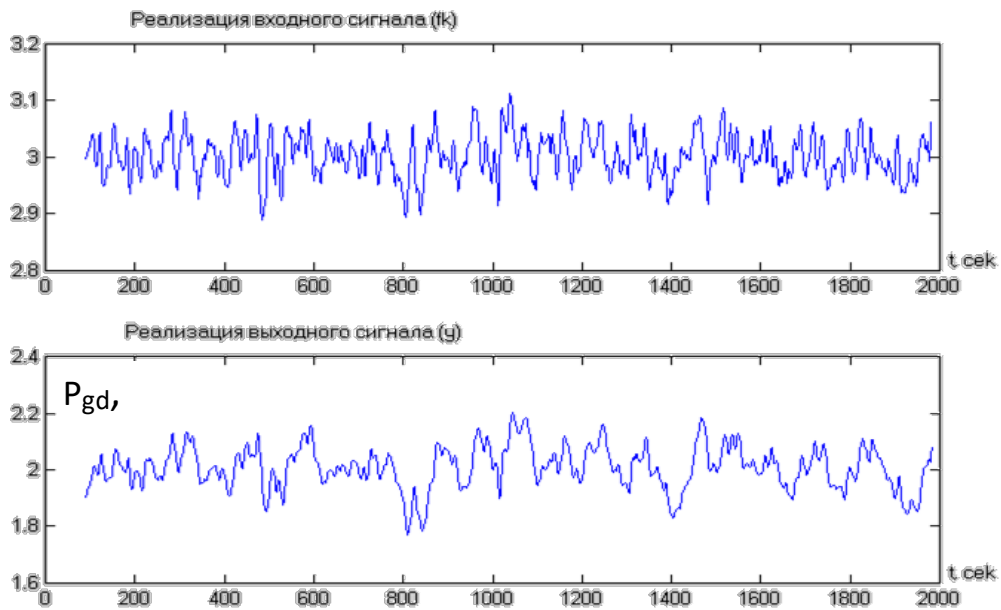


Рис. 1.10 – Результати генерації випадкових процесів, що відповідають сигналу контрольованого збурення P_{gc} та регульованої координати P_{gd} для досліджуваного ОК.

Для ідентифікації моделей каналу контрольованих збурень $P_{gc}-P_{gd}$ ОК в часовій, області будемо використовувати програму IdSoft, розроблену на кафедрі автоматизації виробничих процесів ОНАХТ для середовища Матлаб версії 5.2 .

Першим етапом ідентифікації проводиться після введення вихідних даних і зводиться до оцінювання математичних очікувань, дисперсій, середньоквадратичних періодів та кількості середньоквадратичних періодів вхідного та вихідного сигналів каналу контрольованого збурення $P_{gc}-P_{gd}$ ОК. Результати роботи програми на цьому етапі наведено на рис. 1.11.

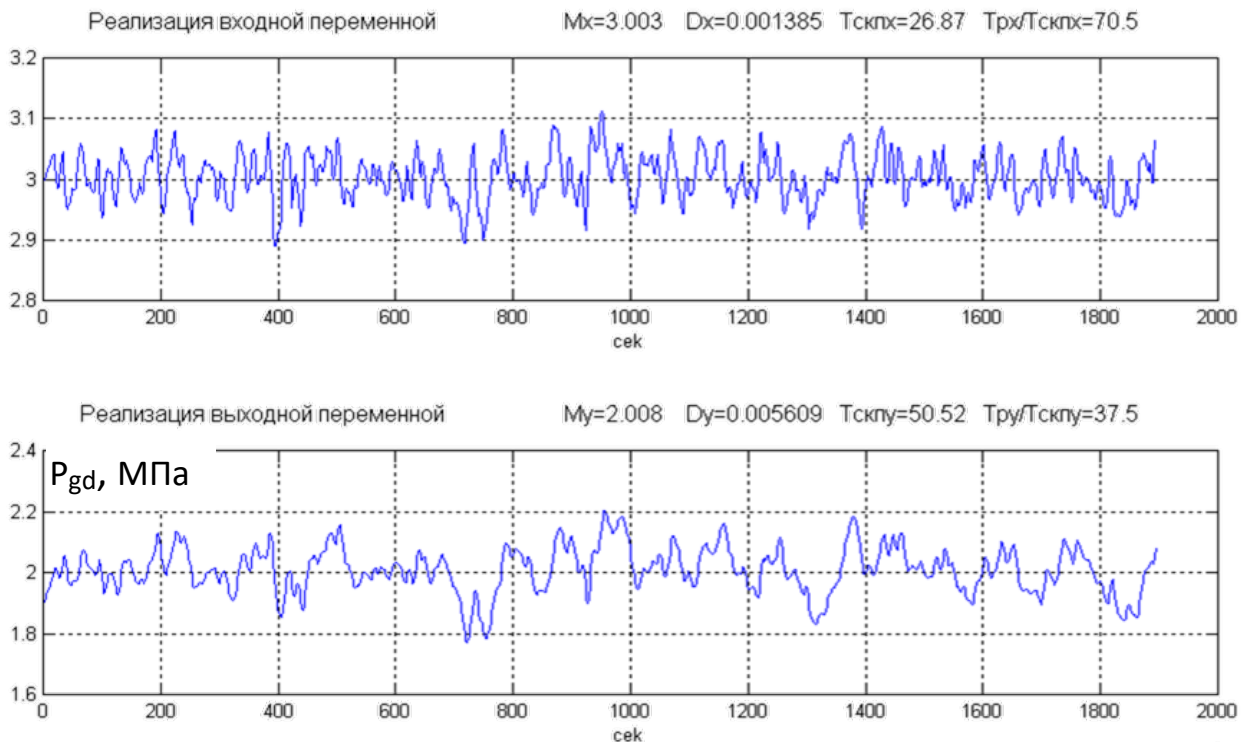


Рис. 1.11 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик вхідного та вихідного сигналів каналу контрольованого збурення P_{gc} – P_{gd} ОК.

Ідентифікацію моделі каналу ОК здійснюють в два етапи. На першому етапі за оцінкою автокореляційної функції (АКФ) вхідного сигналу проводять спрощену ідентифікацію її моделі. Структурну ідентифікацію проводять обираючи одну з двох наявних у програмі моделей АКФ, графіки якої за зовнішнім виглядом найбільш відповідають графіку оцінки АКФ. Параметричну ідентифікацію проводять з розв'язанням зворотної задачі, коли в моделі АКФ потрібно визначити значення її параметрів при яких значення моделі АКФ будуть максимально наближені до значень оцінки АКФ. Задача вирішується за допомогою оптимізації параметрів моделі АКФ за інтегральним квадратичним показником різниці між значеннями оцінки АКФ і моделі АКФ у заданому діапазоні зміни аргументу АКФ. Результати ідентифікації моделі АКФ вхідної дії наведено на рис. 1.12.

Шаг 2: Структурная и параметрическая идентификация модели автокорреляционной функции входного воздействия.

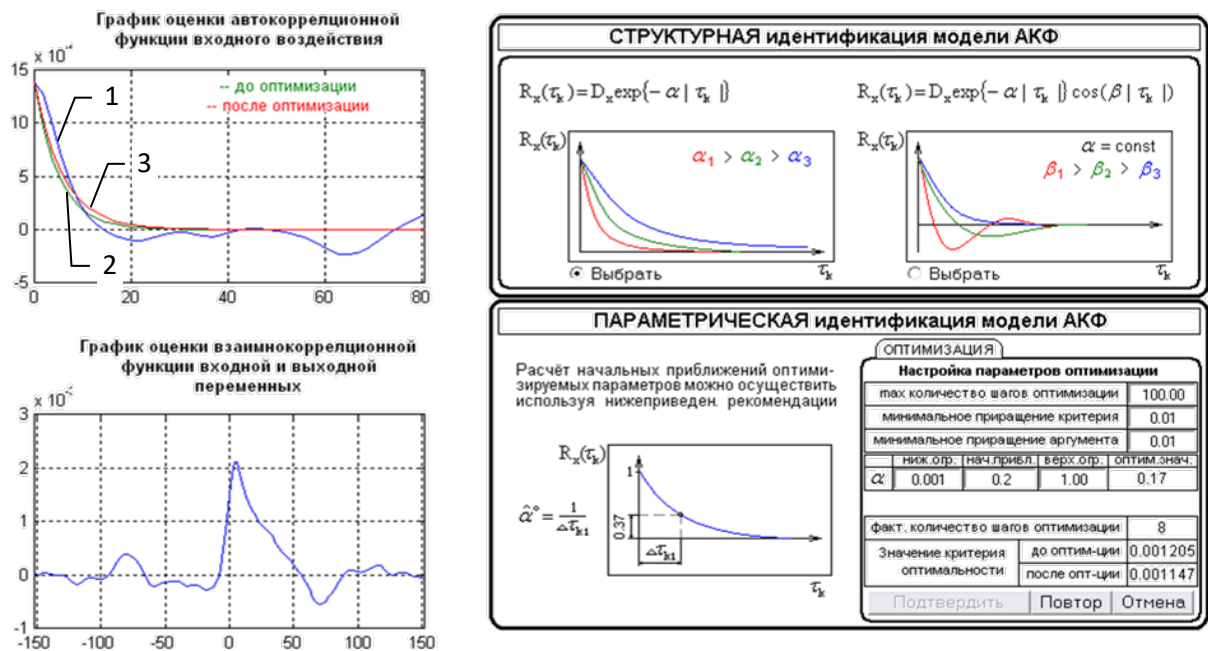


Рис. 1.12 – Результати структурної та параметричної ідентифікації моделі АКФ для вхідної дії. (1- оцінка АКФ, 2-графік моделі АКФ при початковому значенні параметру α , 3- графік моделі АКФ при оптимальному значенні параметру α).

На другому етапі ідентифікації моделей каналу контрольованого збурення за оцінкою ВКФ проводять ідентифікацію моделі каналу ОК. Структурна ідентифікація моделі зводиться до того, що за зовнішнім виглядом ВКФ роблять висновок, чи має ОК за ідентифікованим каналом властивість самовирівнювання, тобто його модель буде статичною чи астатичною. Для нашого випадку модель ОК за каналом, що ідентифікується, є статичною. А зміна максимального значення ВКФ вверх означає, що коефіцієнт передачі моделі ОК має бути додатним.

Проведемо ідентифікацію моделей 1-го та 2-го порядків. Результати ідентифікації наведено на рис. 1.13, 1.14.

У результаті ідентифікації отримано наступні моделі динаміки ОК за каналом дії контрольованих збурень.

Передаточні функції моделей 1-го та 2-го порядку ОК будуть мати вид:

$$W_0(p) = \frac{3,5 \cdot e^{-1p}}{13,8p + 1} ; \quad W_0(p) = \frac{3,2 \cdot e^{-0,5p}}{(6,3p + 1)^2}.$$

Шаг 3: Структурная и параметрическая идентификация модели исследуемого канала динамики.

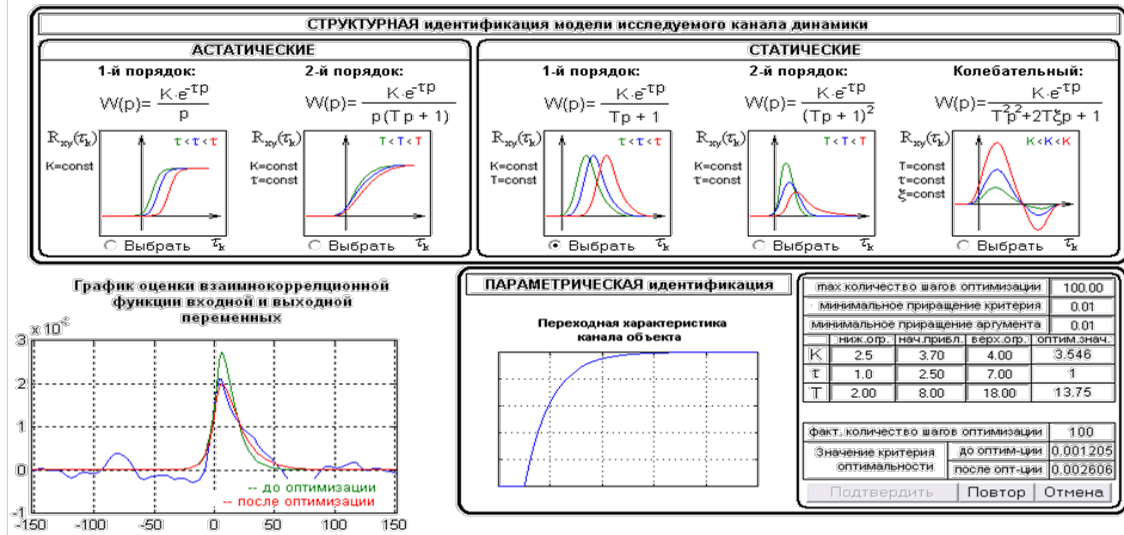


Рис. 1.13 – Результати структурної та параметричної ідентифікації моделі динаміки каналу ОК, що має статичні властивості: модель 1-го порядку.

Шаг 3: Структурная и параметрическая идентификация модели исследуемого канала динамики.

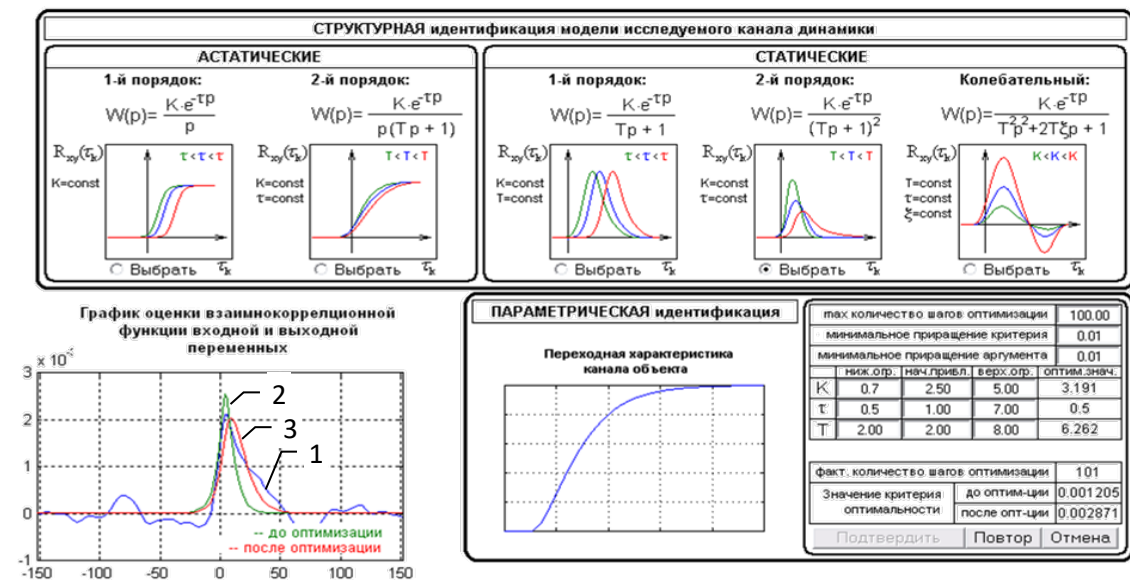


Рис. 1.14 – Результати структурної та параметричної ідентифікації моделі динаміки каналу ОК, що має статичні властивості: модель 2-го порядку.

Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відбивають взаємозв'язок між вхідними і вихідними координатами (перемінними) каналів ОК в статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних складових цих перемінних.

Для ідентифікації моделей статичних характеристик ОК сплануємо та проведемо активний експеримент.

План активного експерименту:

А. Діапазони зміни факторів в експерименті фактично визначає діапазон, де отримана модель може коректно використовуватися. Тому вони повинні відповідати реальним діапазонам зміни змінними, обумовлених факторами.

Б. Крок факторів повинен бути такими, щоб при перекритті необхідного діапазону їх зміни кількість дослідів не була б занадто великою або малою – найчастіше рекомендується 3...6 дослідів.

В. Кількість повторів (для компенсації випадкової складової) визначається інтенсивністю випадкових складових у вхідних і вихідних змінних ОК, кількістю факторів (цілеспрямовано змінюваних вхідних змінних) витратами часу та інших обставин. Кількість повторів приймається рівною 3. 5. У деяких випадках повторів можна не робити взагалі.

Г. Послідовність зміни факторів особливо при їх великій кількості доцільно вибрати такою, щоб рандомизувати експеримент, тобто додати випадкові властивості ходу експерименту. Це можна зробити за рахунок запланованої заздалегідь випадкової зміни послідовності зміни факторів і, можливо, величин їх збільшень. Така організація експерименту дозволить “не пропустити” особливостей властивостей об'єкту, що при однакових з'єднаннях факторів при повторах можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

| № пп | U, %х.р.о. | P _{gd} , МПа |
|------|------------|-----------------------|
| 1 | 20 | 1,7 |
| 2 | 30 | 1,8 |
| 3 | 40 | 1,9 |
| 4 | 50 | 2,0 |
| 5 | 60 | 2,1 |
| 6 | 70 | 2,2 |
| 7 | 80 | 2,3 |

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(x)$.

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів, який реалізований в програмі Curve Fitting Tool пакету програм Matlab.

Вводимо вихідні дані з табл. 1.3 до редактору m-файлу (рис. 2.5). Далі вони з робочої області Matlab викликаються в програмі Curve Fitting Tool і обробляються, визначаючи коефіцієнти поліноміальної моделі (рис. 1.10).

```

gaz.m
1 - U=[20 30 40 50 60 70 80]
2 - Pgd=[1.7 1.8 1.9 2.0 2.1 2.2 2.3]
3
  
```

Рис. 1.15 – Ввід вихідних даних у програму Matlab

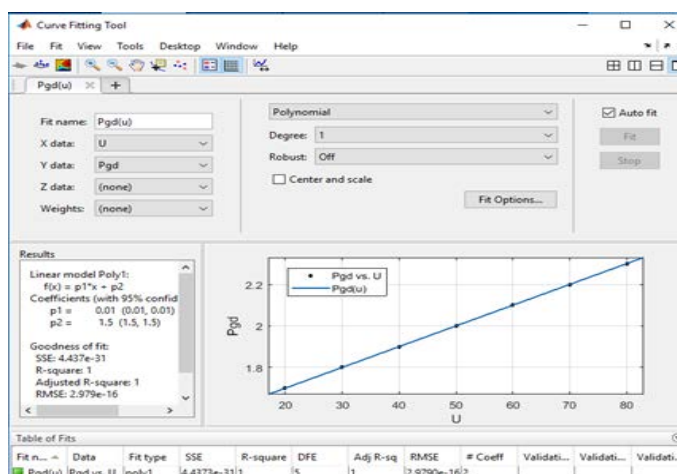


Рис. 1.16 – Результати обробки даних для визначення статичних характеристик ОК при зміні U

Для досліджуваного ОК, як видно з рис. 1.11, статична характеристики по каналу керування може бути описана лінійною залежністю виду: $P_{gd} = p_2 + p_1 \cdot U = 1,5 + 0,01 \cdot U$.

Середньоквадратична помилка RMSE відгуку отриманої моделі в порівнянні з експериментальними даними не перевищує $2,98 \cdot 10^{-16}$.

Ідентифікація моделей випадкових складових координатних збурень.

Оскільки можливості отримати реальні експериментальні дані немає, то з навчальною метою ми скористалися генератором даних. Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу контрольованого збурення P_{gc} для досліджуваного ОК наведено на рис. 1.10.

Першим етапом ідентифікації моделі контрольованих збурень є оцінювання імовірнісних характеристик відповідних випадкових процесів, а саме щільності імовірності, математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, середньоквадратичного періоду (СКП), кількості СКП у реалізації випадкового процесу, нормованої кореляційної функції і спектральної щільності випадкового процесу.

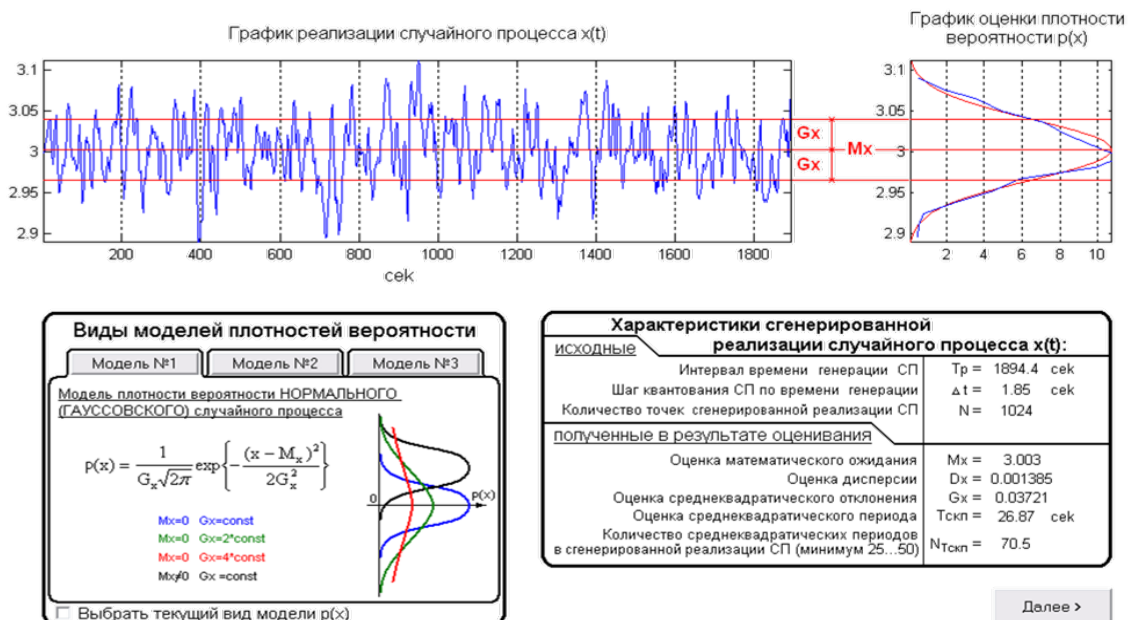


Рис. 1.17 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного контрольованому збуренню P_{gc} .

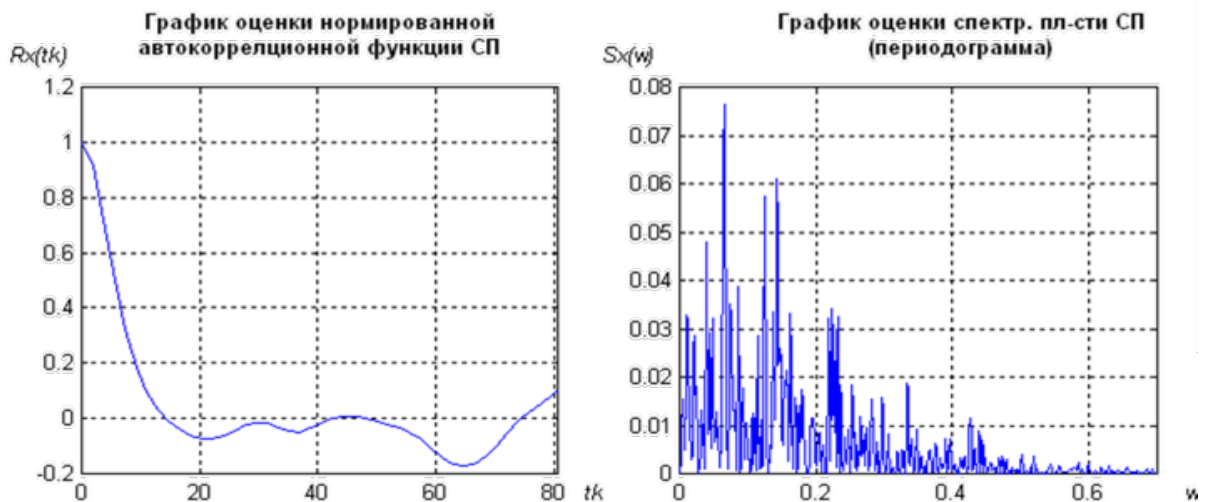


Рис. 1.18 – Результати оцінювання АКФ та спектральної щільності випадкового процесу, відповідного контрольованому збуренню $P_{гс}$.

За результатами оцінювання щільності імовірності випадкового процесу обирається його модель. В якості моделі обираємо нормальний випадковий процес:

$$p(f) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(f-m_f)^2}{2\sigma_f^2}}$$

За результатами оцінювання нормованих кореляційних функцій з набору типових вибираємо модель кореляційної функції і спектральної щільності:

Модель №3

$$R_x(\tau_k) = D_x \exp\{-\alpha |\tau_k|\} (1 + \alpha |\tau_k|)$$

$$S_x(\omega) = \frac{D_x 4\alpha^3}{(\omega^2 + \alpha^2)^2}$$

Параметрами моделей випадкових складових збурень є коефіцієнт спаду α і коефіцієнт коливальності β . Пошук значень цих параметрів і називають параметричною ідентифікацією моделі стохастичної складової збурень. Вона ведеться, як правило, у два етапи: 1) вибір початкових наближень параметрів $\hat{\alpha}^0, \hat{\beta}^0$; 2) пошук значень параметрів, які забезпечують найкраще наближення моделі до її оцінки.

При виборі початкових наближень параметрів можна користуватися рекомендаціями, які викладені в програмі. При параметричній оптимізації моделі використовується пошукова процедурами, що використовує квадратичний критерій. При цьому вирішується задача

$$\bar{\alpha}^* = \arg \min \left[\left(\hat{R}_{\bar{f}}(\tau_K) - R_{\bar{f}}^M(\tau_K) \right)^2 \right], \quad \bar{\alpha} = \{\alpha, \beta\}^T.$$

У нашому випадку в моделі присутній тільки один коефіцієнт - коефіцієнт спаду α .

Параметрична ідентифікація моделі контрольованих збурень.

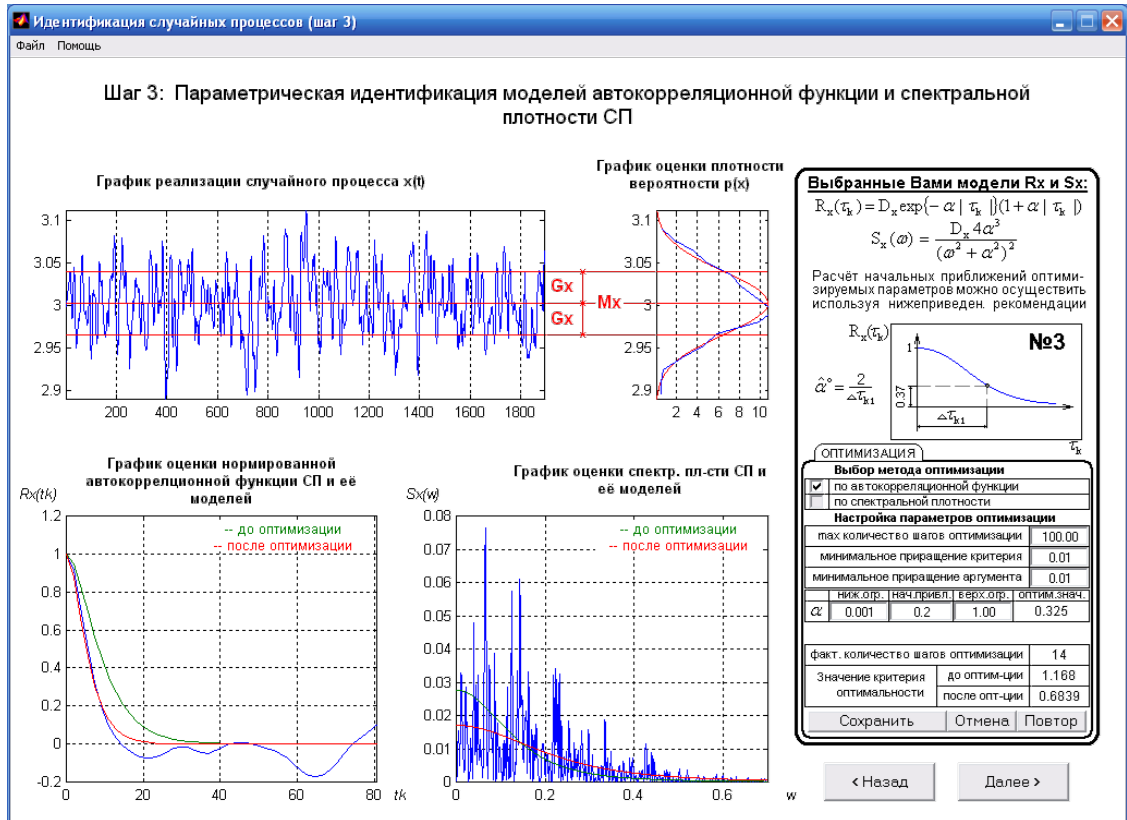


Рис. 1.19 – Результаты параметричної ідентифікації моделі №3 контрольованих збурень P_{gc} .

| Таблица результатов идентификации | | | | | | |
|-------------------------------------|----------|---------|---|---|----------|-------------------------------|
| Номер модели | α | β | A | C | γ | Значение критерия оптимизации |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 | 0.325 | - | - | - | 0.46774 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

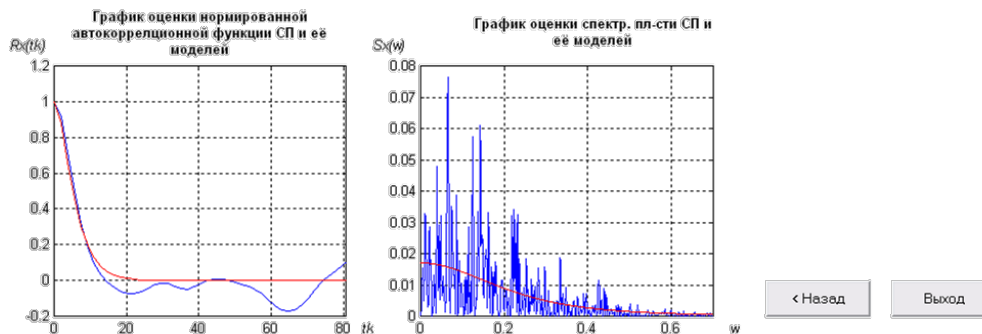


Рис. 1.20 – Підсумкові результати ідентифікації моделі контрольованих збурень P_{gc} .

Реалізації моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналу «U- Pgd» ОК розробляються схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

При моделюванні вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат з експериментальними даними. Для цього експериментальні дані попередньо готують в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table. Схеми моделювання каналів управління ОК наведені на рис. 1.21. Результати моделювання наведені на рис. 1.22.

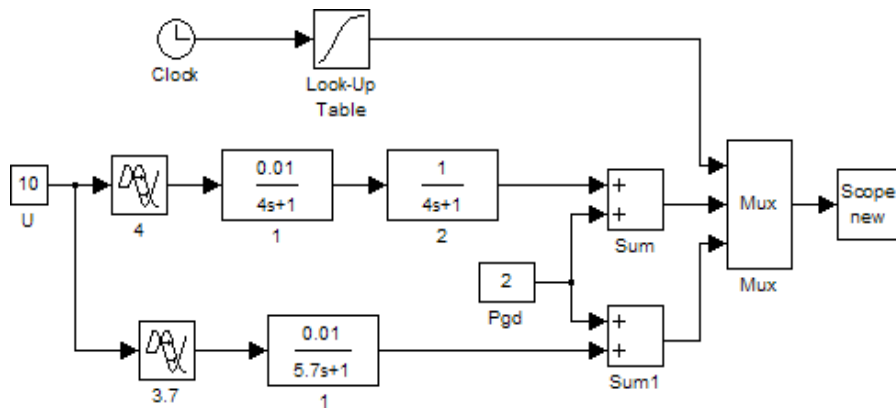


Рис. 1.21 – Схема моделювання каналу $U-P_{gd}$

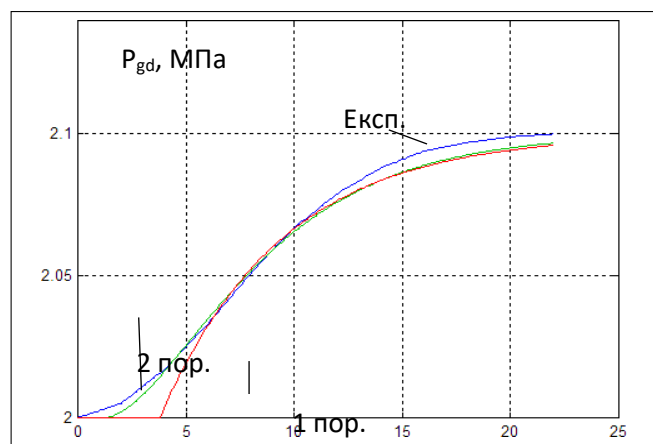


Рис. 1.22 – Результати моделювання ОК по каналу « $U-P_{gd}$ »

Як видно з рис. 1.22, моделі ОК як 1-го, так і 2-го порядків досить точно описують експериментальні дані.

Для відтворення моделі збурень як стохастичних процесів (СП) із заданими властивостями будемо використовувати метод формуючому фільтру. Його можна представити у вигляді такої структурної схеми моделювання

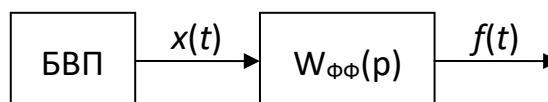


Рис. 1.23 – Структурна схема моделі СП

Для відтворення моделі стохастичного процесу із заданими властивостями спочатку треба визначити передаточну функцію формуючого фільтра $W_{\phi\phi}(p)$. Відомо, що спектральні щільності вхідного $x(t)$ і вихідного $f(t)$ сигналів взаємозалежні

$$|W_{\phi\phi}(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\phi\phi}(j\omega) \cdot W_{\phi\phi}(-j\omega)$$

Якщо випадковий процес $x(t)$ має властивості білого шуму, то його спектральна щільність $S_x(\omega) = a = \text{const}$. Вона може бути розрахована за формулою

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_2}{3},$$

де G_x - середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_2 – крок генерації випадкового процесу.

Надалі до передаточної функції формуючого фільтра підставляють формули для спектральних щільностей вхідного й вихідного сигналу.

Для моделі №3 та випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурення:

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot (1 + \alpha|\tau_k|); \quad S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha^3}{(\omega^2 + \alpha^2)^2}$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha^3}{(-(j)^2 \cdot \omega^2 + \alpha^2)^2} = \frac{D_f 4\alpha^3}{(\alpha + j\omega)^2 \cdot (\alpha - j\omega)^2} = \frac{2\alpha \cdot \sqrt{D_f \cdot \alpha}}{(\alpha + j\omega)^2} \cdot \frac{2\alpha \cdot \sqrt{D_f \cdot \alpha}}{(\alpha - j\omega)^2}$$

Бачимо, що
$$W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \alpha \sqrt{D_f \alpha}}{(\alpha + j\omega)^2}$$

А після заміни
$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \alpha \sqrt{D_f \alpha}}{(\alpha + p)^2} = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \alpha \sqrt{D_f \alpha}}{\alpha^2 \left(\frac{1}{\alpha} p + 1\right)^2} = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \sqrt{D_f \alpha}}{\alpha \left(\frac{1}{\alpha} p + 1\right)^2}.$$

Далі маємо
$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{k}{(Tp + 1)^2},$$

$$\text{де } k = \frac{2\sqrt{D_f\alpha}}{S_x(\omega)\alpha}, \quad T = \frac{1}{\alpha}.$$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання за каналом за каналом U1-Тх.возд. :

$$\alpha = 0,325; \sigma_f = 0,03721; D_f = 0.001385$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{0,03721}{2} = 0,018605$$

$$\Delta t_r = \frac{1}{(2\dots3) \cdot \alpha} = \frac{1}{(2\dots3) \cdot 0,325} = 1,3 \text{ c}$$

Виберемо крок генерації, рівним 533.

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_z}{3} = 0,018605^2 \cdot \frac{2 \cdot 1,3}{3} = 0,00028$$

$$k = \frac{2\sqrt{D_f\alpha}}{S_x(\omega)\alpha} = \frac{2 \cdot \sqrt{0.001385 \cdot 0.325}}{0,00028 \cdot 0.325} = 466,3$$

$$T = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,325} = 3,1$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра

$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{466.3}{(3,1p + 1)^2}$$

Розробку схем моделювання, генерацію випадкових складових моделей вхідних дій, параметричну ідентифікацію їх імовірнісних характеристик і підтвердження адекватності моделей проведемо у середовищі Simulink.

Сигнал контрольованих збурень P_{gc} повинен відповідати таким статистичним параметрам:

$$M_f = 3.0$$

$$\sigma_f = 0.03721$$

$$\alpha = 0.325$$

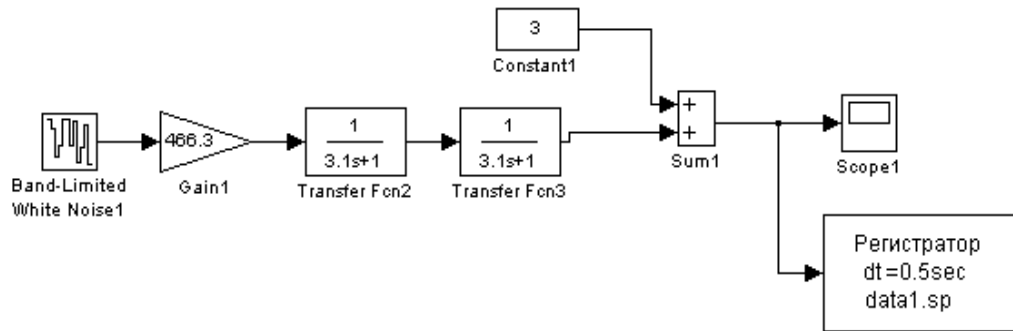


Рис. 1.24 – Схема моделювання контрольованих збурень P_{gc} із формуючим фільтром, що має не скоректовані розрахункові параметри

У параметрах блоку БСП необхідно встановити такі параметри:

$$Noise\ power = S_x(\omega) = 0.00028;$$

$$Sample\ time = \Delta t_{\Gamma} = 1.3;$$

$$Seed = 1.$$

Результати моделювання наведені на рис. 1.25. Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|2,985 - 3,003|}{2,985} \cdot 100\% = 0.6\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|2,134 - 0,03721|}{2,134} \cdot 100\% = 98.3\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,285 - 0,325|}{0,285} \cdot 100\% = 14\%$$

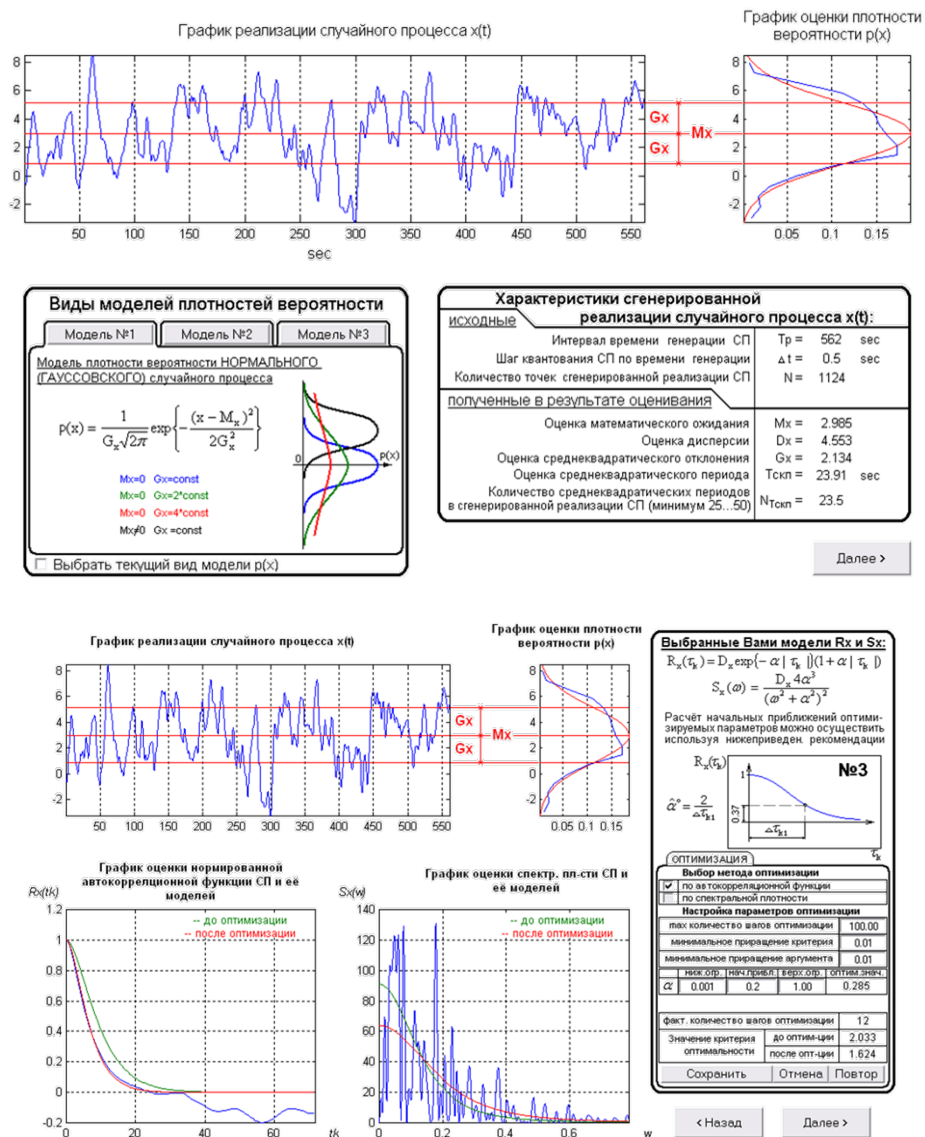


Рис. 1.25 – Результаты моделирования контролируемого збурения $P_{\text{сз}}$ з розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Похибка відтворення σ_f та $\Delta\alpha_f$ більша від 5%, а значить необхідно провести коректування параметрів формуючого фільтра. Після коректування були отримані наступні параметри формуючого фільтра: $k = 8,13$, $T=2.7\text{с}$.

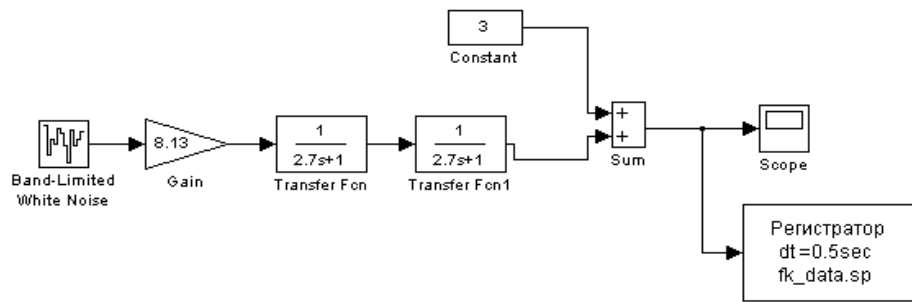


Рис. 1.26 – Схема моделювання контрольованого збурення P_{gc} з формуючим фільтром, що має скоректовані параметри.



Виды моделей плотностей вероятности

Модель №1 Модель №2 Модель №3

Модель плотности вероятности **НОРМАЛЬНОГО** (ГАУССОВСКОГО) случайного процесса

$$p(x) = \frac{1}{G_x \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x - M_x)^2}{2G_x^2}\right\}$$

$M_x=0$ $G_x=const$
 $M_x=0$ $G_x=2*const$
 $M_x=0$ $G_x=4*const$
 $M_x \neq 0$ $G_x=const$

Выбрать текущий вид модели $p(x)$

Характеристики сгенерированной реализации случайного процесса $x(t)$:

| ИСХОДНЫЕ | |
|--|-----------------------|
| Интервал времени генерации СП | $T_p = 562$ sec |
| Шаг квантования СП по времени генерации | $\Delta t = 0.5$ sec |
| Количество точек сгенерированной реализации СП | $N = 1124$ |
| ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОЦЕНКИВАНИЯ | |
| Оценка математического ожидания | $M_x = 3$ |
| Оценка дисперсии | $D_x = 0.001569$ |
| Оценка среднеквадратического отклонения | $G_x = 0.03961$ |
| Оценка среднеквадратического периода | $T_{скл} = 22.04$ sec |
| Количество среднеквадратических периодов в сгенерированной реализации СП (минимум 25...50) | $N_{Тскп} = 25.5$ |

Далее >

Рис. 1.27 – Результаты моделювання контрольованого збурення P_{gc} з скорегованими параметрами формуючого фільтра (початок).

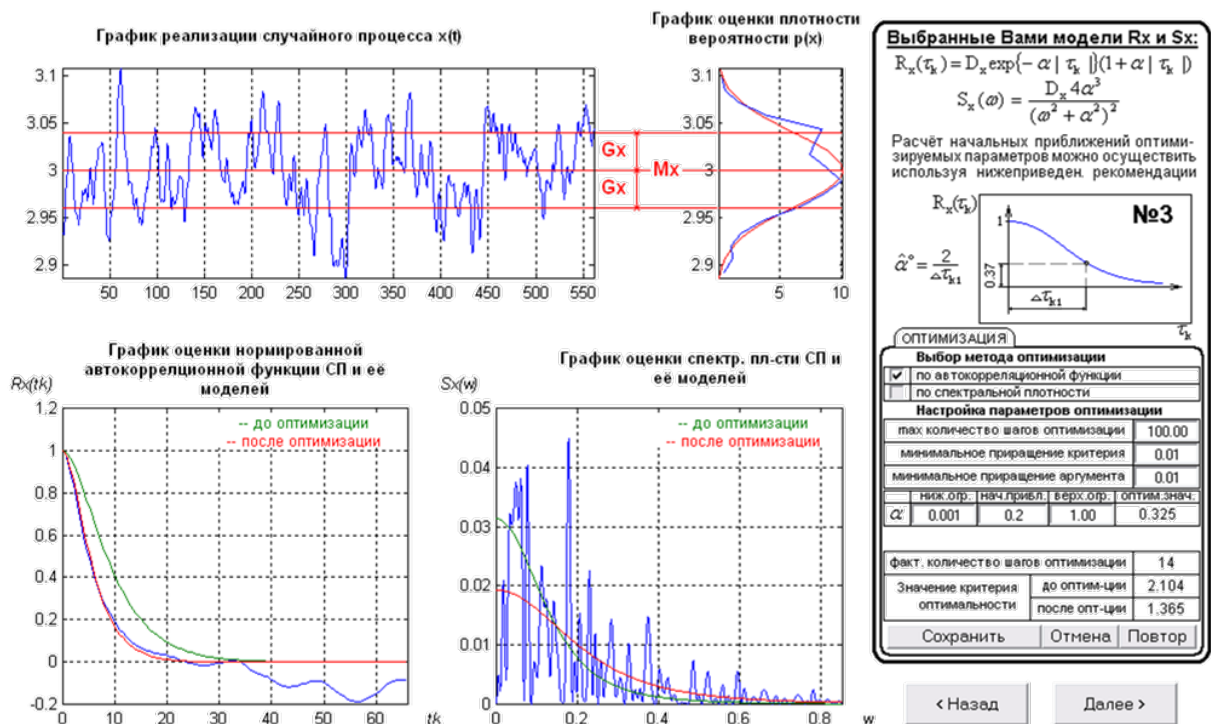


Рис. 1.28 – Результаты моделирования контролируемого збурения P_{gc} з скорегованими параметрами формующего фільтра (кінець).

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|3,0 - 3,003|}{3,0} \cdot 100\% = 0.3\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,03861 - 0,03721|}{0,03861} \cdot 100\% = 3.6\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,325 - 0,325|}{0,325} \cdot 100\% = 0\%$$

Похибка відтворення менша від 5%, а значить точність моделі контрольованих збурювань є достатньою.

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель вхідних дій. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 1.27. А результати моделювання наведено на рис. 1.28.

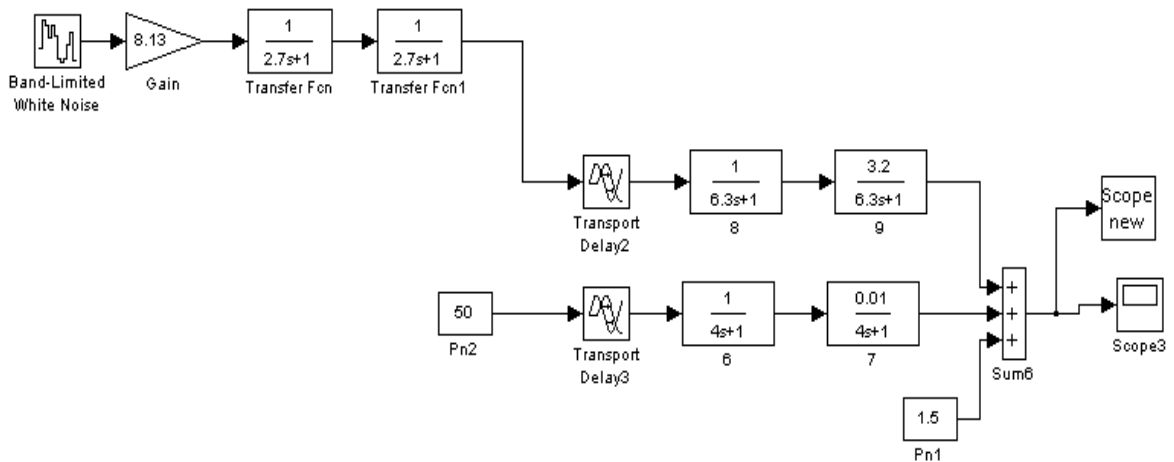


Рис. 1.29 – Схема моделювання повної моделі ОК.

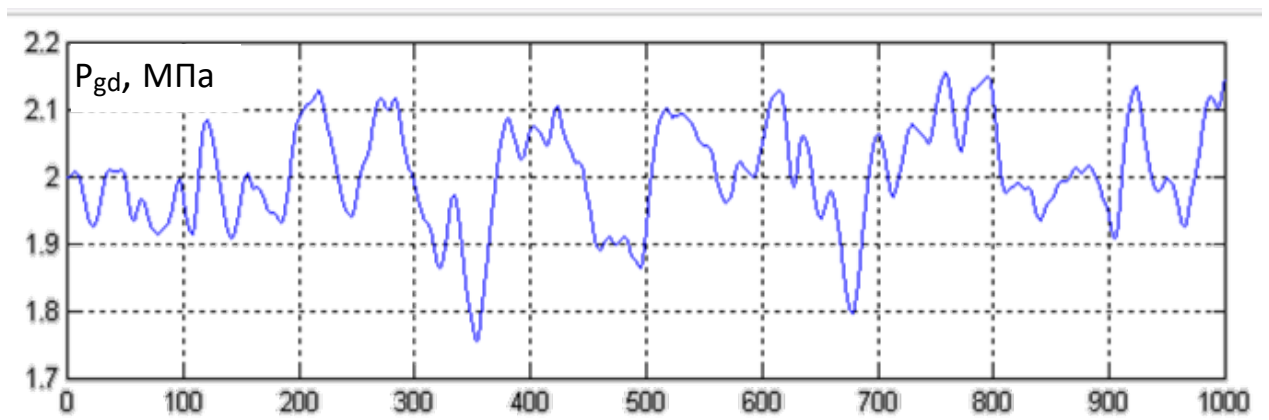


Рис. 1.30 – Результати експерименту (тиск після дроселювання) в умовах дії стохастичних контрольованих збурень

1.5. Типові структури і алгоритми САУ, що реалізують функцію регулювання, результати їх параметричної оптимізації і перевірка їх на працездатність (грубість).

Загальним завданням керування є керування матеріальними і енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети керування можна виділити приватні задачі:

- підтримання вихідних змінних об'єкта керування (P_{gd}) на їх заданих значеннях ($P_{gd} z$) - задача регулювання;
- пристосування в процесі роботи об'єкта керування до його змінних властивостей завдання - задача адаптації;
- забезпечення найкращих (оптимальних) в певному (заданому) сенсі режимів роботи об'єкта керування - задача оптимізації;
- забезпечення включення і відключення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.

Для задачі регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної і економічно доцільної реалізації технологічного процесу компримування газу необхідно регулювати тиск газу після дроселювання P_{gd} .

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів тиск газу після дроселювання повинен підтримуватися на рівні 2 МПа з точністю $\pm 0,05$ МПа. За цим параметром допустимі короткочасні відхилення до $\pm 0,1$ МПа протягом часу не більше 30 с. Регламентна зона за цим параметром приведена на рис. 5.1.

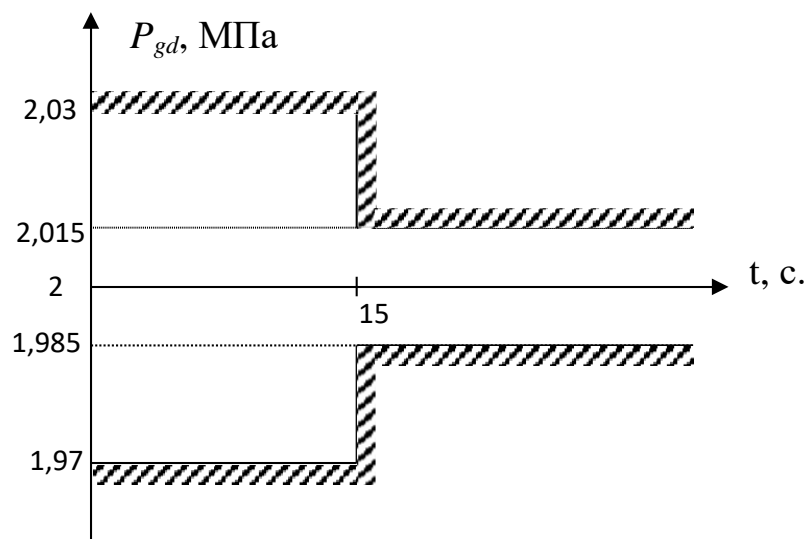


Рис. 1.31 – Регламентна зона для P_{gd} .

В якості інтегрального критерію застосуємо інтегральний модульний критерій, який дає компромісні налаштування регуляторів: з одного боку забезпечує динамічну точність, з іншого – стійкість САР. Тому ефективність роботи САР і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^T |\Delta P_{gd}(t)| dt$$

де, T – час моделювання;

$\Delta P_{gd}(t)$ – відхилення тиску газу від заданого значення.

Для САР процесу компримування газу, крім інформації про бажаний стан ОК, є інформація про поточний стан ОК. Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу достатній для реалізації замкнутого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР базової структури.

Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 1.30.

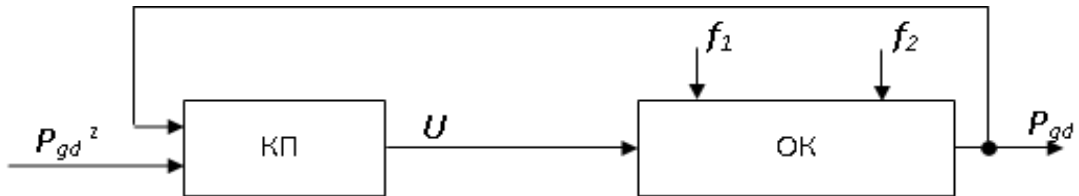


Рис. 1.32 – Структурна схема САР з замкнутим принципом керування.

Координатна схема процесу компримування газу наведена на рис. 2.1. Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 1.30), структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 1.31.

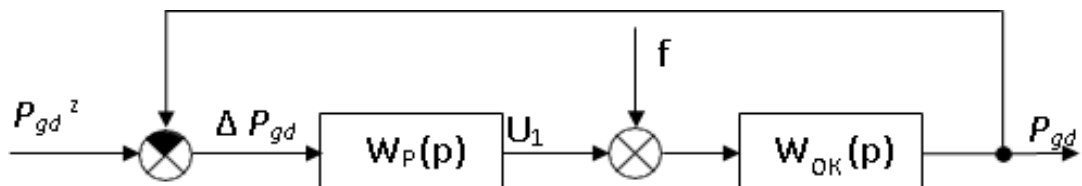


Рис. 1.33 – Структурна схема САР процесу компримування природного газу базової структури.

$W_P(p)$ – передатна функція регулятора тиску газу;

$W_{OK}(p)$ – передатна функція ОК;

P_{gd}^z – задане значення тиску;

ΔP_{gd} – помилка регулювання тиску.

f - неконтрольовані збурення.

В інженерній практиці при управлінні технологічними процесами в більшості випадків використовують типові алгоритми регулювання або регулятори. До них відносяться пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційно-диференційний (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання. Якщо ОК по каналах керування має статичні властивості, то П- і ПД-алгоритми регулювання в складі САР дають помилку статизму. При цьому найчастіше статична точність таких САР неприйнятна. І-складова усуває помилку статизму, але істотно знижує швидкодію регулювання. Якщо ОК володіє астатичними властивостями, то в САР з П- і ПД-алгоритмами регулювання помилка статизму усувається астатичною складовою самого ОК. Тому такі регулятори доцільно використовувати в об'єктах, канали яких мають астатичні властивості. Якщо канали ОК є статичними, то рекомендується використовувати алгоритми регулювання з І-складовою, тобто ПІ і ПІД-регулювання.

Передаточна функція ПІ-регулятора:

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

Передаточна функція ПІД-регулятора:

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ИЗ} p} + \frac{T_{ИД} p}{0,2 \cdot T_{ИД} p + 1} \right)$$

В результаті виконання розділу 1.4 роботи була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу компримування газу. Результати ідентифікації зведені в таблицю 1.2.

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 1.35. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 1.36.

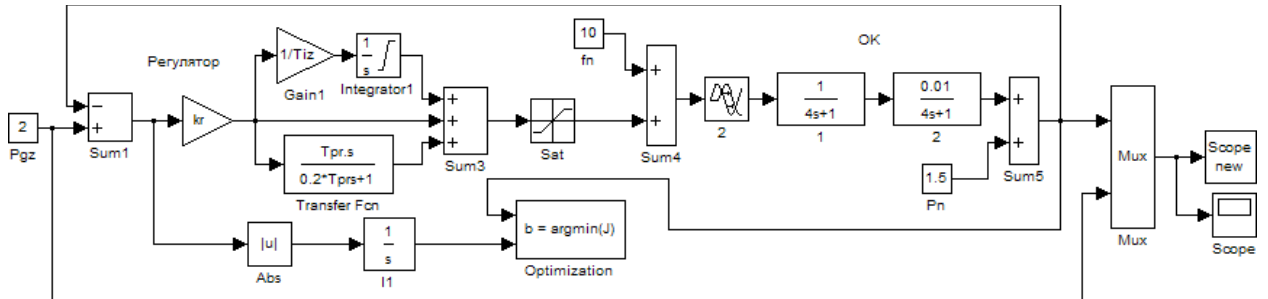


Рис. 1.35 – Структурна схема моделювання для САР з ПІ-регулятором для оптимального параметричного синтезу.

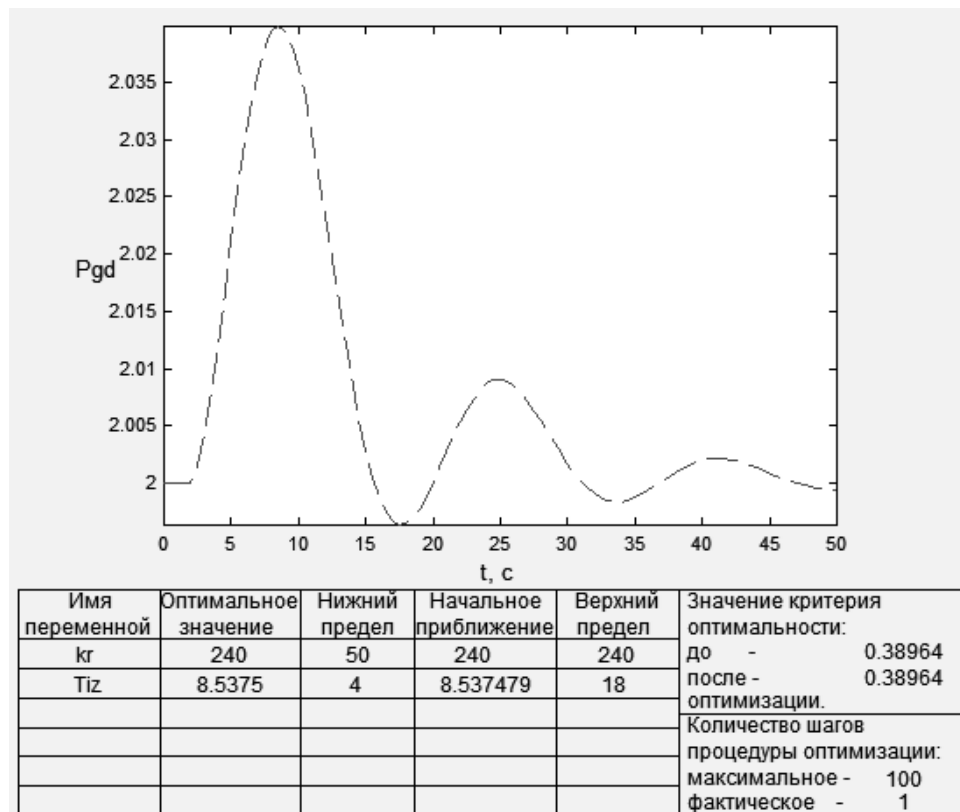


Рис. 1.3 – Результати оптимізації параметрів ПІ-регулятора.

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 1.37. Результати оптимізації налаштувань ПД-регулятора наведені на рис. 1.38.

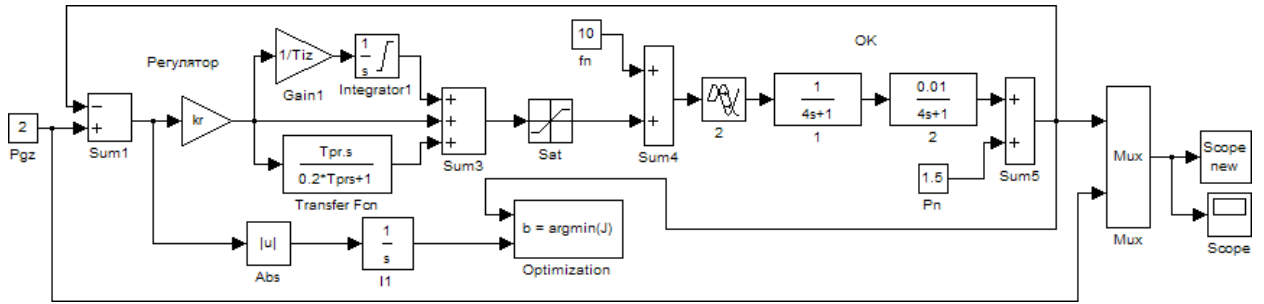


Рис. 1.37 – Структурна схема моделювання САР з ПД-регулятором для оптимального параметричного синтезу.

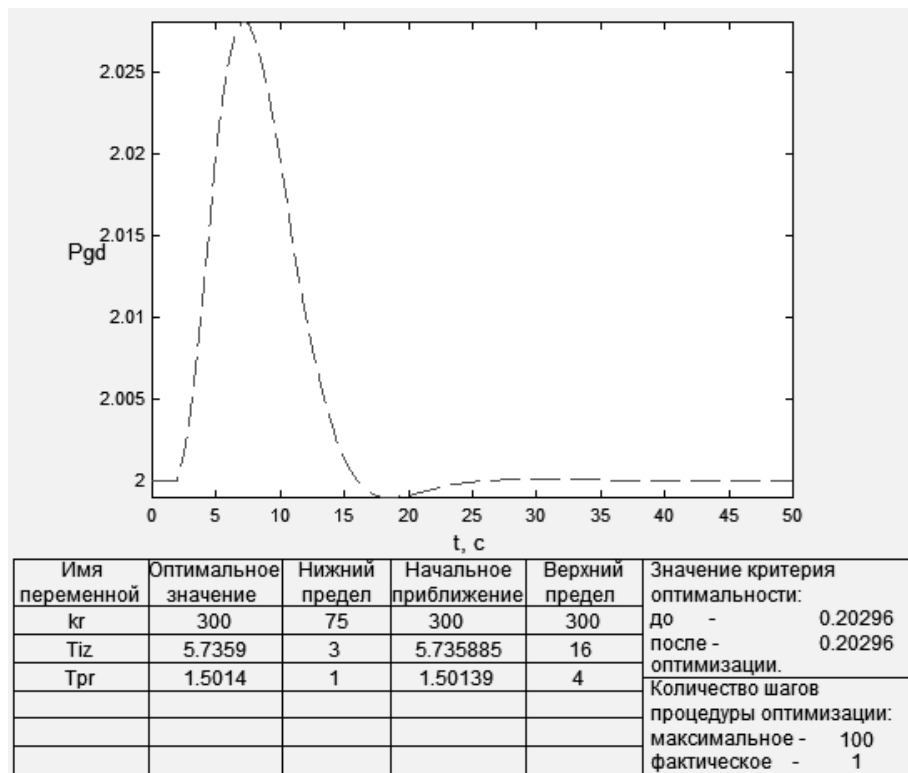


Рис. 1.38 – Результати оптимізації параметрів ПД-регулятора.

Проведемо порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності і показникам, для яких встановлені гранично-припустимі значення. Порівняння САР з ПІ-регулятором та САР з ПД-регулятором показано на рис. 1.39 та в таблиці 1.4.

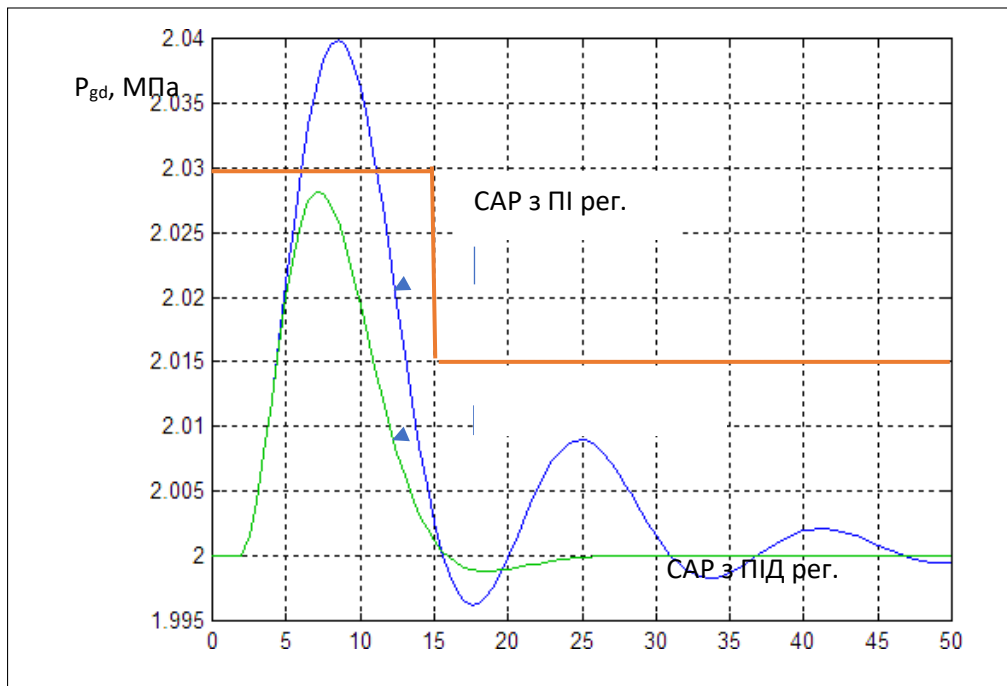


Рис. 1.39 – Результати порівняння САР з ПІ-регулятором та ПІД-регулятором.

Таблиця 1.4 – Порівняння САР з ПІ-регулятором та САР з ПІД-регулятором.

| Алгоритм регулювання | $\Delta P_{gd}^{МАКС}$ | $T_{пн}$, с | Критерій |
|----------------------|------------------------|--------------|----------|
| ПІ | 2,04 | 12 | 0,39 |
| ПІД | 2,027 | 0 | 0,20 |

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регулятором є кращої за усіма показниками. Тому ПІД-закон регулювання будемо використовувати і надалі.

Серед параметрів ОК найчастіше варіації підлягають коефіцієнт передачі та час запізнення. Слід відзначити, що внаслідок нелінійності, параметри каналів можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. У даній роботі перевірка на грубість проводилась при варіації часу запізнення ОК. При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень 10% х.р.о. Результати аналізу на грубість показані на рис. 1.40, 1.41 для САР з ПІ- регулятором та САР з ПІД-регулятором відповідно.

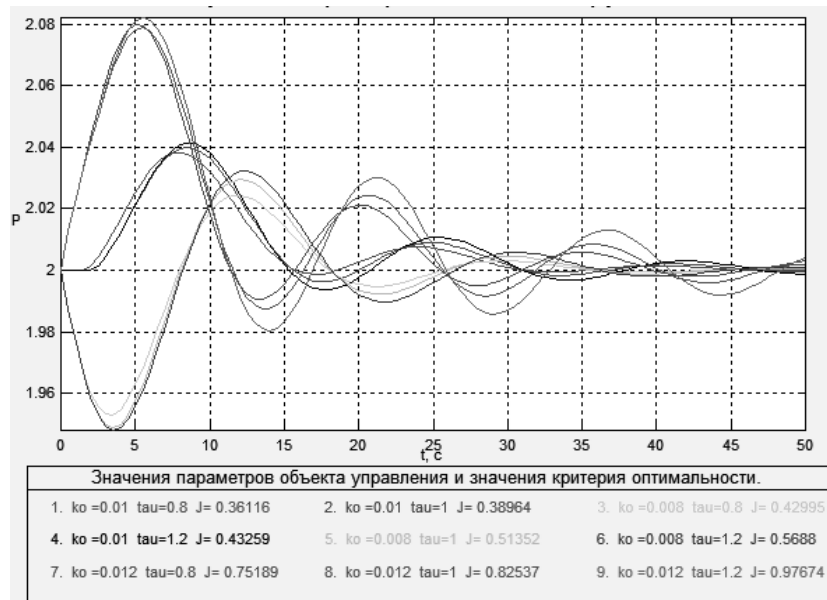


Рис. 1.40 – Результати перевірки САР з ПІ-регулятором на грубість.

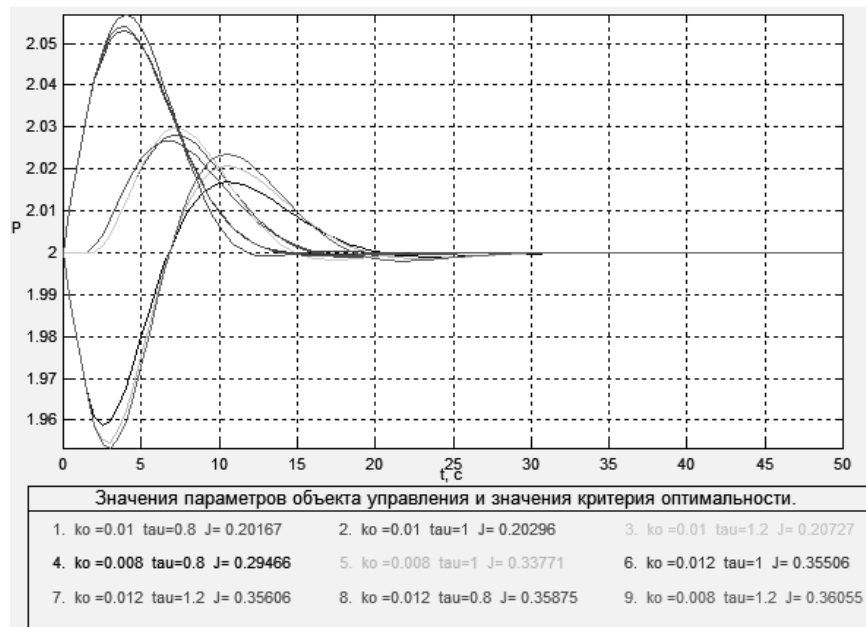


Рис. 1.41 – Результати перевірки САР з ПІ-регулятором на грубість.

Як видно з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПІД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться. Але також в умовах дії збурень детермінованого характеру

перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором виходять за рамки регламентних зон.

Для оцінки САР на грубість у сталих режимах для каналу « $u- P_{gd}$ » будемо використовувати схеми моделювання, наведені на рис. 1.42. Результати моделювання САР з ПІД-регулятором – на рис. 1.43.

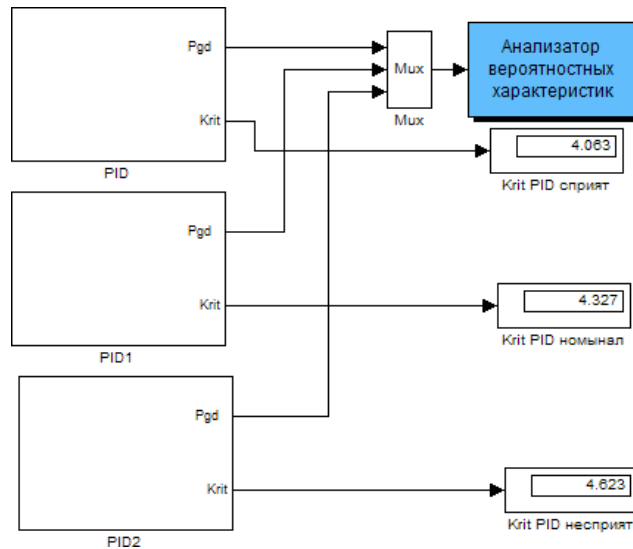


Рис. 1.42 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором для оцінки грубості у сталих режимах.

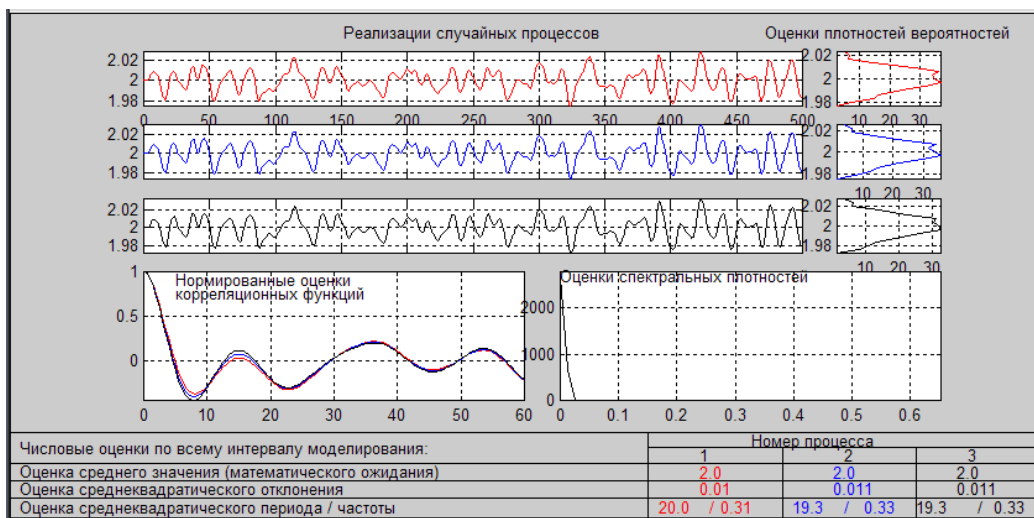


Рис. 1.43 – Результаты моделювання САР з ПІД-регулятором.

Порівняння результатів моделювання проведемо по математичному очікуванню, середньоквадратичному відхиленню, середньоквадратичному періоду і інтегральному критерію.

Порівняльні результати оцінки САР на грубість з ПД-регулятором – в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 – Результати оцінки САР з ПД-регулятором на грубість у сталих режимах

| Показник якості | Значення параметрів ОК | | |
|--------------------------------|------------------------|------------|--------------|
| | сприятливі | номінальні | несприятливі |
| Математичне очікування | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Середньоквадратичне відхилення | 0,01 | 0,011 | 0,011 |
| Середньоквадратичний період | 20,0 | 19,3 | 19,3 |
| Інтегральний критерій | 4,06 | 4,32 | 4,62 |

1.6. Недоліки відомих САУ ТП компримування природного газу на дотискній компресорній станції, обґрунтування напрямів удосконалення САУ як нових джерел підвищення економічної ефективності технологічного процесу.

Розглянуті у підрозділі 1.3 системи керування передбачають регулювання тиску газу після дроселювання з використанням регуляторів прямої дії які не забезпечують високу статичну та динамічну точність підтримання тиску газу на заданих значеннях, особливо в нестационарних умовах і дії координатних збурень, зокрема при зміні тиску газу після сепарації. Це призводить до досить неекономічного використання такого енергетичного ресурсу як електроенергія.

Сучасні розробки систем керування процесом компримування природного газу більше зосереджені на оптимізації роботи паралельно працюючих компресорних станцій для забезпечення мінімальних енергетичних витрат на компримування природного газу, враховуючи як технологічні обмеження, так і технічний стан кожного агрегату. При цьому

підвищенню динамічної точності систем регулювання особливої уваги не приділяється.

Розглянуті в пункті 1.5 варіанти систем направлені на підвищення динамічної та статичної точності стабілізації тиску газу після дроселювання зокрема з використанням комбінованого принципу керування з забезпеченням інваріантності відносно коливань тиску газу після сепаратору який поступає на дроселювання. В умовах дії збурень, зокрема зміни тиску газу після сепаратора, тиск газу після дроселювання підтримуватиметься на заданому значенні з досить високою динамічною точністю. Але в існуючих системах відсутні функції, що забезпечують цілеспрямоване підвищення техніко-економічних показників процесу компримування природного газу, та в умовах дії нестационарних координатних та параметричних збурень існуючі системи не здатні ефективно забезпечити зниження питомих енерговитрат на компримування природного газу, зокрема за рахунок підтримки тиску газу після дроселювання поблизу верхньої межі регламенту без її порушення.

Тому метою вдосконалення САУ процесом компримування природного газу є: зниження питомих енерговитрат (витрат електричної енергії) на пастеризацію за рахунок реалізації функції гарантуючого керування тиску газу після дроселювання.

Реалізація системи гарантуючого керування тиску газу після дроселювання вимагатиме доповнення існуючих функцій САУ ТП компримування природного газу на дотискній компресорній станції новою функцією: функцією гарантуючого керування.

Етапи розробки модернізованої системи керування будуть розглянуті в наступних розділах.

1.7. Висновки за розділом

Виходячи з вищевказаних обґрунтувань, доцільно розробити для даного процесу абсолютно нову систему, яка забезпечить високу ефективність.

Однією з таких систем є система гарантуючого керування

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ, ЩО РЕАЛІЗУЮТЬ ФУНКЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ САК ТП КОМПРИМУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ДОТИСКНІЙ КОМПРЕСОРНІЙ СТАНЦІЇ

2.1 Структурний синтез САК підвищеної динамічної точності

Причиною недостатньої точності САК можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна завдання САК, а також внутрішні особливості ОК і САК (значне співвідношення τ_o / T_o , взаємний вплив каналів в багатомірній САК).

Для технологічного процесу компримування газу характерною є дія інтенсивних контрольованих збурень $f_k(t)$, в якості яких виступають зміни тиску газу після сепаратора $P_{gc}(t)$, що суттєво впливають на регульовану змінну – тиск газу після дроселювання $P_{gd}(t)$.

Відповідно до принципу Петрова, для забезпечення інваріантності $P_{gd}(t)$ від впливу $f_k(t)$, вводиться додатковий канал передачі впливу.

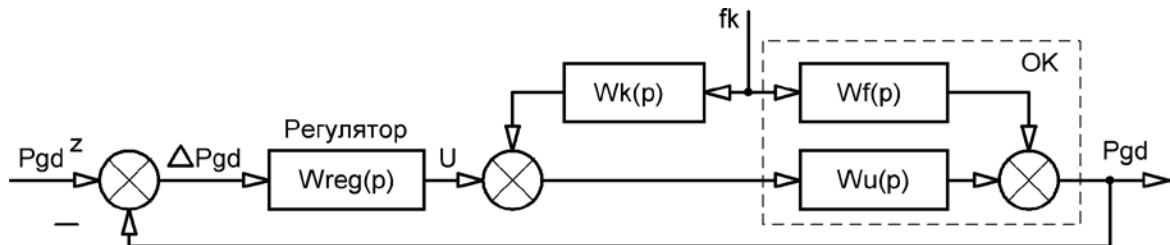


Рис. 2.1 – Структурна схема САК з додатковим коригуючим зв'язком.

Напишемо рівняння руху $P_{gd}(t)$ в залежності від $f_k(t)$ по двом каналам:

$$P_{gd1}(t) = W_f^o(p)f_k(t) \quad P_{gd2}(t) = W_k^o(p)W_u^o(p)f_k(t)$$

Щоб компенсувати вплив $f_k(t)$ на $P_{gd}(t)$ потрібно щоб:

$$P_{gd1}(t) = -P_{gd2}(t)$$

$$W_f^o(p)f_k(t) = -W_k(p)W_u^o(p)f_k(t)$$

Тоді

$$W_k(p) = -\frac{W_f^o(p)}{W_u^o(p)}$$

Для спрощення виводу передатної функції коригуючого зв'язку розглянемо моделі ОК першого порядку:

$$W_u^o(p) = \frac{0.01e^{-3.7p}}{5.7p + 1} \quad W_f^o(p) = \frac{3.5e^{-1p}}{13.8p + 1}$$

Тоді

$$W_k(p) = -\frac{3.5e^{-1p}}{13.8p+1} \cdot \frac{0.01e^{-3.7p}}{5.7p+1} = -\frac{3.5}{0.01} \frac{5.7p+1}{13.8+1} e^{+2.7p}$$

Дану функцію фізично реалізувати не можна, бо вона містить множник $e^{+2.7p}$, який потребує знання майбутнього. Зробимо приблизну його заміну:

$$e^{+2.7p} = 1 + \frac{2.7p}{0.1 * 2.7p + 1}$$

Тоді

$$W_k(p) = -\frac{3.5}{0.01} \frac{5.7p+1}{13.8+1} \left(1 + \frac{2.7p}{0.1*2.7p+1}\right)$$

Дану передатну функцію вже можна реалізувати в керуючому пристрої.

2.2 Оптимальний параметричний синтез САК підвищеної динамічної точності і аналіз результатів синтезу.

Структурна схема моделювання САК з ПД-регулятором та коригуючою ланкою наведена на рис. 2.2.

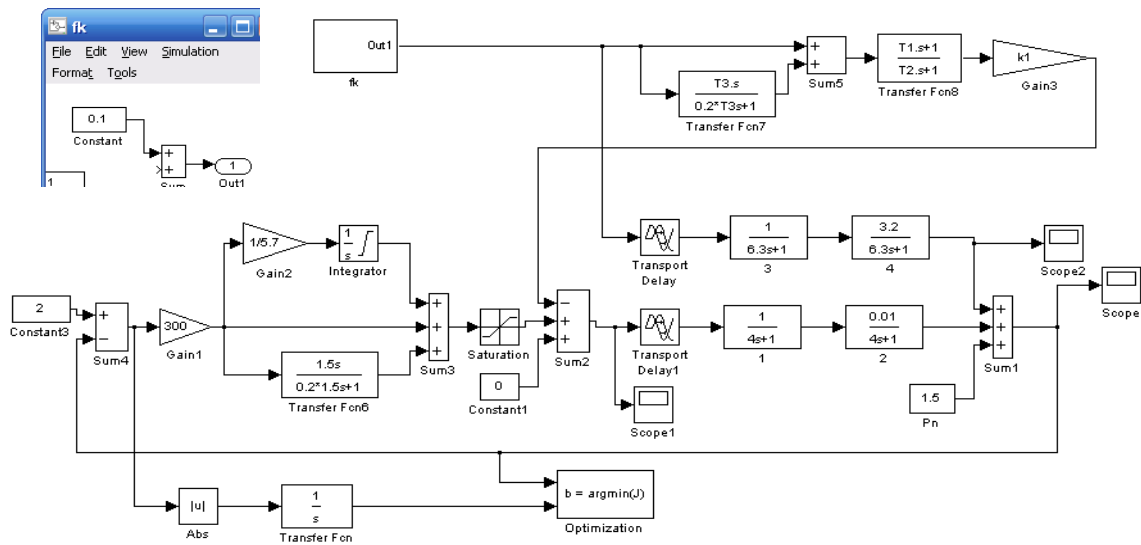
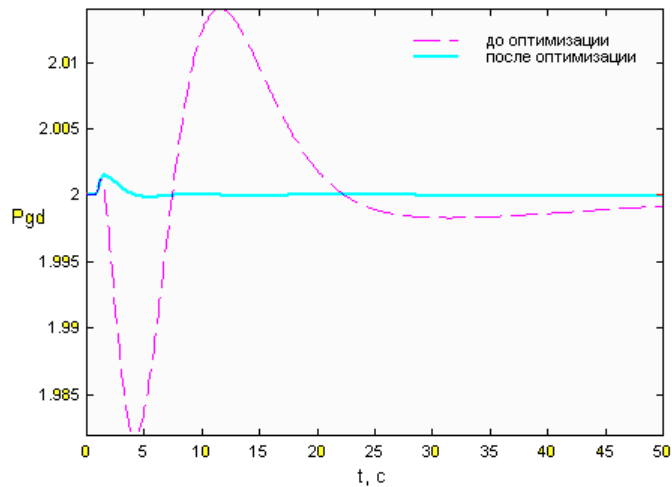


Рис. 2.2 – Структурна схема моделювання САР ПДТ.

Результати оптимального параметричного синтезу САР ПДТ наведено на рис. 2.3.



| Имя переменной | Оптимальное значение | Нижний предел | Начальное приближение | Верхний предел | Значение критерия оптимальности: |
|----------------|----------------------|---------------|-----------------------|----------------|----------------------------------|
| k1 | 319.1888 | 200 | 320 | 500 | до - 0.21043 |
| T1 | 2.0555 | 0.5 | 5.7 | 15 | после - 0.0044502 |
| T2 | 7.6048 | 1 | 13.8 | 30 | оптимизации. |
| T3 | 1.4115 | 0.5 | 2.7 | 10 | Количество шагов |
| | | | | | процедуры оптимизации: |
| | | | | | максимальное - 500 |
| | | | | | фактическое - 281 |

Рис. 2.3 – Результати оптимізації параметрів коригуючої ланки у складі САР ПДТ.

Повторно перевіряти САР на грубість не будемо тому що введення коригуючої ланки на впливає на власний оператор САР та на її стійкість.

Проведемо порівняльний аналіз роботи САР базової структури, САР ПДТ з початковими параметрами коригуючого зв'язку та САР ПДТ з оптимальними параметрами коригуючого зв'язку за каналом дії контрольованих збурень у перехідних режимах. Схема моделювання наведена на рис. 2.4. А результати у вигляді перехідних характеристик наведено на рис. 2.5.

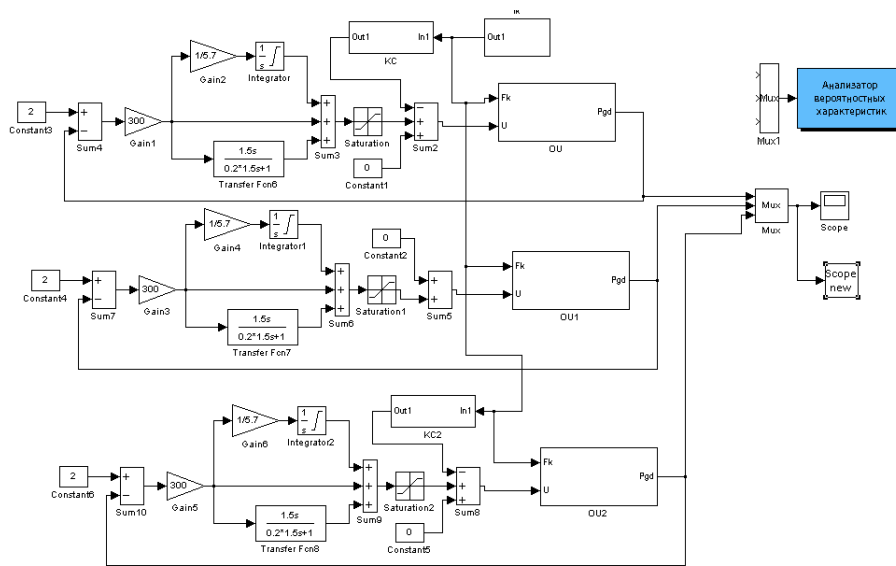


Рис. 2.4 – Структурна схема моделювання САР для проведення порівняльного аналізу роботи у перехідних режимах.

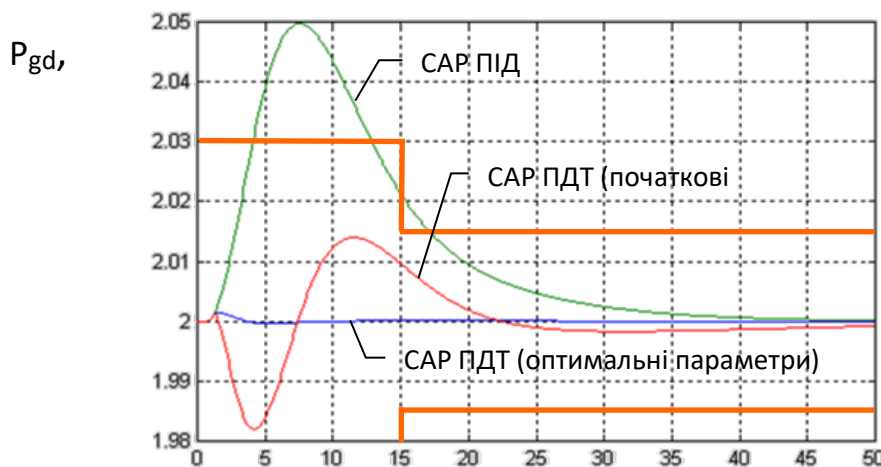


Рис. 2.5 – Результати моделювання САР для проведення порівняльного аналізу роботи у перехідних режимах.

Таблиця 2.1 – Порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності

| Структура САР | Показники | | |
|--------------------------------|-------------------------|--------|----------|
| | ΔP_{pd} МАРС | Тпп, с | Критерій |
| Базова | 0,05 | 17.5 | 0,21 |
| Підвищеної динамічної точності | 0,002 | 0 | 0,004 |

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР підвищеної динамічної точності набагато краща, ніж САР з ПІД-регулятором, за усіма показниками якості.

Проведемо порівняльний аналіз роботи САР базової структури, САР ПДТ з початковими параметрами коригуючого зв'язку та САР ПДТ з оптимальними параметрами коригуючого зв'язку за каналом дії контрольованих збурень у сталих режимах. Схема моделювання наведена на рис. 1.48. А результати у вигляді випадкових процесів наведено на рис.2.6.

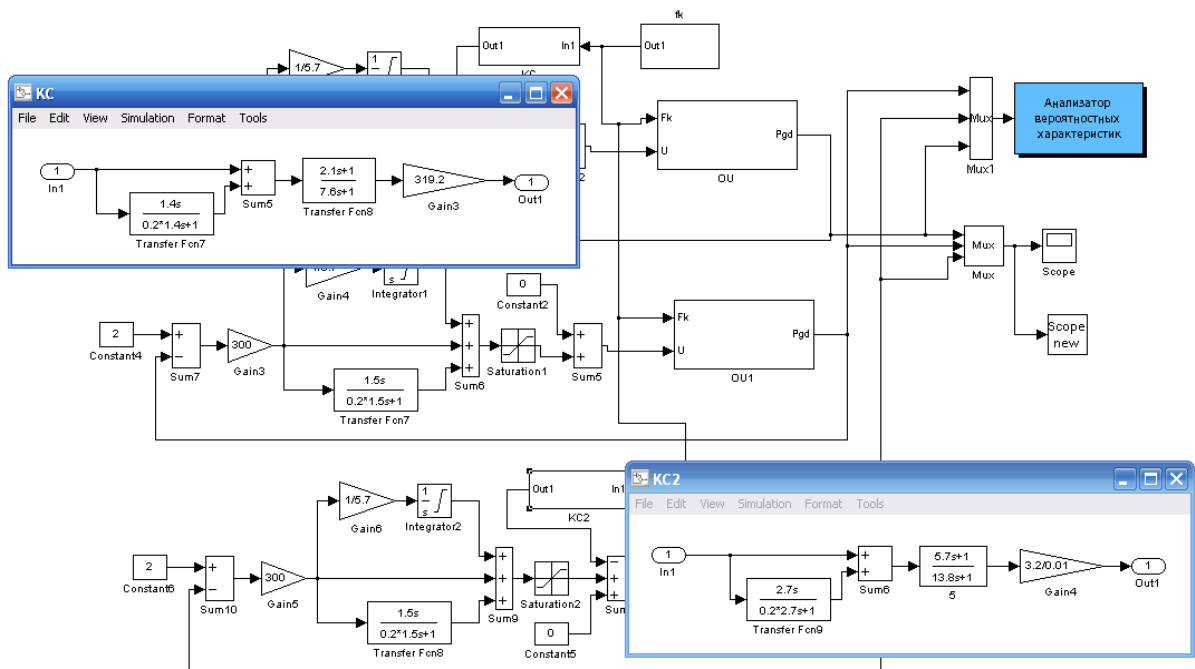
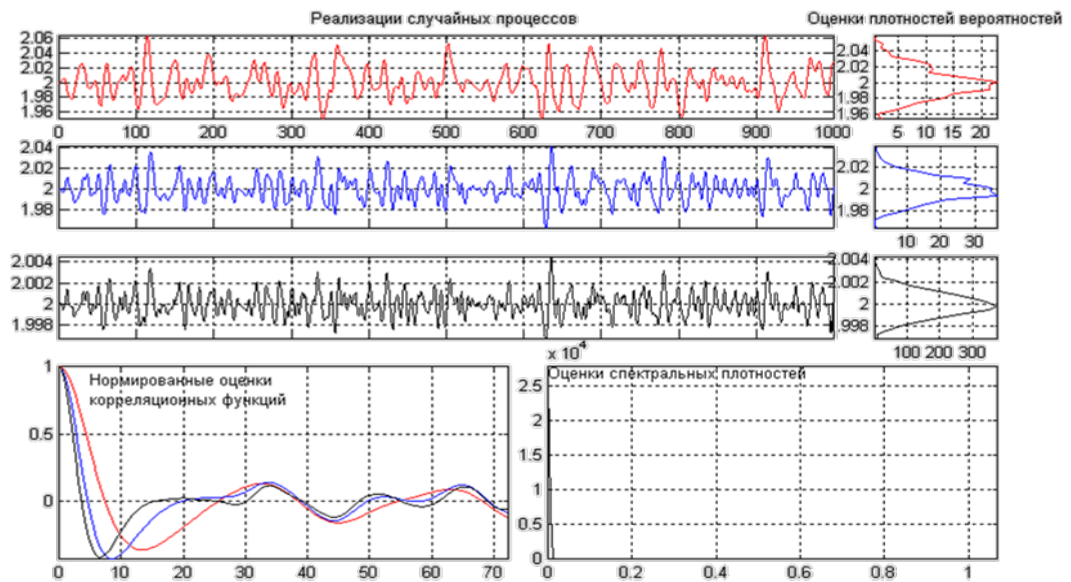


Рис. 2.6 – Структурна схема моделювання САР для проведення порівняльного аналізу роботи у сталих режимах.



| Числовые оценки по всему интервалу моделирования: | Номер процесса | | |
|---|----------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Оценка среднего значения (математического ожидания) | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| Оценка среднеквадратического отклонения | 0.02 | 0.011 | 0.0011 |
| Оценка среднеквадратического периода / частоты | 24.1 / 0.26 | 15.4 / 0.41 | 11.8 / 0.53 |

Дата проведения эксперимента 08-Дец-2022 23 25

Рис. 2.7 – Результати моделювання САР для проведення порівняльного аналізу роботи у сталих режимах.

Таблиця 2.2 – Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість у сталих режимах

| Показник якості | Значення параметрів ОК | | |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | САР ПІД | САР ПІТ (нач. парам.) | САР ПІТ (опт. парам.) |
| Математичне очікування | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Середньоквадратичне відхилення | 0,02 | 0,011 | 0,0011 |
| Середньоквадратичний період | 24,1 | 15,4 | 11,8 |
| Інтегральний критерій | 0,26 | 0,41 | 0,53 |

2.3. Висновки за розділом

У результаті синтезу САР підвищеної динамічної точності ми одержали систему, показники якості якої, набагато кращі в порівнянні із САР найпростішої структури, також САР підвищеної динамічної точності груба. Таким чином, доцільно використовувати отриману систему підвищеної

динамічної точності. При роботі САР зі стохастичними впливами ми переконалися, що реакція системи на збурення дуже добра, відхилення від завдання незначні та не виходять з регламентної зони.

РОЗДІЛ 3 ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ, ЯКІ РЕАЛІЗУЮТЬ ФУНКЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМОЮ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОМПРИМУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ДОТИСКНІЙ КОМПРЕСОРНІЙ СТАНЦІЇ, НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

3.1 Обґрунтування актуальності застосування систем управління, побудованих на базі апарату нечіткої логіки, для розглянутого об'єкта керування

Нечітке управління (управління на основі методів теорії нечітких множин) використовується при недостатньому знанні об'єкта управління, але при наявності досвіду управління ним, в нелінійних системах, ідентифікація яких занадто трудомістка, а також у випадках, коли за умовами задачі необхідно використовувати знання експерта.

Для технічних систем з випадковим характером впливу, що збурює, складністю розробки динамічної моделі, її високим порядком, нелінійним характером можна говорити про проблему управління в умовах невизначеності. Використання нечітких регуляторів забезпечує грубість і стабільну збіжність процесів, тому такий підхід слід вважати доцільним. Основна перевага нечіткого підходу – можливість формування числа правил управління залежно від комбінації значень вхідних змінних регулятора і, отже, від зміни режиму роботи, рівня збурювань. Також особливою проблемою в сфері автоматизації є управління об'єктами, функції яких описуються нелійними залежностями. При проектуванні систем управління для нелінійних об'єктів зазвичай використовуються такі методи як лінійна апроксимація або кусочно-лінійна апроксимація. Однак застосування цих методів у реальних технічних пристроях не завжди дозволяє досягнути бажаного ефекту. У цьому випадку для забезпечення збільшення

ефективності можна використовувати систему управління з нечіткою логікою («fuzzy logic»).

Таким чином, в умовах наявності істотних невизначеностей у статичних і динамічних характеристиках тунельного пастеризатора як об'єкта управління представляються труднощі в формалізації завдань синтезу регуляторів системи управління. 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 налаштування системи автоматичного регулювання.

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

Для підтвердження актуальності застосування системи управління, побудованої на базі апарата нечіткої логіки, для розглянутого у даній роботі об'єкта управління, необхідно перейти до його нелінійної моделі. Таким чином, моделі каналів регулювання розглянутого об'єкта управління повинні характеризуватися несуттєво нелінійною статичною характеристикою.

Для представлення нелінійної моделі об'єкта управління необхідно до відповідних моделей каналів регулювання додати відповідні нелінійні ланки. Нелінійність необхідно реалізувати за допомогою включення блоку Look up Table у відповідну модель каналу регулювання. Структурна схема повної моделі об'єкта управління з додатковими блоками Look up Table, які визначають нелінійність статичних характеристик, представлена на рисунку 3.1.

На рисунку 3.2 відображено повну модель об'єкту управління, яка є більш розширеною моделлю, розробка якої представлена в розділі 2 дипломної роботи. У блоці Look up Table у табличній формі задається нелінійний зв'язок (залежність) між вхідними змінними, який тягне «викривлення» статичної характеристики моделі каналу регулювання.

В остаточному підсумку в результаті моделювання була отримана статична характеристика моделі каналу регулювання « $u_1 - P_{gd}$ », яка має вигляд, представлений на рисунку 3.3. З рисунку 3.3 видно, що статична характеристика несуттєво нелінійна, це дає можливість виконати синтез САУ з традиційними ПД регуляторами і одержати необхідні показники якості регулювання.

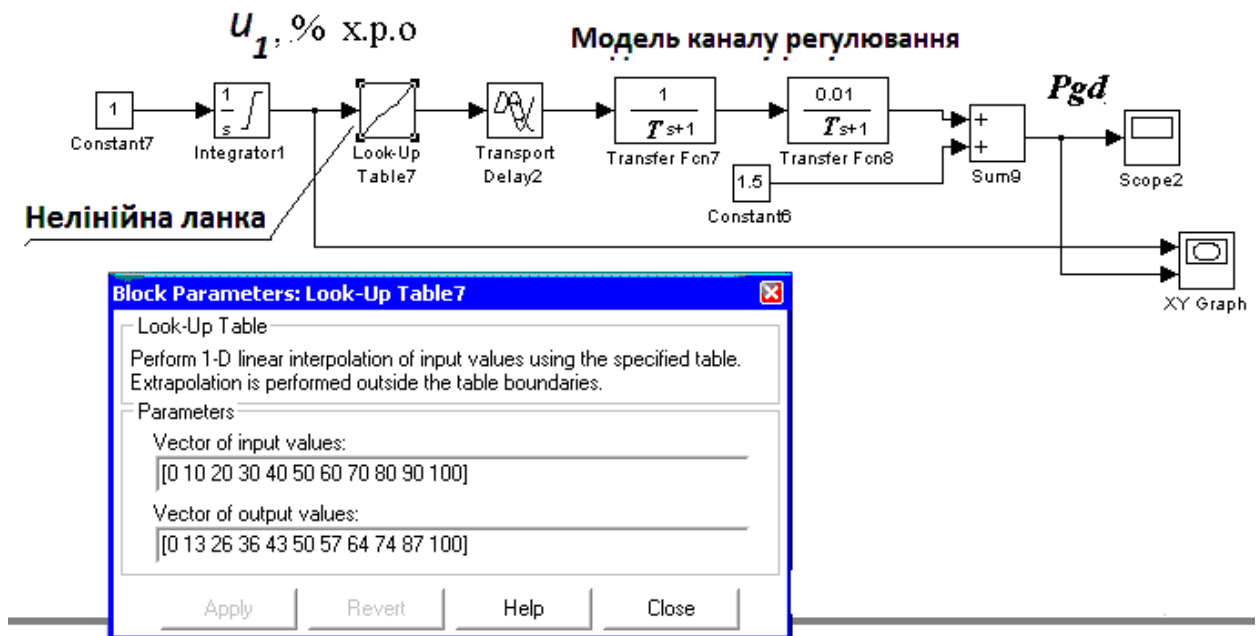


Рисунок 3.1. – Структурна схема моделі об'єкта управління, що характеризується нелінійною статичною характеристикою за каналом регулювання

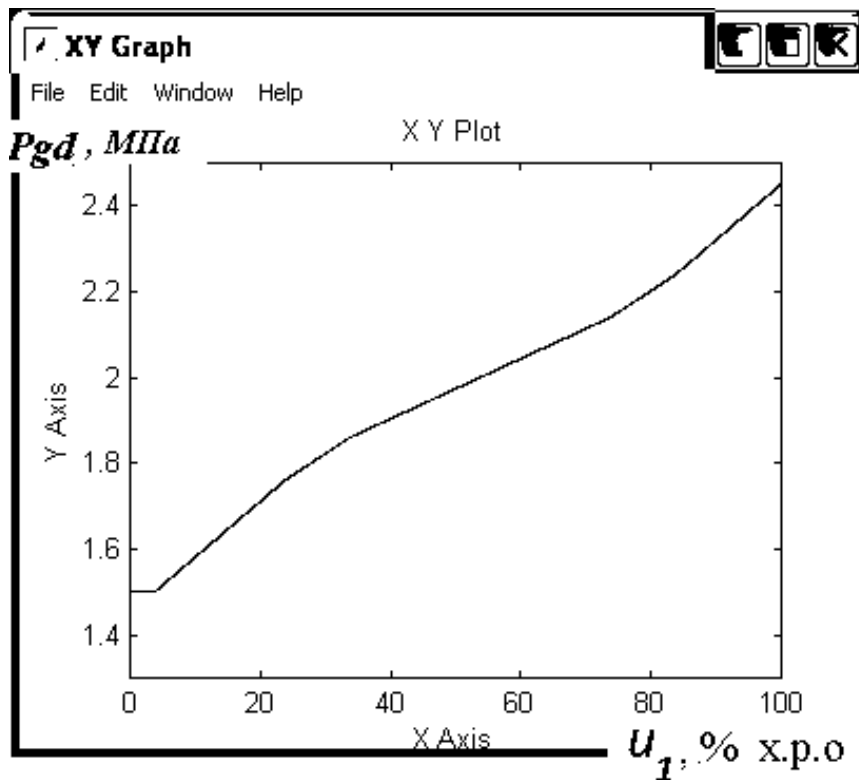


Рисунок 3.2. – Нелінійна статична характеристика моделі каналу регулювання

3.3 Параметричний синтез САУ з традиційним ПД регулятором для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання

У даній роботі був виконаний параметричний синтез САУ з традиційним – лінійним ПД регулятором для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою за каналом регулювання. Слід зазначити, що нелінійність статичної характеристики була реалізована в моделі, «гладкої» і несуттєвої для одержання стійких перехідних процесів при застосуванні традиційних – лінійних (П, ПІ, ПД) регуляторів.

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

Для реалізації параметричної оптимізації регуляторів системи управління в програмному середовищі MATLAB\Simulink 5.2 була

розроблена схема моделювання системи управління з автоматичним оптимізатором, що забезпечує пошук оптимальних параметрів регуляторів за наступним критерієм якості роботи системи:

$$J = \int_0^{\infty} (|e_1(t)|) dt \rightarrow \min$$

де: $e_1(t)$ – різниця в часі між фактичним значенням регульованої величини і заданим значенням тиску газу;

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

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

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів тиск газу після дроселювання повинен підтримуватися на рівні 2 МПа з точністю $\pm 0,05$ МПа. За цим параметром допустимі короткочасні відхилення до $\pm 0,1$ МПа протягом часу не більше 30 с. Всі ці дані відповідають перехідній характеристиці представленої після оптимізації.

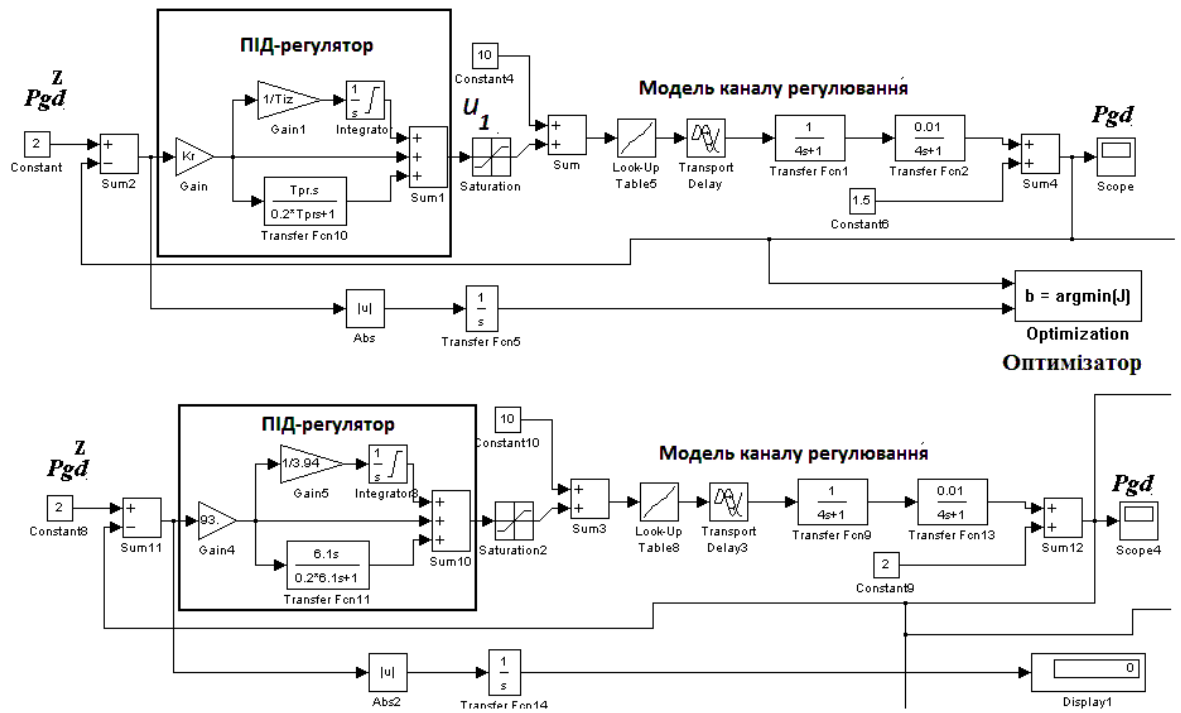


Рисунок 3.3. – Структурна схема моделі САУ з традиційним ПІД-регулятором і параметричним оптимізатором, та . структурна схема моделі оптимізованої САУ що реалізована засобами MATLAB\Simulink

Первісні значення параметрів настроювання регуляторів і відповідні оптимальні значення представлені на рисунку 3.4 у вікні результатів оптимізації. Також на рисунку 3.4 представлені відповідні графіки перехідних процесів, отримані до і після оптимізації системи. Із графіків перехідних процесів видно, що якість регулювання, за тиском газу, помітно покращилася після оптимізації САУ. Однак слід зазначити, що при нелінійній характеристиці каналу регулювання такі покращення можуть мати місце лише при відповідних режимах роботи чи початкових умовах системи управління. Таким чином, оптимальні параметри настроювання в даному випадку можуть бути неоптимальні в іншому випадку, це визначає необхідність застосування нелінійних регуляторів.

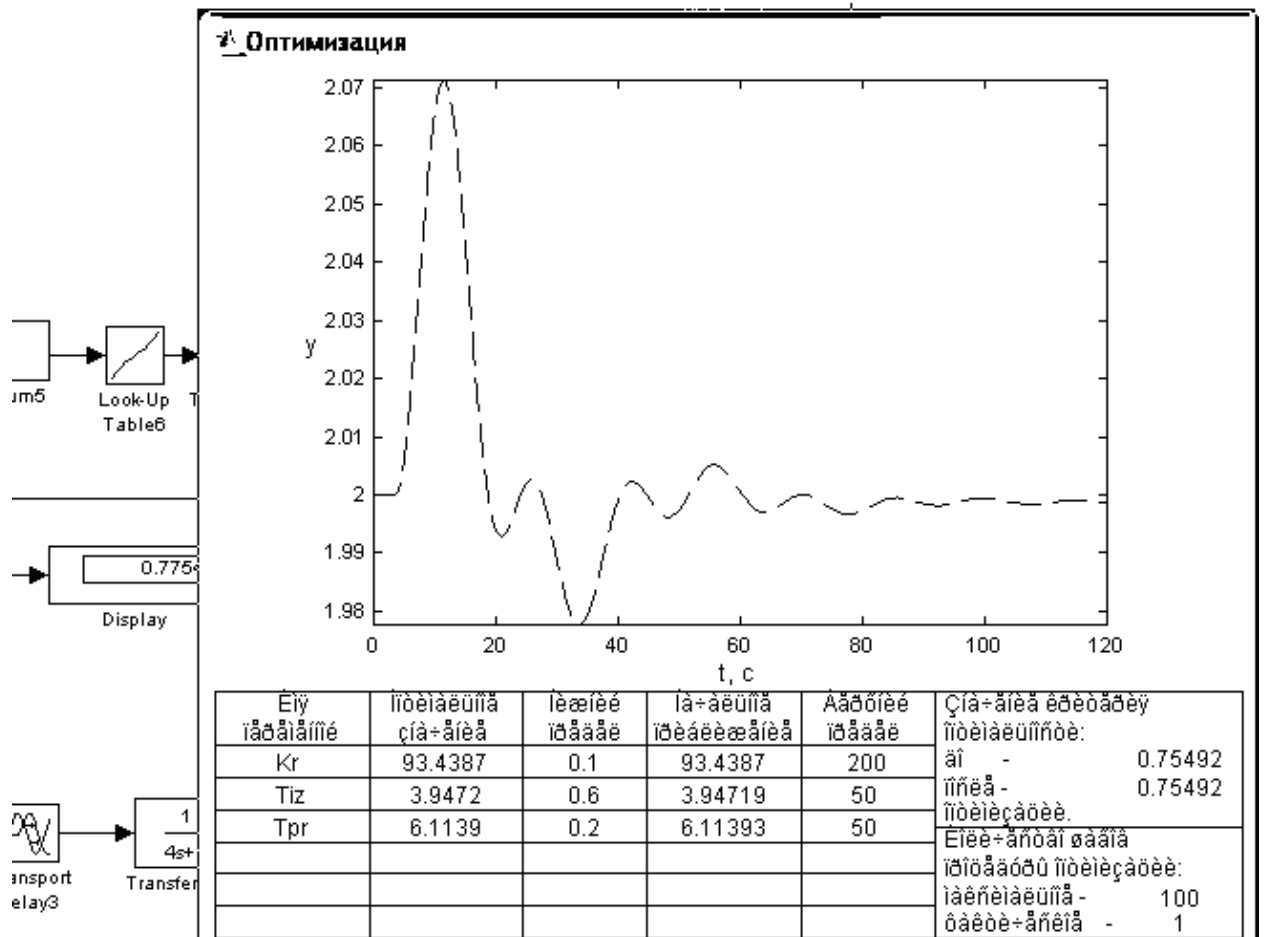


Рисунок 3.4. – Результати параметричної оптимізації значень параметрів регуляторів САУ з каналом регулювання, що характеризується нелінійною статичною характеристикою

3.4 Розробка моделі САУ з нечітким регулятором (НР) для об'єкта з нелінійною статичною характеристикою каналу регулювання

З урахуванням властивостей установки компримування газу, як нелінійного об'єкта управління, доцільно застосувати в контурі регулювання тиску газу 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 роботи об'єкта приводить до того, що режими функціонування можуть бути описані з недостатньою точністю, пов'язаною з нечіткими (розмитими) різними експериментальними даними. Таким чином, у справжній роботі була реалізована модель САР із Fuzzy – нечітким регулятором.

Нечіткий регулятор, що розробляється у даній роботі, являє собою об'єднання на деякій елементній базі трьох блоків фазиуправління: фазифікація, логічного висновку і дефазифікація. Спрощена структурна схема розроблюємої системи керування на базі нечіткого регулятора представлена на рисунку 3.5. З погляду структури дана схема регулятора нічим не відрізняється від схем класичних нечітких регуляторів і будується за класичними зразками.

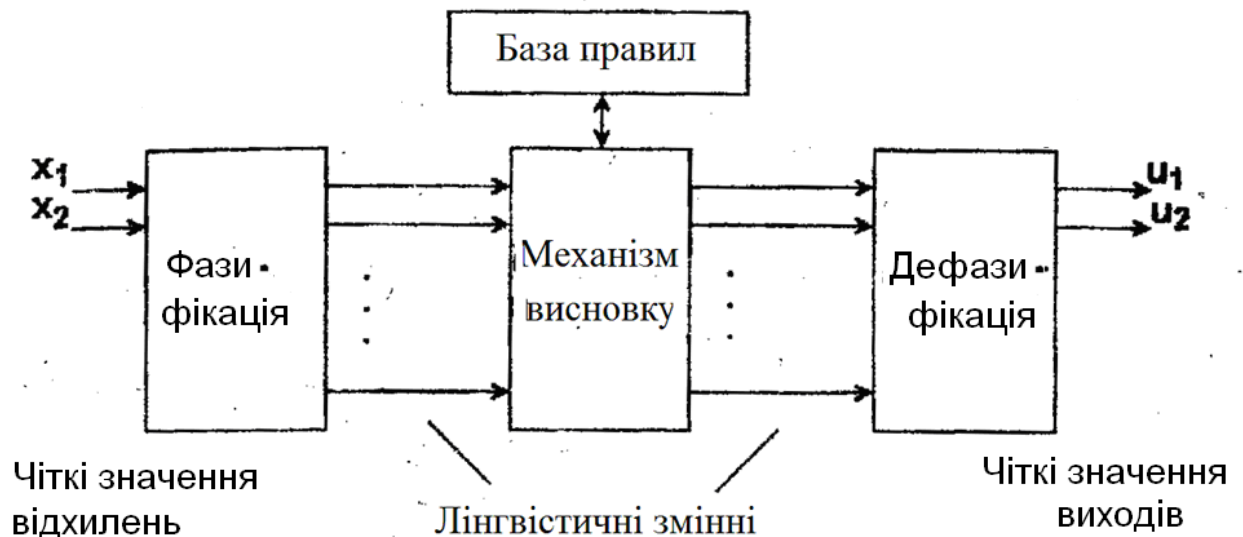


Рисунок 3.5. – Спрощена структурна схема нечіткого регулятора

Всі визначені блоки (фазифікація, блок логічного розв'язку, дефазифікація), що представлені на рисунку 3.5, редагуються у відповідному редакторі FIS Editor середовища MATLAB. Для запуску вікна fis-редактора в командному вікні MATLAB Window commander було прописано команду «Fuzzy». Після чого було вибрано алгоритм Sugeno та дві вхідні і дві вихідні змінні.

На рисунку 3.6 зображено вікно налаштування fis-файлу для нечіткого регулятора тиску газу з відповідними вхідними та вихідними сигналами.

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

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

У базі правил використовуються тільки правила нечітких продукцій в формі:

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

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

де x, y – вхідні змінні, A_i, B_i – нечіткі множини $z_i = f(x_1, \dots, x_n)$ – 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:

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, $z_2 = C_2$, (1)

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 $\Delta u_1 = w_2$;

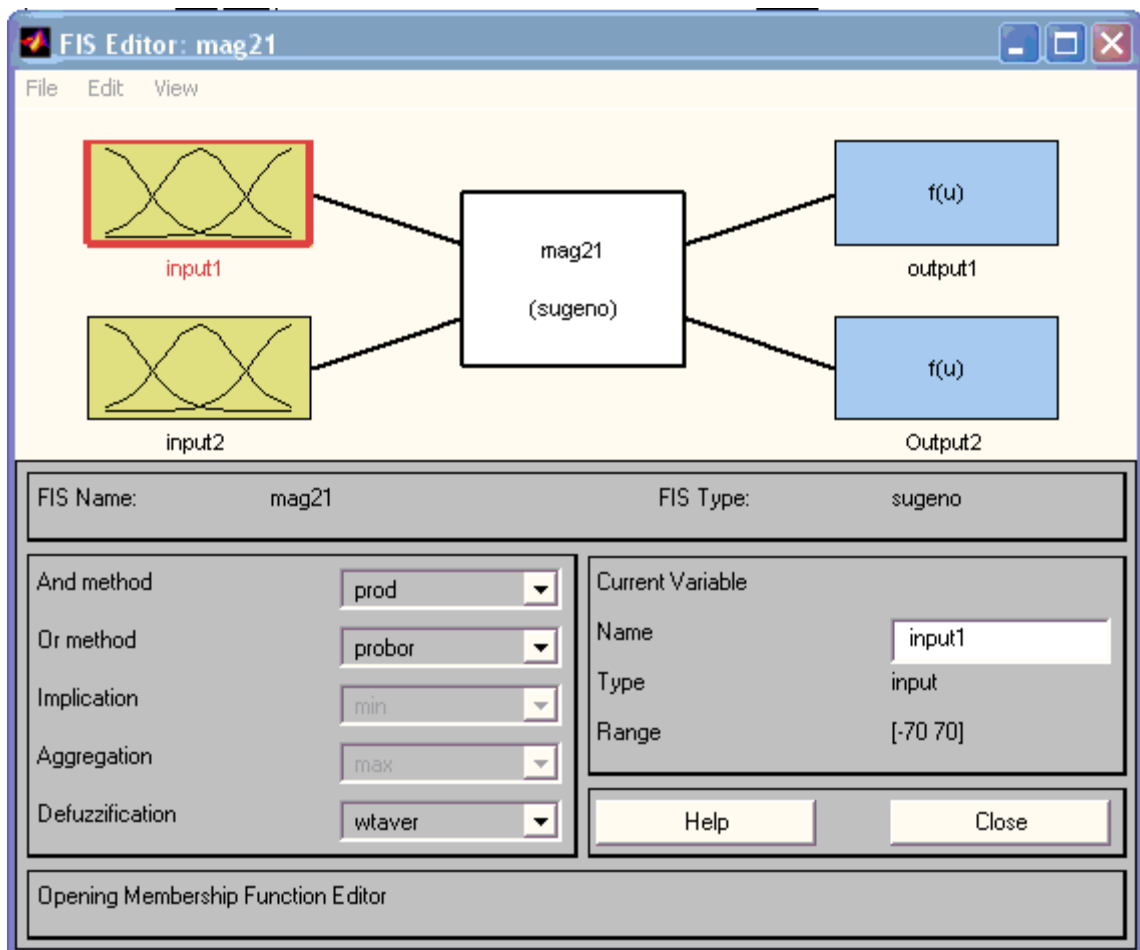


Рисунок 3.6. – Вікно редактора нечіткого регулятора з двома входами і двома виходами сигналів

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 відносної вологи у сушильній камері.

Як видно з рисунку 3.6, 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

Таблиця 3.1 – Таблиця бази знань для нечіткого логічного регулятора тиску газу

| $e_1 \backslash \Delta e_1$ | NE (Велика негативна Δe_1) | Z (приблизно нульова Δe_1) | PE (Велика позитивна Δe_1) |
|-----------------------------|---|---|---|
| NE | – | $u_1 = 90;$ $\Delta u_1 = 2;$ | – |
| Z | $u_1 = 90;$ $\Delta u_1 = 2;$ | $u_1 = 0;$ $\Delta u_1 = 0;$ | $u_1 = -90;$ $\Delta u_1 = -2;$ |
| PE | – | $u_1 = -90;$ $\Delta u_1 = -2;$ | – |

Всі функції приналежності були визначені у відповідному редакторі на базі експертних даних. На рисунку 3.7 зображено вікно налаштування функцій приналежності $mf1$, $mf2$, $mf3$ до нечітких множин похибка регулювання «велика негативна», «приблизно нульова», «велика позитивна» відповідно. Також були визначені функції приналежності $mf1$, $mf2$, $mf3$ до нечітких множин приріст похибки регулювання «великий негативний», «приблизно нульовий» та «великий позитивний», які представлені на рисунку 3.8.

Згідно з таблицею 1 бази правил функціонування регулятора, були прописані відповідні правила у вікні редактора правил функціонування нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink. Це вікно з відповідними правилами зображено на рисунку 3.9.

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

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

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

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

У даному випадку вихідні значення сигналів C_i згідно з алгоритмом Сугено нульового порядку були визначені у вікні реактора, представленого на рисунку 3.10. Виходами синтезованого нечіткого регулятора визначені зміни «output1» та «output2». Вихід «output1» буде відпрацьовувати інтегральну І-складову регулятора, а «output2» – відповідно П-складову.

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

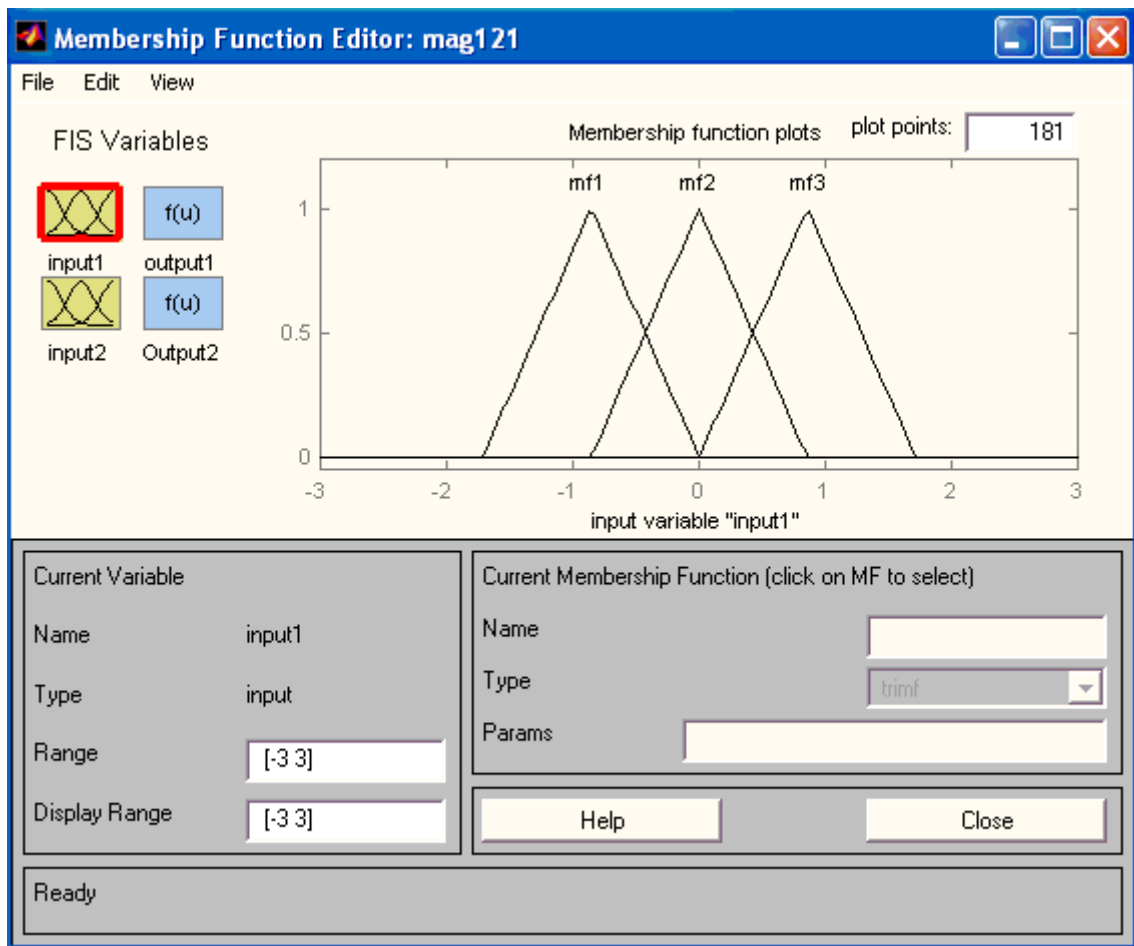


Рисунок 3.7. – Вікна формування функцій приналежностей до нечітких безлічей помилка PE, Z, NE редактора нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

У кінцевому випадку була визначена схема моделювання САУ з нечітким регулятором, фрагмент якої представлений на рисунку 3.11. З рисунку 3.11 видно, що управляюча дія нечіткого регулятора формується з декілька складових за формулою:

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

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

$\Delta u_2 = u_2(t) - u_2(t - \tau_z)$ – приріст управляючої дії від нечіткого регулятора; $u_2(t - \tau_z)$ – управляюча дія з затримкою за часом τ_z .

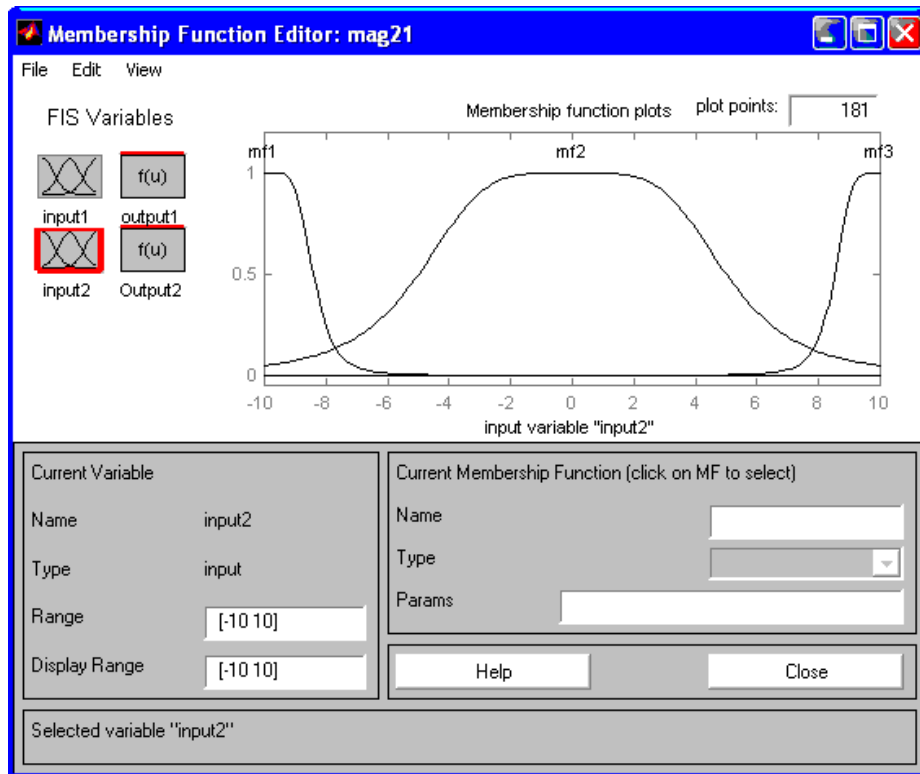


Рисунок 3.8. – Вікно формування функцій приналежностей до нечітких безлічей збільшення значення помилки PE, Z, NE редактора нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

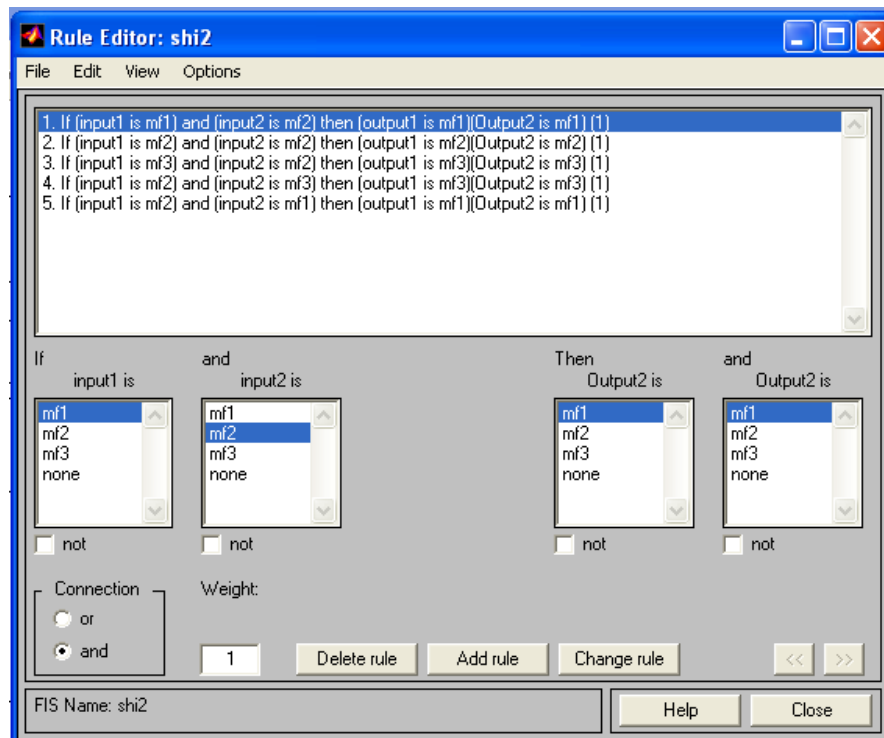


Рисунок 3.9. – Вікно редактора правил функціонування нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

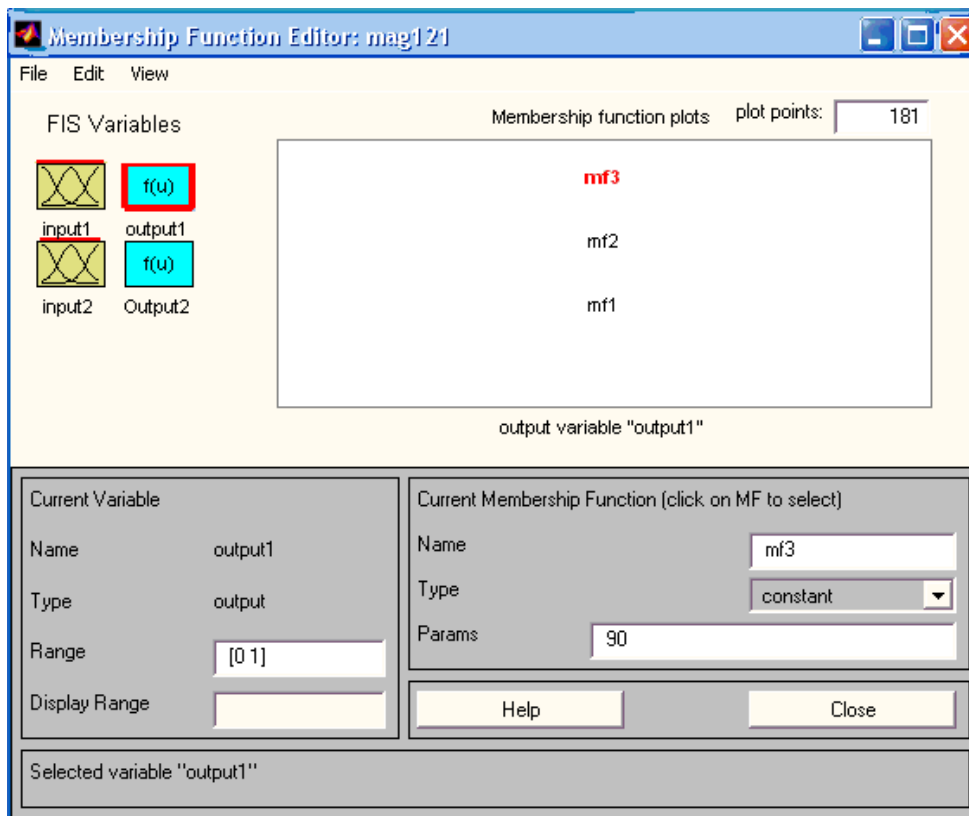


Рисунок 3.10. – Вікно редактора правил функціонування нечіткого регулятора середовища MATLAB\Simulink

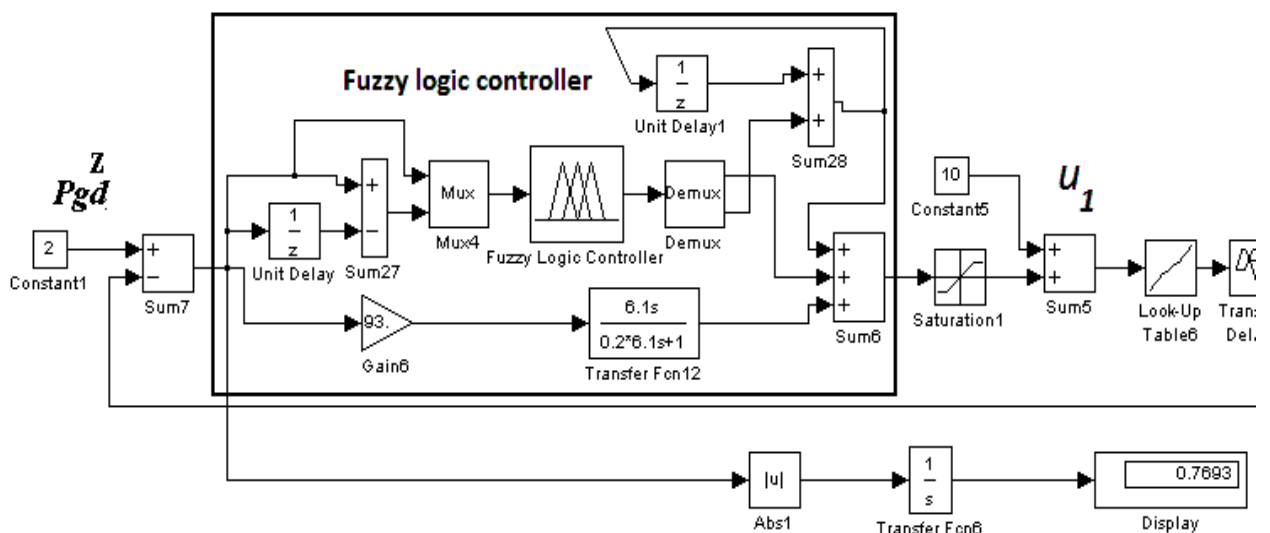


Рисунок 3.11. – Фрагмент схеми моделювання САУ з нечітким логічним регулятором

Слід зазначити, що при синтезі нечіткого логічного регулятора «Fuzzy Logic Controller» всі функції приналежності к нечітким множинам та логічні

правила функціонування визначені на базі експертних даних. А потім скореговані при моделюванні методом «проб і помилок». Також логічні правила функціонування були визначені з урахуванням правил функціонування нечітких регуляторів, представлених у відомих наукових роботах, одних із перших з Fuzzy управління.

3.5 Порівняльний аналіз функціонування САУ з традиційним ПД регулятором і САУ з нечітким регулятором

У результаті моделювання САУ з нечітким регулятором були отримані графіки перехідних процесів з виходу системи на номінальний режим функціонування і також перехідні процеси при детермінованому і випадковому впливі, що збурює. Для порівняльного аналізу також були представлені відповідні графіки перехідних процесів у САУ з традиційним ПД-регулятором.

Таким чином, на рисунку 3.12 представлені графіки перехідних процесів з виходу системи на номінальний режим функціонування. А на рисунку 3.13 представлені графіки динамічних процесів при інших початкових умовах.

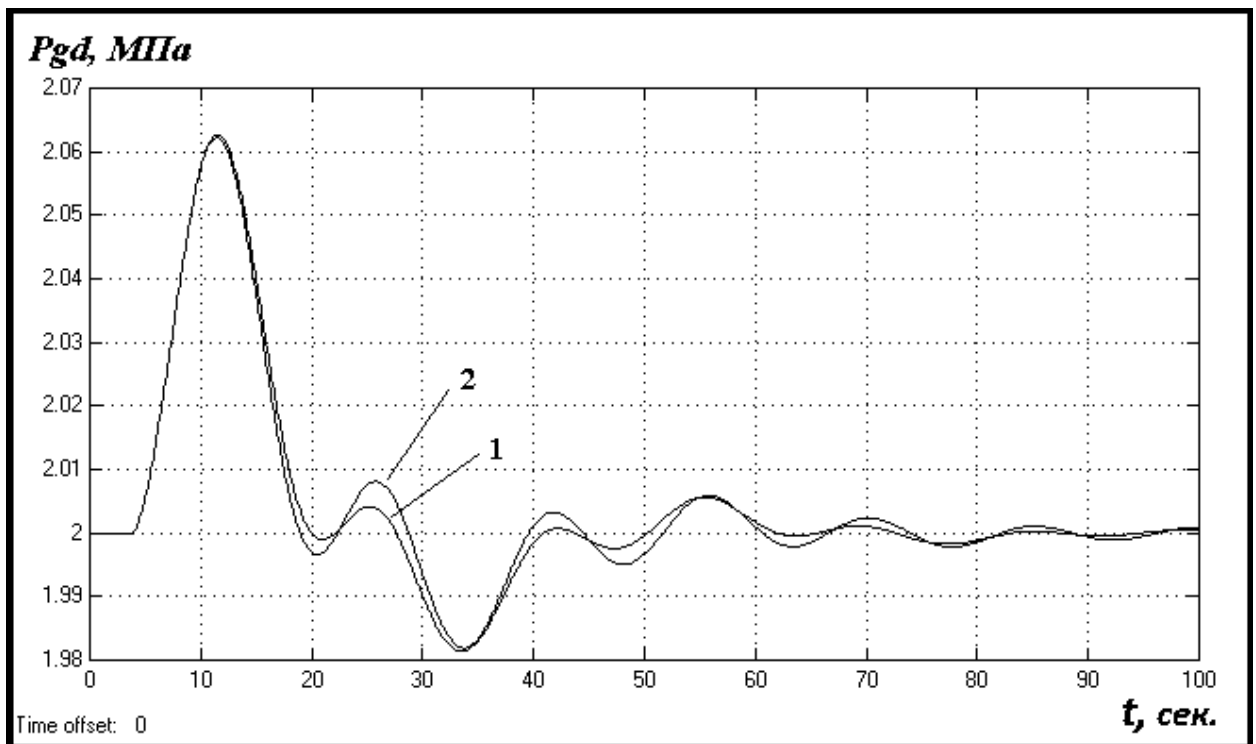


Рисунок 3.12. – Графіки переходних процесів, що отримані в результаті моделювання різних САУ, графік 1 – перехідний процес в САУ з традиційним ПІД – регулятором; графік 2 – перехідний процес в САУ з нечітким регулятором

З рисунків можна побачити, що за якістю регулювання різні САУ функціонують ідентично, як з традиційним, так і з нечітким регулятором. Графіки переходних процесів різні САУ зливаються в один. Це отримано завдяки корегуванню параметрів нечіткого регулятора, а також завдяки порівнянню функціонування САУ з нечітким регулятором і САУ з традиційним регулятором.

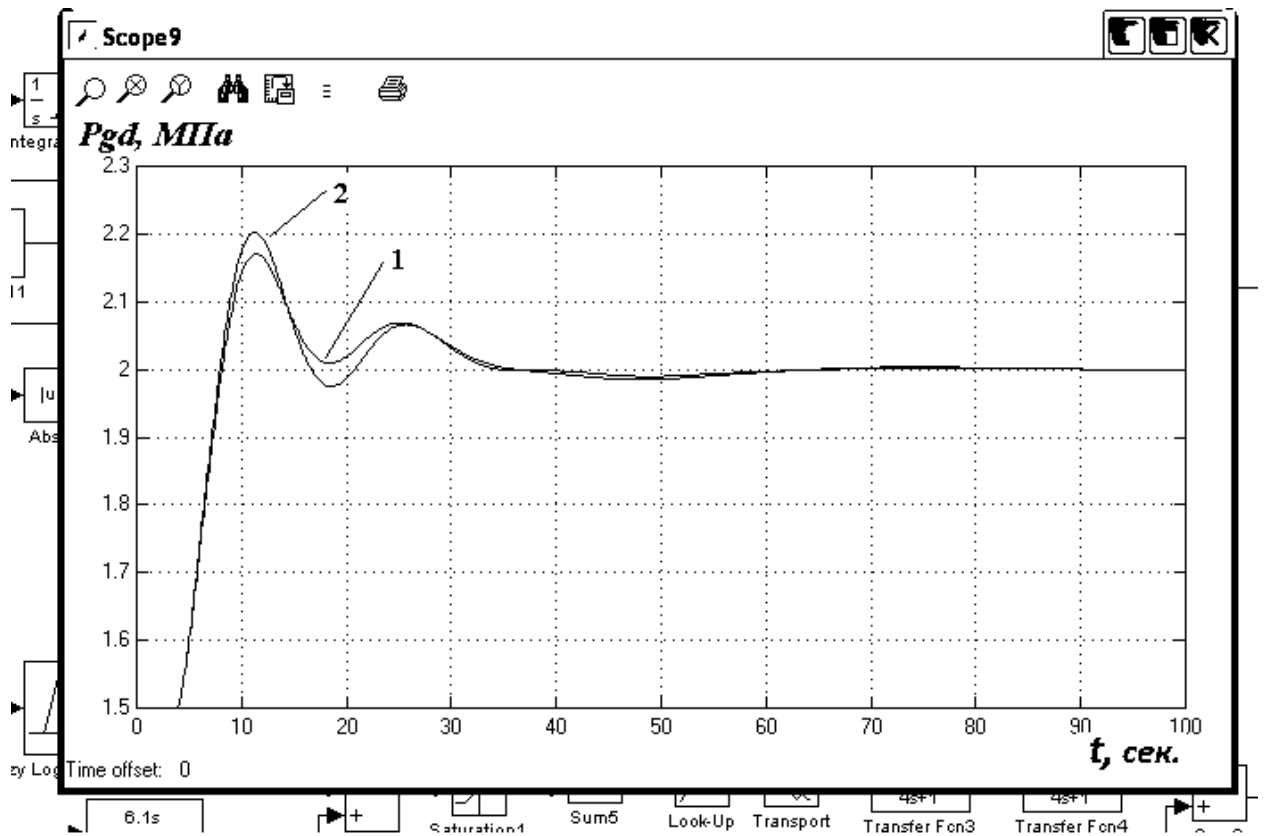


Рисунок 3.13. – Графіки перехідних процесів що отримані в результаті моделювання різних САУ, графік 1 – перехідний процес у САУ з традиційним ПІД-регулятором; графік 2 – перехідний процес у САУ з нечітким регулятором

3.6 Обґрунтування актуальності застосування нейромережевих алгоритмів управління

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

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

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

3.7 Розробка моделі САУ з нейрорегулятором

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 – багат шарова, 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 – Питса. 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 якось 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 нейронрегулятора необхідно вибрати функції активації нейронів, які приймають значення від -1 до 1. В нашому випадку буде використано гіперболічну тангенціальну функцію (tansig). Така функція дозволяє отримати на виході значення різних знаків (наприклад, від -1 до 1), що може бути необхідним в системі управління. Графічне представлення функції відображено на рисунку 3.15.

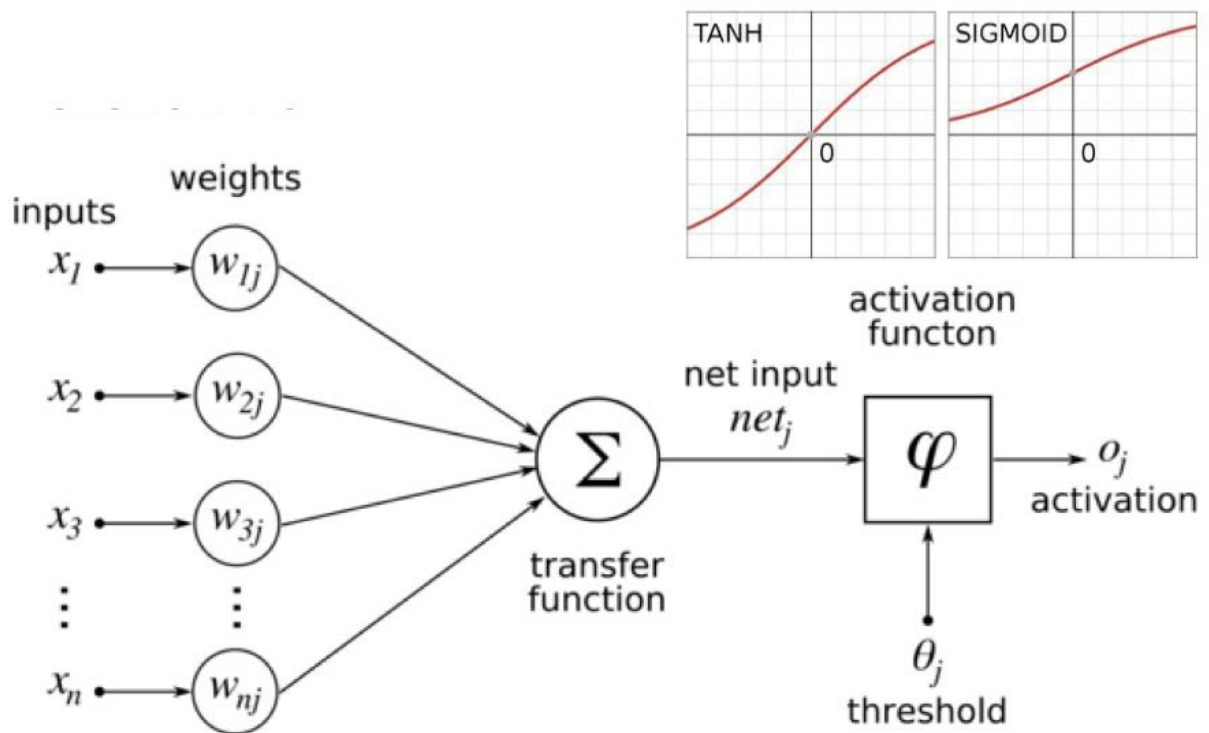


Рисунок 3.14. – Структурна схема моделі нейроелемента нейронного регулятора

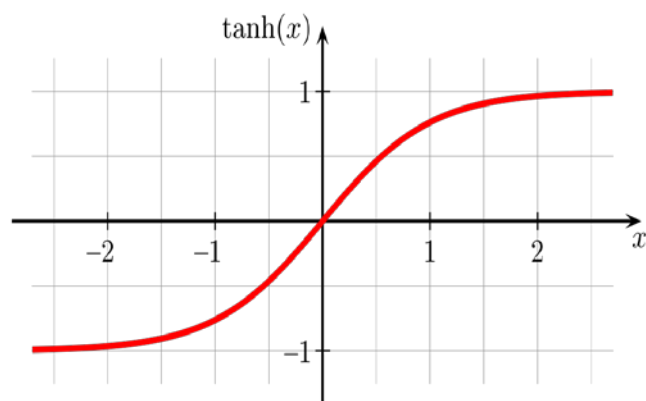


Рисунок 3.15. – Графічне представлення функції активації штучного нейрона, що застосовується у нейрорегуляторі

Аналітично функція записується у наступному вигляді:

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

Відомо, що одношарова нейронна мережа має обмежені можливості. Багатошарова чотирьох-шарова вже надлишкова для рішення різних задач. В даному випадку нейрорегулятор буде представлений нейронною мережею з двома шарами, як показано на рисунку 3.16.

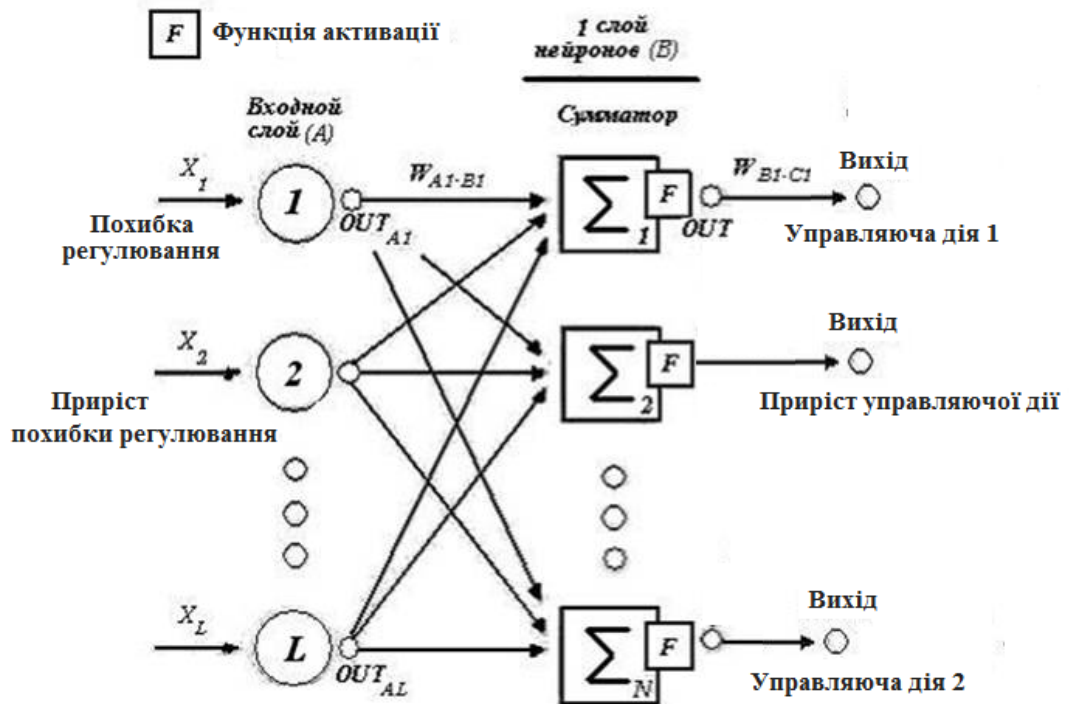


Рис. 3.16 – Одношарова нейронна мережа що виконую функції регулятора нейромережевого алгоритму управління

Складнішими являються багатошарові нейронні мережі. Такі мережі, крім вхідного і вихідного шарів нейронів, характеризуються ще і прихованим шаром (шарами). Зрозуміти їх розташування просто - ці шари знаходяться між вхідним і вихідним шарами.

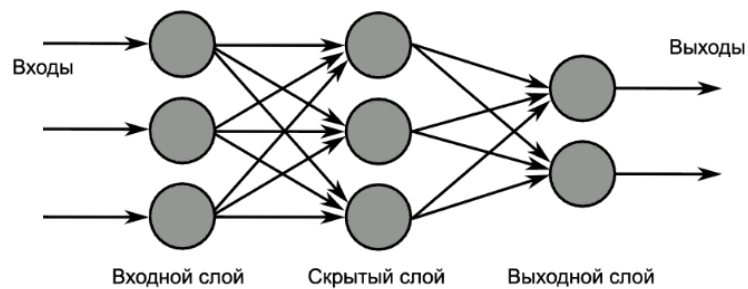


Рис. 3.17 – Багатошарова нейронна мережа.

На рисунку 3.18 також зображені похибки на кожному нейроні для коректування ваг за методом зворотного поширення. Якщо така структура буде недостатня, то необхідно буде збільшити кількість нейронів в вхідному шарі мережі та збільшити кількість шарів до трьох.

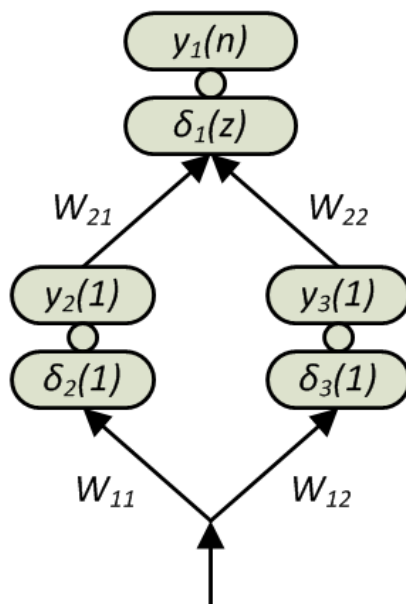


Рисунок 3.18. – Структурна схема нейрорегулятора інтегральної або пропорційної складової

На рисунку 3.18 також зображені похибки на кожному нейроні для коректування ваг за методом зворотного поширення. Якщо така структура буде недостатня, то необхідно буде збільшити кількість нейронів в вхідному шарі мережі та збільшити кількість шарів до трьох.

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

Штучна нейронна мережа, що виконує роль регулятора, синтезується на базі характеристик нечіткого логічного регулятора. Ці характеристики

представляються у табличній формі у вигляді вхідних і вихідних значень нечіткого регулятора (таблиця 3.2). Дані, представлені у таблиці 2, визначені на базі моделювання нечіткого регулятора.

Таблиця 3.2 – Вхідні та вихідні значення сигналів регулятора

| № | l | u | Δu |
|---|----------|----------|------------------------------|
| 1 | -2 | -90 | -2 |
| 2 | -1.5 | -90 | -2 |
| 3 | -1 | -90 | -2 |
| 4 | -0.5 | -52.5 | -1,167 |
| 5 | -0.3 | -31,5 | 0,7 |
| 6 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0.3 | 31,5 | 0,6999 |
| 8 | 0.5 | 52.5 | 1,167 |
| 9 | 1 | 90 | 2 |

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, представленій на рисунку 3.19.

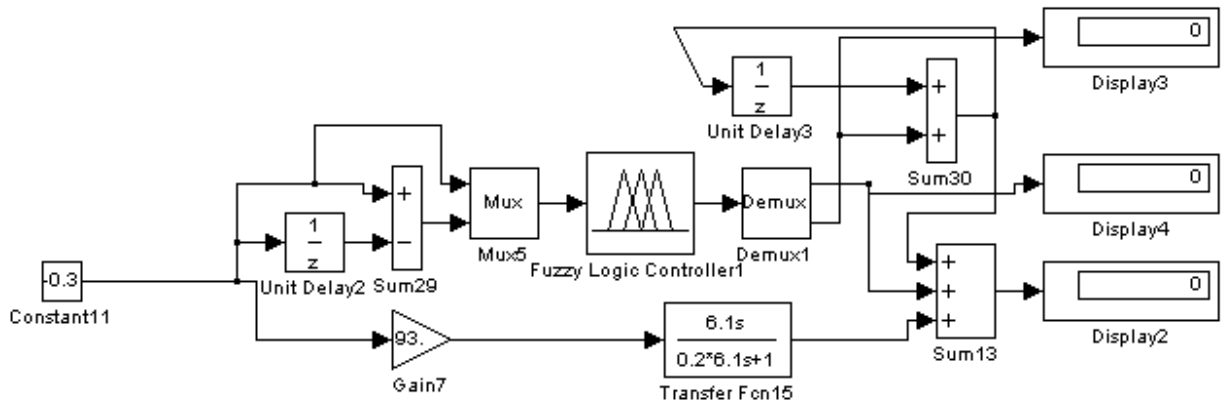


Рисунок. 3.19 – Схема для отримання даних для навчання нейронної мережі

В М-файлі було записано виконавчий код, що представлений на рисунках 3.20 і 3.21 відповідно для інтегральної та пропорційної складової регулятора. Представлений виконавчий код також можливо записати у командній строчці Matlab – command window, в результаті чого згенерується відповідна нейронна мережа.

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

```
P=[-2 -1.5 -1 -0.5 -0.3 0 0.3 0.5 1 1.5 2];
```

```
» t=[-0.9 -0.9 -0.9 -0.525 -0.315 0 0.315 0.525 0.90 0.90 0.90];
```

```
» net=newff([-4 4], [2 1], {'tansig' 'tansig'});
```

```
» net.trainParam.epochs=100;
```

```
» net=train(net, P, t);
```

```
TRAINLM, Epoch 0/100, MSE 1.40438/0, Gradient 1.87182/1e-010
```

```
TRAINLM, Epoch 25/100, MSE 0.0018263/0, Gradient 0.00139923/1e-010
```

```
TRAINLM, Epoch 50/100, MSE 0.00165828/0, Gradient 0.00153247/1e-010
```

```
TRAINLM, Epoch 75/100, MSE 0.00162289/0, Gradient 0.00229533/1e-010
```

```
TRAINLM, Epoch 100/100, MSE 0.00162079/0, Gradient 0.000712464/1e-
```

010

```
TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.
```

```
» a=sim(net, P)
```

```
a =
```

```
Columns 1 through 7
```

```
-0.9000 -0.9001 -0.8603 -0.5484 -0.3430 0.0154 0.3537
```

Columns 8 through 11

0.5335 0.8077 0.9204 0.9647

```
>> P=[-2 -1.5 -1 -0.5 -0.3 0 0.3 0.5 1 1.5 2];
>> t=[-0.9 -0.9 -0.9 -0.525 -0.315 0 0.315 0.525 0.90 0.90 0.90];
>> net=newff([-4 4], [2 1], {'tansig' 'tansig'});
>> net.trainParam.epochs=100;
>> net=train(net, P, t);
TRAINLM, Epoch 0/100, MSE 1.40438/0, Gradient 1.87182/1e-010
TRAINLM, Epoch 25/100, MSE 0.0018263/0, Gradient 0.00139923/1e-010
TRAINLM, Epoch 50/100, MSE 0.00165828/0, Gradient 0.00153247/1e-010
TRAINLM, Epoch 75/100, MSE 0.00162289/0, Gradient 0.00229533/1e-010
TRAINLM, Epoch 100/100, MSE 0.00162079/0, Gradient 0.000712464/1e-010
TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.

>> a=sim(net, P)

a =

Columns 1 through 7

-0.9000 -0.9001 -0.8603 -0.5484 -0.3430 0.0154 0.3537

Columns 8 through 11

0.5335 0.8077 0.9204 0.9647

>> gensim(net)
```

Рисунок 3.20. – Виконавчий код для генерації нейромережі, що відтворює пропорційну складову нейрорегулятора

```

Warning: Output port 1 of block 'mag121/Demux2' is not connected.
Warning: Output port 1 of block 'mag121/Integrator2' is not connected.
Warning: Output port 1 of block 'mag121/Integrator4' is not connected.

>> P=[-2 -1.5 -1 -0.5 -0.3 0 0.3 0.5 1 1.5 2];
>> t=[-0.2 -0.2 -0.2 -0.1167 -0.07 0 0.07 0.1167 0.2 0.2 0.2];
>> net=newff([-4 4], [2 1], {'tansig' 'tansig'});
>> net.trainParam.epochs=100;
>> net=train(net, P, t);
TRAINLM, Epoch 0/100, MSE 0.639385/0, Gradient 5.64422/1e-010
TRAINLM, Epoch 25/100, MSE 0.00217381/0, Gradient 0.0030811/1e-010
TRAINLM, Epoch 50/100, MSE 0.00207909/0, Gradient 0.00218708/1e-010
TRAINLM, Epoch 75/100, MSE 0.00166242/0, Gradient 0.0171777/1e-010
TRAINLM, Epoch 100/100, MSE 7.30486e-005/0, Gradient 0.000258114/1e-010
TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.

>> a=sim(net, P)
a =
Columns 1 through 7
-0.2087 -0.2022 -0.1805 -0.1199 -0.0790 -0.0025 0.0770
Columns 8 through 11
0.1218 0.1888 0.2064 0.1987

>> gensin(net)
>>

```

Рисунок 3.21. – Виконавчий код для генерації нейромережі, що відтворює інтегральну складову нейрорегулятора

Характеристики точності навчання показані на рисунку 18, з яких можливо побачити, що десь на 40-м кроці навчання коректування ваг між нейронними з'єднаннями було закінчено.

Водночас з генерацією НМ в головному вікні Matlab відображаються фактичні значення вихідного сигналу і-того вихідного нейрону мережі. На рисунках 3.23 та 3.24 зображено бажані та фактичні значення вихідного сигналу і-того вихідного нейрону НМ, що відтворює I – складову та II – складову нейрорегулятора тиску газу окремо.

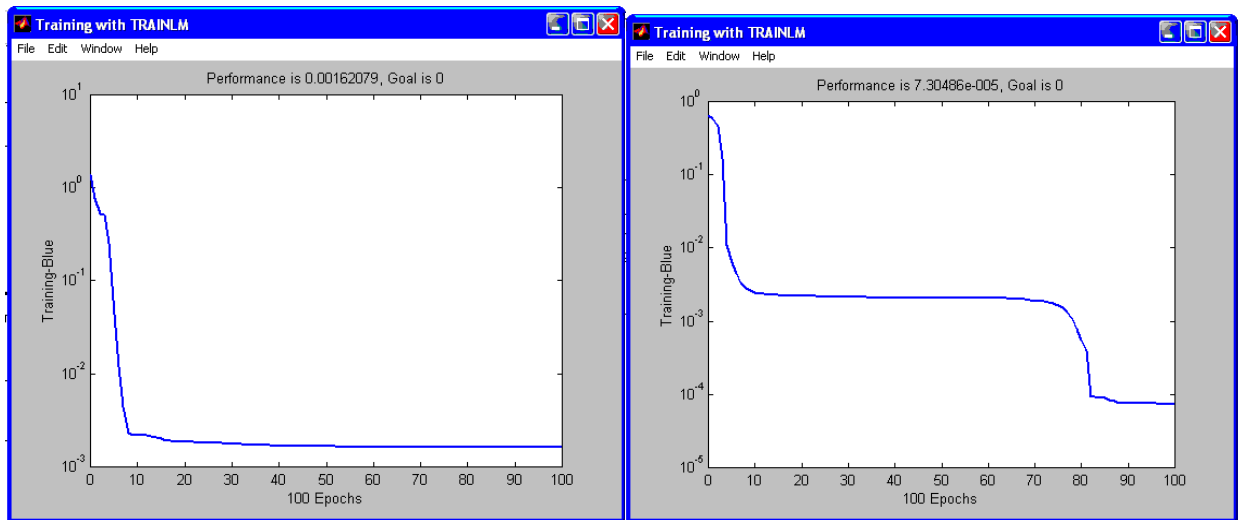


Рисунок 3.22 – Характеристика точності навчання пропорційної та інтегральної складової нейрорегулятора

| | | | | | | |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|--|
| Фактичні значення: | | | | | | |
| -0.9000 | -0.8603 | -0.5484 | -0.3430 | 0.3537 | 0.5335 | |
| Бажані значення: | | | | | | |
| -0.9 | -0.9 | -0.525 | -0.315 | 0.315 | 0.525 | |

Рисунок 3.23 - бажані та фактичні значення вих. сигналу і-того вихідного нейрону НМ, що відтворює I – складову нейрорегулятора

| | | | | | | |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Фактичні значення: | | | | | | |
| -0.2087 | -0.2022 | -0.1167 | -0.0790 | 0.07 | 0.2 | 0.2 |
| Бажані значення: | | | | | | |
| -0.2 | -0.2 | -0.1199 | -0.07 | 0.0770 | 0.2064 | 0.1987 |

Рисунок 3.24 – бажані та фактичні значення вих. сигналу і-того вихідного нейрону НМ, що відтворює II – складову нейрорегулятора

Виходячи з цих даних, представлених на рисунках 3.23 та 3.24, розрахуємо похибки для вихідного шару та похибки для і-тих нейронів прихованого шару НМ за методом зворотного поширення для оцінки якості тренування нейронної мережі.

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

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

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

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

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

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

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

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

Розрахунок помилки вихідного шару згідно з рисунку 3.23:

$$\begin{aligned} \delta_1(z) &= (y_1(n) - d_1) * y_1(n)(1 - y_1(n)) = \\ &= (0.5335 - 0.525) * (0.5335) * (1 - 0.5335) = 0.00000085 \end{aligned}$$

Розрахунок помилки для i -тих нейронів прихованого шару:

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

$$\begin{aligned} \delta_3(1) &= y_3(1) * (1 - y_3(1)) * W_{22} * \delta_1(z) = \\ &= 0.5327 * (1 - 0.5327) * (-0.1663176858009808) * 0.00000085 = \\ &= 0.0000000351 \end{aligned}$$

Розрахунок помилок для II – складової нейрорегулятора:

Розрахунок помилки вихідного шару:

$$\begin{aligned}\delta_1(z) &= (y_1(n) - d_1) * y_1(n)(1 - y_1(n)) = \\ &= (0.077 - 0.07) * (0.077) * (1 - 0.077) = 0.0333\end{aligned}$$

Розрахунок помилки для і-тих нейронів прихованого шару:

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

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

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

Сформовані нейроні мережі були визначені у схемі моделювання замість нечіткого регулятора, як показано на рисунку 3.25. У такий спосіб була синтезована модель САУ з нейрорегулятором засобами середовища MATLAB\Simulink, фрагмент структурної схеми якої представлений на рисунку 3.25.

На основі даних параметрів сформованої нейронної мережі була визначена схема нейрорегулятора у середовищі MATLAB\Simulink. Схема нейрорегулятора, що представлена на рисунку 3.26, є розгорнутою схемою, що представлена на попередньому рисунку 3.25.

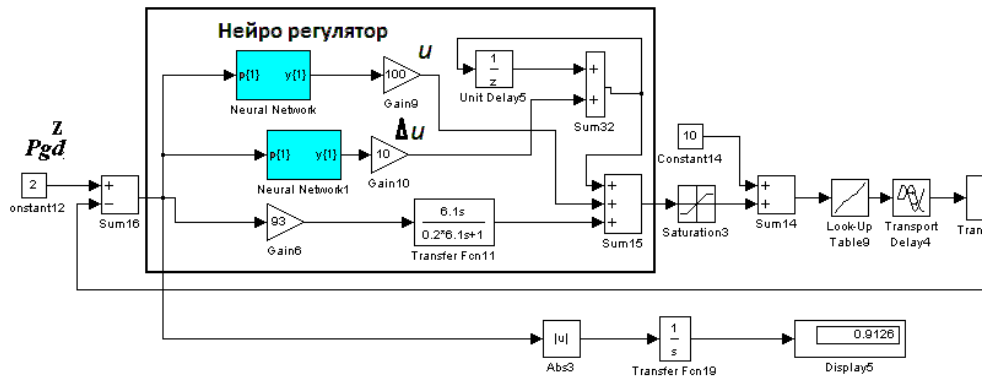


Рисунок 3.25 – фрагмент структурної схеми моделі САУ з нейрорегулятором яка представлена засобами середовища MATLAB\Simulink

У результаті моделювання САУ з нейрорегулятором були отримані графіки перехідних процесів при тих же умовах, які були при моделюванні САУ з нечітким регулятором та традиційним ПІД-регулятором. Ці графіки представлені на рисунку 3.27. З графіків перехідних процесів можливо побачити, що за якістю регулювання САУ з нейрорегулятором працює значно гірше, ніж САУ з нечітким регулятором.

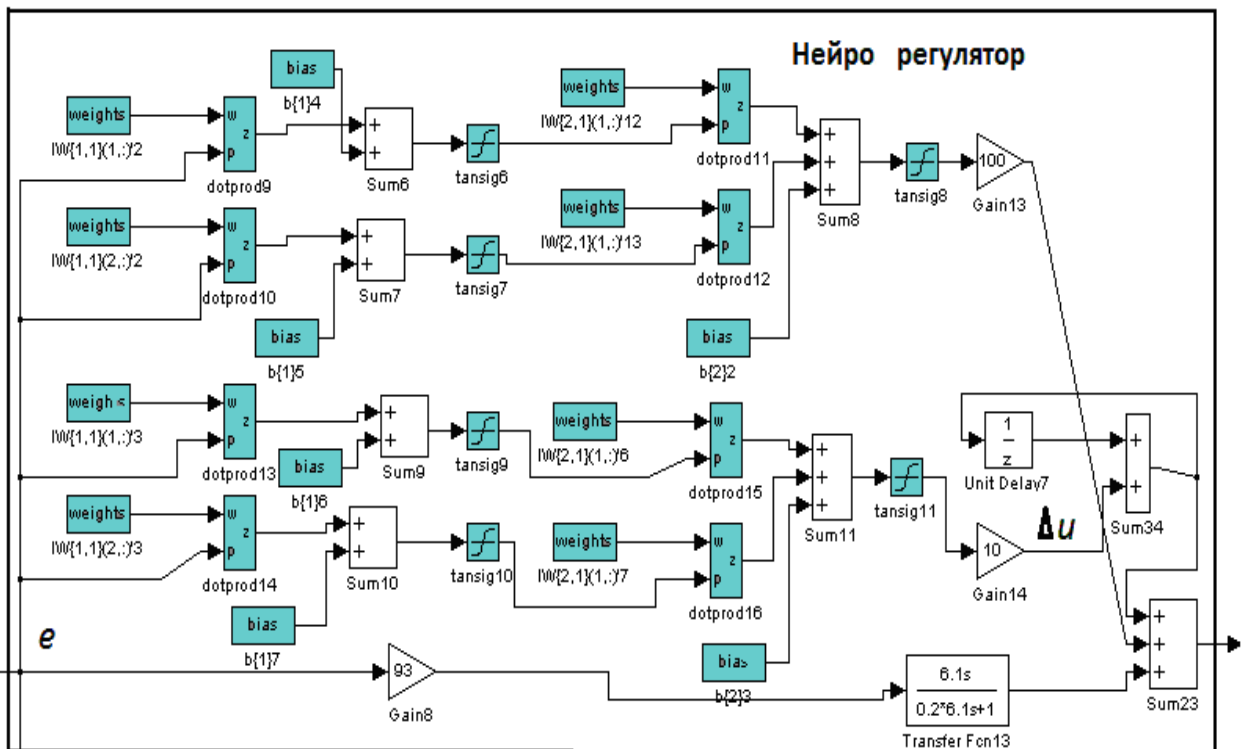


Рисунок 3.26 – Схема моделювання нейронного регулятора

Час регулювання при виході системи на номінальний режим функціонування складає 80 секунд при САУ з нечітким та традиційним ПД регулятором, і 100 секунд, при САУ з нейронним регулятором. Також максимальне динамічне відхилення при детермінованому, що збурює, значно більше в САУ з нейрорегулятором, як показано на рисунку 3.27. Незважаючи на це регулятор, що синтезований на базі штучних нейронних мереж, має 8-м ваг між нейронних з'єднань, а саме параметри які можна оптимізувати для покращення якості регулювання. Також, як видно з рисунку 3.28, є шість зміщень, які також можливо оптимізувати.

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.

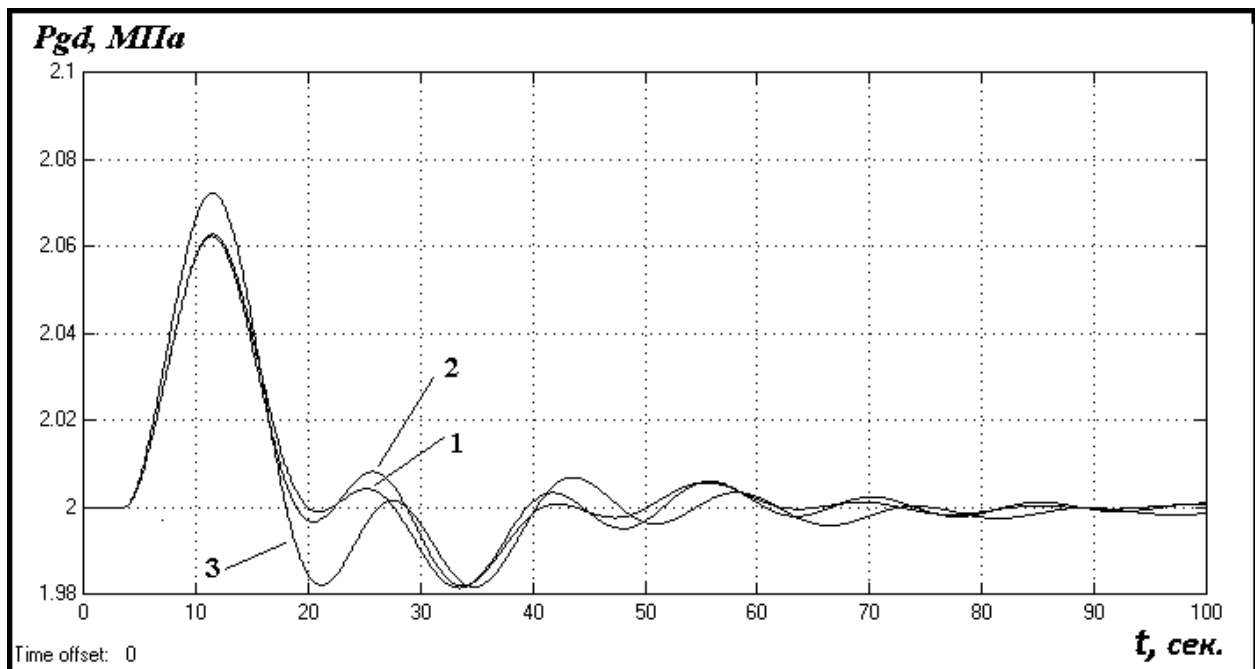


Рисунок 3.27. – Графіки переходних процесів, отримані в результаті моделювання різних САУ, графік 1 – перехідний процес у САУ з традиційним ПД-регулятором; графік 2 – перехідний процес у САУ з регулятором, побудованим на базі штучних нейронних мереж

3.8 Параметрична оптимізація САУ з нейрорегулятором

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 ПІД регулятором. Таким чином, інтегральний показник якості функціонування при оптимізації був обраний відповідно таким же, як при оптимізації САУ з традиційним ПІД регулятором. У програмному середовищі MATLAB\Simulink 5.2 була визначена модель САУ з нейрорегулятором і параметричним оптимізатором, фрагмент структурної схеми якої відображено на рисунку 3.28.

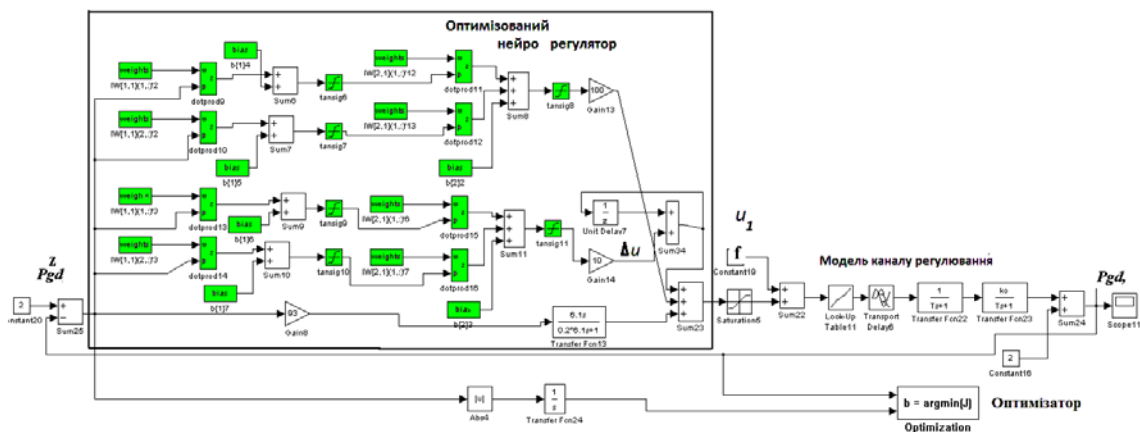


Рисунок 3.28 – Фрагмент структурної схеми моделі САУ з нейронним регулятором і параметричним оптимізатором, що реалізована засобами MATLAB\Simulink для визначення оптимальних параметрів системи управління за умови нелінійності статичної характеристики каналу регулювання

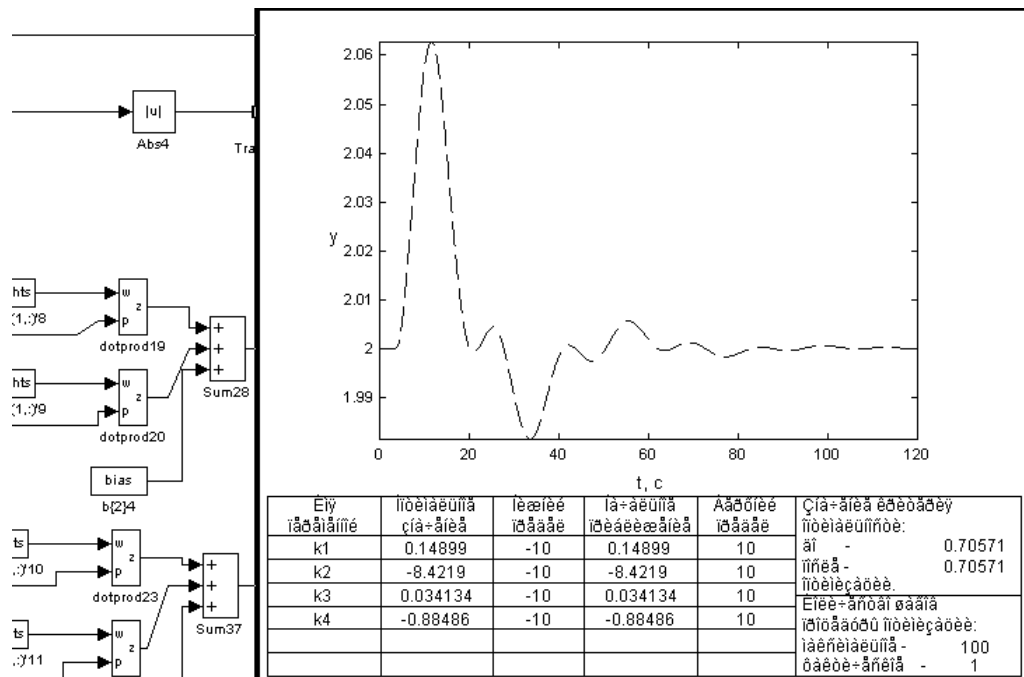


Рисунок 3.30 – Вікно результатів оптимізації параметрів регулятора, представленого штучною нейронною мережею, системи автоматичного управління

Таким чином, після параметричної оптимізації була перевірена система на грубість для оцінки принципової придатності оптимізованого нейрорегулятора САУ. Результати перевірки системи на грубість за допомогою відповідного програмного забезпечення, вбудованого в середовище MATLAB\Simulink, показав, що система не втрачає стійкість при різних параметрах у діапазоні +/- 20 %. Отже синтезований нейрорегулятор можливо перетворити у відповідний код – програму для визначеного промислового контролера для практичного застосування його у відповідній системі управління.

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

На заключному етапі розробки САУ був виконаний порівняльний аналіз функціонування різних САУ за якістю регулювання. У результаті

моделювання були отримані графіки перехідних процесів різних САУ за виходом системи на номінальний режим функціонування, що показані на рисунку 3.26. 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 на рисунку 3.32, у якому зображене вікно результатів аналізу, де показані середні квадратичні відхилення і математичні очікування значень похибки регулювання при різних САУ.

З рисунку 3.32 можливо побачити, що за середньо квадратичним відхиленням САУ з традиційним ПД-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.

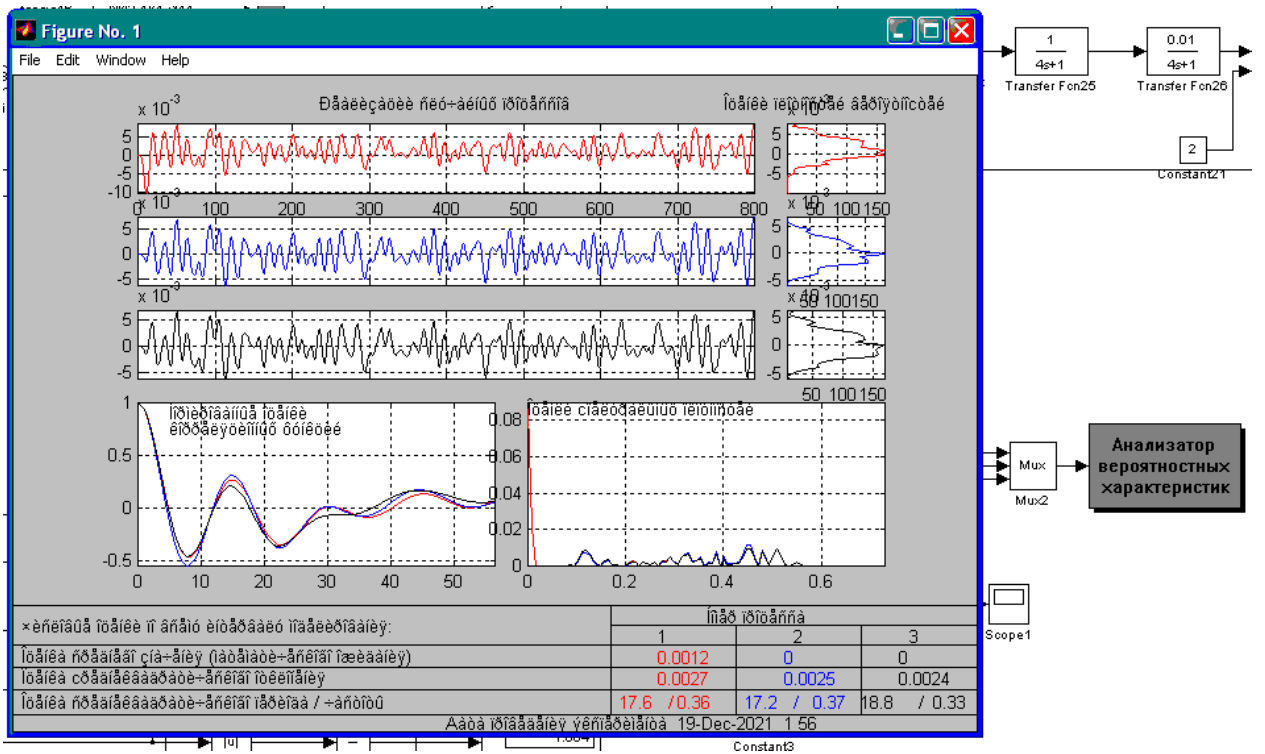


Рисунок 3.32 - Вікно результатів аналізу аналізатора імовірнісних характеристик

Таблиця 3.3 – Показники якості регулювання різних САУ

| САУ | САУ з традиційним ПІД-регулятором | САУ з нечітким регулятором | САУ з регулятором, представленим штучною нейронною мережею |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--|
| Час регулювання | ≈90 | ≈100 | ≈80 |
| Максимальне динамічне відхилення | ≈0.07 | ≈0.08 | ≈0.06 |
| Інтегральний показник | 0,754 | 0,7693 | 0,70571 |
| Математичне очікування | 0,0 | 0,0012 | 0,0 |
| Середньоквадратичне відхилення | 0,0025 | 0,0027 | 0,0024 |

З таблиці 3.3 можливо зробити остаточний висновок, що за якістю регулювання САУ з нейронним регулятором незначно краще функціонує, ніж інші розглянуті САУ. САУ з традиційним ПД-регулятором і САУ з нечітким регулятором функціонують за якістю регулювання практично ідентично при об'єкті з нелінійною статичною характеристикою за каналом регулювання.

3.10 Розробка програмного забезпечення для реалізації нейрорегулятора на базі промислового контролера

За допомогою Simulink PLC Coder автоматично одержуємо згенерований код для промислових систем управління. А саме, згенерований вихідний код у структурованому текстовому форматі з моделі Simulink. Для генерації коду необхідна програма Matlab, починаючи з версії 2010a. Розробляти необхідно програму для ПЛК Siemens SIMATIC STEP 7.

Спочатку вибираємо Subsystem Paramtrs на блоці регулятора, синтезованого на основі штучної нейронної мережі. У цьому вікні відзначаємо «Treat as atomic unit» і натискаємо кнопку Ок. На функціональному блоці натискаємо праву клавішу миші і вибираємо PLC Coder / Options. Далі вибираємо, у який тип ПЛК буде згенерований код (Target IDE) і натискаємо клавішу Generate code. Згенерований код для SIMATIC STEP 7 наступний:

```
(*  
*  
* File: sh7.scl  
*  
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem  
"shihov7/Subsystem"  
*  
* Model name : sh  
* Model version : 1.9  
* Model creator : Kindzerskiy
```

* Model last modified by : Kindzerskiy
* Model last modified on : Thu Jan 17 01:27:24 2013
* Model sample time : 0s
* Subsystem name : sh/Subsystem
* Subsystem sample time : 0s
* Simulink PLC Coder version : 1.3 (R2012a) 29-Dec-2011
* ST code generated on : Thu Jan 17 01:44:26 2013
*
* Target IDE selection : Siemens SIMATIC Step 7 5.4
* Test Bench included : No
*
*)

FUNCTION_BLOCK Subsystem

VAR_INPUT

ssMethodType: INT;

In1: REAL;

END_VAR

VAR_OUTPUT

Out1: REAL;

END_VAR

VAR

UnitDelay_DSTATE: REAL;

rtb_Sum1_g: REAL;

END_VAR

CASE ssMethodType OF

0:

(* InitializeConditions for UnitDelay: '<S1>/Unit Delay' *)

UnitDelay_DSTATE := 0.0;

1:

(* Sum: '<S1>/Add8' incorporates:

- * Constant: '<S12>/one'
- * Constant: '<S12>/one1'
- * Constant: '<S13>/one'
- * Constant: '<S13>/one1'
- * Constant: '<S14>/one'
- * Constant: '<S14>/one1'
- * Constant: '<S1>/Constant23'
- * Constant: '<S1>/Constant24'
- * Constant: '<S1>/Constant32'
- * Constant: '<S1>/Constant34'
- * Constant: '<S1>/Constant35'
- * Constant: '<S1>/Constant36'
- * Constant: '<S1>/Constant37'
- * DotProduct: '<S2>/Dot Product'
- * DotProduct: '<S3>/Dot Product'
- * DotProduct: '<S8>/Dot Product'
- * DotProduct: '<S9>/Dot Product'
- * Gain: '<S12>/Gain'
- * Gain: '<S12>/Gain1'
- * Gain: '<S13>/Gain'
- * Gain: '<S13>/Gain1'
- * Gain: '<S14>/Gain'
- * Gain: '<S14>/Gain1'
- * Inport: '<Root>/In1'
- * Math: '<S12>/Exp'
- * Math: '<S12>/Reciprocal'
- * Math: '<S13>/Exp'
- * Math: '<S13>/Reciprocal'

- * Math: '<S14>/Exp'
- * Math: '<S14>/Reciprocal'
- * Sum: '<S14>/Sum'
- * Sum: '<S14>/Sum1'
- * Sum: '<S1>/netsum6'
- * Sum: '<S1>/netsum7'
- * Sum: '<S1>/netsum8'
- * UnitDelay: '<S1>/Unit Delay'

*

* About '<S12>/Exp':

* Operator: exp

*

* About '<S12>/Reciprocal':

* Operator: reciprocal

*

* About '<S13>/Exp':

* Operator: exp

*

* About '<S13>/Reciprocal':

* Operator: reciprocal

*

* About '<S14>/Exp':

* Operator: exp

*

* About '<S14>/Reciprocal':

* Operator: reciprocal *)

rtb_Sum1_g := (((1.0 / (EXP((((((1.0 / (EXP(((0.013626968820241061 *
 In1) + -1.1191350424041615) * -2.0) + 1.0)) *
 2.0) - 1.0) * -0.090802279331460109) + (((1.0 / (EXP(((
 0.00999217624493311 * In1) + -0.49391640418486038) *

-2.0) + 1.0)) * 2.0) - 1.0) * 0.1663176858009808)) +
0.0029046932421489396) * -2.0) + 1.0)) * 2.0) - 1.0) + UnitDelay_DSTATE;

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

IF rtb_Sum1_g >= 100.0 THEN

 rtb_Sum1_g := 100.0;

ELSIF NOT (rtb_Sum1_g > 0.0) THEN

 rtb_Sum1_g := 0.0;

END_IF;

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

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

* Constant: '<S10>/one'

* Constant: '<S1>/Constant29'

* Constant: '<S1>/Constant38'

* Constant: '<S1>/Constant39'

* DotProduct: '<S4>/Dot Product'

* DotProduct: '<S5>/Dot Product'

* DotProduct: '<S6>/Dot Product'

* DotProduct: '<S7>/Dot Product'

* Gain: '<S10>/Gain'

* Gain: '<S10>/Gain1'

* Gain: '<S11>/Gain'

* Gain: '<S11>/Gain1'

* Gain: '<S15>/Gain'

* Gain: '<S15>/Gain1'

* Gain: '<S1>/Gain'

* Inport: '<Root>/In1'

* Math: '<S10>/Exp'

* Math: '<S10>/Reciprocal'

- * Math: '<S11>/Exp'
- * Math: '<S11>/Reciprocal'
- * Math: '<S15>/Exp'
- * Math: '<S15>/Reciprocal'
- * Sum: '<S10>/Sum'
- * Sum: '<S10>/Sum1'
- * Sum: '<S11>/Sum'
- * Sum: '<S11>/Sum1'
- * Sum: '<S15>/Sum'
- * Sum: '<S15>/Sum1'
- * Sum: '<S1>/Add9'
- * Sum: '<S1>/netsum10'
- * Sum: '<S1>/netsum11'
- * Sum: '<S1>/netsum9'
- *
- * About '<S10>/Exp':
- * Operator: exp
- *
- * About '<S10>/Reciprocal':
- * Operator: reciprocal
- *
- * About '<S11>/Exp':
- * Operator: exp
- *
- * About '<S11>/Reciprocal':
- * Operator: reciprocal
- *
- * About '<S15>/Exp':
- * Operator: exp
- *

```

* About '<S15>/Reciprocal':
* Operator: reciprocal *)
Out1 := (((1.0 / (EXP((((1.0 / (EXP(((0.015218714570200064 * In1) +
2.0666739092533777) * -2.0) + 1.0)) * 2.0) -
1.0) * -7.3307275810928836) + (((1.0 / (EXP((-
0.015563587879813916 * In1) + 2.1007780810576624) * -2.0) + 1.0)) *
2.0) - 1.0) * 7.3655548636428527)) + -0.049757494315143369) * -2.0)
+ 1.0)) * 2.0) - 1.0) * 100.0) + rtb_Sum1_g;

(* Update for UnitDelay: '<S1>/Unit Delay' *)
UnitDelay_DSTATE := rtb_Sum1_g;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK

```

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

3.11. 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 САУ функціонує незначно гірше, ніж САУ з традиційним

ПД-регулятором при об'єкті управління з нелінійною статичною характеристикою за каналом регулювання.

Для подальшої параметричної оптимізації САУ, за характеристиками нечіткого регулятора було виконано тренування визначеної штучної нейронної мережі, яка може виконувати роль нейрорегулятора. Тренування штучної нейронної мережі було виконано також засобами середовища MATLAB\Simulink за відповідним виконавчим кодом. Була розроблена модель САУ з регулятором, що представляється штучною нейронною мережею. Параметрична оптимізація САУ з нейрорегулятором були проведена при тих же умовах, що і САУ з традиційним ПД-регулятором.

У результаті моделювання різних САУ було встановлено, що за якістю регулювання САУ з нейрорегулятором функціонує незначно краще, ніж інші САУ, це за інтегральним показником якості регулювання - відповідно 0.7075 при САУ з нейрорегулятором і 0.754 при САУ з традиційним ПД-регулятором.

В заключній частині для практичної реалізації нейрорегулятора була сформована програма для промислового контролера.

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

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ САК ПРОЦЕСУ КОМПРИМУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ДОТИСКНІЙ КОМПРЕСОРНІЙ СТАНЦІЇ, ЩО РЕАЛІЗУЄ ФУНКЦІЮ МІНІМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ ПРИ ГАРАНТОВАННІ ДОТРИМАННЯ ОБМЕЖЕНЬ

4.1 Обґрунтування актуальності додаткової функції САК для підвищення енергоефективності

До недоліку САК базової структури можна віднести недостатню динамічну точність системи, а користуючись інженерної методикою розрахунку ПД-регулятора можна і зовсім отримати нестійку систему. Що стосується САК підвищеної динамічної точності, то недоліком є необхідність впровадження додаткових технічних засобів, що робить САК більш складною.

Основним принципом, на який потрібно звертати увагу при управлінні процесом компримування природного газу на дотискній компресорній станції, є отримання продукту з високою якістю в певних економічно доцільних межах. Це означає, що витрати енергоносіїв повинні бути наближені до мінімальних значень.

Виходячи з обґрунтованого вище, доцільно розробити для даного процесу абсолютно нову систему, яка забезпечить високу ефективність. Однією з таких функцій є функція гарантування тобто гарантованого, з наперед заданою імовірністю дотримання обмежень, встановлених регламентами.

Концепція побудови таких систем полягає у підвищенні ефективності керування системою. Дуже часто на змінні об'єкта керування регламентами накладаються обмеження, порушення яких можуть призвести до несприятливих наслідків, а саме - до аварійної зупинки обладнання, втратою сировини та енергоносіїв, зниження якості продукції. Ситуація посилюється якщо найбільш ефективні режими роботи об'єкта близькі до гранично-допустимих, він стає значно нестационарним, піддається інтенсивним

неконтрольованим збуренням, має запізнення в каналах керування, а наслідки потім важкі.

Тому САК такими об'єктами включають в себе:

а) Системи контуру автоматичного регулювання, регламентованих змінних, що забезпечують їх стабілізацію в околиці заданих значень.

б) Системи захисту, що запобігають розвитку несприятливих наслідків, обумовлених порушенням регульованої змінної $y(t)$ встановлених регламентом гранично-допустимих значень $y(t)$ гр (подія S). Коли подія S призводить до виникнення аварійної ситуації, то для запобігання її переростання в аварію, система захисту екстрено припиняє технологічний процес.

4.2 Розробка структурної схеми САК, яка реалізує функцію мінімізації енерговитрат при гарантуванні дотримання обмежень, формалізація алгоритму керування, обґрунтування значень параметрів налаштування такої САК

Основна мета побудови систем гарантуючого керування – гарантувати з наперед заданою вірогідністю на заданому інтервалі часу виконання певних обмежень, які накладені регламентами ведення технологічного процесу роботи технологічного агрегату. Очевидно, що для придачі системам властивостей гарантування, потрібно оцінювати (прямо або побічно) поточне значення цієї імовірності, тобто фактично використовувати принцип замкнутого керування (зі зворотнім зв'язком). Для забезпечення неперервного і значить, без додаткового запізнення, функціонування цього контуру зворотного зв'язку, вказане оцінювання необхідно проводити на змінному інтервалі часу. Для покращення динамічних властивостей контуру, доцільно прагнути, по можливості, до меншої довжини інтервалу.

Таким чином, концепція створення системи гарантуючого керування полягає в неперервній оцінці системою в режимі реального часу поточного

значення імовірності виконання регламенту і такій корекції режиму роботи об'єкта керування, яка забезпечить необхідне, наперед задане значення цієї імовірності.

Структурна схема системи гарантуючого керування з розрахунком допустимого заданого значення контуру регулювання у контурі стабілізації інтенсивності порушень регламенту представлена на рис.4.1.

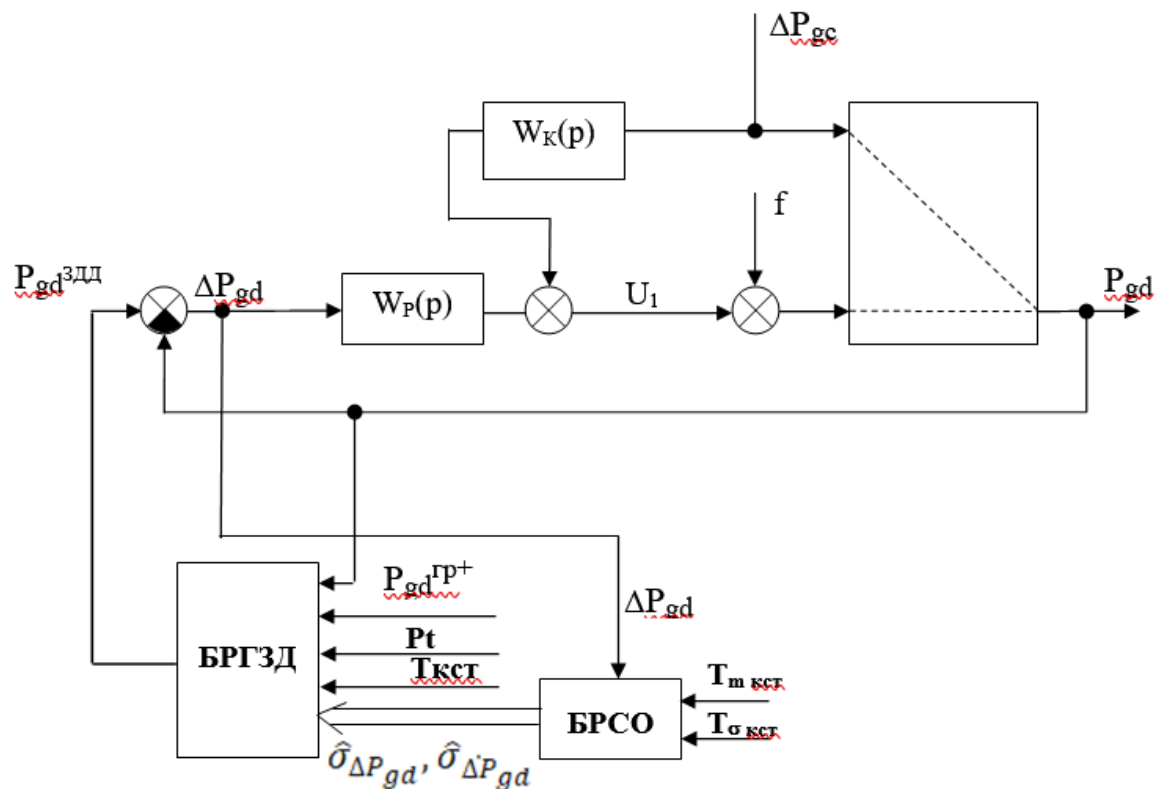


Рис. 4.1 – Структурна схема модернізованої системи керування яка додатково реалізує функцію гарантуючого керування тиском газу після дроселювання (БРГЗД – блок розрахунку гарантуючого заданого значення; БРСО – блок розрахунку статистичних оцінок).

У представленій системі передбачено регулювання тиску газу після дроселювання. Система стабілізує тиск газу після дроселювання на заданому значенні. Задля більш високої динамічної точності САУ реалізує комбінований принцип регулювання тиском газу після дроселювання. У системі реалізовано принцип інваріантності до контрольованих збурень зміни

тиску газу після сепаратора $P_{gc}(t)$. Регулятор тиску газу після дроселювання отримує задне значення від блоку БРГЗД алгоритма гарантуючого керування. Алгоритм гарантуючого управління реалізований двома блоками: БРСО та БРГЗД. У блоці БРСО на ковзних інтервалах часу розраховуються оцінка середньоквадратичного відхилення помилки регулювання тиску газу після дроселювання та оцінка середньоквадратичного відхилення похідної помилки регулювання тиску газу після дроселювання тиску газу після дроселювання відповідно до формул, наведених у пункті 2.1. Ковзаючи інтервали часу задаються як параметри налаштування системи. У блоці БРГЗД безпосередньо з урахуванням моделі порушення регламенту виконується розрахунок гранично допустимого заданого значення тиску газу після дроселювання (п. 2.1). Розрахунок виконується на основі: граничного значення тиску газу після дроселювання – P_{gdpr+} ; заданого значення ймовірності відсутності порушення обмеження – P_t ; заданого значення інтервалу часу, на якому гарантується відсутність порушення обмеження; поточних значень оцінок ймовірнісних характеристик розрахованих у блоці БРСО та поточного значення тиску газу після дроселювання.

4.3 Розробка схеми імітаційного моделювання САК і плану комп'ютерних експериментів з дослідження її ефективності, подання і аналіз результатів моделювання

Складемо імітаційну модель САК в програмному середовищі MATLAB та проведемо моделювання системи гарантуючого керування.

Доповнимо схему моделювання функціональними блоками реалізують алгоритми гарантуючого керування і проведемо настройку їх параметрів.

Отримана схема моделювання представлена на рис. 4.2. А схеми внутрішніх структур блоків БРГЗД, БРСО представлені на рис. 4.3-4.4.

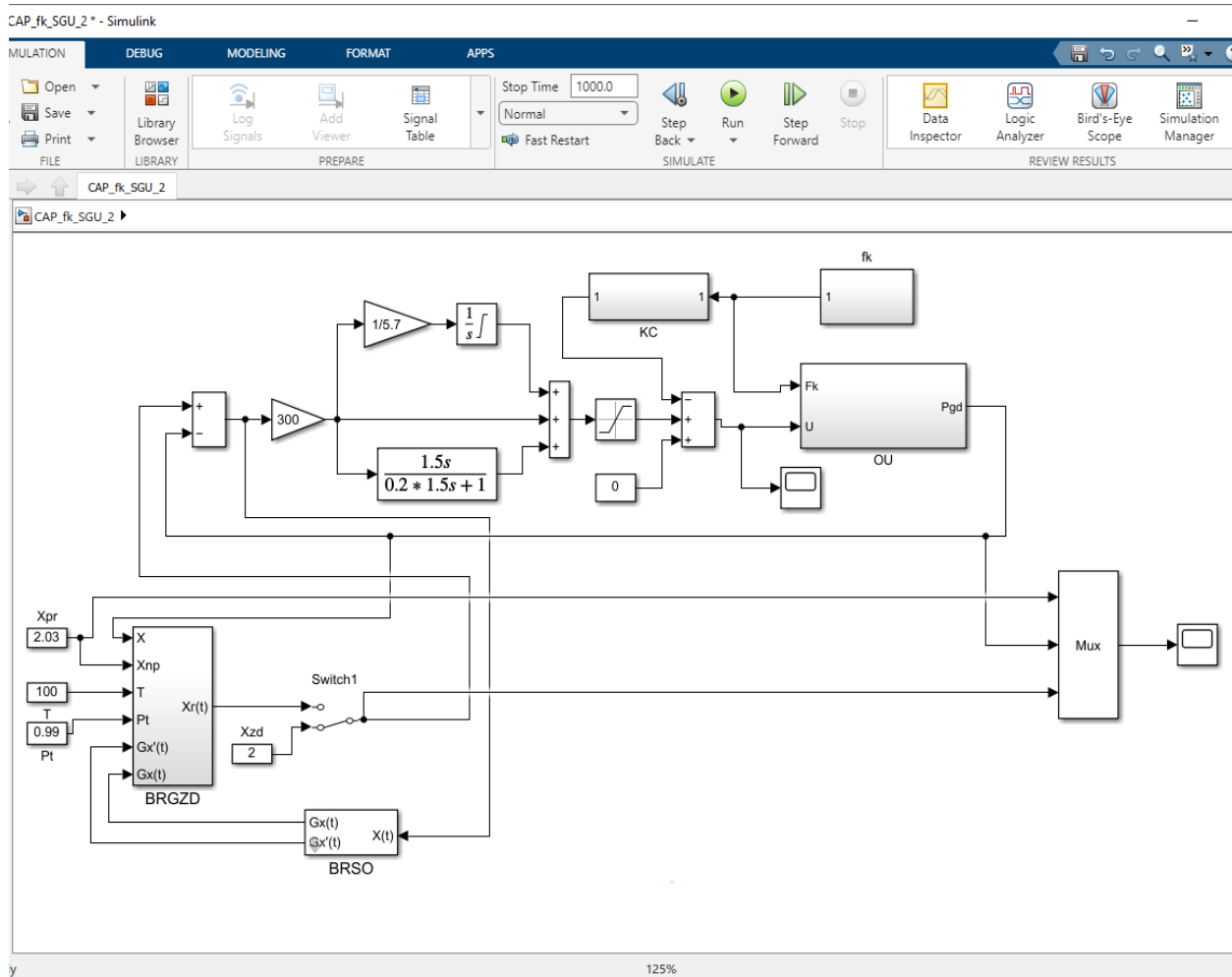


Рис. 4.2 – Схема моделювання САК з алгоритмом гарантує керування тиском газу після дроселювання

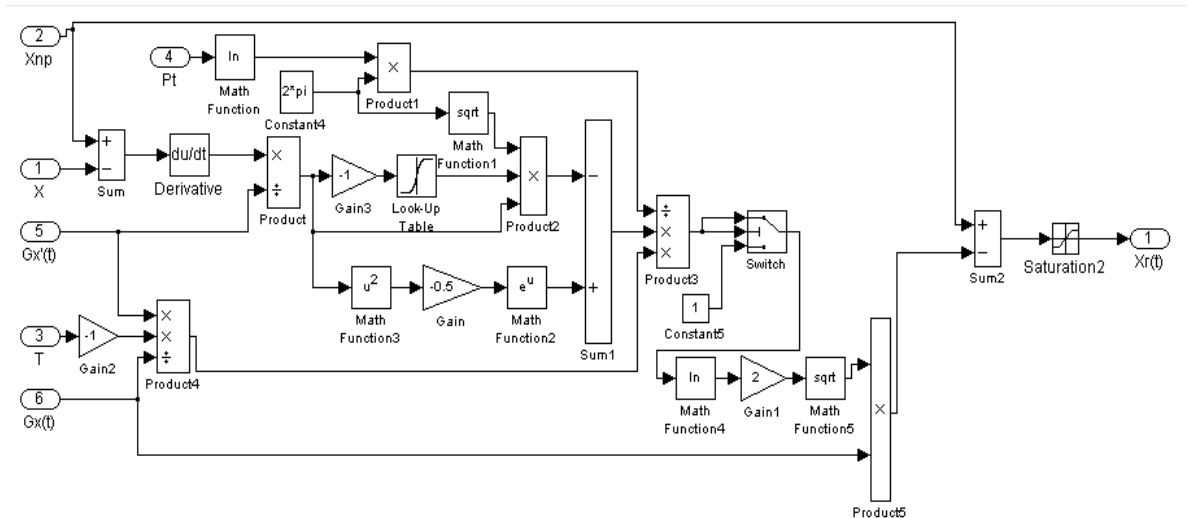


Рис. 4.3 – Внутрішня структура блоку BRGZD.

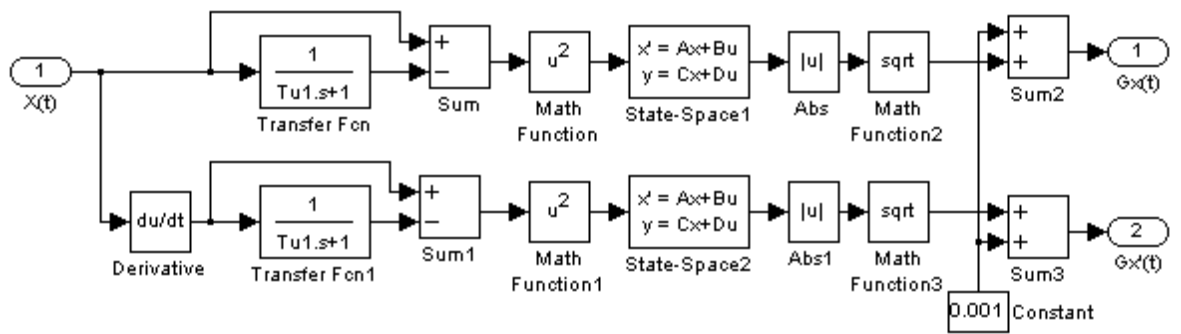


Рис. 4.4 – Внутрішня структура блоку BRSO

Проведемо дослідження роботи отриманої системи гарантуючого управління порівняно зі стабілізуючою САР в умовах діючих стаціонарних та нестаціонарних (змінюється дисперсія) координатних збурень випадкового характеру.

На рис. 4.5 та 4.6 представлені результати моделювання стабілізуючої САР тиску газу після дроселювання та системи, що реалізує гарантуюче управління при фіксованому значенні середньоквадратичного відхилення збурень. Задане значення тиску газу після дроселювання встановлено на рівні 2.01 МПа. Як видно з результатів моделювання в СГУ викиди за граничне значення відсутні. Середнє видалення менше в системі, що реалізує гарантуюче управління.

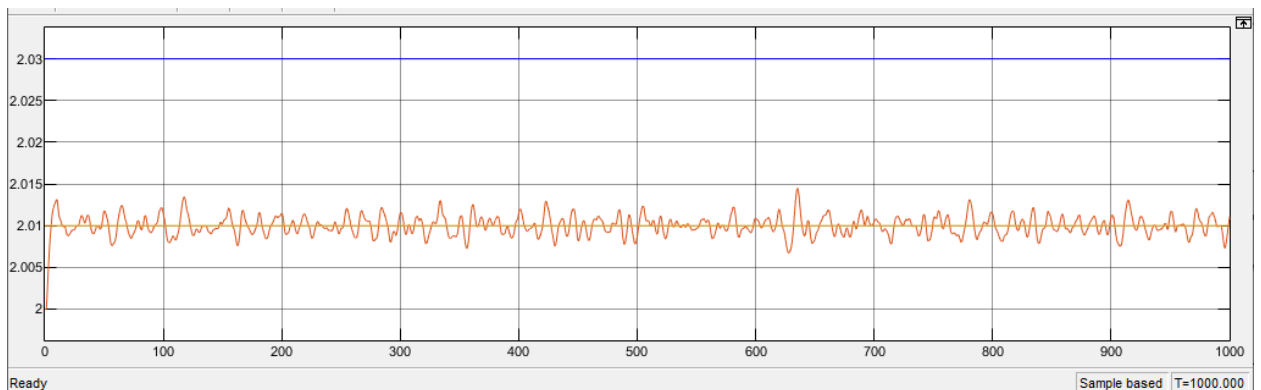


Рис. 4.5. Результати моделювання стабілізуючої САР тиску газу після дроселювання при координатних збуреннях випадкового характеру з фіксованим середньоквадратичним відхиленням.

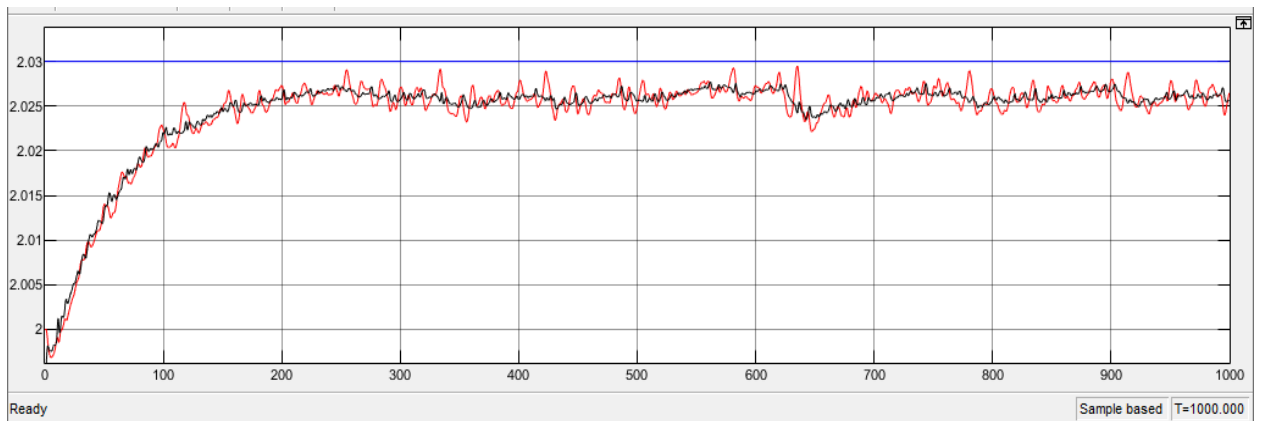


Рис. 4.6. Результати моделювання СГУ тиску газу після дроселювання при координатних збуреннях випадкового характеру з фіксованим середньоквадратичним.

При моделюванні обох варіантів систем управління в умовах, коли середньоквадратичне відхилення координатних збурень змінюється за синусоїдою (рис. 4.7), робота стабілізуючої САР погіршується (рис. 4.8). Система, що реалізує гарантуюче управління залишається працездатною (рис. 4.9). А середнє видалення вологості від граничного значення незначно збільшується.

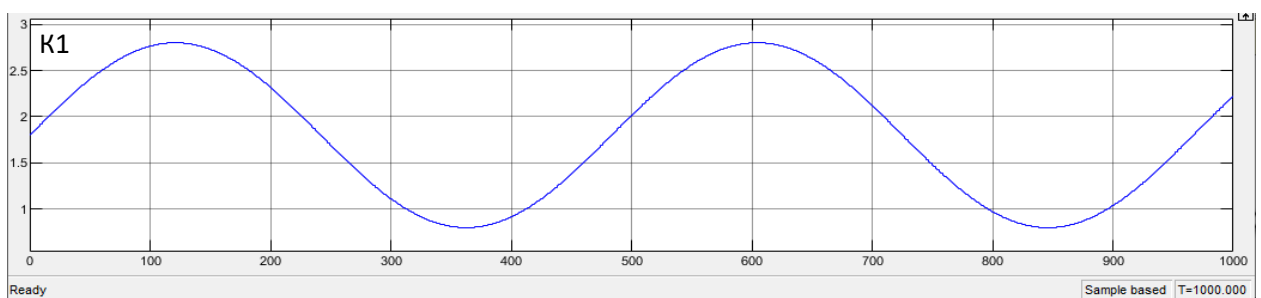


Рис. 4.7. Графік, що відбиває характер зміни середньоквадратичного відхилення координатних збурень (зміна тиску газу після сепаратору).

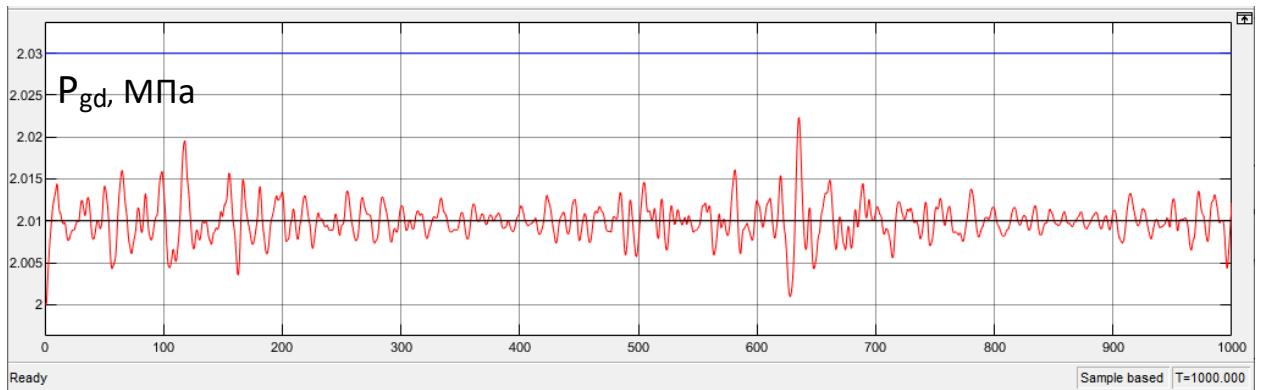


Рис. 4.8. Результати моделювання стабілізуючої САР.

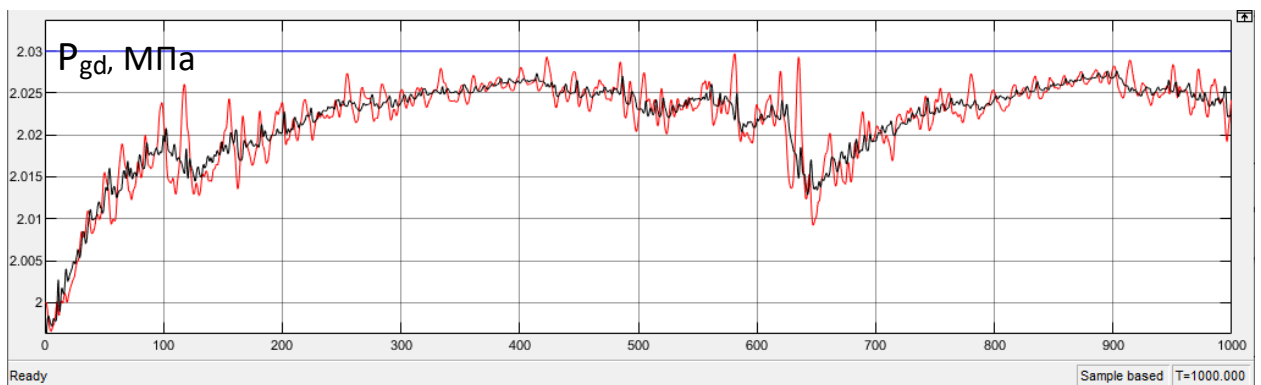


Рис. 4.9. Результати моделювання системи, що реалізує гарантує управління.

При моделюванні обох варіантів систем управління в умовах, коли діють параметричні збурення (рис. 4.10) та середньоквадратичне відхилення координатних збурень не змінюється, робота стабілізуючої САР погіршується (рис. 4.11). Система, що реалізує гарантує управління залишається працездатною (рис. 4.12). А середнє віддалення від граничного значення збільшується незначно і залишається менше, ніж у системі регулювання, що стабілізує.

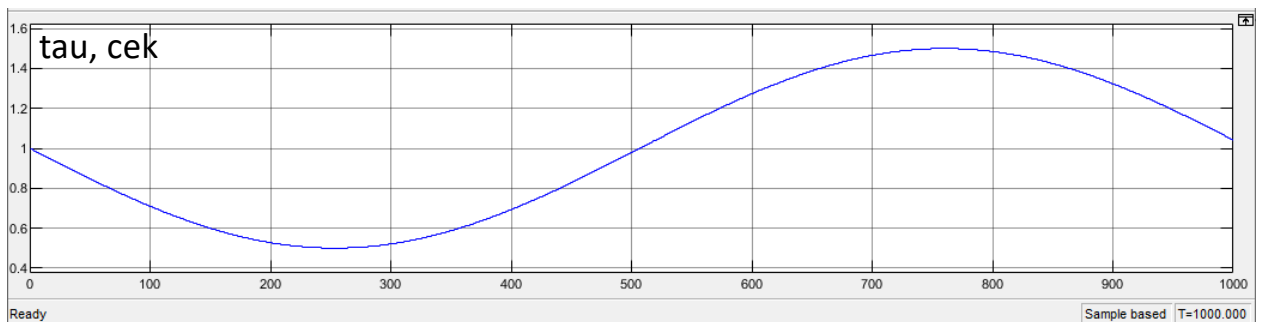


Рис. 4.10. Графік, що відображає характер зміни запізнення у каналі регулювання тиску газу після дроселювання.

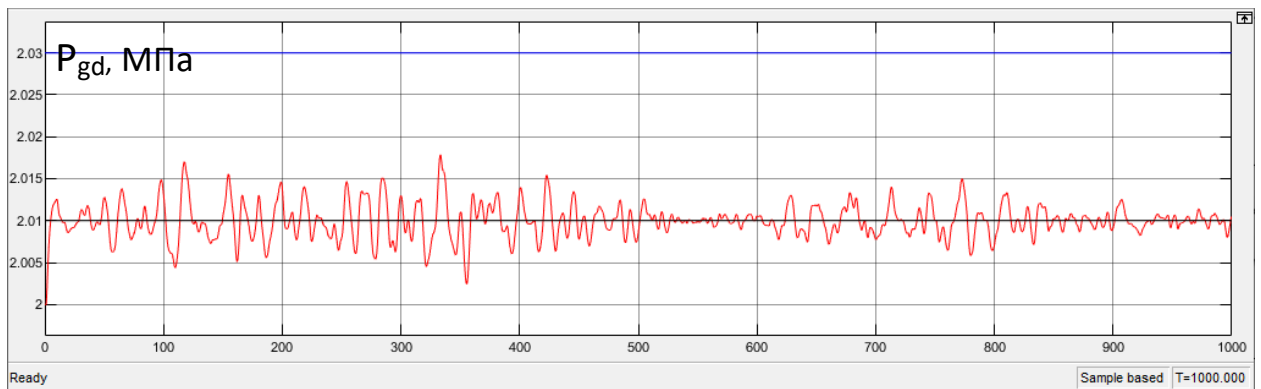


Рис. 4.11. Результати моделювання стабілізуючої САР.

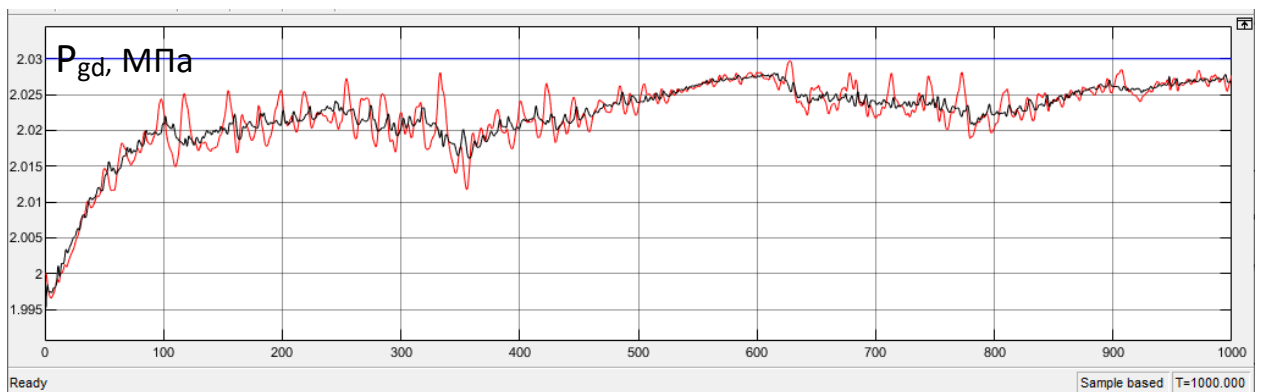


Рис. 4.12. Результати моделювання системи, що реалізує гарантійне управління.

Результати моделювання обох варіантів систем управління в умовах, коли діють параметричні збурення (рис. 4.14) та середньоквадратичне відхилення координатних збурень змінюється за гармонічним законом (4.13), робота стабілізуючої САР погіршується (рис. 4.15). СГУ залишається працездатною та середнє видалення тиску газу після дроселювання від верхньої межі залишається менше, ніж у стабілізуючій САР, хоча є один вихід за гранично припустиме значення тиску дроселювання.

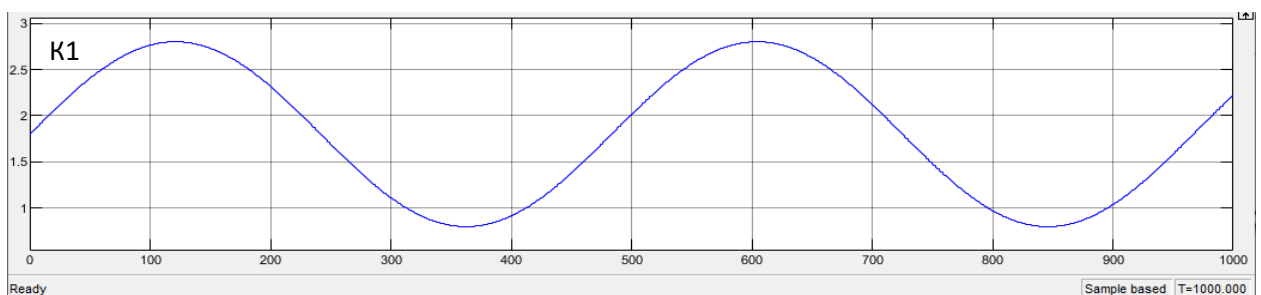


Рис. 4.13. Графік, що відбиває характер зміни середньоквадратичного відхилення координатних збурень (зміна тиску газу після сепаратору).

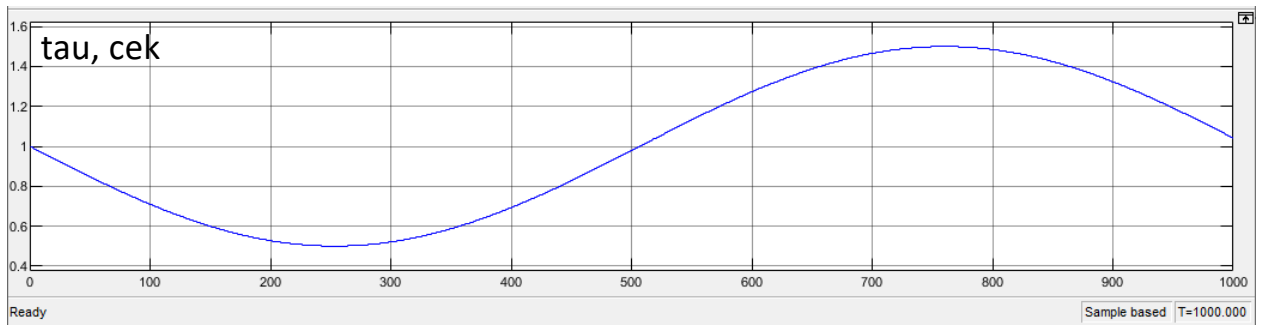


Рис. 4.14. Графік, що відображає характер зміни запізнення у каналі регулювання тиску газу після дроселювання.

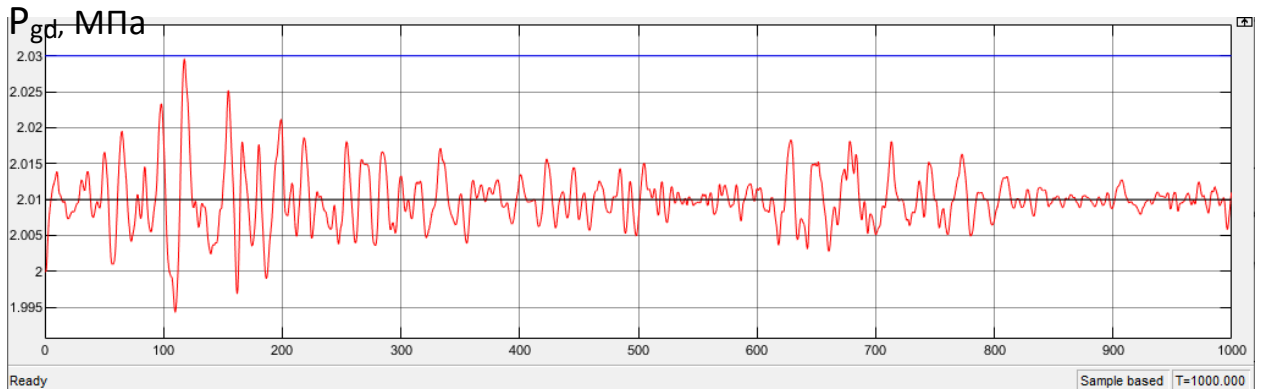


Рис. 4.15. Результати моделювання стабілізуючої САР.

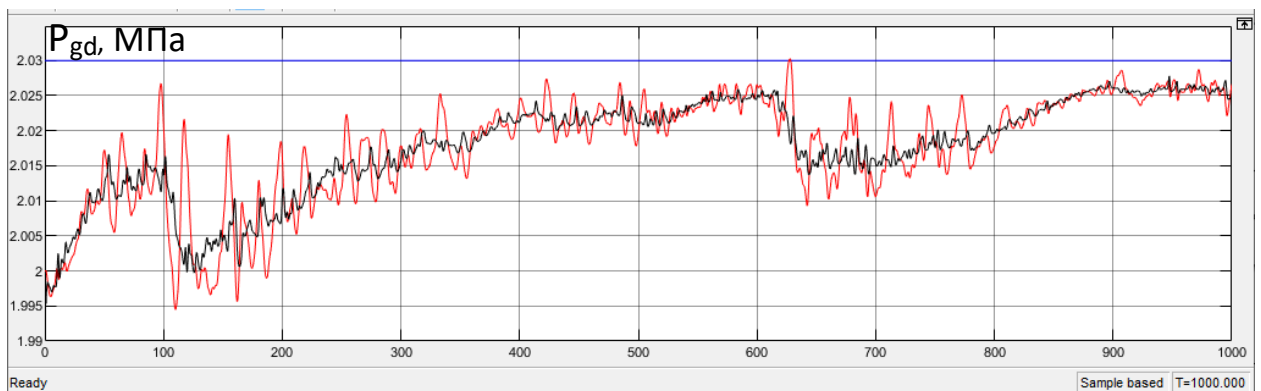


Рис. 4.16. Результати моделювання системи, що реалізує гарантуюче управління.

За результатами проведених досліджень можна дійти висновку, що система, яка реалізує гарантуюче управління тиску газу після дроселювання при дії нестационарних збурень забезпечує виконання процесу компримування природного газу на дотискній компресорній станції, підтримує тиск газу після дроселювання максимально близько до верхньої межі регламенту, забезпечуючи зниження питомих енерговитрат. Стабілізуючі САР для вирішення такого завдання не підходять.

Розглянемо вплив значення ймовірності відсутності порушення регламенту на якість роботи системи гарантуючого керування. Проведемо моделювання системи за різних значень ймовірності безаварійного режиму роботи ($P_t = [0.9, 0.99, 0.999]$). При значенні ймовірності $P_t = 0.99$ проводилися попередні дослідження, тому проведемо моделювання системи гарантуючого управління при значеннях ймовірності $P_t = 0.9$ і $P_t = 0.999$. Результати моделювання подано на рис. 4.17 та 4.18.

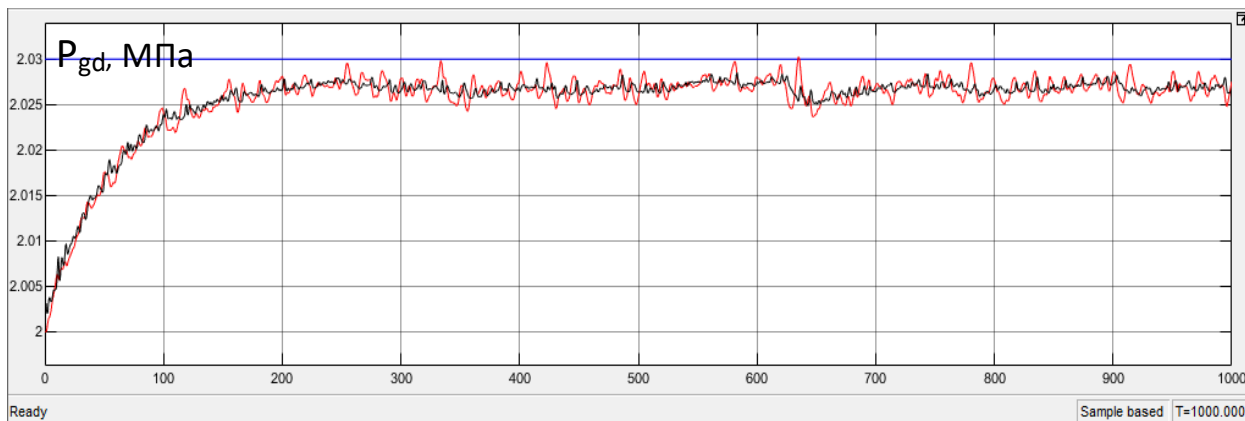


Рис. 4.17. Результати моделювання системи, що реалізує гарантуюче управління тиском газу після дроселювання при $P_t = 0.9$.

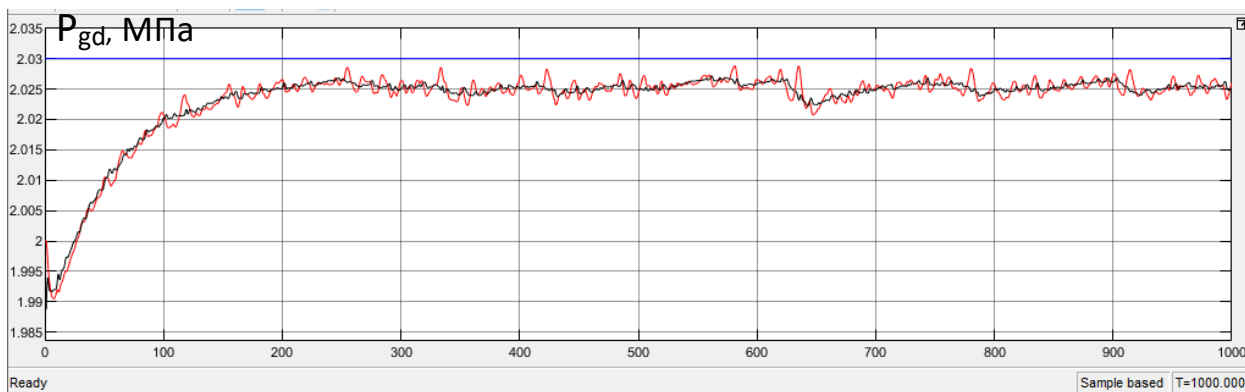


Рис. 4.18. Результати моделювання системи, що реалізує гарантуюче управління тиском газу після дроселювання при $P_t = 0.999$.

За результатами можна дійти висновку, що більше значення P_t тим далі система відводить регульовану змінну від граничного значення. При зниженні значення P_t можуть з'явитися виходи за граничне значення тиску газу після дроселювання.

4.5. Висновки за розділом

У розділі проведено низку порівняльних аналізів САР базової структури та САУ, що реалізує функцію гарантуючого управління. Дослідження проводилися за умов постійно діючих обурення випадкового характеру.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що система гарантуючого управління при дії нестационарних збурень забезпечує виконання процесу компримування природного газу, підтримує тиск газу після дроселювання максимально близько до верхньої межі регламенту, забезпечуючи зниження питомих енерговитрат. Стабілізуючі САР для вирішення такого завдання не підходять.

За результатами можна дійти невтішного висновку, що більше значення P_t тим далі система відводить регульовану змінну від граничного значення. У всіх експериментах САУ, що реалізує функцію гарантуючого управління, є кращою, ніж САР базової структури, і подальше її використання є доцільним.

РОЗДІЛ 5 РЕАЛІЗАЦІЯ І ПІДГОТОВКА ДО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ НА ПІДПРИЄМСТВІ»

5.1 Існуюча програмно-технічна структура підсистеми управління процесом компримування природного газу на дотискній компресорній станції і формулювання задач по її розвитку для впровадження розробок.

Технічну структуру системи управління розробимо на базі контролера Simatic S7-300. Для реалізації системи керування в модулях ПЗО контролера передбачені: 4- аналогових входів, 3- аналогових виходи, 11 –дискретних входів і 9 - дискретних виходів. Виходячи з середньої складності алгоритмів керування, для реалізації системи управління скористаємося контролером CPU 313C-2DP із вбудованими дискретними входами/виходами (рис 5.1).

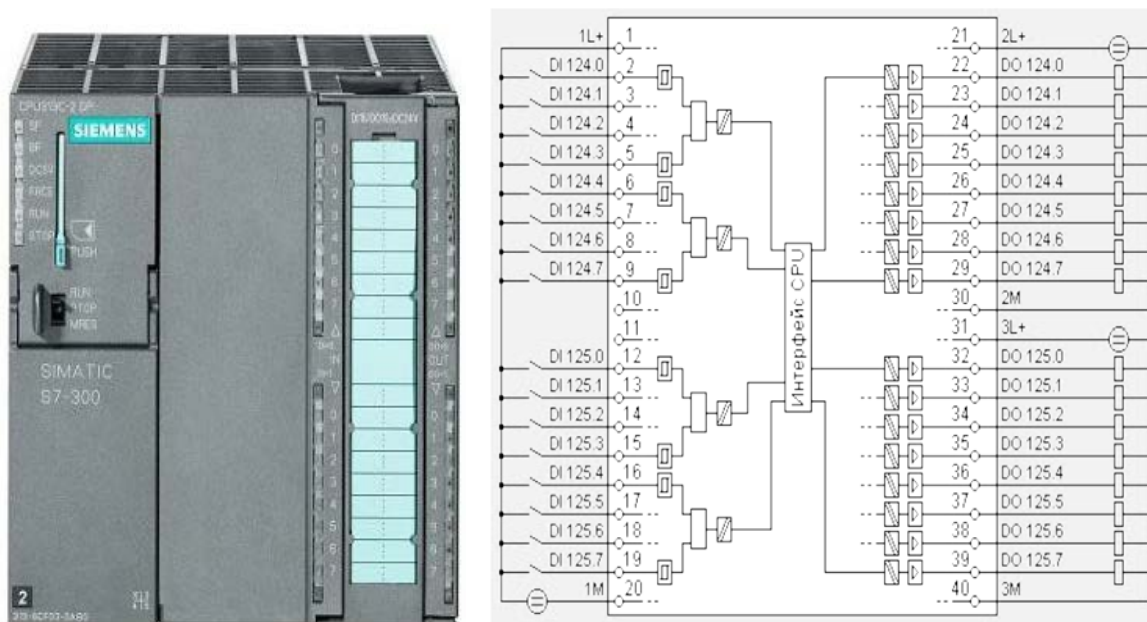


Рис. 5.1 – Загальний вигляд та схеми зовнішніх підключень

CPU 313C-2DP.

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

Табл. 5.1 Технічні дані входів/виходів CPU

| Центральные процессоры S7-300C | CPU 312C | CPU 313C-2 PtP | CPU 313C-2 DP |
|---|--|------------------------|------------------------|
| Встроенные дискретные входы | | | |
| Количество входных каналов: | | | |
| • общее | 10 | 16 | 16 |
| • используемое технологическими функциями | 8 | 12 | 12 |
| 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. описан • не используются для стандартных дискретных входов • для технологических функций (см. описание технологиче | | |
| 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 BERO: | 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 |

Рекомендації по підключенню дискретних входів наведені на наступних рисунках.

Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

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

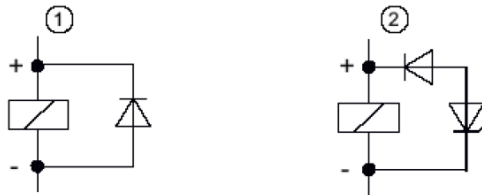


Рис. 3-2. Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

- 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. 5.2 – Рекомендації по захисту дискретних входів від індуктивних перенапруг.

Для вводу аналогових сигналів керування скористаємося аналоговим модулем вводу SM 331; AI 8 x 12 Bit; (6ES7331-7KF01-0AB0)

Характеристики:

– 8 входів в 4 групах каналів

– Вид вимірювання встановлюється на групу каналів: напруга; струм; опір; температура

– роздільна здатність встановлюється на групу каналів (9/12/14 бітів + знак)

- вибір діапазону вимірювань на будь-яку групу каналів
- діагностика і діагностичне переривання
- контроль граничних значень налаштується для 2 каналів
- апаратне переривання при порушенні регламенту
- гальванічна розв'язка з CPU і напругою на навантаженні

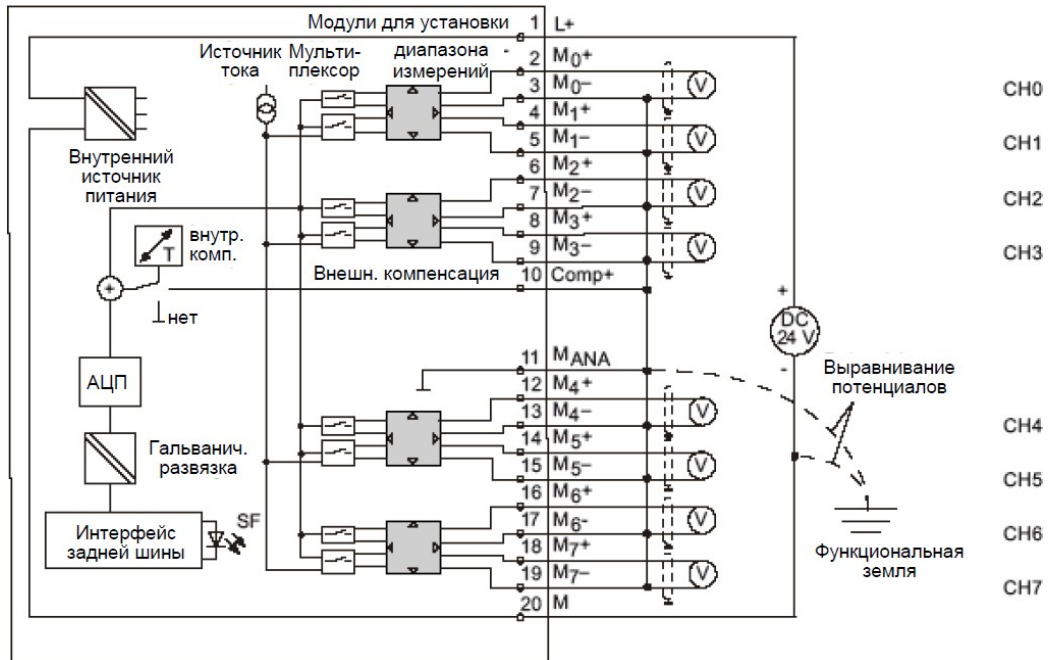


Рис. 5.3 – Схема зовнішніх підключень SM 331 до датчиків струму

Таблиця 5.2 Технічні характеристики модуля SM 331

| Данные для выбора датчика | | |
|---|--|---------|
| Входные диапазоны (номинальные значения)/ входное сопротивление | | |
| • Напряжение | ± 50 мВ ± 500 мВ ± 1 В ± 5 В ± 10 В от 1 до 5 В от 0 до 10 В | 100 кОм |
| • Ток | ± 20 мА от 0 до 20 мА от 4 до 20 мА | 50 Ом |
| • Сопротивление | от 0 кОм до 6 кОм от 0 Ом до 600 Ом | 100 МОм |
| • Термометр сопротивления | Pt 100 Ni 100 Ni 1000 LG-Ni 1000 Standard / climate | 100 МОм |

Для виводу аналогових сигналів був обраний аналоговий модуль SM332; АО 4 x 12 Bit; (6ES7332-5HD01-0AB0).

Характеристики:

- 4 виходи в одній групі
- окремі вихідні канали можуть бути параметризовані як потенційні виходи або струмові виходи
- роздільна здатність 12 біт
- діагностика і діагностичне переривання
- гальванічна розв'язка щодо інтерфейсу з задньої шиною і напруги навантаження.

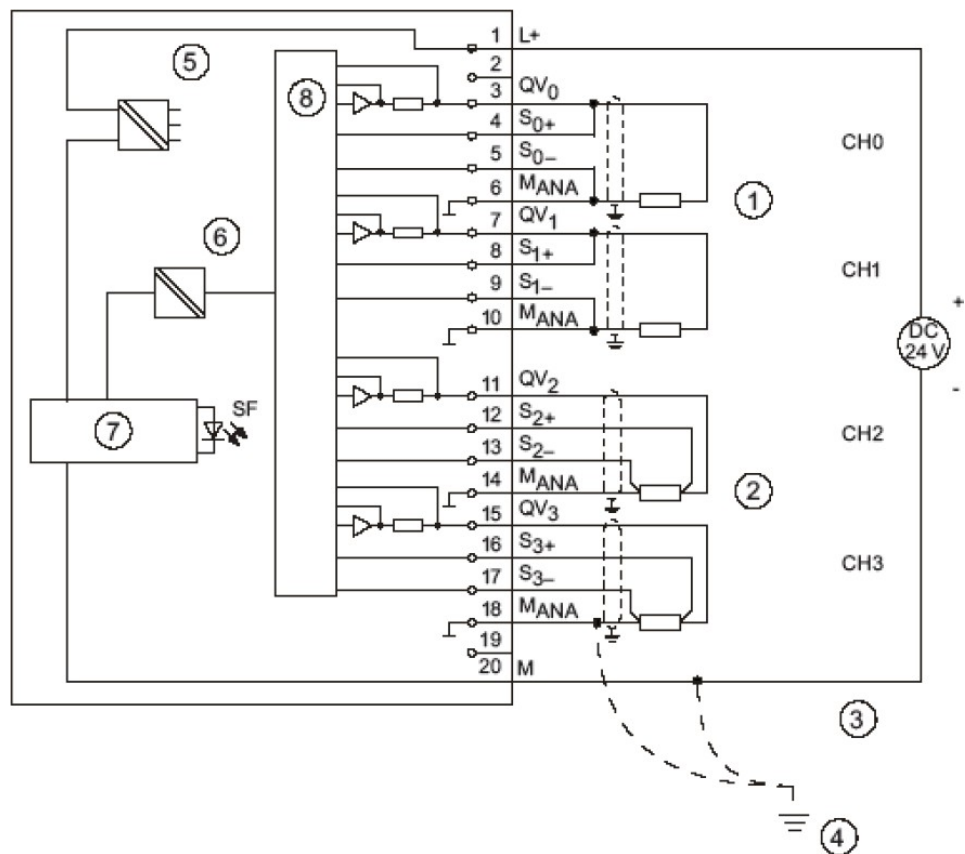


Рис. 5.4. – Схема зовнішніх підключень SM 332 АО 4 x 12 Bit.

Таблица 5.3 Технические характеристики модуля SM 332

| Данные для выбора исполнительного устройства | |
|---|--|
| Выходные диапазоны (номинальные значения) | |
| • Напряжение | ± 10 В от 0 до 10 В от 1 до 5 В |
| • Ток | ± 20 мА от 0 до 20 мА от 4 до 20 мА |
| Полное сопротивление нагрузки (в номинальном диапазоне выхода) | |
| • для потенциальных выходов →•• емкостная нагрузка | мин. 1 кОм макс. 1 мкФ |
| • для токовых выходов →•• при $U_{см} < 1 В$ →•• индуктивная нагрузка | макс. 500 Ом макс. 600 Ом макс. 10 мГн |
| Потенциальные выходы | |
| • защита от короткого замыкания • ток короткого замыкания | Да макс. 25 мА |

Загальний вигляд розробленої схеми технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом компримування природного газу на дотискній компресорній станції наведено на рис. 5.5.

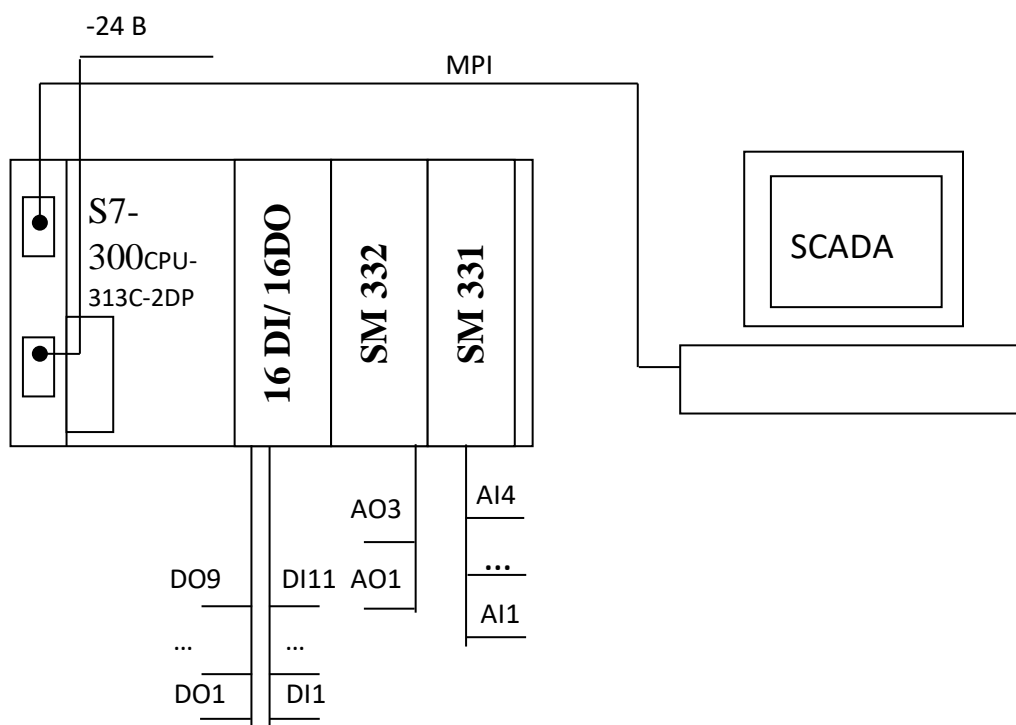


Рис. 5.5. – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

У середовищі Simatic Manager Step7 створюємо проект і додаємо до його складу станцію контролера S7-300. У програмі «Hardware» виконуємо конфігурування обраного контролера і модулів зв'язку з ОК. Загальний вид вікна програми «Hardware» з встановленим контролером і модулями представлений на рисунку 6.32. При конфігуруванні необхідні модулі вибиралися з каталогу елементів, що входить в програму «Hardware».

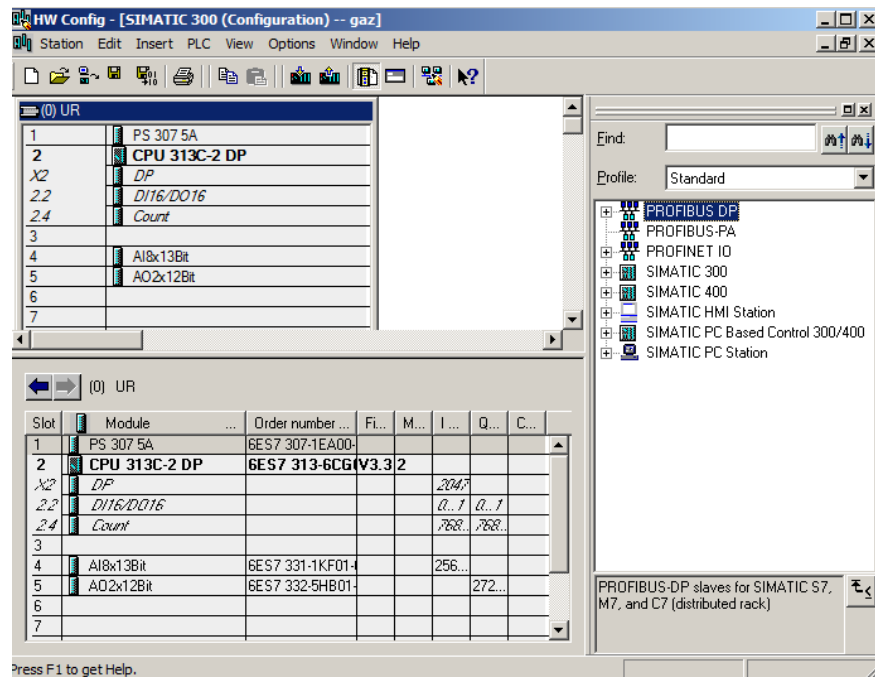


Рис. 5.6 – Загальний вид вікна програми «Hardware».

Існуюча система керування яка реалізована на базі наведеної технічної структури доповнена функцією гарантуючого керування. Інтегрована функція гарантування не потребує істотного збільшення обчислюваних ресурсів, та реалізації додаткових каналів вводу виводу сигналів. Тому технічну структуру системи керування змінювати не потрібно.

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

Прикладне програмне забезпечення, що реалізує розроблені алгоритми керування може розроблятися безпосередньо у середовищі Simatic Step 7 з

використанням стандартних мов програмування контролерів. Для цього потрібно розроблені у системі Matlab алгоритми керування перевести у цифрову форму та вид придатний для програмування, а потім написати відповідний код. На кожному етапі реалізації можливі помилки і в загальні такий підхід потребує багато часу. Альтернативою цьому є варіант конвертації отриманих алгоритмів з системи Matlab у потрібну середу програмування контролерів. Такий підхід дозволяє отримати компактний перевірений код при малих затратах часу.

Для програмної реалізації розроблених алгоритмів будемо використовувати пакет Simulink PLC Coder з його бібліотекою функціональних блоків PLCLib. Для цього з використанням блоків бібліотеки PLCLib проведемо цифрову реалізацію алгоритмів керування у моделі Simulink. Отримана модель з алгоритмами підготовленими до конвертації наведена на рис. 5.7.

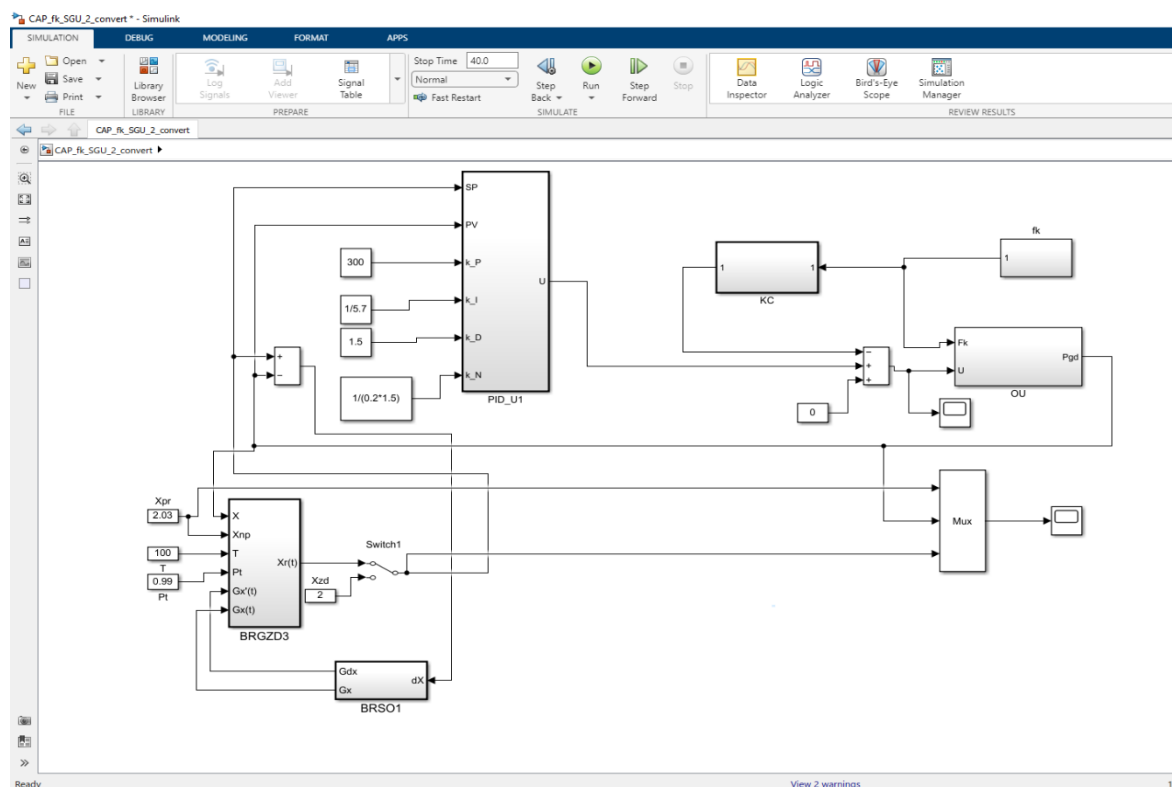


Рис. 5.7. – Схема моделювання САК процесом компримування природного газу на дотискній компресорній станції з цифровими алгоритмами керування, які підготовлені до конвертації.

На рис. 5.8 – 5.11 наведені схеми моделювання ПІД регулятора, алгоритмів гарантуючого керування та коригуючого зв'язку.

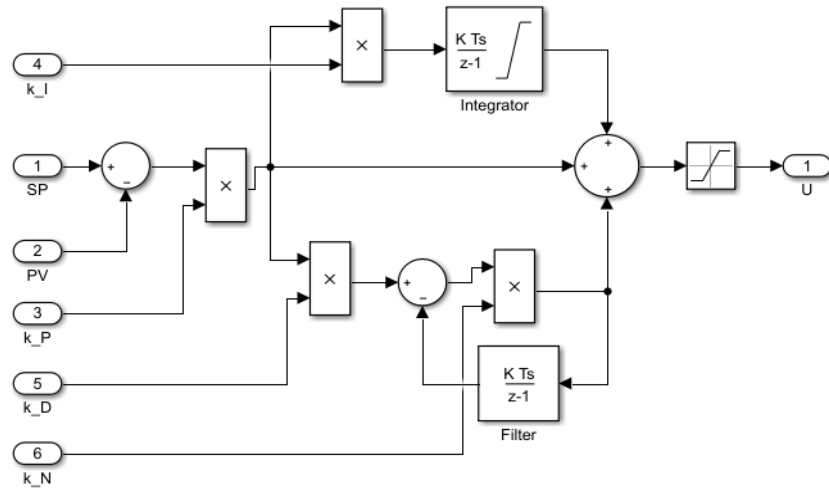


Рис. 5.8. – Схема цифрового ПІД-регулятора.

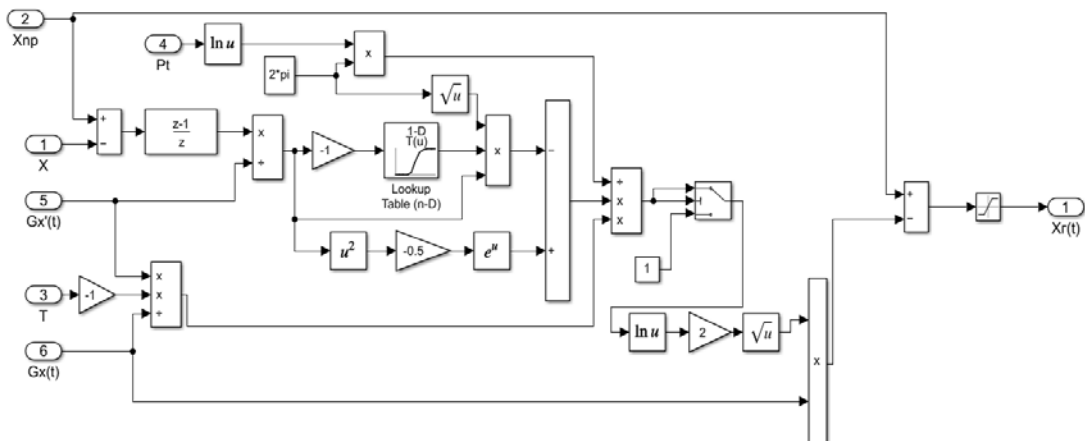


Рис. 5.9. – Схема блока BRGZD (БРГЗД – блок розрахунку, гарантуючого заданого значення)

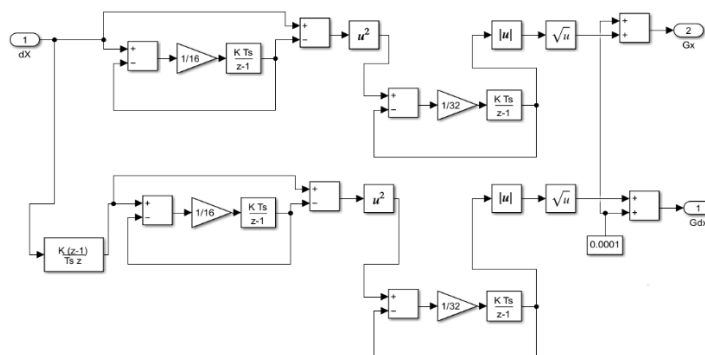


Рис. 5.10. – Схема блока BRSO (БРСО – блок розрахунку статистичних оцінок на ковзаючому інтервалі часу).

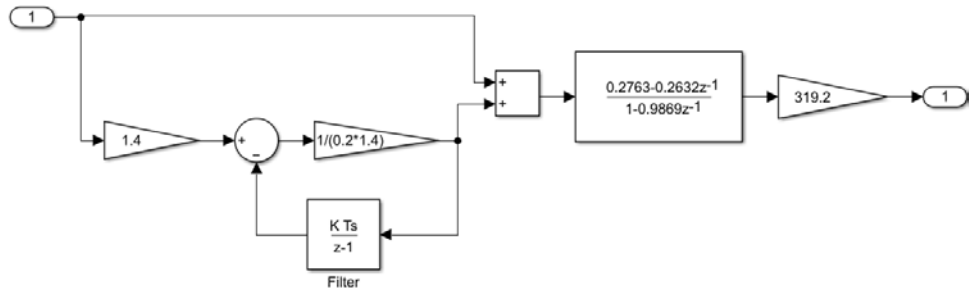


Рис. 5.11. – Схема моделювання коригуючого зв'язку «КС».

Відповідність цифрового варіанту коригуючого зв'язку його неперервному аналогу підтверджена результатами моделювання. На рис. 5.12 і 5.13 наведена відповідна схема моделювання динамічних ланок коригуючого зв'язку та отримані результати. Перехідні характеристики практично збіглися одна з одною.

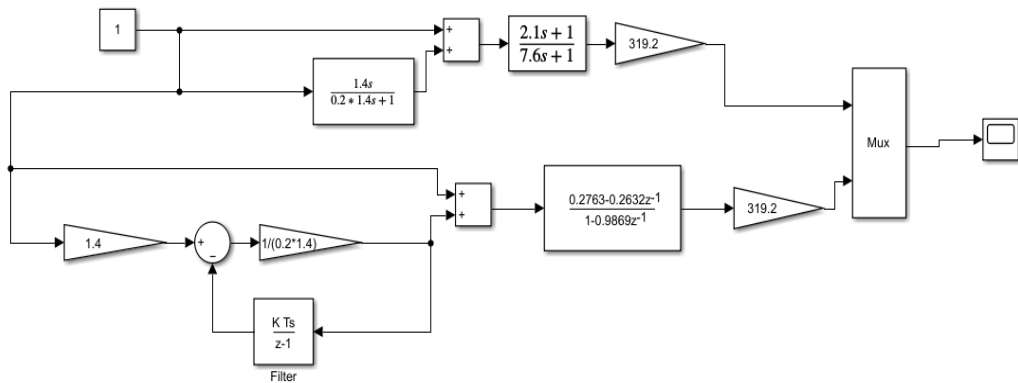


Рис. 5.12. – Схема моделювання цифрового та неперервного варіантів коригуючих зв'язків.

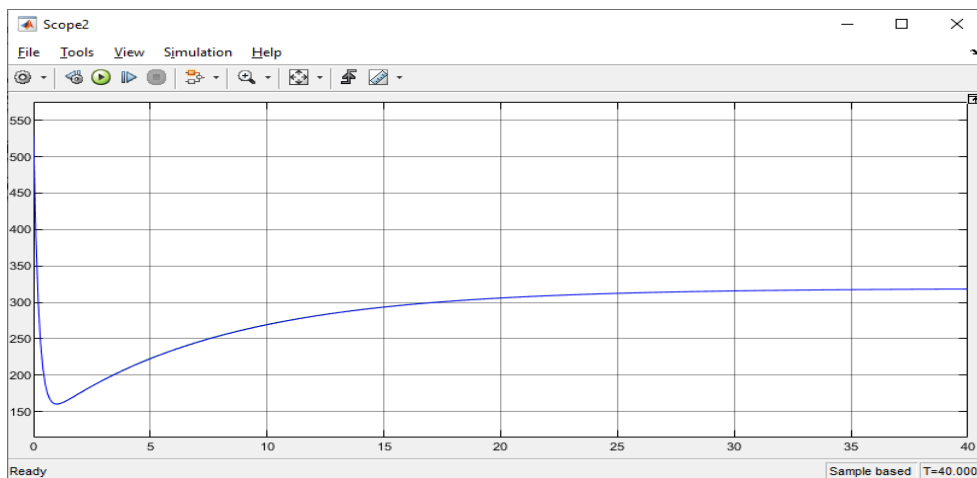


Рис. 5.13. – Результати моделювання цифрового та неперервного варіантів коригуючих зв'язків.

Отримання z-передатних функцій проводилось у системі Matlab. Приклад отримання z-передатної функції наведено на рис. 5.14.

```

>> csys=cF([2.1 1],[7.6 1])
csys =
      2.1 s + 1
      -----
      7.6 s + 1
Continuous-time transfer function.
>> dsys=c2d(csys,0.1,'foh')
dsys =
      0.2911 z - 0.268
      -----
      z - 0.9669
Sample time: 0.1 seconds
Discrete-time transfer function.
>> csys=cF([1.4 0],[0.2*1.4 1])
csys =
      1.4 s
      -----
      0.28 s + 1
Continuous-time transfer function.
>> dsys=c2d(csys,0.1,'foh')
dsys =
      4.205 z - 4.205
      -----
      z - 0.6997
Sample time: 0.1 seconds
Discrete-time transfer function.
fx >>
  
```

Рис. 5.14. – Приклад отримання z-передатної функції з її неперервного аналогу.

На рис. 5.15 наведена схема моделювання об'єкта керування.

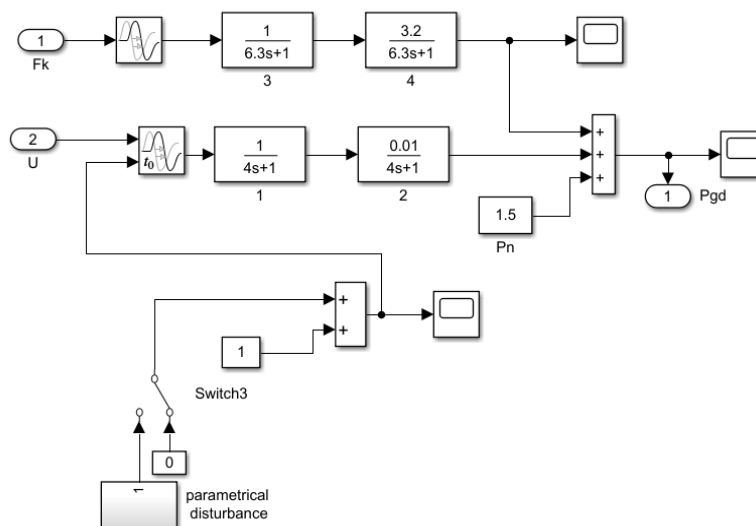


Рис. 5.15. – Схема моделювання об'єкта керування.

Результати моделювання системи керування при використанні цифрових алгоритмів які підготовлені до конвертації наведені на рис.5.16.

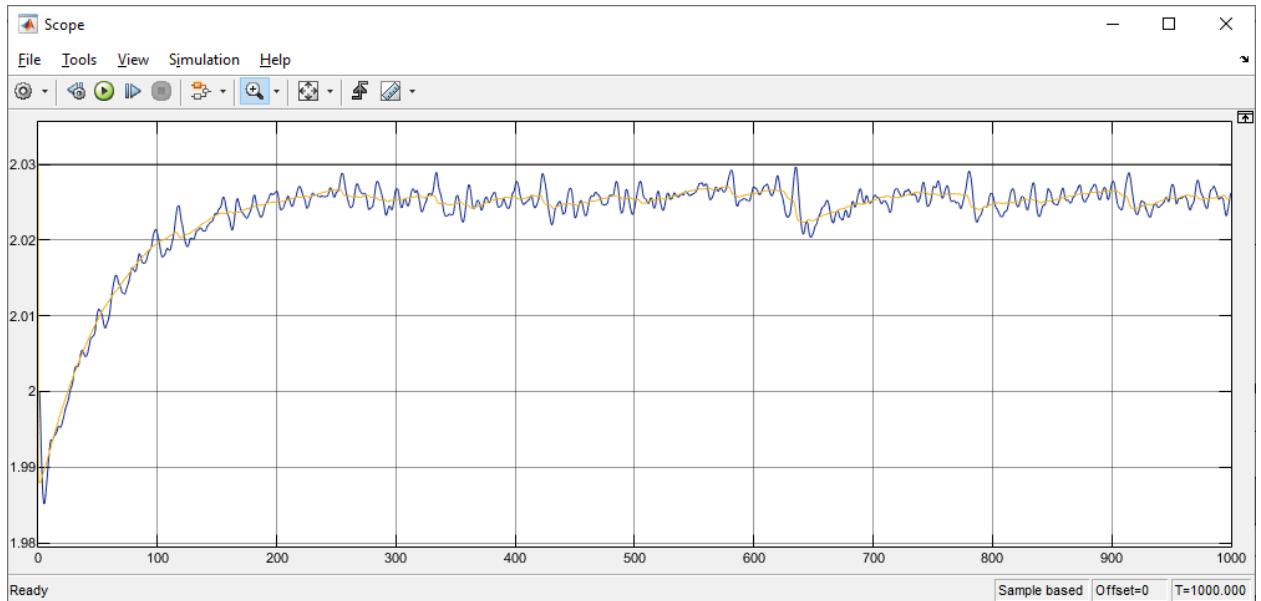


Рис. 5.16. – Результати моделювання системи гарантуючого керування за каналом регулювання тиску газу після дроселювання.

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

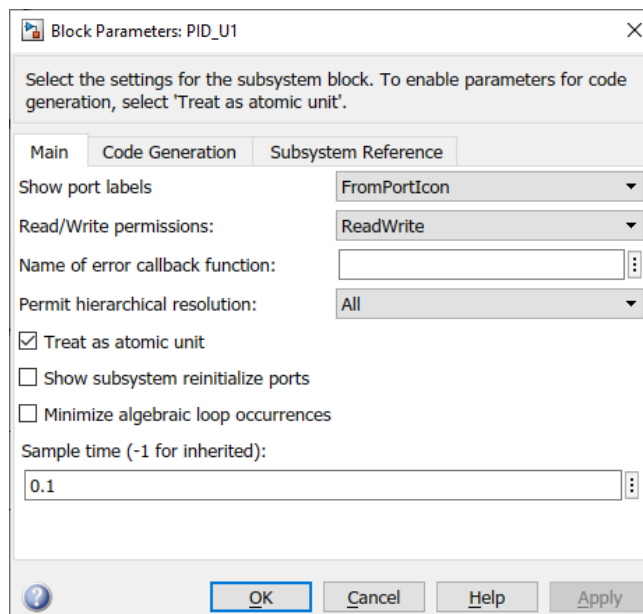


Рис. 5.17. – Вікно налаштування підсистем для їх конвертації.

Пакет Simulink PLC Coder налаштуємо для компіляції коду для середовища Siemens SIMATIC Step7 5.4 (рис. 5.18).

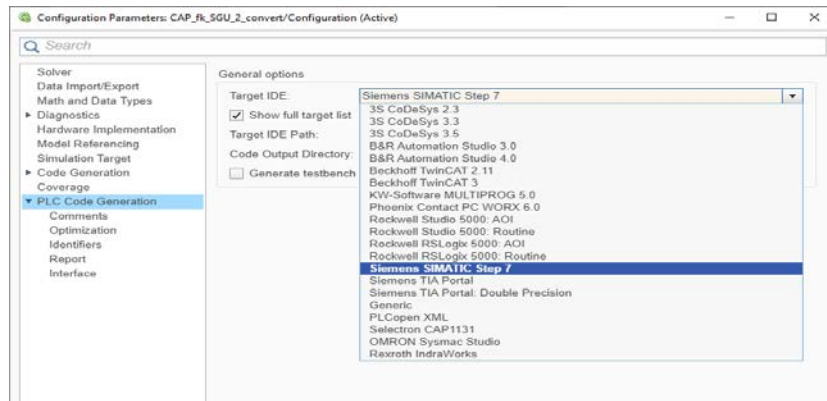


Рис. 5.18. – Вікно налаштування пакету SimulinkPLCCoder.

Далі послідовно проведемо генерацію програмного коду для блоку ПД регулятора та блоків системи гарантуючого керування. На рис. 5.19 та 5.20 проведена процедура генерації коду для ПД регулятора.

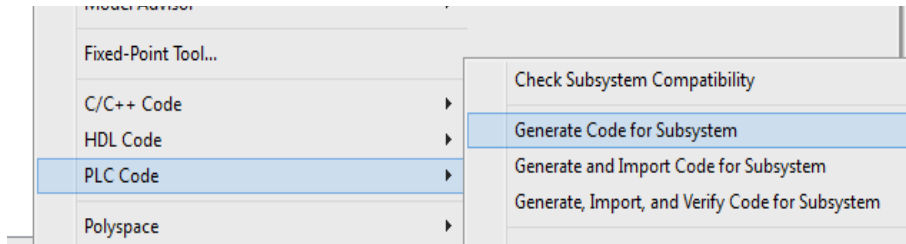


Рис 5.19 – Компіляція коду.

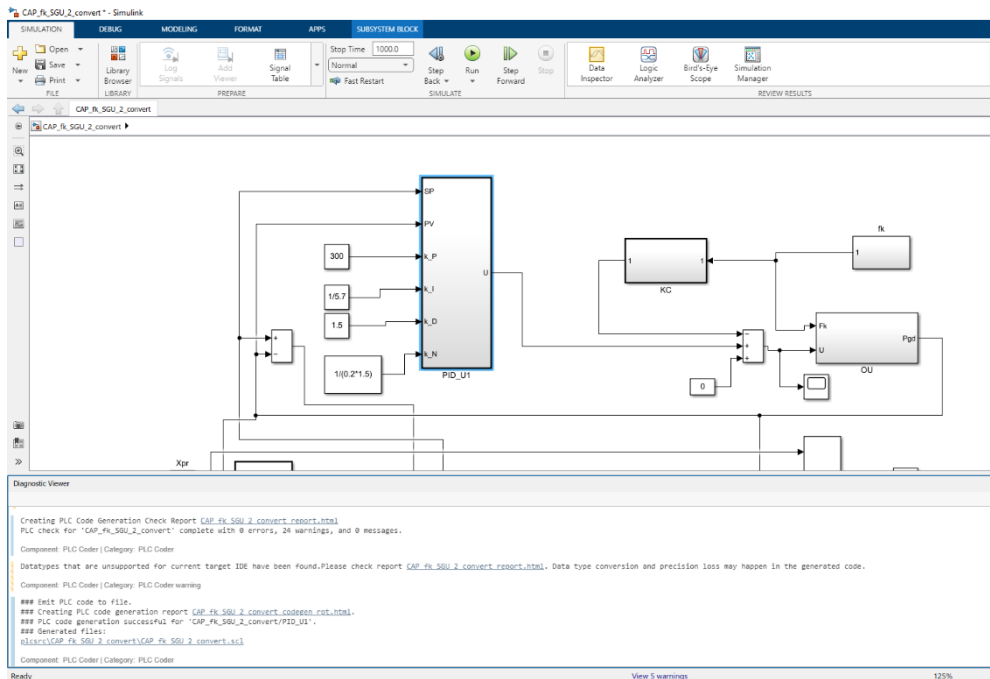


Рис. 5.20 – Результати успішної генерації коду ПД-регулятора для середовища SIMATIC Step7 5.4.

На рис. 5.21 та 5.22 наведено вихідний генерований код мовою SCL для блоків ПД регулятора та БРГЗД. Повний список вихідних кодів конвертованих блоків наведено у додатку А.

```

22 FUNCTION_BLOCK PID_U1
23 VAR_INPUT
24     ssMethodType: INT;
25     SP: REAL;
26     FW: REAL;
27     k_P: REAL;
28     k_I: REAL;
29     k_D: REAL;
30     k_N: REAL;
31 END_VAR
32 VAR_OUTPUT
33     U: REAL;
34 END_VAR
35 VAR
36     Integrator_DSTATE: REAL;
37     Filter_DSTATE: REAL;
38     rtb_Add: REAL;
39     rtb_Product: REAL;
40     rtb_Product3: REAL;
41 END_VAR
42 CASE ssMethodType OF
43     0:
44
45         (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Integrator' *)
46         Integrator_DSTATE := 60.0;
47
48         (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Filter' *)
49         Filter_DSTATE := 0.0;
50
51     1:
52
53         (* DiscreteIntegrator: '<S1>/Integrator' *)
54         IF Integrator_DSTATE >= 100.0 THEN
55             Integrator_DSTATE := 100.0;
56         ELSE
57             Integrator_DSTATE := 0.0 WHEN

```

Рис. 5.21. – Приклад генерованого коду ПД – регулятора для середовища програмування Step7.

```

22 FUNCTION_BLOCK BRGDZ2
23 VAR_INPUT
24     ssMethodType: INT;
25     X: REAL;
26     Xnp: REAL;
27     T: REAL;
28     Ft: REAL;
29     Gx: REAL;
30     Gxt_c: REAL;
31 END_VAR
32 VAR_OUTPUT
33     Xt: REAL;
34 END_VAR
35 VAR
36     UD_DSTATE: REAL;
37     LookupTablenD_tabl: ARRAY [0..1000] OF REAL;
38     LookupTablenD_bp01: ARRAY [0..1000] OF REAL;
39     need_init: BOOL := TRUE;
40     frac: REAL;
41     iRight: DINT;
42     iLeft: DINT;
43     bptdx: DINT;
44     rtb_Product: REAL;
45     rtb_Sum: REAL;
46     Sqrt1: REAL;
47 END_VAR
48 IF need_init THEN
49     LookupTablenD_tabl[0] := 2.866515718791946E-7;
50     LookupTablenD_tabl[1] := 3.0189646252084903E-7;
51     LookupTablenD_tabl[2] := 3.175213661852819E-7;
52     LookupTablenD_tabl[3] := 3.3476450827361839E-7;
53     LookupTablenD_tabl[4] := 3.5246589817642519E-7;
54     LookupTablenD_tabl[5] := 3.710674079633366E-7;
55     LookupTablenD_tabl[6] := 3.9061285431832642E-7;

```

Рис. 5.22. – Приклад генерованого коду БРГЗД для середовища програмування Step7.

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

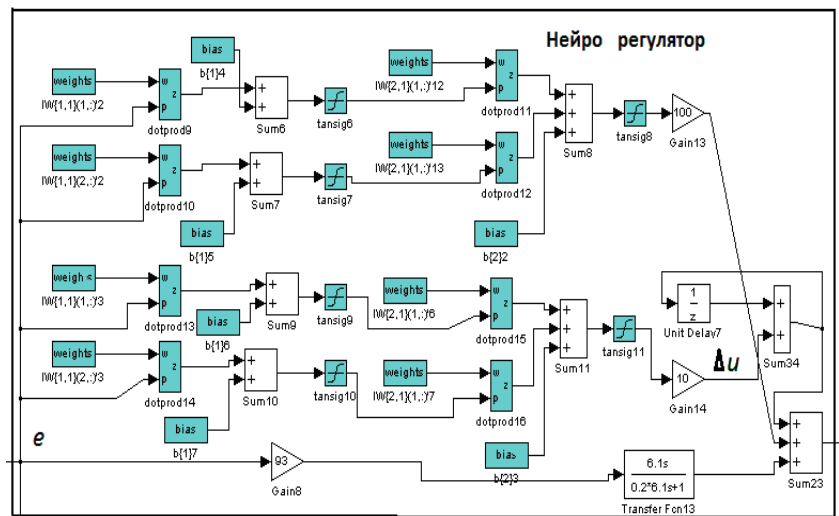


Рис. 5.23. – Схема моделювання нейронного регулятора.

Далі послідовно проведемо генерацію програмного коду для середовища SIMATIC Step7 5.4 На рис. 5.24 наведено вихідний генерований код мовою SCL для блоку нейронної мережі. Повний список вихідних кодів конвертованих блоків наведено у додатку А.

```

1 (*
2
3 * File: CAP_fk_SGU_2_convert.scl
4
5 * IEC 4131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "CAP_fk_SGU_2_convert/NeuralNet"
6
7 * Model name : CAP_fk_SGU_2_convert
8 * Model version : 1.3
9 * Model creator : user
10 * Model last modified by : user
11 * Model last modified on : Sun Mar 19 19:14:54 2023
12 * Model sample time : 0.1s
13 * Subsystem name : CAP_fk_SGU_2_convert/NeuralNet
14 * Subsystem sample time : 0.1s
15 * Simulink PLC Code version : 3.6 (R2022a) 13-Nov-2021
16 * ST code generated on : Tue Mar 21 19:59:25 2023
17
18 * Target IDE selection : Siemens SIMATIC Step 7
19 * Test Bench included : No
20 *
21 *)
22
23 FUNCTION_BLOCK Neur
24 VAR_INPUT
25   In1: REAL;
26 END_VAR
27 VAR_OUTPUT
28   Out1: REAL;
29 END_VAR
30 VAR
31   Filter_OSTATE: REAL;
32   s_DiscreteFilter_sta: REAL;
33   rfb_staIn1: REAL;
34   rfb_DiscreteFilter: REAL;
35   rfb_DiscreteFilter_m: REAL;
36 END_VAR
37 CASE smethodType OF
38   0:
39     (* SystemInitialize for Atomic SubSystem: "(Root)/NeuralNet" *)

```

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

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

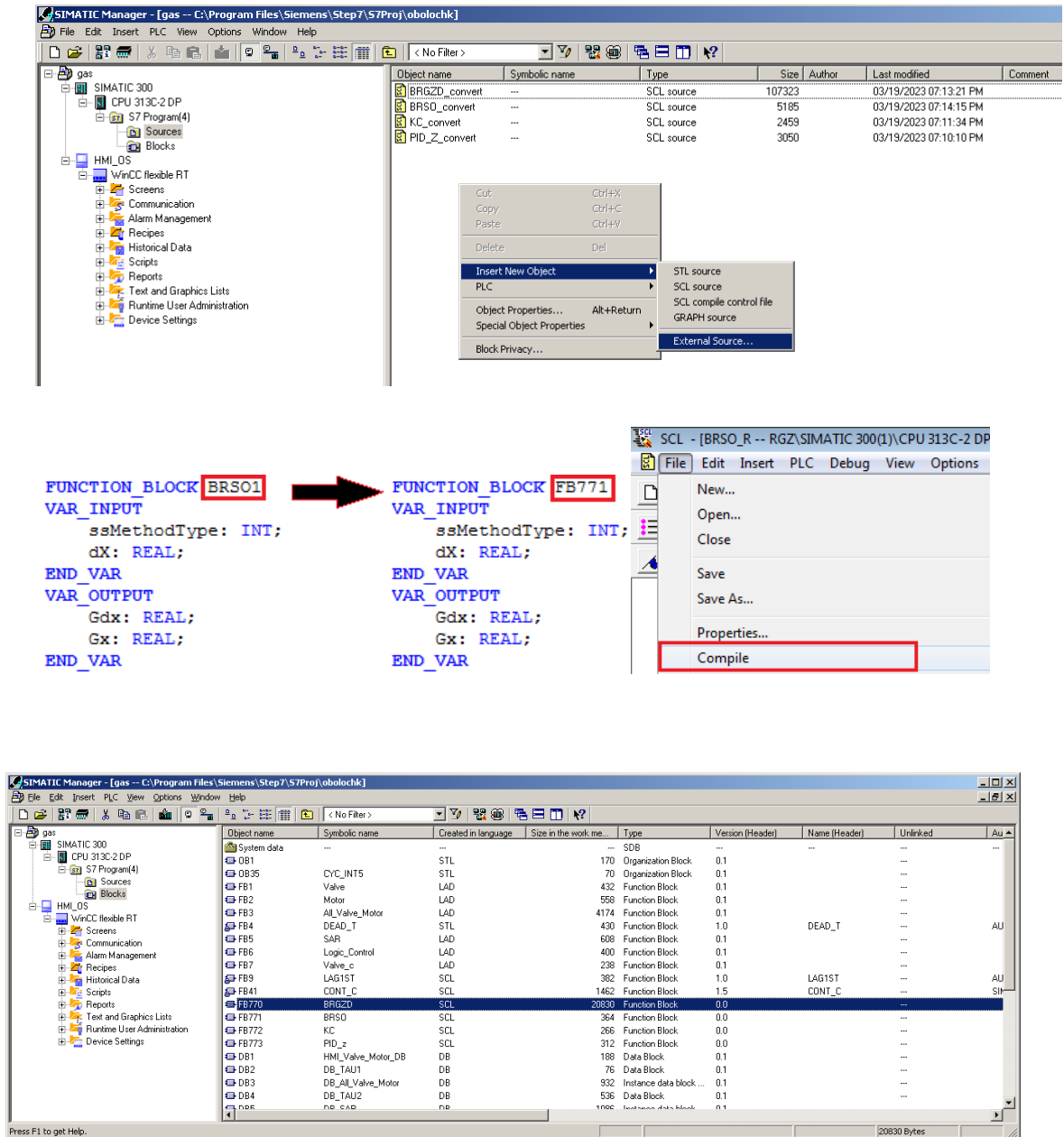


Рис. 5.25. – Процедура імпорту генерованого коду в середовище програмування Step 7 і створення відповідного функціонального блоку.

```

File Edit Insert PLC Debug View Options Window Help
[Icons]
FUNCTION_BLOCK FB772
VAR_INPUT
    ssMethodType: INT;
    SP: REAL;
    PV: REAL;
    k_P: REAL;
    k_I: REAL;
    k_D: REAL;
    k_N: REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    U: REAL;
    dPV: REAL;
END_VAR
VAR
    Integrator_DSTATE: REAL;
    Filter_DSTATE: REAL;
    rtb_Add: REAL;
    rtb_Add2: REAL;
    rtb_Product: REAL;
    rtb_Product3: REAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    0:
        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Integrator' *)
        Integrator_DSTATE := 0.0;

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

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

        (* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Filter' *)
        Filter_DSTATE := (0.1 * rtb_Product3) + Filter_DSTATE;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK

```

Рис. 5.26. – Приклад імпортованого коду ПД-регулятора в середовище програмування Step 7.

Загальний вигляд розробленого проекту в середовищі Step 7 наведено на рис. 5.27.

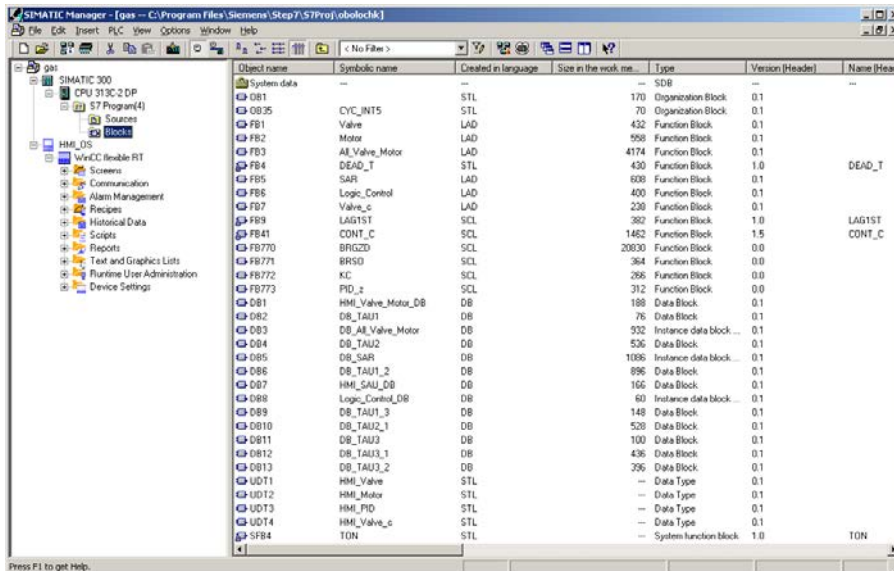


Рис. 5.27. – Загальний вид вікна проекту в середовищі Step 7.

Алгоритми регулювання тиску газу після дроселювання та алгоритм гарантуючого керування реалізовані у функціональному блоці FB5. Фрагмент коду програми наведено на рис. 5.28.

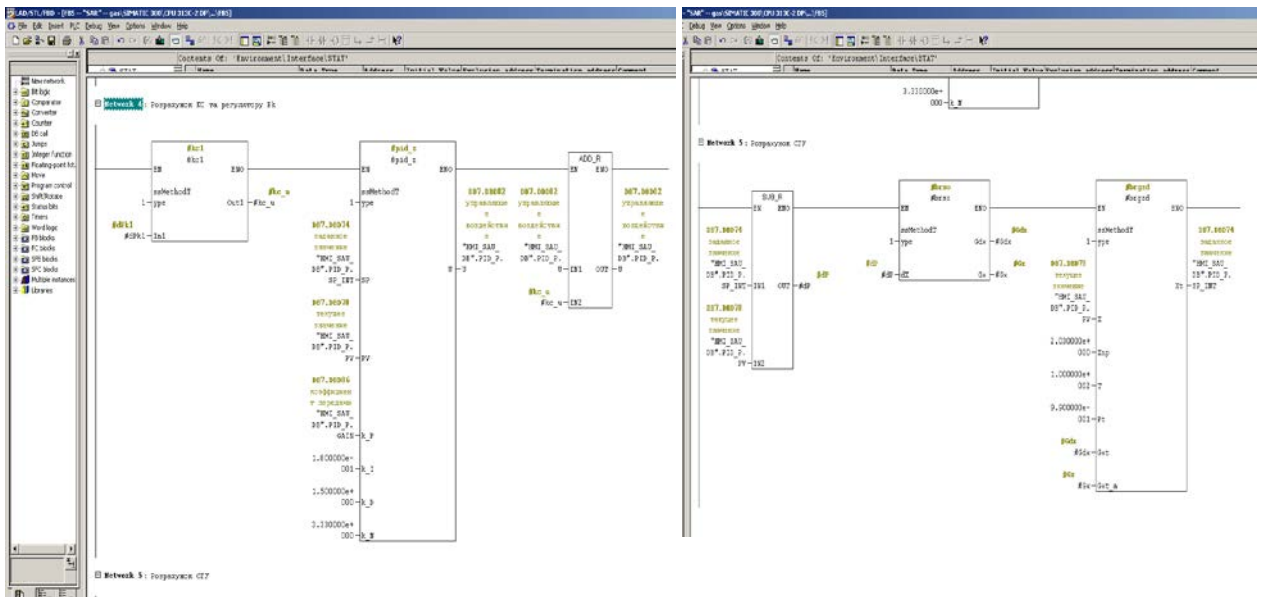


Рис. 5.28. – Фрагмент програми в функціональному блоці FB5 яка реалізує розрахунок регулятора та блоків гарантуючого керування.

Провести тестування програми гарантуючого керування в режимі емуляції контролера досить складно, тому зупинимося на тестуванні програми ПІД-регулятора. Для цього доповнимо програму моделлю об'єкта керування і

запустимо розрахунок моделі САР за каналом регулювання тиску газу після дроселювання. Фрагмент програми яка реалізує розрахунок моделі ОК і регулятору тиску газу після дроселювання у режимі тестування наведено на рис.5.29 і 5.30. А результати тестування у вигляді перехідної характеристики САР тиску газу після дроселювання наведені у вікні SCADA системи WinCCflexible на рис. 5.31.

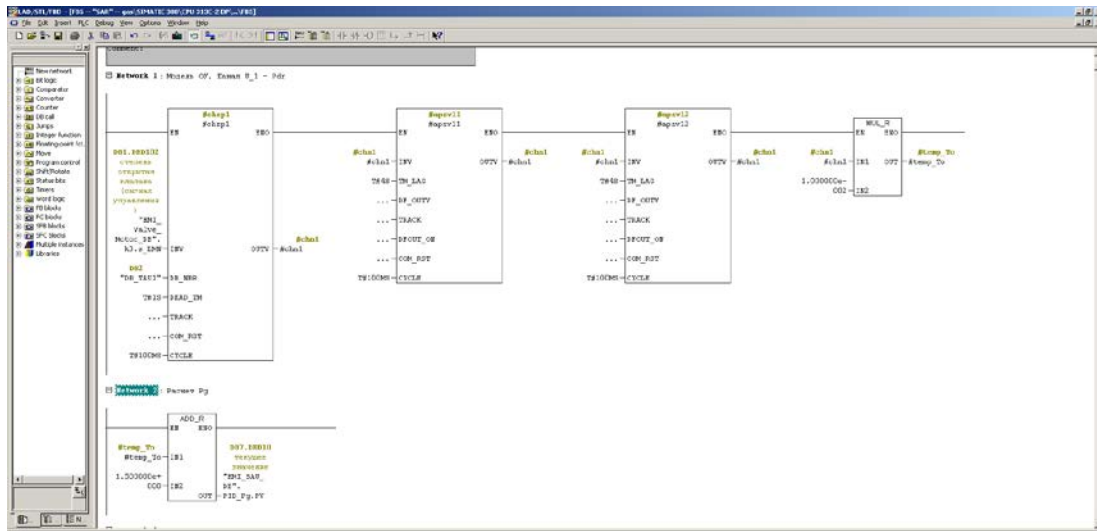


Рис. 5.24. – Фрагмент програми яка реалізує розрахунок моделі ОК.

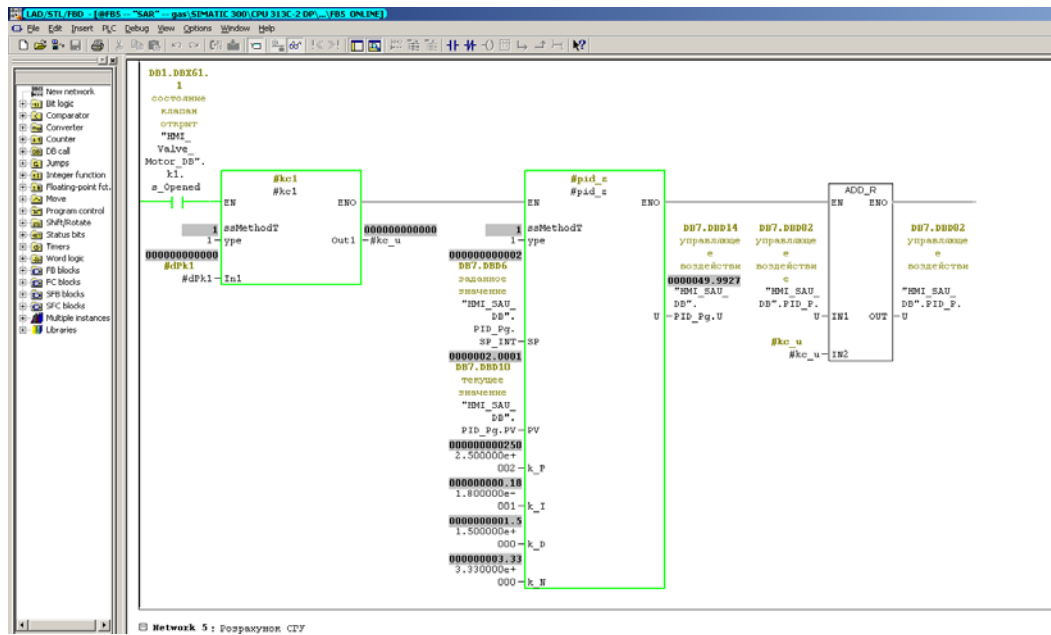


Рис. 5.25. – Фрагмент програми конвертованого регулятора тиску газу після дроселювання у режимі тестування.

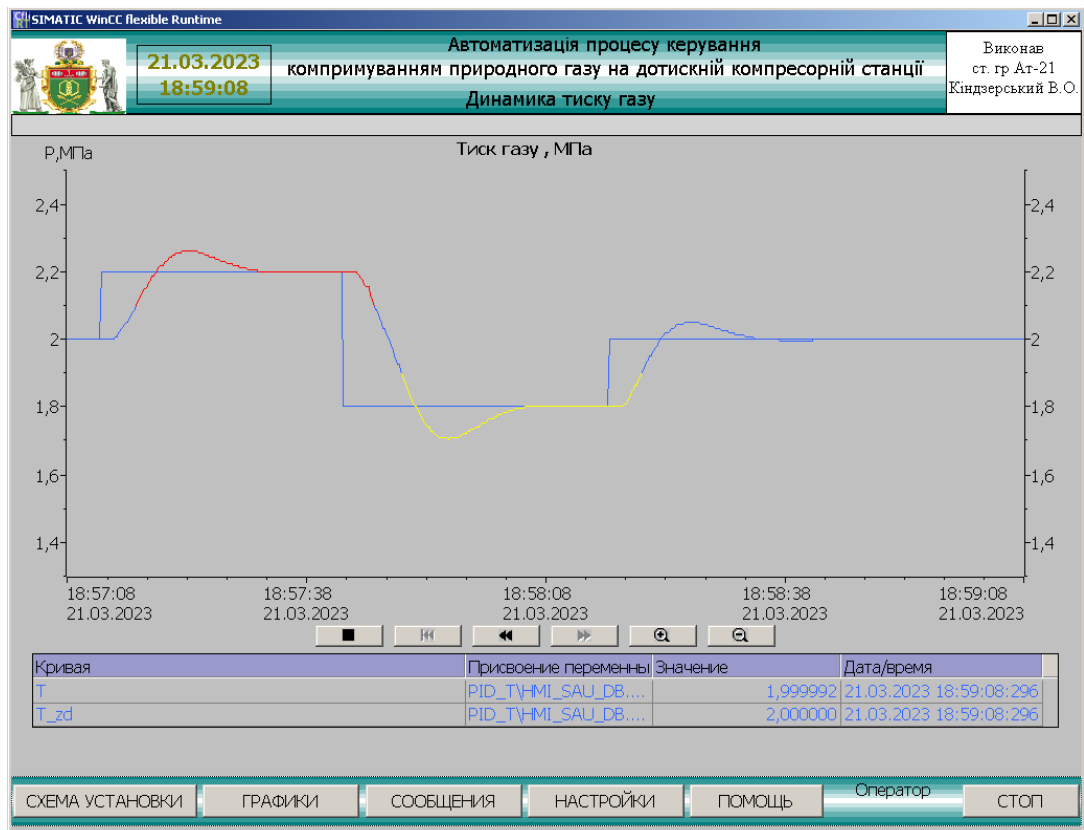
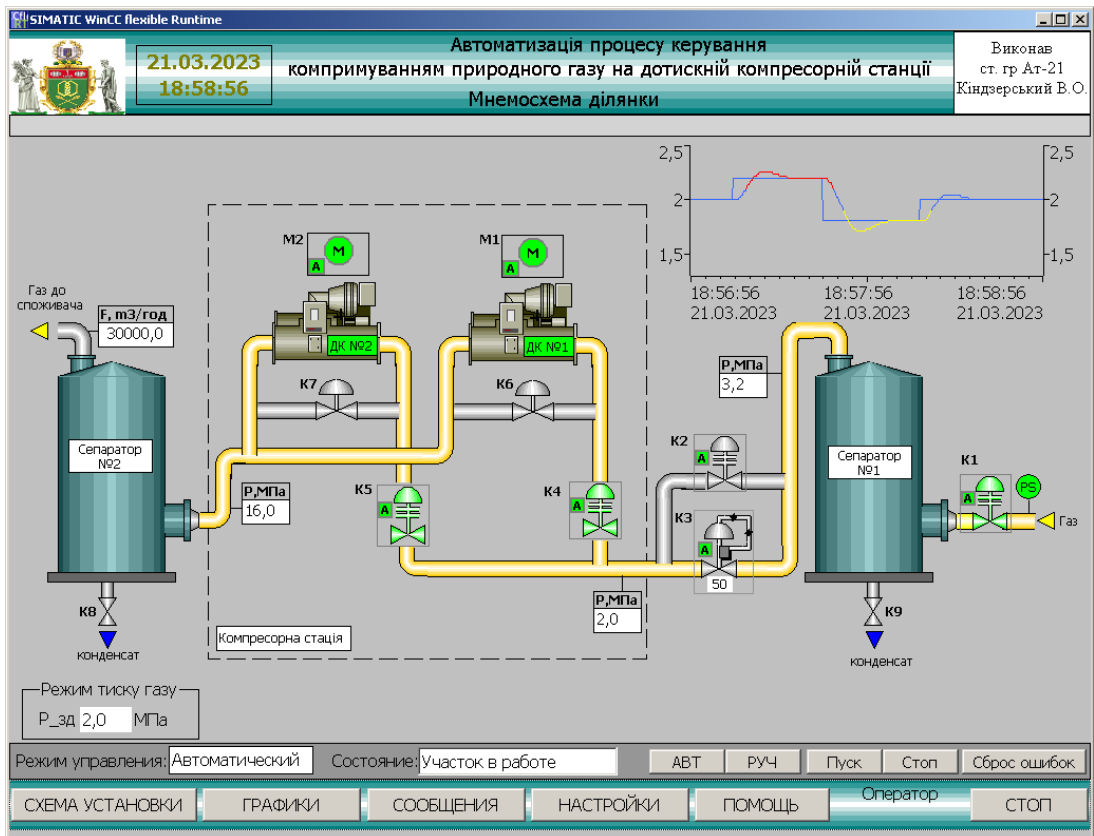


Рис. 5.26. – Результати тестування моделі САР тиску газу після дроселювання.

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

5.3. Оцінка економічної ефективності впровадження розробок.

Застосування в системі керування процесом компримування природного газу на дотискній компресорній станції алгоритмів гарантуючого керування тиску газу після дроселювання дозволить підтримувати тиск газу ближче до верхньої межі 2.03 МПа не порушуючи регламенту. Це дозволить забезпечити зниження питомих витрат електричної енергії при компримуванні природного газу до 4 – 5 % .

5.4 Висновки за розділом

1. В цьому розділі розглянута програмно-технічна структура системи керування процесом компримування природного газу на дотискній компресорній станції. Обґрунтовано обрані контролер, ПЗО та програмне забезпечення фірми Siemens для реалізації системи.

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

3. Розширення функцій системи керування не потребує зміни технічної структури системи і дозволяє залишити базовий контролер без змін. Тому модернізація САУ на базі Siemens окуповується досить швидко.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи було проаналізовано процес компримування природного газу на дотискній компресорній станції і задачі підвищення його ефективності засобами автоматичного керування.

Також було вдосконалено алгоритми, що реалізують функції регулювання САК процесу компримування природного газу на дотискній компресорній станції, був проведений структурний синтез САР підвищеної динамічної точності та оптимальний параметричний синтез САК підвищеної динамічної точності.

У результаті синтезу САР підвищеної динамічної точності ми одержали систему, показники якості якої, набагато кращі в порівнянні із САР найпростішої структури, також САР підвищеної динамічної точності груба. Таким чином, доцільно використовувати отриману систему підвищеної динамічної точності. При роботі САР зі стохастичними впливами ми переконалися, що реакція системи на збурення дуже добра, відхилення від завдання незначні та не виходять з регламентної зони.

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.

Також в роботі було розроблено та досліджено САК процесу компримування природного газу на дотискній компресорній станції яка реалізує функцію мінімізації енерговитрат при гарантуванні дотримання обмежень.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що система гарантуючого управління при дії нестационарних збурень забезпечує виконання процесу компримування природного газу, підтримує тиск газу

після дроселювання максимально близько до верхньої межі регламенту, забезпечуючи зниження питомих енерговитрат. Стабілізуючі САР для вирішення такого завдання не підходять.

За результатами можна дійти невтішного висновку, що більше значення P_t тим далі система відводить регульовану змінну від граничного значення. У всіх експериментах САУ, що реалізує функцію гарантуючого управління, є кращою, ніж САР базової структури, і подальше її використання є доцільним.

Була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування та програмне забезпечення системи автоматичного керування ТП пастеризації яблучного соку.

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. Конспект курсу лекцій по дисципліні «Идентификация и моделирование объектов Автоматизации». Одеса-2008 р.
2. Хобін В. А. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з курсу «Идентификация и моделирование технологических объектов», Одеса-2000 г.
3. Конспект курса лекций по дисциплине “Теория автоматического управления” (часть I)– Хобин В.А. ОНАПТ. Одесса – 2012 г.
4. Конспект курса лекций по дисциплине “Теория автоматического управления” (часть II)– Хобин В.А. ОНАПТ. Одесса – 2012 г.
5. Методические указания к выполнению и оформлению курсовой работы по дисциплине «Теория автоматического управления» для студентов специальностей 2105 дневной и заочной форм обучения / Сост. В.А. Хобин, - Одесса: ОТИПП, 1992 г. – 15 с.
6. Конспект лекцій з курсу „Автоматизація технологічних процесів та виробництв” для студентів напряму підготовки бакалаврів 6.050202 „Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” всіх форм навчання / Укл. Л.М.Сичук, І.М.Світий. – Одеса: ОНАХТ, 2013. – 88 с.
7. Конспект курса лекций по дисциплине «Специальные разделы теории управления» для студентов специальности 8.092501. – Хобин В.А- Одеса: ОНАХТ 2010. – 62 стр.
8. User's Manual .WinCC flexible 2008 Compact / Standard / Advanced.
9. «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.
10. Каталог ІК РІ «Промышленная связь для систем автоматизации и приводов». – Siemens AG, 2005. – 666с.
11. Каталог ST70 «SIMATIC – Компоненты для комплексной автоматизации». – Siemens AG, 2007. – 862с.

12. «Автоматизация с помощью программ Step 7 LAD и FBD». – Ганс Бергер, 2001. – 605с.
13. «Економіка підприємства: Підручник» / За заг. редакторка С.Ф. Покропивного-Вид. 2-ге, перероб. але доп. – К.: Київ, 2000. – 528 с.
16. Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. Системи штучного інтелекту [Текст] / Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. – Львів: «Магнолія» – 2010. – 279с.
17. Литвин В.В. Інтелектуальні системи [Текст] / Литвин В.В., Пасічник В.В, Яцишин Ю.В. – Львів: «Новий Світ» - 2008. - 406с.
18. Руденко О.Г. Штучні нейронні мережі [Текст] / Руденко О.Г., Бодяньський Є.В. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404с.
19. 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.
20. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети [Текст] / Круглов В.В., Длин М.И., Голунов Р.Ю. – М. : Физматлит, 2001. – 302 с.
21. Архангельський В.І. і др. Нейронні мережі в системах автоматизації [Текст] – К. : техніка, 1999. – 364 с.
22. Штучні нейронні мережі [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучна_нейронна_мережа
23. Нечітка логіка [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Нечітка_логіка
24. Фазифікація [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Фазифікація>
25. Дефазифікація [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Дефазифікація>
26. Система нечіткого виведення [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Система_нечіткого_виведення

ДОДАТОК А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Одеський національний
технологічний університет**



ПРОГРАМА

**Наукової конференції
здобувачів вищої освіти**

28-30 березня 2023 року

Одеса 2023

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ
І ТЕХНОЛОГІЙ «ІНДУСТРІЯ 4.0» ім. П.М. ПЛАТОНОВА

СЕКЦІЯ
АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І
РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Засідання

23 березня 2023 року о 10.00

**Ідентифікатор конференції: 314-736-7190,
код доступу: 8qvON3**

Наукові керівники – професор Хобін В.А.
доцент Муратов В.Г.

Секретар – студ. ОКР «Магістр» ф-ту АтаР Чаплигін Д.В.

- 1. Підвищення ефективності автоматичного керування конденсаційною сушкою плодовоовочевої сировини в потоці.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Чаплигін Д.В.
Науковий керівник – доц. Мазур О.В.
- 2. Підвищення ефективності автоматичного керування вакуумною деалкоголізацією вина в потоці.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Саприкін М.О.
Науковий керівник – доц. Мазур О.В.
- 3. Підвищення ефективності автоматизованого управління організацією хлібопекарного виробництва в пекарні-кафеєтерії «Одеська булочна».**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Шоломо Д.С.
Науковий керівник – доц. Світій І.М.
- 4. Підвищення ефективності автоматизованого управління підготовкою сировини для хлібопекарного виробництва на ТОВ «Одеський хлібозавод №4».**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Горшков І.С.
Наукові керівники – доц. Жигайло О.М., ст. викл. Дец Д.В.
- 5. Розробка циклу лабораторних робіт з дисципліни «Програмування робототехнічних систем» та їх методичного забезпечення.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Коцур І.О.
Науковий керівник – доц. Сторов.В.Б.
- 7. Підвищення ефективності автоматичного керування компримуванням природного газу на дотискній компресорній станції.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Кіндзерський В.О.
Науковий керівник – доц. Левінський В.М.
- 8. Підвищення ефективності автоматичного керування випічкою хліба в ротатійній печі.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Арутюнян В.Т.
Науковий керівник – доц. Муратов В.Г.
- 9. Підвищення ефективності автоматичного керування кондиціонуванням повітря у приміщенні збирального цеху підприємства «Зернова столиця».**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Грецьук А.В.
Науковий керівник – доц. Муратов В.Г.
- 10. Підвищення ефективності автоматичного керування гранулюванням комбікормів на основі принципів гарантованого дотримання обмежень.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Капітан О.В.
Науковий керівник – проф. Хобін В.А.

11. Підвищення ефективності автоматичного керування масуванням м'яса.
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Кукурузняк Д.О.
Науковий керівник – доц. Левінський В.М.

Засідання

24 березня 2023 року о 10.00

**Ідентифікатор конференції: 314-736-7190,
код доступу: 8qvON3**

Наукові керівники – професор Хобін В.А.
доцент Муратов В.Г.
Секретар – студ. ОКР «Магістр» ф-ту АтаР Урмаш Ю.О.

- 1. Підвищення ефективності автоматичного керування зволоженням зерна.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Панікарський Л.М.
Науковий керівник – проф. Хобін В.А.
- 2. Підвищення ефективності автоматичного керування деалкоголізацією вина в потоці з використанням термоелектричного теплого насосу.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Пашков С.О.
Науковий керівник – доц. Мазур О.В.
- 3. Підвищення ефективності автоматичного керування камерою варки та гарячого кочення ковбас з використанням термоелектричного теплого насосу.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Петренко Д.С.
Науковий керівник – доц. Мазур О.В.
- 4. Підвищення ефективності автоматичного керування процесом стерилізації томат-продуктів.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Серебряков О.М.
Науковий керівник – доц. Мазур О.В.
- 5. Підвищення ефективності автоматизованого управління збутом зернових культур.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Талеро В.В.
Наукові керівники – доц. Жигайло О.М., ст. викладач Дец Д.В.
- 6. Підвищення ефективності автоматичного керування шоквою заморозкою м'яса.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Терещенко Р.О.
Науковий керівник – доц. Левінський В.М.
- 7. Підвищення ефективності автоматичного керування варкою ковбас в універсальній термокамері.**
Студентка СВО «Магістр» ф-ту АтаР Урмаш Ю.О.
Науковий керівник – доц. Світій І.М.
- 8. Підвищення ефективності автоматичного керування сушінням овочів в стрічковій сушарні.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Лапенков О.Є.
Науковий керівник – доц. Гончаренко О.Є.
- 9. Підвищення ефективності автоматичного керування процесом вигрівання сирів.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Домітчен О.А.
Науковий керівник – доц. Гончаренко О.Є.
- 10. Підвищення ефективності автоматичного керування охолодженням гранульованих комбікормів.**
Студент СВО «Магістр» ф-ту АтаР Ільченко О.В.
Науковий керівник – доц. Гончаренко О.Є.
- 11. Підвищення ефективності автоматичного керування виробництвом пари.**
Студентка СВО «Магістр» ф-ту АтаР Малаш В.С.
Науковий керівник – доц. Левінський В.М.

ДОДАТОК Б

Вихідний код конвертованих модулів регулятора та алгоритмів гарантуючого керування.

Вихідний текст модулю БРГЗД.

```
SCL - [BRGZD_R -- RGZASIMATIC 300(1)CPU 313C:2 DP]
File Edit Insert PLC Debug View Options Window Help

FUNCTION BLOCK FB770
VAR_INPUT
  ssMethodType: INT;
  X: REAL;
  Xnp: REAL;
  T: REAL;
  Pt: REAL;
  Gxt: REAL;
  Gxt_1: REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  Xc: REAL;
END_VAR
VAR
  UD_DSTATE: REAL;
  LookupTablenD_tabl: ARRAY [0..1000] OF REAL;
  LookupTablenD_bp01: ARRAY [0..1000] OF REAL;
  need_init: BOOL := TRUE;
  frac: REAL;
  iRight: DINT;
  iLeft: DINT;
  hpIdx: DINT;
  rtb_Product: REAL;
  rtb_Sum: REAL;
  Sqrt1: REAL;
END_VAR
IF need_init THEN
  LookupTablenD_tabl[0] := 2.866515718791946E-7;
  LookupTablenD_tabl[1] := 3.0189646252084903E-7;
  LookupTablenD_tabl[2] := 3.179213661852819E-7;
  LookupTablenD_tabl[3] := 3.3476450827361839E-7;
  LookupTablenD_tabl[4] := 3.5246589817642519E-7;
  LookupTablenD_tabl[5] := 3.710674079633366E-7;
  LookupTablenD_tabl[6] := 3.9061285431832642E-7;
  LookupTablenD_tabl[7] := 4.11148083843931E-7;
  LookupTablenD_tabl[8] := 4.32721061861702E-7;
  LookupTablenD_tabl[9] := 4.5538196484073189E-7;
  LookupTablenD_tabl[10] := 4.7918327659032045E-7;
  LookupTablenD_tabl[11] := 5.041798883575366E-7;
  LookupTablenD_tabl[12] := 5.3042920297509489E-7;
  LookupTablenD_tabl[13] := 5.5799124320978274E-7;
  LookupTablenD_tabl[14] := 5.869287644663828E-7;
  LookupTablenD_tabl[15] := 6.1730737200919884E-7;
  LookupTablenD_tabl[16] := 6.491956428613363E-7;
  LookupTablenD_tabl[17] := 6.8266525256166436E-7;
  LookupTablenD_tabl[18] := 7.1779110694690021E-7;
  LookupTablenD_tabl[19] := 7.5465147914637377E-7;
  LookupTablenD_tabl[20] := 7.9332815197559734E-7;
  LookupTablenD_tabl[21] := 8.3390656592291234E-7;
  LookupTablenD_tabl[22] := 8.7647597292920517E-7;
  LookupTablenD_tabl[23] := 9.2112959616714359E-7;
  LookupTablenD_tabl[24] := 9.6796479603273579E-7;
  LookupTablenD_tabl[25] := 1.0170832425687061E-6;
  LookupTablenD_tabl[26] := 1.0685910945459359E-6;
  LookupTablenD_tabl[27] := 1.1225991854361736E-6;
  LookupTablenD_tabl[28] := 1.1792232165163983E-6;
  LookupTablenD_tabl[29] := 1.2385839573524714E-6;
  LookupTablenD_tabl[30] := 1.3008074539172811E-6;
  LookupTablenD_tabl[31] := 1.3660252446061406E-6;
  LookupTablenD_tabl[32] := 1.4343745844201367E-6;
  LookupTablenD_tabl[33] := 1.5059986775961571E-6;
  LookupTablenD_tabl[34] := 1.5810469189705114E-6;
  LookupTablenD_tabl[35] := 1.6596751443714621E-6;
  LookupTablenD_tabl[36] := 1.7420458903446622E-6;
  LookupTablenD_tabl[37] := 1.8283286635241654E-6;
  LookupTablenD_tabl[38] := 1.9187002199708997E-6;
  LookupTablenD_tabl[39] := 2.01334485480934E-6;
  LookupTablenD_tabl[40] := 2.1124547025028592E-6;
  LookupTablenD_tabl[41] := 2.2162300481175476E-6;
  LookupTablenD_tabl[42] := 2.3248796499344139E-6;
  LookupTablenD_tabl[43] := 2.4386210737794265E-6;
  LookupTablenD_tabl[44] := 2.5576810394515308E-6;
  LookupTablenD_tabl[45] := 2.6822957796388553E-6;
  LookupTablenD_tabl[46] := 2.8127114117242163E-6;
  LookupTablenD_tabl[47] := 2.9491843228915214E-6;
  LookupTablenD_tabl[48] := 3.091981568956187E-6;
  LookupTablenD_tabl[49] := 3.2413812873533944E-6;
  LookupTablenD_tabl[50] := 3.3976731247300615E-6;
  LookupTablenD_tabl[51] := 3.5611586795975568E-6;
  LookupTablenD_tabl[52] := 3.7321519605144834E-6;
  LookupTablenD_tabl[53] := 3.91097986028071E-6;
  LookupTablenD_tabl[54] := 4.0979826466363635E-6;
  LookupTablenD_tabl[55] := 4.2935144699718707E-6;
  LookupTablenD_tabl[56] := 4.4979438885679361E-6;
  LookupTablenD_tabl[57] := 4.7116544118972468E-6;
  LookupTablenD_tabl[58] := 4.9350450625332788E-6;
  LookupTablenD_tabl[59] := 5.1685309572241428E-6;
```

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

LookupTablenD_tabl[972] := 0.99999882077678348;
LookupTablenD_tabl[973] := 0.99999887740081461;
LookupTablenD_tabl[974] := 0.9999989314089055;
LookupTablenD_tabl[975] := 0.99999898291675748;
LookupTablenD_tabl[976] := 0.999999032035204;
LookupTablenD_tabl[977] := 0.99999907887040385;
LookupTablenD_tabl[978] := 0.99999912352402709;
LookupTablenD_tabl[979] := 0.99999916609343409;
LookupTablenD_tabl[980] := 0.999999206671848;
LookupTablenD_tabl[981] := 0.9999992453485208;
LookupTablenD_tabl[982] := 0.999999282208893;
LookupTablenD_tabl[983] := 0.99999931733474745;
LookupTablenD_tabl[984] := 0.99999935080435709;
LookupTablenD_tabl[985] := 0.999999382692628;
LookupTablenD_tabl[986] := 0.99999941307123552;
LookupTablenD_tabl[987] := 0.99999944200875679;
LookupTablenD_tabl[988] := 0.999999469570797;
LookupTablenD_tabl[989] := 0.9999994958011161;
LookupTablenD_tabl[990] := 0.99999952081572339;
LookupTablenD_tabl[991] := 0.9999995446180352;
LookupTablenD_tabl[992] := 0.99999956727893813;
LookupTablenD_tabl[993] := 0.9999995888519162;
LookupTablenD_tabl[994] := 0.99999960938714578;
LookupTablenD_tabl[995] := 0.99999962893259208;
LookupTablenD_tabl[996] := 0.99999964753410187;
LookupTablenD_tabl[997] := 0.99999966523549177;
LookupTablenD_tabl[998] := 0.99999968207863377;
LookupTablenD_tabl[999] := 0.9999996981035375;
LookupTablenD_tabl[1000] := 0.99999971334842808;
LookupTablenD_bp01[0] := -5.0;
LookupTablenD_bp01[1] := -4.99;
LookupTablenD_bp01[2] := -4.98;
LookupTablenD_bp01[3] := -4.97;
LookupTablenD_bp01[4] := -4.96;
LookupTablenD_bp01[5] := -4.95;
LookupTablenD_bp01[6] := -4.94;
LookupTablenD_bp01[7] := -4.93;
LookupTablenD_bp01[8] := -4.92;
LookupTablenD_bp01[9] := -4.91;
LookupTablenD_bp01[10] := -4.9;
LookupTablenD_bp01[11] := -4.89;
LookupTablenD_bp01[12] := -4.88;
LookupTablenD_bp01[13] := -4.87;
LookupTablenD_bp01[14] := -4.86;

LookupTablenD_bp01[970] := 4.7;
LookupTablenD_bp01[971] := 4.71;
LookupTablenD_bp01[972] := 4.72;
LookupTablenD_bp01[973] := 4.73;
LookupTablenD_bp01[974] := 4.74;
LookupTablenD_bp01[975] := 4.75;
LookupTablenD_bp01[976] := 4.76;
LookupTablenD_bp01[977] := 4.77;
LookupTablenD_bp01[978] := 4.78;
LookupTablenD_bp01[979] := 4.79;
LookupTablenD_bp01[980] := 4.8;
LookupTablenD_bp01[981] := 4.81;
LookupTablenD_bp01[982] := 4.82;
LookupTablenD_bp01[983] := 4.83;
LookupTablenD_bp01[984] := 4.84;
LookupTablenD_bp01[985] := 4.85;
LookupTablenD_bp01[986] := 4.86;
LookupTablenD_bp01[987] := 4.87;
LookupTablenD_bp01[988] := 4.88;
LookupTablenD_bp01[989] := 4.89;
LookupTablenD_bp01[990] := 4.9;
LookupTablenD_bp01[991] := 4.91;
LookupTablenD_bp01[992] := 4.92;
LookupTablenD_bp01[993] := 4.93;
LookupTablenD_bp01[994] := 4.94;
LookupTablenD_bp01[995] := 4.95;
LookupTablenD_bp01[996] := 4.96;
LookupTablenD_bp01[997] := 4.97;
LookupTablenD_bp01[998] := 4.98;
LookupTablenD_bp01[999] := 4.99;
LookupTablenD_bp01[1000] := 5.0;
need_init := FALSE;
END_IF;
CASE ssMethodType OF
0:
(* InitializeConditions for UnitDelay: '<S2>/UD'
*
* Block description for '<S2>/UD':
*
* Store in Global RAM *)
UD_DSTATE := 0.0;
1:
```

```

SCL - [BRGZD_R -- RGZ/SIMATIC 300(1)\CPU 313C-2 DP]
File Edit Insert PLC Debug View Options Window Help

1:

(* Sum: '<S1>/Sum' incorporates:
 * Inport: '<Root>/X'
 * Inport: '<Root>/Xnp' *)
rtb_Sum := Xnp - X;

(* Product: '<S1>/Product' incorporates:
 * Inport: '<Root>/Gx'(t)'
 * Sum: '<S2>/Diff'
 * UnitDelay: '<S2>/UD'
 *
 * Block description for '<S2>/Diff':
 *
 * Add in CPU
 *
 * Block description for '<S2>/UD':
 *
 * Store in Global RAM *)
rtb_Product := (rtb_Sum - UD_DSTATE) / Gxt;

(* Sqrt: '<S1>/Sqrt1' incorporates:
 * Constant: '<S1>/Constant4' *)
Sqrt1 := 2.5066282746310002;

(* Lookup_n-D: '<S1>/Lookup Table (n-D)' incorporates:
 * Gain: '<S1>/Gain3' *)
(* Lookup 1-D
Search method: 'binary'
Use previous index: 'off'
Interpolation method: 'Linear'
Extrapolation method: 'Linear'
Use last breakpoint for index at or above upper limit: 'off'
Remove protection against out-of-range input in generated code: 'off' *)
(* Prelookup - Index and Fraction
Index Search method: 'binary'
Extrapolation method: 'Linear'
Use previous index: 'off'
Use last breakpoint for index at or above upper limit: 'off'
Remove protection against out-of-range input in generated code: 'off' *)
IF (-rtb_Product) <= -5.0 THEN
  iLeft := 0;
  frac := ((-rtb_Product) - -5.0) / 0.0099999999999997868;
ELSIF (-rtb_Product) < 5.0 THEN
  (* Binary Search *)
  bpIdx := 500;
  iLeft := 0;
  iRight := 1000;
  WHILE (iRight - iLeft) > 1 DO
    IF (-rtb_Product) < LookupTablenD_bp01[bpIdx] THEN
      iRight := bpIdx;
    ELSE
      iLeft := bpIdx;
    END IF;
    bpIdx := DWORD_TO_DINT(SHR(IN:=DINT_TO_DWORD(iRight + iLeft), N:=1));
  END WHILE;
  frac := ((-rtb_Product) - LookupTablenD_bp01[iLeft]) / (LookupTablenD_bp01[iLeft + 1] - LookupTablenD_bp01[iLeft]);
ELSE
  iLeft := 999;
  frac := ((-rtb_Product) - 4.99) / 0.0099999999999997868;
END IF;
(* Interpolation 1-D
Interpolation method: 'Linear'
Use last breakpoint for index at or above upper limit: 'off'
Overflow mode: 'wrapping' *)

(* Product: '<S1>/Product3' incorporates:
 * Constant: '<S1>/Constant4'
 * Gain: '<S1>/Gain'
 * Gain: '<S1>/Gain2'
 * Inport: '<Root>/Gx'(t)'
 * Inport: '<Root>/Gx'(t)'
 * Inport: '<Root>/Pt'
 * Inport: '<Root>/T'
 * Lookup_n-D: '<S1>/Lookup Table (n-D)'
 *
 * Math: '<S1>/Math Function'
 * Math: '<S1>/Math Function2'
 * Math: '<S1>/Math Function3'
 * Product: '<S1>/Product1'
 * Product: '<S1>/Product2'
 * Product: '<S1>/Product4'
 * Sum: '<S1>/Sum1'
 *
 * About '<S1>/Math Function':
 * Operator: log
 *

```

```

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

(* Operator: log
*)
(* About '<S1>/Math Function2':
*)
(* Operator: exp *)
rtb_Product := ((((((LookupTablenD_tabl[iLeft + 1] - LookupTablenD_tabl[iLeft]) * frac) + LookupTablenD_tabl[iLeft]) *
Sqrt1) * rtb_Product) + EXP((rtb_Product * rtb_Product) * -0.5)) * (1.0 / (LN(Pt) * 6.2831853071795862))) * (
(Gxt * (-T)) / Gxt_1);

(* Switch: '<S1>/Switch' incorporates:
*)
(* Constant: '<S1>/Constant5' *)
IF NOT (rtb_Product >= 1.0) THEN
rtb_Product := 1.0;
END_IF;
(* End of Switch: '<S1>/Switch' *)

(* Math: '<S1>/Math Function4'
*)
(* About '<S1>/Math Function4':
*)
(* Operator: log *)
rtb_Product := LN(rtb_Product);

(* Gain: '<S1>/Gain1' *)
rtb_Product := 2.0 * rtb_Product;

(* Sqrt: '<S1>/Sqrt' *)
rtb_Product := Sqrt(rtb_Product);

(* Sum: '<S1>/Sum2' incorporates:
*)
(* Input: '<Root>/Gx(t)'
*)
(* Input: '<Root>/Xnp'
*)
(* Product: '<S1>/Product5' *)
rtb_Product := (rtb_Product * Gxt_1) + Xnp;

(* Saturate: '<S1>/Saturation2' *)
IF rtb_Product >= 120.0 THEN
(* Output: '<Root>/Xn(t)' *)
Xt := 120.0;
ELSIF rtb_Product > -20.0 THEN
(* Output: '<Root>/Xn(t)' *)
Xt := rtb_Product;
ELSE
(* Output: '<Root>/Xn(t)' *)
Xt := -20.0;
END_IF;

(* End of Saturate: '<S1>/Saturation2' *)

(* Update for UnitDelay: '<S2>/UD'
*)
(* Block description for '<S2>/UD':
*)
(* Store in Global RAM *)
UD_DSTATE := rtb_Sum;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK

```

Вихідний текст модулю БРСО.

```

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

FUNCTION_BLOCK FB771
VAR_INPUT
ssMethodType: INT;
dX: REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
Gdx: REAL;
Gx: REAL;
END_VAR
VAR
c_DiscreteTimeIntegr: REAL;
d_DiscreteTimeIntegr: REAL;
e_DiscreteTimeIntegr: REAL;
f_DiscreteTimeIntegr: REAL;
UD_DSTATE: REAL;
rtb_Sum: REAL;
rtb_TSamp: REAL;
rtb_Sum4: REAL;
rtb_Sum1: REAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
0:
(* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator2' *)
c_DiscreteTimeIntegr := 0.010000000000000002;
(* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator3' *)
d_DiscreteTimeIntegr := 0.00062500000000000012;
(* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' *)
e_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
(* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1' *)
f_DiscreteTimeIntegr := 0.0;
(* InitializeConditions for UnitDelay: '<S2>/UD'
*)
(* Block description for '<S2>/UD':
*)
(* Store in Global RAM *)
UD_DSTATE := 0.0;
1:
(* SampleTimeMath: '<S2>/TSamp' incorporates:

```

```

SCL - [BRSO_R -- RGZASIMATIC 300(1)VCPU 313C-2 DP]
File Edit Insert PLC Debug View Options Window Help

(* About '<S2>/TSamp':
 * y = u * K where K = 1 / ( w * Ts ) *)
rtb_TSamp := dX * 4.0;

(* Sum: '<S2>/Diff' incorporates:
 * UnitDelay: '<S2>/UD'
 *
 * Block description for '<S2>/Diff':
 *
 * Add in CPU
 *
 * Block description for '<S2>/UD':
 *
 * Store in Global RAM *)
rtb_Sum1 := rtb_TSamp - UD_DSTATE;

(* Sum: '<S1>/Sum4' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' *)
rtb_Sum4 := rtb_Sum1 - e_DiscreteTimeIntegr;

(* Sum: '<S1>/Sum' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1'
 * Inport: '<Root>/dX' *)
rtb_Sum := dX - f_DiscreteTimeIntegr;

(* Sum: '<S1>/Sum1' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' *)
rtb_Sum1 := rtb_Sum1 - e_DiscreteTimeIntegr;

(* Output: '<Root>/Gdx' incorporates:
 * Abs: '<S1>/Abs2'
 * Constant: '<S1>/Constant'
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator3'
 * Sqrt: '<S1>/Sqrt'
 * Sum: '<S1>/Sum3' *)
Gdx := SQRT(ABS(d_DiscreteTimeIntegr)) + 0.01;

(* Output: '<Root>/Gx' incorporates:
 * Abs: '<S1>/Abs1'
 * Constant: '<S1>/Constant'
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator2'
 * Sqrt: '<S1>/Sqrt1'
 * Sum: '<S1>/Sum2' *)
Gx := 0.01 + SQRT(ABS(c_DiscreteTimeIntegr));

SCL - [BRSO_R -- RGZASIMATIC 300(1)VCPU 313C-2 DP]
File Edit Insert PLC Debug View Options Window Help

(* Output: '<Root>/Gx' incorporates:
 * Abs: '<S1>/Abs1'
 * Constant: '<S1>/Constant'
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator2'
 * Sqrt: '<S1>/Sqrt1'
 * Sum: '<S1>/Sum2' *)
Gx := 0.01 + SQRT(ABS(c_DiscreteTimeIntegr));]

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator2' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator2'
 * Gain: '<S1>/Gain2'
 * Math: '<S1>/Math Function'
 * Sum: '<S1>/Sum6' *)
c_DiscreteTimeIntegr := (((rtb_Sum * rtb_Sum) - c_DiscreteTimeIntegr) * 0.02) * 0.25 + c_DiscreteTimeIntegr;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator3' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator3'
 * Gain: '<S1>/Gain3'
 * Math: '<S1>/Math Function1'
 * Sum: '<S1>/Sum7' *)
d_DiscreteTimeIntegr := (((rtb_Sum1 * rtb_Sum1) - d_DiscreteTimeIntegr) * 0.02) * 0.25 + d_DiscreteTimeIntegr;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' incorporates:
 * Gain: '<S1>/Gain' *)
e_DiscreteTimeIntegr := ((0.2 * rtb_Sum4) * 0.25) + e_DiscreteTimeIntegr;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1'
 * Gain: '<S1>/Gain1'
 * Inport: '<Root>/dX'
 * Sum: '<S1>/Sum5' *)
f_DiscreteTimeIntegr := (((dX - f_DiscreteTimeIntegr) * 0.2) * 0.25) + f_DiscreteTimeIntegr;

(* Update for UnitDelay: '<S2>/UD'
 *
 * Block description for '<S2>/UD':
 *
 * Store in Global RAM *)
UD_DSTATE := rtb_TSamp;

END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK

```

Вихідний текст модулю ПІД регулятора..

```
SCL - [PID_R - RGZASIMATIC 300(1)\CPU 313C-2 DP]
FUNCTION_BLOCK FB772
VAR_INPUT
    ssMethodType: INT;
    SP: REAL;
    PV: REAL;
    k_P: REAL;
    k_I: REAL;
    k_D: REAL;
    k_N: REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    U: REAL;
    dPV: REAL;
END_VAR
VAR
    Integrator_DSTATE: REAL;
    Filter_DSTATE: REAL;
    rtb_Add: REAL;
    rtb_Add2: REAL;
    rtb_Product: REAL;
    rtb_Product3: REAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    0:
        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Integrator' *)
        Integrator_DSTATE := 0.0;

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

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

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