

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 вищої освіти	Бакалавр 151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Спеціальність	
Освітня програма	«Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації»

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Тема: «Автоматизація процесу керування випічкою хлібобулочних виробів у ротаційній печі на підприємстві <<ОДЕСЬКИЙ ХЛІБЗАВОД №4>>»

Розробив М.Ю. Юркул

Керівник
к.т.н., доцент В.Г. Муратов

Зав. кафедри АТПіРС
д.т.н., професор В.А. Хобін

«e-версія роботи ідентична оригіналу» М.Ю. Юркул

«e-версію роботи прийнято»

Депозитор кафедри АТПіРС Т.В.Волик

Одеса-2023

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут	Навчально-науковий інститут Комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова
Кафедра	Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
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.

« 02 » 09 2022 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

1. Студент **Юркул Микола Юрійович**
2. Тема кваліфікаційної роботи **Автоматизація процесу керування випічкою хлібобулочних виробів у ротаційній печі на підприємстві <<ОДЕСЬКИЙ ХЛІБЗАВОД №4>>**
3. Керівник кваліфікаційної роботи **Муратов Віктор Георгійович, к.т.н., доцент**
п. 2 затверджено наказом ОНТУ № 475-03 від 22 серпня 2022 року і п. 3 затверджено наказом ОНТУ від 07 березня 2023 року № 96-03.
4. Строк подання студентом випускної дипломної роботи - 05 червня 2023 р.
5. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали виконаних індивідуальних завдань (ІЗ) технологічної і переддипломної практик, курсових та самостійних робіт, виконаних у відповідності с ІЗ.
6. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити) :
 - 1) Характеристика управління випічкою хлібобулочних виробів у ротаційній печі, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом.
 - 2) Конкретизація задачі дотримання регламентів управління випічкою хлібобулочних виробів у ротаційній печі, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.
 - 3) Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів.
 - 4) Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування випічкою хлібобулочних виробів у ротаційній печі.
 - 5) Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів.
 - 6) Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.
 - 7) Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.
 - 8) Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці.
 - 9) Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	Хобін В.А., проф. каф. АТП і РС		
Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	Хобін В.А., проф. каф. АТП і РС		
Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САУ	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		
Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технологічного налагоджувача САК	Степанов М.Т., доц. каф. АТП і РС		
Вибір ТЗА та розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		
Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження проекту	Дроздова В.А., доц. каф. М і А		

7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

8. Дата видачі завдання 26 грудня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика управління випічкою хлібобулочних виробів у ротаційній печі, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом	29.03.23 р.	
2	Конкретизація задачі дотримання регламентів управління випічкою хлібобулочних виробів у ротаційній печі, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	10.04.23 р.	
3	Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	24.04.23 р.	
4	Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування випічкою хлібобулочних виробів у ротаційній печі	25.04.23 р.	
5	Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів	28.04.23 р.	
6	Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК	05.05.23 р.	
7	Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і налагоджувача САК	19.05.23 р.	
8	Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці	26.05.23 р.	
9	Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи	02.06.23 р.	

Студент

Юркул М.Ю.

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра

Муратов В.Г.

АНОТАЦІЯ

Автоматизація керування випічкою хліба в ротаційній печі на Одеському хлібозаводі №4». Кваліфікаційна робота бакалавра

В даній роботі розглянуто питання модернізації системи автоматичного керування (САК) технологічним процесом випічки хліба в ротаційній печі. В якості об'єкта дослідження було обрано процес випічки хліба в ротаційній печі з газовим нагрівачем. Основною метою роботи є підвищення ефективності роботи установки за рахунок зменшення втрат від браку продукції. При виконанні роботи було проведено підвищення якості регулювання параметрів процесу за рахунок побудови системи автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності. Для вирішення задачі регулювання було отримано математичну модель процесу. Задачу логічного керування було вирішено за рахунок розробки алгоритму автоматичного керування. Програмно-технічну реалізацію процесу проведено на базі контролерно-комп'ютерної мережі. Ключові слова: температура повітря, вологість середовища, система автоматичного керування, контролерно-комп'ютерна мережа, SCADA.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПІЧКИ ХЛІБА, ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ.....	10
1.1. Короткий опис Одеського хлібозаводу №4	10
1.2. Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого обладнанням, мети і умов його ведення.....	11
1.1.4 Параметризація схеми технологічного процесу і загальна (на якісному рівні) характеристика параметрів і їх взаємодії.....	15
1.1.5. Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення.	19
1.2.1. Конкретизація мети і задач управління об'єктом, виявлення регульованих і оптимізованих змінних (координат).....	22
РОЗДІЛ 2. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИПІЧКИ ХЛІБУ, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЙОГО МОДЕЛЕЙ ЙОГО МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ.....	27
2.1. Априорний аналіз статичних і динамічних властивостей об'єкту керування.	28
2.2. Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів керування об'єкту регулювання в околиці його робочих режимів.	28
2.3. Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів контрольованих координатних збурень об'єкту регулювання	36
2.5.1 Априорний аналіз вхідних впливів.....	49
2.5.6 Аналіз реалізацій, обґрунтування і конкретизація умов віднесення її окремих складових загальної структури моделі координатних збурень до певних видів, вибір процедури перетворення (фільтрації) сигналів для їх поділу.	51
2.6.2 Розробка схем моделювання динаміки каналів перетворення дій, отримання перехідних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними перехідними характеристиками.....	61
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР, ОТРИМАННЯ ЦИФРОВИХ АНАЛОГІВ ОБРАНИХ АЛГОРИТМІВ.....	88

3.1.Формування задач управління технологічним агрегатом.....	88
3.2 Конкретизація структури САР і алгоритмів регулювання	93
3.3. Структурний синтез САР підвищеної динамічної точності	115
РОЗДІЛ 4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИПІЧКИ ХЛІБУ В РОТАЦІЙНІЙ ПЕЧІ	133
4.1. Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом в ротаційній печі з тепло нагрівачем (Газовою горілкою).....	133
4.2.Формалізація регламентів та розробка алгоритмів логічного управління для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях.	134
4.3. Реалізація алгоритмів логіко-програмного управління в виді функціональної логічної схеми	140
4.4. Імітаційне моделювання роботи алгоритмів логічного керування.....	144
4.5. Результати моделювання роботи САК/СЛК.....	150
4.6. Висновки за розділом	152
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні.....	153
процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно- комп'ютерної мережі.....	153
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення	153
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання	159
5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу	161
5.4. Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно- комп'ютерної мережі.....	164
5.5. Висновки за розділом	172
РОЗДІЛ 6.	173
РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ САК	173
6.1 Програмне конфігурування контролера.....	173
6.2 Розробка програмного забезпечення	174
6.2.2 Створення підпрограм логічного керування.....	176
6.6 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК	181
6.7. Висновок.....	185
РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК	186

7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування.....	186
7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.	187
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	188
7.4. Висновок: у цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом випічкою хліба в ротатійній печі. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.....	198
РОЗДІЛ 8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ..	
8.1. Характеристики технологічного об'єкта управління та опис основних технічних рішень. Основні технічні рішення	199
8.2. Розробка та опис схеми автоматизації	200
8.3. Розробка та опис принципових електричних схем	202
8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення	205
8.5. Охорона праці.	206
8.6.1. Вимоги безпеки до організації та експлуатації АРМ оператора.....	209
8.7. Висновки за розділом.....	213
РОЗДІЛ 9. ПОПЕРЕДНЄ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ	
9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації за її обраним варіантом.....	214
9.2. Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості	216
9.3 Висновок за розділом.....	219
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	220
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	221

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

САК – система автоматичного керування;
САР – система автоматичного регулювання;
МПК – мікропроцесорний контролер;
ММ – математична модель;
ВП – випадковий процес;
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
ФФ – формуючий фільтр;
СП – стохастичний процес;
ОР – об'єкт регулювання;
СХ – стохастичні характеристики;
ТП – технологічний процес;
ОК – об'єкт керування;
КЗ – коригувальний зв'язок;
СКЗ – спрощений коригувальний зв'язок;
НС – найпростіша структура;
ПДТ – підвищена динамічна точність;
ППЗС – передпускова звукова сигналізація;
ДЦП – дискретно – цифровий перетворювач;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;
АРМ – автоматизоване робоче місце;
ТА – технологічний агрегат;
КР – контур регулювання;
ФЛС – функціонально-логічна схема.

ВСТУП

Складності процесу випікання хліба пов'язані з тим, що при його реалізації необхідно чітко підтримувати значення температури та відносної вологості повітря, при різних етапах його випікання – прогрівання та зволоження тістових заготовок, перший етап, який повинний виконуватися при високому відсотку відносної вологості повітря, та відносно, вологи повітря, не високої температури повітря та підтримання великої температури повітря, при відносно малої вологості повітря, другий етап. В залежності від сорту хліба та хлібобулочних виробів, кількість етапів може бути від 1 до 4.

Метою моєї роботи є підвищення ефективності технологічного процесу випічки хліба в ротаційній печі Roto Passat 980/Н методами автоматизації.

-Технологічний процес випічки складається з декількох етапів:

- Вибору програми випічки і розігріву печі до потрібної температури;
- Ручного завантаження тістових заготовок у вагон для випічки;
- Відкриття дверей пічі та ручного вкочування та фіксації вагону в розігрітій пічі і закриття дверей;
- Безпосередньої випічки хліба;
- Вивезення вагону з пічі і розвантаження готового продукту.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПІЧКИ ХЛІБА, ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

1.1. Короткий опис Одеського хлібозаводу №4

ТОВ «Одеський хлібозавод №4» засновано 27.11.2019 р. (замість ТОВ «Одеський хліб») – один з найбільших промислових виробників хлібобулочної продукції в Україні, виробнича потужність якого дозволяє випускати до 200-220 т продукції на добу. «Одеський хлібозавод №4» – це підприємство, що забезпечує найбільше на Одещині виробництво хліба, батонів, булочок, здобних виробів, печива, пряників, тортів, тістечок, кексів, сухарів. У 2004-2007 роках на хлібозаводі була проведена масштабна реконструкція та модернізація, встановлено нове сучасне автоматизоване обладнання таких світових виробників, як: GOSTOL-goran (Словенія), FRITSCH і WERNERPFLEIDERER (Німеччина), UNIKON і NOBA (Голландія), DIOSNA (Німеччина), GLIMEK (Швеція), GEORGHARTMANN (Німеччина), KONIG (Австрія), ULMA (Іспанія). Це дозволило підприємству не тільки підвищити якість, а й розширити асортимент принципово новими для українського ринку виробами. Наприклад, завод одним з перших на українському ринку почав виробляти житній хліб за голландською технологією, круасани за французькою технологією, недопечені хлібобулочні напівфабрикати з подальшим допіканням в місцях торгівлі. ТОВ «Одеський хлібозавод №4» - це одне з перших підприємств в хлібопекарській галузі, яке отримало сертифікат на відповідність міжнародним стандартам управління якістю ISO-9001, версія 2000 року. Важливо відзначити, що на підприємстві діє окрема служба, яка відстежує тенденції на ринку і розробляє нові вироби, власна сертифікована і обладнана лабораторія, висококваліфіковані та досвідчені фахівці. Різноманітність асортименту, висока якість дозволило підприємству значно розширити географію реалізації продукції. Підприємство має власний спеціалізований автопарк, який щорічно поповнюється новими автомобілями

для доставки хліба та здоби. Крім того, «Одеський хлібозавод №4» має власну фірмову торговельну мережу, представлену сучасними магазинами і торговими павільйонами. У фірмовій торговельній мережі, розташованій в Одесі і Одеській області, завжди представлений широкий асортимент хлібобулочної продукції підприємства, а досвідчені і підготовлені продавці допоможуть підібрати вироби на будь-який смак та уподобання. Продукція «Одеського хлібозавода №4» неодноразово була визнана кращою, як покупцями, так і професіоналами і удостоєна багатьох нагород на міжнародних конкурсах. Хлібозавод розташований на одному майданчику площею 2,86 га в південнозахідній частині міста. Територія заводу обмежена: з півночі і заходу - житлової зони будинків і ринком «Черемушки», зі сходу - вул. Космонавтів та парком ім. Горького, з півдня - вул. Генерала Петрова. Метою діяльності підприємства є насичення внутрішнього українського ринку високоякісною продукцією, товарами та послугами, а також отримання прибутку від здійснення фінансово-господарської діяльності в інтересах учасників і забезпечення високого рівня життя і роботи акціонерних товариств.

1.2. Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого обладнанням, мети і умов його ведення.

1.2.1. Складання схеми і опис суті технологічного процесу, реалізованого технологічним обладнанням, як цілеспрямованого перетворення матеріальних і енергетичних потоків.

Суть технологічного процесу - це цілеспрямоване перетворення матеріальних та енергетичних потоків в спеціальному технологічному обладнанні (ТО) (машинах, апаратах, агрегатах). Сутністю технологічного процесу випічки є цілеспрямоване перетворення матеріальних (сформованого тіста) та енергетичних (підведення тепла) потоків в спеціальному технологічному обладнанні (хлібопекарній печі) з метою отримання заданих продуктів

(хлібобулочних виробів) із заданими властивостями, тобто показниками якості.

Тісто розміщується на протвині, які вручну вкочуються в вагон для випічки. Після вибору програми випічки вагон укочують в розігріту до потрібної температури піч і фіксують. Після цього слід закрити двері печі і запустити програму випічки на дисплеї управління. Можна задати наступні параметри: час випічки, температура, кількість пари, положення парового клапана (витяжка), положення клапана циркуляції повітря. Випічка в Roto Passat відбувається за допомогою гарячого повітря, що подається в камеру випічки через проріз на задній стінці печі. Під час процесу випічки вагон для випічки обертається.

Принцип підігріву в печі полягає в тому, що вентилятор змушує циркулювати повітря через теплообмінник, який потім подається через проріз в камеру випічки;

Вологість в камері випічки регулюється подачею пари, з теплообмінника (пластинчастого пароросподілювача).

Відплив повітря з камери випічки відбувається через повітряну шахту, прикріплену на лівій внутрішній стінці. Потім повітря перетікає наверх, назад в теплообмінник.

Roto Passat забезпечена потужним пластинчастим розподілителем пара, що вмонтований позаду стінки з прорізом на задній стіні печі і обдається з двох сторін повітряними потоками.

Технологічна схема представлена на рис 1.1.

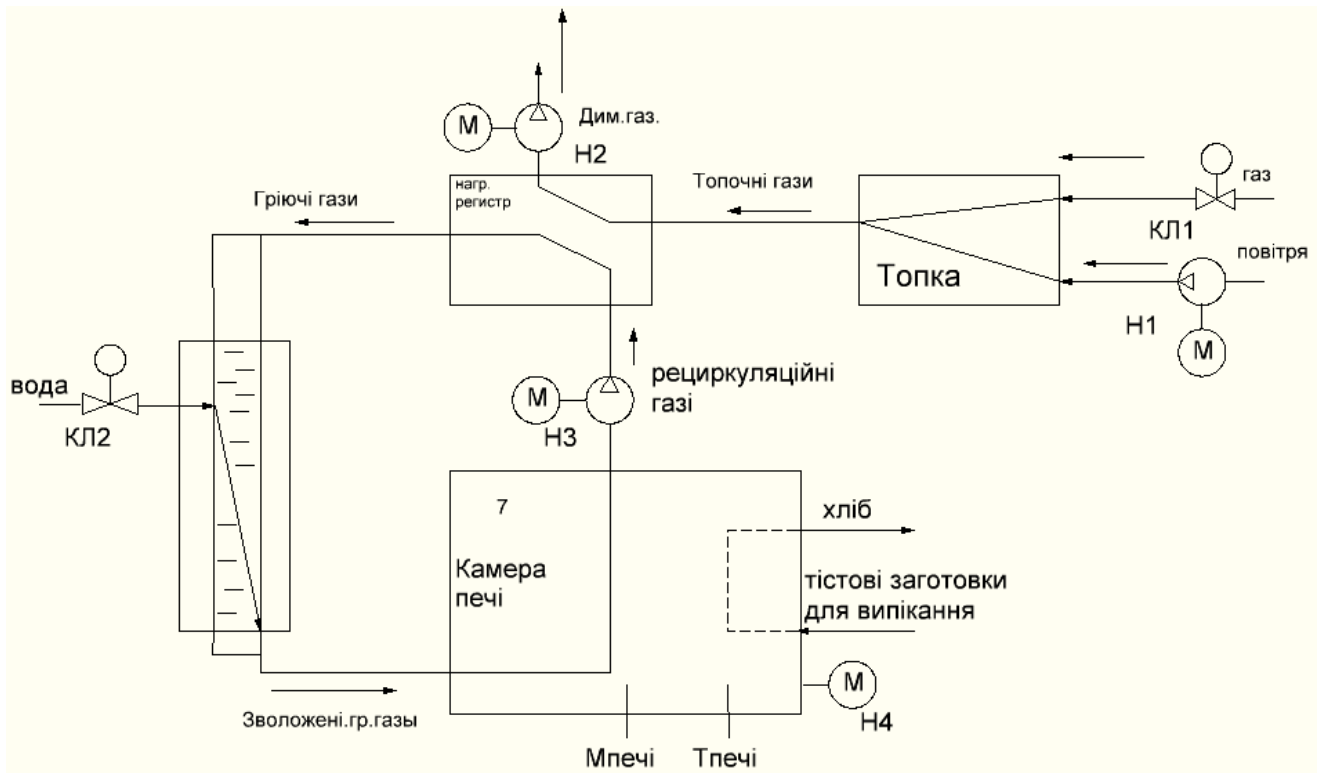


Рис.1.1 – Технологічна схема випічки хліба в ротаційній печі Roto Passat 980/Н

1.1.2. Опис конструкції технологічного обладнання та особливостей його експлуатації.

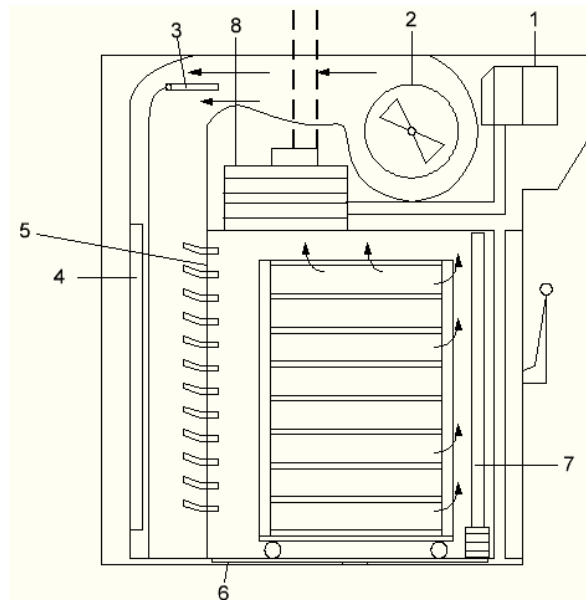


Рис.1.2 – Конструктивна схема ротаційної печі Roto Passat 980 / Н

1. Горілка

Масляна або газова горілка, можливий електричний обігрів.

2. Рециркуляційний вентилятор

Забезпечує циркуляцію гарячого повітря всередині пічної камери і його зворотну подачу з камери печі в нагрівальний регістр.

3. Регулюючий клапан

Направляє потік повітря в камеру печі. Надмірна повітря постійно проходить через парогенератор, нагріваючи його перед наступним процесом випіканням. Таким чином, вироби випікаються «візок за візком».

4. Парогенератор

Складається з окремих сегментів, великого теплового акумулятора, поверхні якого служать для випаровування води. Механізм влаштований за принципом каскаду: вода тече вниз через нагрівальні елементи широким потоком, що забезпечує велику площу випаровування. Всі елементи легко витягуються і очищаються. Знаходиться безпосередньо в струмені гарячого повітря відразу за нагрівальним регістром. Оснащений регульованим за часом магнітним вентиляем.

5. Шлицева система

Точно розраховані і відрегульовані безпосередньо в місці установки шліци дозволяють контролювати подачу гарячого повітря в камеру печі - у поєднанні з обертовим подом печі досягається рівномірне випікання виробів.

6. Обертний під печі

Міцна конструкція, швидко витягується для очищення. Приводний механізм із захисною системою блокування (у випадку, якщо візок заклинить). Підшипниковий вузол, не потребує обслуговування. Можливо використання візків інших виробників.

7. Витяжний канал

Направляє використане повітря з камери печі назад до нагріваючого регістру.

8. Нагріваючий реєстр

Повітря, що подається назад з камери печі, нагрівається відходять газами з камери згоряння і знову прямує в камеру печі. Велика поверхня теплообмінника забезпечує високу ефективність.

1.1.3. Формулюванню (у загальному виді) умов, при яких можливо і доцільно реалізовувати розглянутий технологічний процес.

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

- Кількість виробленого в одиницю часу продукту не повинно бути менше встановленої межі;
- Втрати сировини і (або) продукту не повинні перевищувати нормативних значень;
- Питомі, тобто на одиницю продукції, витрати енергії на процес не повинні перевищувати нормативних значень;
- Режим роботи технологічного обладнання не повинні виходити за гранично-допустимі;
- Шкідливий вплив технологічного процесу на людину і природне середовище не повинно перевищувати нормативних значень;
- Порушення режимів ведення технологічного процесу і роботи обладнання, що призводять до аварійних ситуацій, переростання яких в аварію призводить до суттєвих економічних втрат або навіть до катастрофічних наслідків, повинні бути досить рідкими подіями і повинні бути передбачені заходи для запобігання переростання аварійних ситуацій в аварію.

1.1.4 Параметризація схеми технологічного процесу і загальна (на якісному рівні) характеристика параметрів і їх взаємодії.

Суть технологічного процесу (ТП) – це цілеспрямоване перетворення матеріальних і енергетичних потоків у спеціальному технологічному обладнанні. Графічним відображенням руху і перетворення потоків є технологічна схема. Вона має змістовний характер, тому що відбиває суть процесу. Кожен потік і процес перетворення його механічних, фізичних, хімічних, біологічних властивостей можуть бути охарактеризовані набором параметрів, що відбивають їх властивості та умови перетворення потоків. Нанесення цих параметрів на схему будемо називати її параметризацією. Складання та аналіз параметризованої схеми технологічного процесу є вихідним етапом побудови його математичної моделі як об'єкта керування.

Технологічний процес випічки хліба доцільно реалізовувати, якщо:

- Тиск газу в мережі 2,65 кПа
- Тиск газу перед пальником 1,47 кПа
- Тиск повітря перед пальником 0,59 кПа
- Наявність тиску в трубопроводі подачі води 101 кПа
- Наявність випікаються тестових заготовок в печі
- Навантаження на поверхню диска: чи не менше 300 кг / м²
- Закриття двері печі
- Температура серед пекарної камери: чи не більше 225 °С

Проведемо параметризацію технологічного процесу.

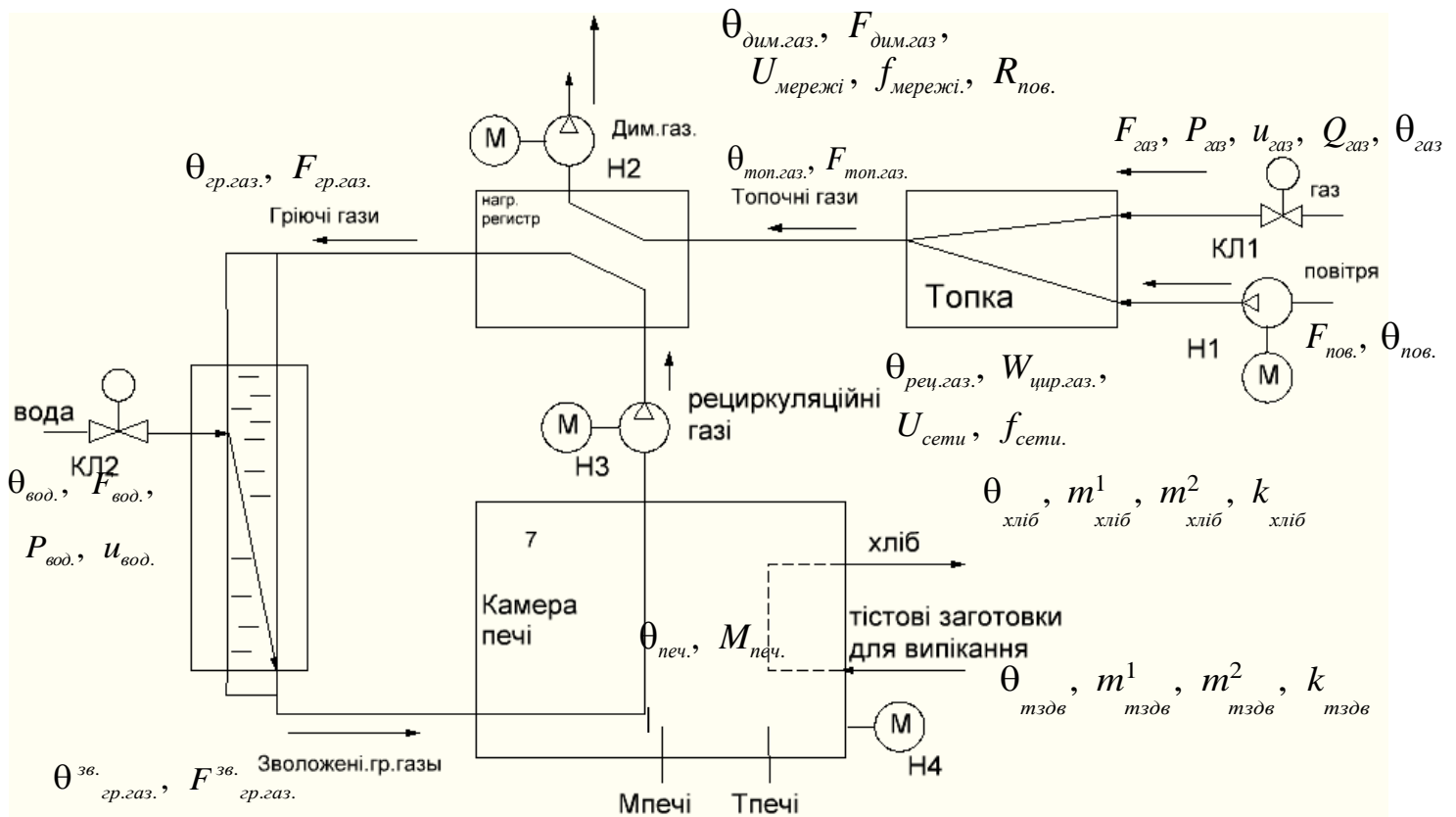


Рис. 1.3 - Параметрична схема ТП

Параметри технологічної схеми:

$\theta_{\text{газ}}$ - температура газу ($^{\circ}\text{C}$)

$Q_{\text{газ}}$ - якість газу (теплотворна здатність газу) (кДж)

$F_{\text{газ}}$ - витрати газу ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$P_{\text{газ}}$ - тиск у вентилі газу (Па)

$u_{\text{газ}}$ - положення вентиля газу (% , х.р.о.)

$\theta_{\text{нов.}}$ - температура повітря ($^{\circ}\text{C}$)

$F_{\text{нов.}}$ - витрати повітря ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$\theta_{\text{вод.}}$ - температура води ($^{\circ}\text{C}$)

$F_{\text{вод.}}$ - витрати води (л/с)

$P_{\text{вод.}}$ - тиск у вентилі води (Па)

$u_{\text{вод.}}$ - положення вентиля води (% , х.р.о.)

$\theta_{\text{тздв}}$ - температура тістових заготовок для випікання ($^{\circ}\text{C}$)

$m_{тздв}^1$ - маса тістової заготовки для випікання (кг)

$m_{тздв}^2$ - маса тістової заготовки для випікання(загальна) (кг)

$k_{тздв}$ - консистенція тістової заготовки для випікання

$\theta_{гр.газ.}$ - температура гріючого газу ($^{\circ}\text{C}$)

$F_{гр.газ.}$ - витрати гріючого газу (кг/с)

$\theta_{рец.газ.}$ - температура рециркуляційних газів ($^{\circ}\text{C}$)

$W_{цир.газ.}$ - швидкість циркуляції газу (кг/с)

$U_{мережі}$ - напруга в мережі (В)

$f_{мережі}$ - частота в мережі (Гц)

$\theta_{печ.}$ - температура повітря в печі ($^{\circ}\text{C}$)

$M_{печ.}$ - рівень вологості в печі(%)

$\theta_{дим.газ.}$ - температура димового газу(відроботаний)($^{\circ}\text{C}$)

$F_{дим.газ.}$ - витрати димового газу(відроботаний)($\text{м}^3/\text{ч}$)

$R_{пов.}$ - розрідження повітря (кПа)

$\theta_{топ.газ.}$ - температура топочного газу($^{\circ}\text{C}$)

$F_{топ.газ.}$ - витрати топочного газу($\text{м}^3/\text{ч}$)

$\theta_{хліб}$ - температура готового хлібу($^{\circ}\text{C}$)

$m_{хліб}^1$ - маса одної буханки хліба (кг)

$m_{хліб}^2$ - маса усього готового хлібу (кг)

$k_{хліб}$ - консистенція хлібу

$\theta_{гр.газ.}^{зв.}$ - температура зволоженого гріючого газу($^{\circ}\text{C}$)

$F_{гр.газ.}^{зв.}$ - витрати зволоженого гріючого газу (кг/с)

1.1.4. Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення.

1.1.5. Виявлення нормативів ведення технологічного процесу і роботи технологічного обладнання.

Основу нормативів складають три основні регламенти.

Технологічний регламент - визначає умови, при яких в результаті технологічного процесу буде отриманий продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналів технологічних параметрів. Для технологічного процесу випічки хліба (хлібобулочних виробів) таким параметром є температура $\theta_{печ.}$ і вологість повітря в камері печі $M_{печ.}$.

Експлуатаційний регламент - визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для ротаційної печі такими параметрами є $W_{цир.газ.}$ - швидкість циркуляції газу в камері печі і $R_{нов.}$ - розрідження повітря.

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

$$F_{газ}, F_{нов.}, F_{нов.}, F_{дим.газ.}, F_{гр.газ.}, F_{топ.газ.}, F_{гр.газ.}^{зв.}$$

Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски.

Не підтримання потрібного відсотка вологи, або занадто високе значення температури, в печі на першій стадії, призведе до раннього утворення кірки на хлібі, що приведе до припинення збільшення об'єму хліба при подальшому випіканні. Занадто високий відсоток вологи, або занадто низьке значення температури, призведе до більшого збільшення відсотка вологи в м'якушки,

що надалі може призвести до «неготовності / недопікання» хліба, або збільшенню тривалості його випікання.

Перевищення температури, або занадто низьке значення вологи в печі, на другому періоді випічки, призведе до інтенсивного випаровуванню вологи з продукту, таким чином хліб стане дуже сухим, і відповідно непридатним до вживання і на продаж. Занадто низьке значення температури, або висока вологість, на другому періоді, призведе до «недопікання хліба», що спричинить за собою псування продукту.

Вихід обох параметрів, одночасно, за регламентні зони в будь-якій стадії випічки хліба, призведе до псування продукту, що спричинить за собою економічні витрати підприємства.

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

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

Короткочасні допустимі відхилення параметрів перевищують їх ЗНВ і призводять до зниження ефективності процесу, тому (як уже зрозуміло з назви) вони допустимі лише обмежений заданий час і входить в регламент. Вихід параметрів за зону короткочасно допустимих відхилень свідчить про порушення в технологічному процесі або в експлуатації обладнання, які можуть призвести до аварії.

Таблиця 1. Регламентів

Найменування параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Найменування значення параметра, або функція	Допустимі відхилення	
				Тривалі ($t \rightarrow \infty$)	Короткочасні ($0 < t < \infty$)

			зміни номінального значення	величина	величина	Час, с
1. Температура в печі	$\theta_{печ.}$	$^{\circ}\text{C}$	$110^{\circ}\text{C}, t < 7 \text{ мин.}$ $\{ 210^{\circ}\text{C}, 27 > t > 7 \text{ мин.}$ $40^{\circ}\text{C}, 0 > t > 57 \text{ мин.}$	5	20	400
2. Вологість в печі	$M_{печ.}$	%	$80\%, t < 7 \text{ мин.}$ $\{ 50\%, 27 > t > 7 \text{ мин.}$ $40\%, 0 > t > 57 \text{ мин.}$	2	6,5	200

1.1.6. Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного обладнання.

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних (і можуть виходити за межі допусків) внаслідок зміни умов, в яких ведеться процес. Ці умови характеризуються певними параметрами і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри:

$$\theta_{тздв.}, m_{тздв.}^1, m_{тздв.}^2, k_{тздв.}$$

Енергетичні параметри характеризують енергію, подводимую до технологічного устаткування ззовні і витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо: $\theta_{вод.}, P_{вод.}, P_{газ}, \theta_{гр.газ.}, \theta_{газ}, Q_{газ}, U_{мережі}, f_{мережі}, \theta_{пов.}, P_{пов.}, \theta_{дим.газ.}, \theta_{рец.газ.}, \theta_{топ.газ.}, \theta_{гр.газ.}^{зв.}$;

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо:

$$u_{газ}, u_{вод.}$$

1.2. Формалізоване представлення об'єкту керування у виді координатної схеми

Параметризована схема ТП має змістовий характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами технологічного процесу досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми. При цьому ті

параметри, що відбивають мету функціонування об'єкта моделювання і додаткові вимоги до нього, тобто ті параметри, що регламентовані, будуть вихідними, а параметри, що відбивають умови функціонування об'єкта - вхідними. Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами - причинно-наслідковий.

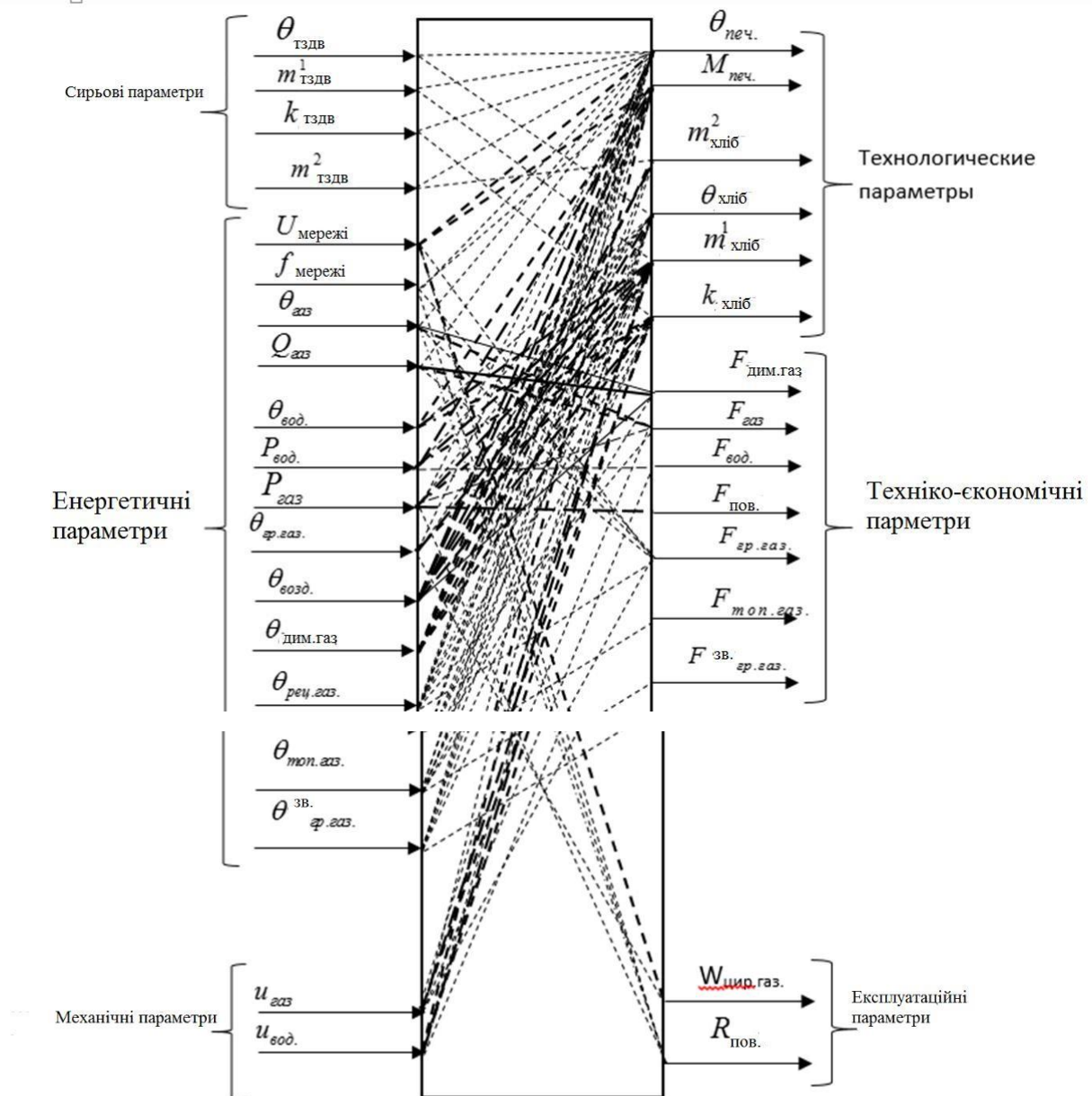


Рис. 1.4 – Параметризована схема процесу випічки хліба

1.2.1. Конкретизація мети і задач управління об'єктом, виявлення регульованих і оптимізованих змінних (координат).

Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань з номенклатури та обсягу продукції і отримання при цьому визначеного економічного ефекту. Останній характеризується показниками прибутку, собівартості, розмірами виплачених штрафних санкцій і т.і. Декомпозиція цієї загальної («глобальної») мети для більш низьких рівнів виробничої ієрархії приводить до наступним цілей: а) на рівні окремого технологічного процесу - координація роботи технологічного обладнання, на якому реалізується процес, наприклад, розв'язання задач узгодження продуктивності обладнання, що стоїть послідовно в технологічному ланцюзі; перерозподіл навантаження між паралельно працюючим обладнанням; вибір режимів роботи обладнання при багатостадійних процесах, зокрема, розв'язання цих задач оптимальним чином, тобто оптимізація технологічного процесу у цілому; б) на рівні окремих одиниць технологічного обладнання (локальні цілі) – виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання («локальна» оптимізація).

Звідси задачі керування можна розділити на: а) задачі регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту. Отже, перемінним, відповідним технологічним і експлуатаційним параметрам будуть регульованими перемінними об'єкта керування; б) задачі умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються задачі оптимізації процесу. Критерій оптимальності формулюється як мінімум функції втрат або максимум функції ефективності плюс набір обмежень, що повинні бути, безумовно, виконані. Функція ефективності (втрат) і обмеження формуються на базі техніко-економічних параметрів ОУ. Кількість аргументів у функціях відповідає кількості керуючих (оптимізуючих) дій. Підкреслимо, що істотною особливістю задач оптимізації технологічних процесів у промисловості є те, що через інтенсивні збурення вирішувати їх має сенс тільки тоді, коли вирішено задачі регулювання.

Для процесу випічки хліба в якості регульованих координат доцільно вибрати температуру и вологість повітря в камері печі $\theta_{печ.}$, $M_{печ.}$.

1.2.2. Вибір управляючих змінних (координат) об'єкта керування.

Необхідною умовою рішення задач керування є наявність керуючих дій, що, природно, повинні бути вхідними змінними (координатами) об'єкту управління. Для задач регулювання, такими керуючими (регулюючими) діями, насамперед, є дії, що цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме - положення регульовальних органів (засувок, клапанів, кранів, заслінок, тощо) або, наприклад, для регульованих електроприводів – положення движка потенціометра, що видає керуючу напругу на тиристорний підсилювач потужності, або сама ця напруга. При цьому досить зручно, і в інженерній практиці це стало правилом, цю керуючу дію нормувати щодо повних діапазонів її зміни і виражати в %, (наприклад, % х.р.о., % х.в.м., % р.в.). Кількість регулюючих дій завжди повинна дорівнювати кількості регульованих змінних. У тому випадку, якщо є можливим вибір однієї дії з декількох, то слід провести їх порівняльний аналіз, насамперед, з погляду впливу на техніко-економічні параметри. Якщо переваг у жодної з керуючих дій немає, то вибір варто зробити або з простоти реалізації, або після побудови моделі, врахувавши можливості забезпечення точності регулювання. Для задач оптимізації керуючими (оптимізуючими) діями будуть зміни заданих значень регульованих змінних. При цьому природно припустимі тільки такі зміни, що не приведуть до виходу відповідних регульованих змінних за гранично припустимі межі. Кількість керуючих (оптимізуючих) дій залежить від кількості змінних (аргументів) у функції ефективності (критерію оптимальності).

Для процесу випічки хліба до управляючих змінних доцільно віднести $U_{газ}$ - положення вентиля газу и $U_{вод.}$ - положення вентиля води.

1.2.3. Виділення і класифікація збурюючих змінних (координат) об'єкту керування.

Після того, як визначені керуючі дії, всі інші вхідні змінні потрапляють у розряд збурень, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими технологічного обладнання. Збурення за їх наслідками можна поділити на: а) «сильні» і «слабкі»; б) координатні, що приводять до зміни змінних у моделі, і параметричні, що приводять до зміни змінних і параметрів моделі; в) збурення, наслідки яких слід усувати, і шуми. Шуми принципово відрізняються від інших збурень тим, що наслідки їх дії або пов'язані з перекручуваннями результатів вимірювання змінних (координат), або з високочастотними змінами цих змінних, компенсувати які, хоча б частково, за рахунок керуючих дій неможливо через велику інерційність і запізнення каналу керування. Інформацію про найбільш сильні збурення доцільно використовувати в управляючому пристрої для підвищення якості керування. Тому, у цьому випадку, відповідні вхідні змінні слід виділити з маси інших. Назвемо їх контрольованими збуреннями. Введення контрольованих збурень ускладнює математичну модель, тому їх вибір повинен бути досить обґрунтований. Усі неконтрольовані координатні збурення (хоча їм відповідають зовсім різні параметри технологічного процесу) формально поєднують у групи неконтрольованих координатних збурень (за числу керуючих дій) вони мають загальні (контрольовані) наслідки – змушують змінюватися керовані змінні. Еквівалентні координатні неконтрольовані збурення вважають діючими адитивно з керуючою дією, або керованими змінним. У цих випадках їх фізична інтерпретація і їх розмірність визначається точкою їх додавання. У деяких випадках зручно детерміновану складового збурення приводити до керуючої дії, а стохастичну – до керованої змінного. Параметричні збурення при керуванні технологічним процесом, як правило, є неконтрольованими. Спектральний склад збурень істотно відрізняється для різних груп збурень. Для «наших умов» усі збурення, що відносяться до об'єкту оптимізації, є істотно більш низькочастотними у

порівнянні зі збуреннями, що відносяться до об'єкту регулювання. Параметричні збурення є істотно більш низькочастотними в порівнянні з координатними. Самими високочастотними збуреннями є шуми.

Для процесу випікання хліба (хлібобулочних виробів) до контрольованих збурень доцільно віднести тиск газу в газопроводі. Усі інші вхідні змінні, окрім управляючої дії та контрольованого збурення, віднесемо до неконтрольованих збурень. Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до управляючих впливів, а стохастичну складову – до регульованих координат.

1.2.4 Складання структурної (координатної) схеми об'єкта управління

Структурна схема ОУ є черговим та останнім етапом формалізації представлення технологічного процесу як ОУ. Розробка схеми виконується на основі результатів дослідів. Характерною особливістю схеми, її принциповою різницею від параметричної схеми ТП, є використання іншого понятійного апарату, загального с ТАУ. Поняття параметр замінюється на «змінна(координата)». При цьому вихідні змінні ОУ можуть бути регульованими, оптимізованими, управляючими. Вхідні змінні можуть бути регульованими, оптимізуючими, керуючими, збурюючими змінними. Іноді замість терміна «змінна» використовують термін «влив».

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

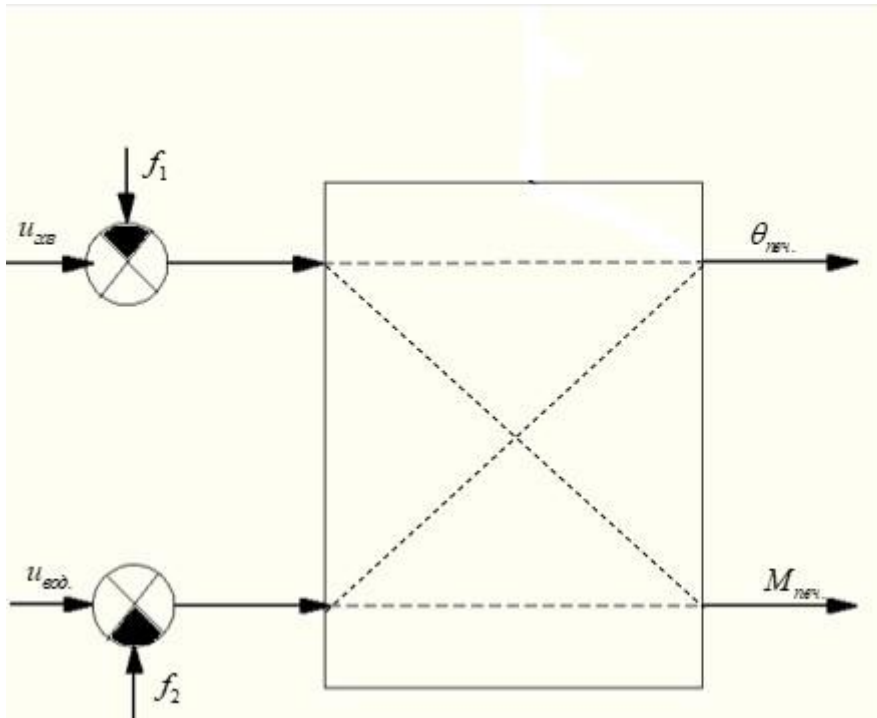


Рис. 1.5 – Структурна схема ТП (випічки хліба)

$u_{газ}$ - управляючий вплив (регулююча змінна); положення вентилі газу (% , х.р.о.)

$u_{вод.}$ - управляючий вплив (регулююча змінна); положення вентилі води (% , х.р.о.)

$\theta_{печ.}$ - регульована змінна; температура повітря в печі ($^{\circ}\text{C}$)

$M_{печ.}$ - регульована змінна; рівень вологості повітря в печі(%)

$P_{газ}$ - контрольованне збурення; тиск в вентилі газу (кПа)

f_1, f_2 - неконтрольовані збурення;

РОЗДІЛ 2. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ
УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИПІЧКИ ХЛІБУ,
РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЙОГО МОДЕЛЕЙ
ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

2.1. Априорний аналіз статичних і динамічних властивостей об'єкту керування.

2.1.1. Априорний аналіз і вибір структури моделей динамічних властивостей (статичні, астатичні, стаціонарні, нестаціонарні) каналів керування і контрольованих збурень на основі знання фізичних закономірностей технологічного процесу.)

Здійснивши аналіз фізичної сутності процесу, були зроблені такі висновки, що регульовані параметри, в даному випадку температура по фізичним закономірностям, якщо не проводити регулювання виходять на обмеження – встановлюється динамічна рівновага між вхідними та вихідними параметрами, тобто ми можемо зробити априорний висновок, що об'єкт по даним каналам являється статичним об'єктом. Всі ці канали управління є статичні канали.

Можна зробити висновок, що збільшення $U_{\text{газ}}$, $U_{\text{вод}}$ призведе до росту чи зменшенню регульованих координат.

2.1.2. Априорний аналіз і прийняття рішень про припустимість лінеаризації статичних властивостей каналів керування і збурень об'єкта регулювання, виходячи, зокрема, з діапазонів зміни регульованих перемінних при роботі САР, для розробки якої ведеться ідентифікація об'єкта.

Більшість статичних характеристик каналів являються нелінійними, це вносить великі труднощі в опис каналу управління та в розробку САР. Так як система розглядається в робочому діапазоні об'єкту управління, зачасти цей діапазон являється малим у порівнянні з усім діапазоном можливої зміни величини. Тому можна припустити, що в робочому діапазоні статична характеристика змінюється мало і її можна вважати на цьому проміжку лінійною, тобто провести лінеаризацію.

2.2. Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів керування об'єкту регулювання в околиці його робочих режимів.

2.2.1. Короткий порівняльний аналіз і вибір доцільних вхідних дій для експериментального дослідження з метою отримання необхідної інформації

про властивості каналів об'єкта для випадку, коли вхідні змінні каналів доступні для цілеспрямованої зміни.

В якості вхідних впливів будуть вибрані управляючі впливи, так як вони мають найбільший вплив на регулюючі змінні. Для спрощення організації проведення експерименту і мінімізації затрат часу на проведення експерименту і обробку отриманих результатів будуть використані ступінчаті впливи.

Експеримент будемо проводити таким чином, щоб всі перехідні процеси находилися в границях регламентних зон ведення ТП. Вхідні збурення повинні бути такими, щоб реакція системи на них була помітною на фоні завад і збурень.

2.2.2. Планування активного експерименту на об'єкті для обраних вхідних дій і одержання реакцій на них у ході натурального і (або) уявного експериментів.

Отримання динамічної характеристик по каналу $U_{\text{газ}} - \theta_{\text{піч}}$:

1) За допомогою зміни управляючого вливу (відкриття клапану подачі на 20%) досягти значення $\theta_{\text{піч}} = 110^{\circ}\text{C}$, дочекатися закінчення перехідного процесу. Змінити положення РО на 10% ступінчатим образом, отримавши 30% відкриття РО. При цьому значення $\theta_{\text{піч}}$ буде дорівнювати 144°C . Після цього змінили положення регулюючого органу, досягнувши початкового значення.

Зареєструвавши зміну регулюючого органу, отримуємо наступний графік.

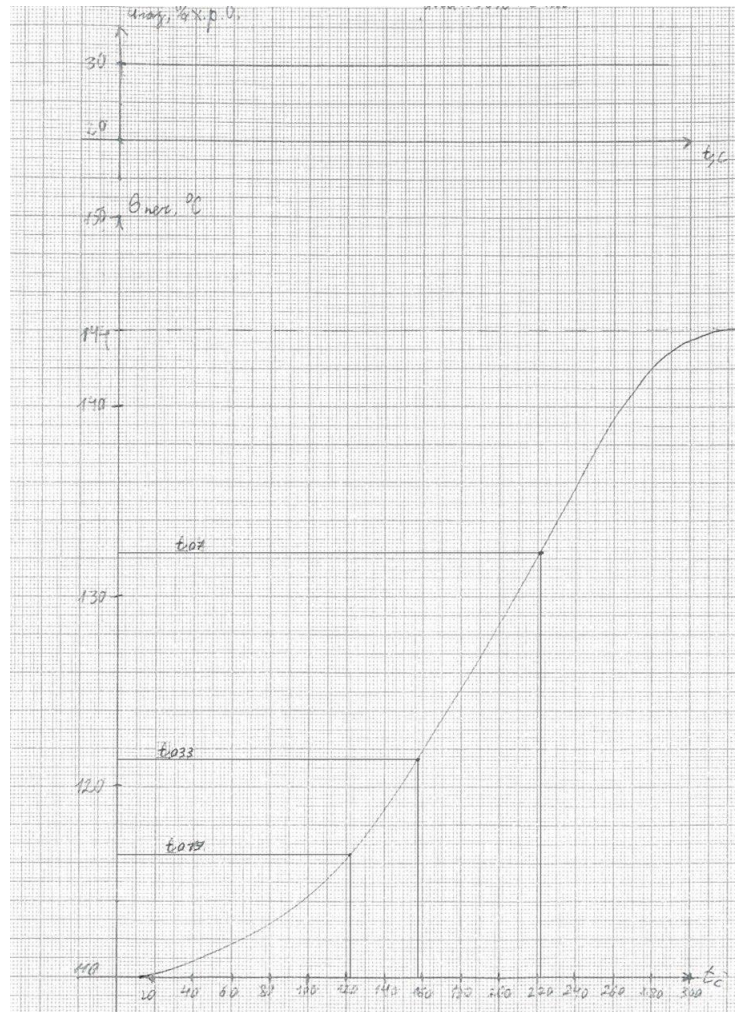


Рис.2.1– Отримання динамічної характеристики по каналу $U_{\text{газ}} - \theta_{\text{пире}}$

Отримання динамічних характеристик по каналу $U_{\text{вод}} - M_{\text{пире}}$:

2) За допомогою зміни управляючого вливу (відкриття клапану подачі на 50%) досягти значення $M_{\text{пире}} = 80\%$, дочекатися закінчення перехідного процесу. Змінити положення РО на 10% ступінчастим образом, отримавши 40% відкриття РО. При цьому значення $M_{\text{пире}}$ буде дорівнювати 73.3%. Після цього змінили положення регулюючого органу, досягнувши початкового значення.

Зареєструвавши зміну регулюючого органу, отримаємо наступний графік.

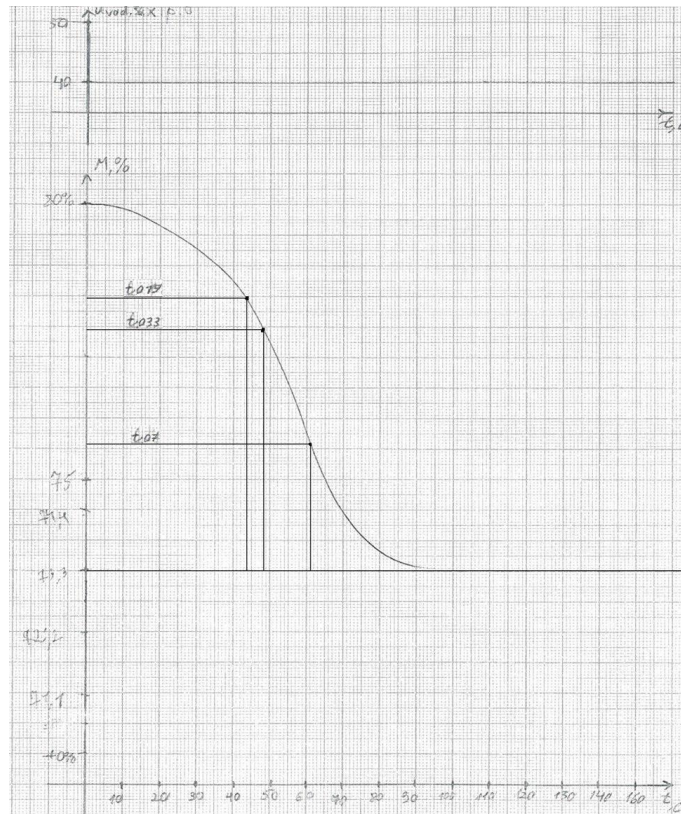


Рис.2.2 – Отримання динамічної характеристики по каналу $U_{\text{вод}} - M_{\text{печь}}$

Отримання динамічних характеристик по каналу $U_{\text{вод}} - \theta_{\text{печь}}$:

3) За допомогою зміни управляючого вливу (відкриття клапану подачі на 50%) досягти значення $\theta_{\text{печь}} = 110^{\circ}\text{C}$, дочекатися закінчення перехідного процесу. Змінити положення РО на 10% ступінчатим образом, отримавши 40% відкриття РО. При цьому значення $\theta_{\text{печь}}$ буде дорівнювати 106.7°C . Після цього змінили положення регулюючого органу, досягнувши початкового значення.

Зареєструвавши зміну регулюючого органу, отримаємо наступний графік.

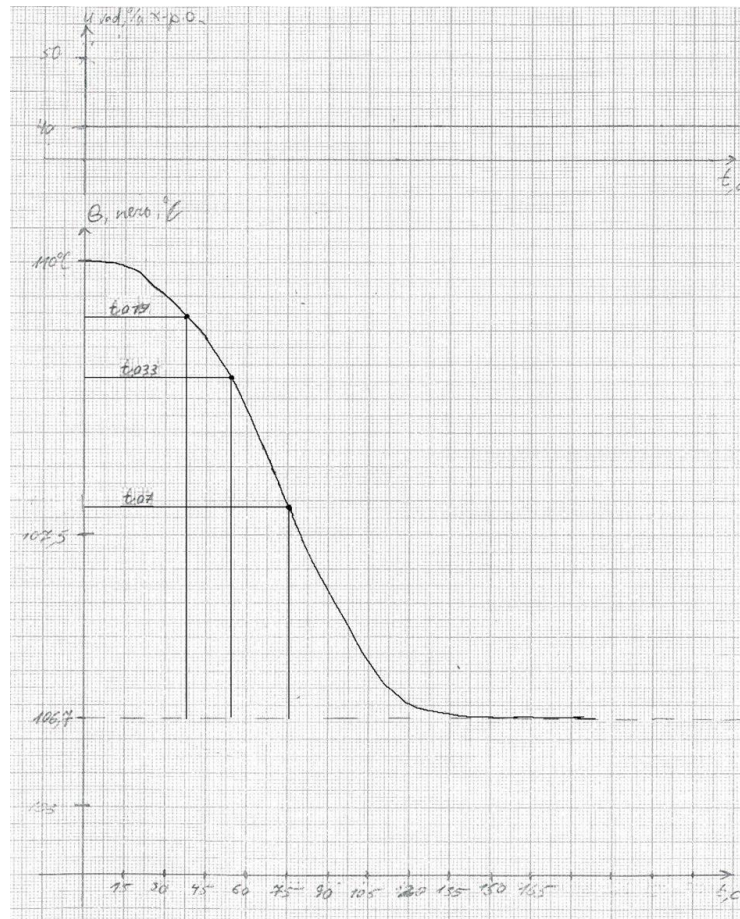


Рис.2.3– Отримання динамічної характеристики по каналу $U_{\text{вод}} - \theta_{\text{підь}}$

Отримання динамічних характеристик по каналу $U_{\text{газ}} - M_{\text{підь}}$:

4) За допомогою зміни управляючого вливу (відкриття клапану подачі на 20%) досягти значення $M_{\text{підь}} = 80\%$, дочекатися закінчення перехідного процесу. Змінити положення РО на 10% ступінчатим образом, отримавши 30% відкриття РО. При цьому значення $M_{\text{підь}}$ буде дорівнювати 75%. Після цього змінили положення регулюючого органу, досягнувши початкового значення.

Зареєструвавши зміну регулюючого органу, отримаємо наступний графік.

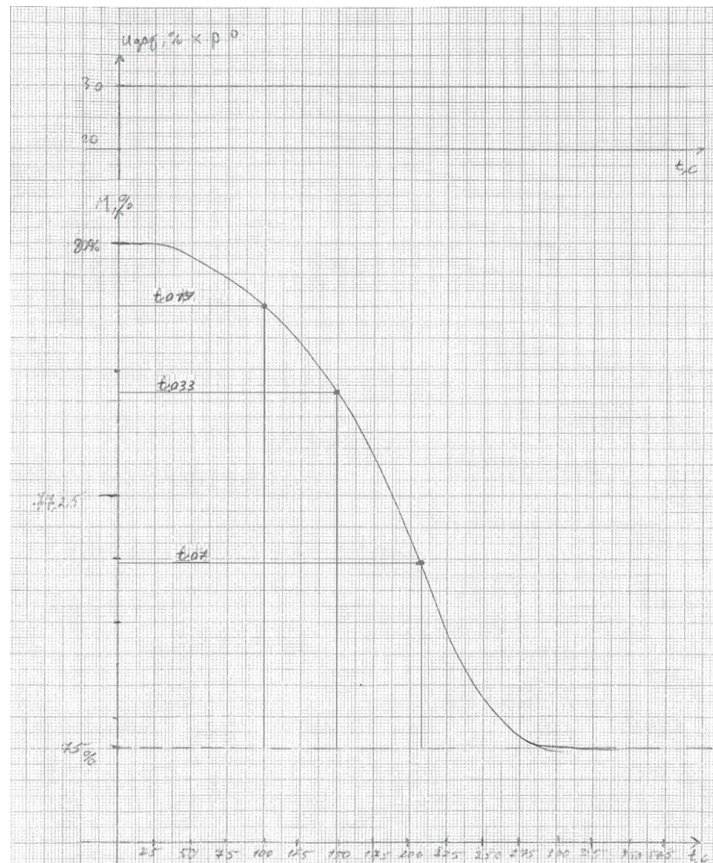


Рис.2.4– Отримання динамічної характеристики по каналу $U_{\text{газ}} - M_{\text{піч}}^{\text{в}}$

2.2.3. Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, обґрунтування і вибір структури моделей каналів (структурна ідентифікація моделей).

Мета структурної ідентифікації полягає в виборі моделі певного типу по виду графіка перехідного процесу, отриманого в ході активного експерименту. Виходячи із результатів проведених активних експериментів, можна зробити наступні висновки:

- канали ОУ мають ярко виражені статичні властивості;
- канали ОУ мають запізнення, що обумовлює особливості конструкції ОУ.

Передатна функція ОУ по каналам $U_{\text{газ}} - \theta_{\text{піч}}^{\text{в}}$, $U_{\text{газ}} - M_{\text{піч}}^{\text{в}}$, $U_{\text{вод}} - \theta_{\text{піч}}^{\text{в}}$,

$U_{\text{вод}} - M_{\text{піч}}^{\text{в}}$ буде мати наступний вид:

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

2.2.4. Вибір методик і проведення параметричної ідентифікації моделей першого і другого порядків.

Для ідентифікації моделей 1-го порядку вибираю методику «двох загальних точок» (Мініної). Для ідентифікації моделей 2-го порядку вибираю методику «двох загальних точок» (Мініної), так як отримана модель перехідної характеристики буде найбільш чітко відображати реальний перехідний процес, так як вона має з ним дві загальні точки, порівняно від методик «дотичних», де реальна перехідна характеристика і її модель мають лише одну загальну точку.

Проведемо ідентифікацію моделі 1-го порядку по каналу $U_{\text{газ}} - \theta_{\text{піч}} :$

$$\tau_o = 0.5 * (3 * t_{0.33} - t_{0.7}) = 0,5 * (3 * 156 - 228) = 120\text{с}$$

$$T_o = \frac{t_{0.7} - \tau_o}{1.2} = \frac{228 - 120}{1,2} = 90\text{с}$$

$$k_o = \frac{h^{\text{max}}}{\Delta u} = \frac{34}{10} = 3.4 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о}$$

Передаточна функція об'єкта 1-го порядку:

$$W_o(p) = \frac{3,4 * e^{-120p}}{90p + 1}$$

Для ідентифікації моделі 2-го порядку вибираю методику «двох загальних точок» Мініної.

$$\tau_o = 0.5 * (3 * t_{0.19} - t_{0.7}) = 0,5 * (3 * 124 - 228) = 72\text{с}$$

$$T_o = \frac{t_{0.7} - \tau_o}{2,4} = \frac{228 - 72}{2,4} = 65\text{с}$$

Передаточна функція об'єкта 2-го порядку:

$$W_o(p) = \frac{3,4 * e^{-72p}}{(65p + 1)^2}$$

Проведемо ідентифікацію моделі 1-го порядку по каналу $U_{\text{вод}} - M_{\text{піч}}$

$$\tau_o = 0.5 * (3 * t_{0.33} - t_{0.7}) = 0,5 * (3 * 48 - 63) = 40,5\text{с}$$

$$T_o = \frac{t_{0.7} - \tau_o}{1.2} = \frac{63 - 40,5}{1,2} = 18,75\text{с}$$

$$k_o = \frac{h_{max}^3}{\Delta u} = \frac{6.7}{10} = 0.67 \text{ \%}/\text{\%х.р.о}$$

Передаточна функція об'єкта 1-го порядку:

$$W_o(p) = \frac{0.67 * e^{-40.5p}}{18,75p + 1}$$

Для ідентифікації моделі 2-го порядку вибираю методику «двох загальних точок» Мініної.

$$\tau_o = 0.5 * (3 * t_{0.19} - t_{0.7}) = 0,5 * (3 * 43 - 63) = 33\text{с}$$

$$T_o = \frac{t_{0.7} - \tau_o}{2,4} = \frac{63 - 33}{2,4} = 12,5\text{с}$$

Передаточна функція об'єкта 2-го порядку:

$$W_o(p) = \frac{0,67 * e^{-40.5p}}{(12,5p + 1)^2}$$

Проведемо ідентифікацію моделі 1-го порядку по каналу $U_{\text{газ}} - M_{\text{піч}}^{\text{ь}}$

$$\tau_o = 0.5 * (3 * t_{0.33} - t_{0.7}) = 0,5 * (3 * 150 - 210) = 120\text{с}$$

$$T_o = \frac{t_{0.7} - \tau_o}{1,2} = \frac{210 - 120}{1,2} = 75\text{с}$$

$$k_o = \frac{h_{max}^3}{\Delta u} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ \%}/\text{\%х.р.о}$$

Передаточна функція об'єкта 1-го порядку:

$$W_o(p) = \frac{-0,5 * e^{-120p}}{75p + 1}$$

Для ідентифікації моделі 2-го порядку вибираю методику «двох загальних точок» Мініної.

$$\tau_o = 0.5 * (3 * t_{0.19} - t_{0.7}) = 0,5 * (3 * 100 - 210) = 45\text{с}$$

$$T_o = \frac{t_{0.7} - \tau_o}{2,4} = \frac{210 - 45}{2,4} = 68,75\text{с}$$

Передаточна функція об'єкта другого порядку:

$$W_o(p) = \frac{-0,5 * e^{-45p}}{(68,75p + 1)^2}$$

Проведемо ідентифікацію моделі 1-го порядку по каналу $U_{\text{вод}} - \theta_{\text{піч}}^{\text{ь}}$:

$$\tau_o = 0.5 * (3 * t_{0.33} - t_{0.7}) = 0,5 * (3 * 52,5 - 76,5) = 40,5\text{c}$$

$$T_o = \frac{t_{0.7} - \tau_o}{1.2} = \frac{76,5 - 40,5}{1,2} = 30\text{c } k_b = \frac{h_{max}^3}{\Delta u} = \frac{3,3}{10} = 0,33 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{х.р.о}$$

Передаточна функція об'єкта 1-го порядку:

$$W_o(p) = \frac{0,33 * e^{-40,5p}}{30p + 1}$$

Для ідентифікації моделі 2-го порядку вибираю методику «двох загальних точок» Мініної.

$$\tau_o = 0.5 * (3 * t_{0.19} - t_{0.7}) = 0,5 * (3 * 37,5 - 76,5) = 18\text{c}$$

$$T_o = \frac{t_{0.7} - \tau_o}{2,4} = \frac{76,5 - 18}{2,4} = 24,38\text{c}$$

Передаточна функція об'єкта другого порядку:

$$W_o(p) = \frac{0,33 * e^{-18p}}{(24,38p + 1)^2}$$

Таблиця 2.

№	Канал	1-го порядку	2-го порядку
1	$U_{\text{газ}} - \theta_{\text{печь}}$	$W_o(p) = \frac{3,4 * e^{-120p}}{90p + 1}$	$W_o(p) = \frac{3,4 * e^{-72p}}{(65p + 1)^2}$
2	$U_{\text{вод}} - M_{\text{печь}}$	$W_o(p) = \frac{0,67 * e^{-40,5p}}{18,75p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,67 * e^{-40,5p}}{(12,5p + 1)^2}$
3	$U_{\text{газ}} - M_{\text{печь}}$	$W_o(p) = \frac{-0,5 * e^{-120p}}{75p + 1}$	$W_o(p) = \frac{-0,5 * e^{-45p}}{(68,75p + 1)^2}$
4	$U_{\text{вод}} - \theta_{\text{печь}}$	$W_o(p) = \frac{0,33 * e^{-40,5p}}{30p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,33 * e^{-18p}}{(24,38p + 1)^2}$

2.3. Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів контрольованих координатних збурень об'єкту регулювання

2.3.1 Вибір і опис методу експериментальних досліджень з метою отримання необхідної інформації про канали об'єкту для випадку, коли вхідні змінні каналів недоступні для цілеспрямованої зміни.

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.

2.3.2 Планування пасивного експерименту на об'єкті, подання графіків реалізацій вхідної та вихідної змінних каналу, отриманих у ході експерименту (або згенерованих спеціальною програмою).

Планування цього пасивного експерименту доцільно проводити на основі попередніх реалізацій вхідної і вихідної змінних, а, точніше, оцінок їх середньоквадратичних періодів (СКП). Тривалість T_p повинна бути такою, щоб середньоквадратичний період коливань складової \tilde{f} укладався в довжині реалізації 25-50 разів, тобто $T_p \approx (25 \dots 50) \hat{T}_{СКП\tilde{f}}$. Оцінку СКП визначають за формулою: $\hat{T}_{СКП\tilde{f}} = 2T'_p / S_0$, де S_0 - число перетинів T_p з лінією математичного очікування на інтервалі часу T'_p ; T'_p - інтервал для оцінки СКП, причому T'_p може бути набагато меншим, чим T : $T'_p \approx (5 \dots 10) \hat{T}_{СКП\tilde{f}}$, тобто на інтервалі T'_p $S_0 \approx 10 \dots 20$, а на інтервалі T_p - $S_0 \approx 50 \dots 100$.

Оцінювання автокореляційної і взаємної кореляційної функції варто проводити на однаковій довжині реалізації та з однаковим кроком. При цьому довжину реалізації випадкових процесів доцільно визначати на основі оцінки СКП вихідний змінної каналу за формулою: $T'_p \approx (5 \dots 10) \hat{T}_{СКП}$, а крок генерації випадкового процесу – на основі оцінки СКП вхідний змінної каналу за формулою: $\Delta t \approx 0,1 \hat{T}_{СКП}$.

2.3.3 Попередня обробка (фільтрація), якщо необхідно, та формування файлів вхідного і вихідного процесів з відповідною інформацією (п. 2.3.3).

Якщо дослідження каналу ОК здійснюється за реальним даними, то варто мати на увазі наступне. В інженерній практиці стохастичні моделі змінних

звичайно представляють у формі випадкового процесу з кількома адитивними складовими, наприклад

$$\tilde{f}(t) = \bar{f}(t) + \tilde{f}^c(t) + \tilde{f}^n(t) + \tilde{f}^ш(t)$$

де $\bar{f}(t)$ – детермінована повільно змінювана складова;

$\tilde{f}^п(t)$ – квазидетермінована складова – періодичний процес із нульовим середнім, з постійними амплітудою і періодом, з випадковою початковою фазою;

$\tilde{f}^c(t)$ – стохастична центрована складова – центрований випадковий процес;

$\tilde{f}^ш(t)$ – високочастотна стохастична складова – шум.

Формальна процедура виділення зазначених складових з урахуванням їх частотного складу може бути відображена структурною схемою, представленою на рис. 2.9.

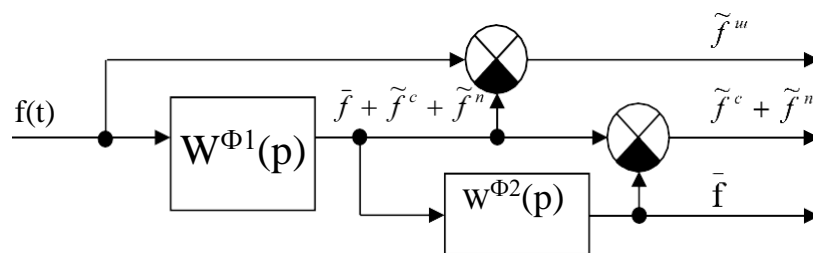


Рис. 2.9 – Структурна схема поділу динамічного процесу на складові

На рисунку 2.9 прийняті наступні позначення: $W^{\Phi1}(p)$ $W^{\Phi2}(p)$ – передаточні функції фільтрів для виділення, відповідно, суми низькочастотних складових $\bar{f} + \tilde{f}^c + \tilde{f}^n$ і детермінованої низькочастотної складової \bar{f} .

В якості фільтрів можна використовувати фільтри низьких частот, які можуть реалізувати процедури виділення ковзного середнього з рівномірним або експоненціальним усередненням. Для експонентного усереднення:

$$W^{\Phi E}(p) = \frac{1}{T_{OE}P + 1},$$

де T_{OE} – стала часу фільтра. Цей параметр фільтра вибирається залежно від динамічних властивостей відповідного каналу керування, а саме від часу запізнення в цьому каналі τ_o , і спектрального состава фільтруємих тридцятилітніх. Для реалізації фільтра $W^{\Phi^1}(p)$ $T_{OE} = 0,5 \cdot \tau_o$, а для реалізації фільтра $W^{\Phi^2}(p)$ $T_{OE} = 10 \cdot \tau_o$.

Якщо 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? Для досліджуваного ОК $\theta_{\text{печі}}^{\text{МІН}} = 30^{\circ}\text{C}$; $\theta_2^{\text{ЗД}} = 110^{\circ}\text{C}$.

2. Яким є мінімальне та максимальне значення контрольованого збурення? Для досліджуваного ОК $P_{\text{газ}}^{\text{МІН}} = 1.4\text{кПа}$, $P_{\text{газ}}^{\text{МАКС}} = 1.6\text{кПа}$.

3. Збільшення значення сигналу збурення приведе до збільшення регульованої змінної? Для досліджуваного ОК збільшення $P_{\text{газ}}$ приведе до збільшення $\theta_{\text{печі}}$.

4. Яким є значення та розмірність часу запізнення в каналі керування для досліджуваної регульованої координати? Для досліджуваного ОК $\tau_o = 120\text{с}$.

Генерацію результатів пасивного експерименту буде забезпечувати додаток rgen середовища Матлаб. Результати генерації випадкових процесів, що відповідають сигналу контрольованого збурення та регульованої координати для досліджуваного ОК наведено на рис. 2.10.

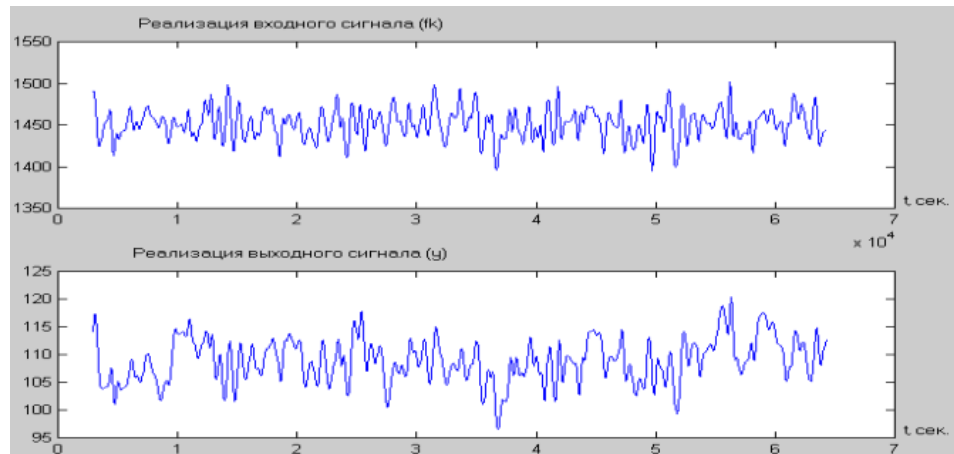


Рис. 2.10 – Результати генерації випадкових процесів, що відповідають сигналу контрольованого збурення та регульованої координати для досліджуваного ОК

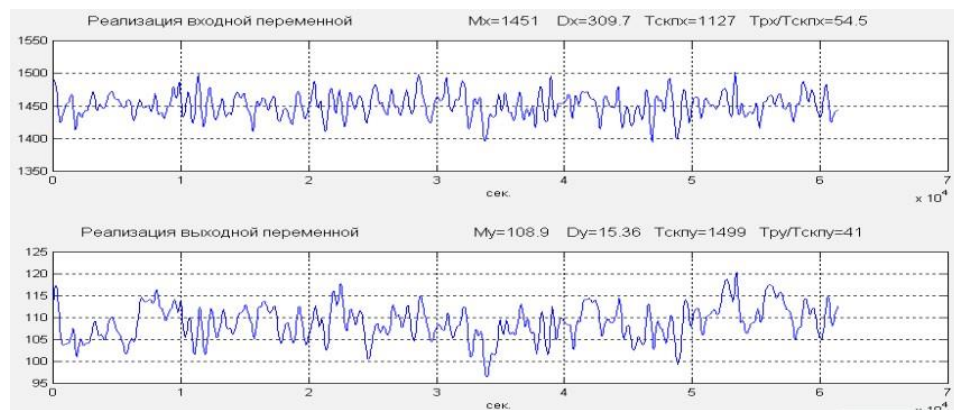


Рис. 2.11 – Результати оцінювання математичних очікувань, дисперсій, середньоквадратичних періодів і кількості СКП, що містять реалізації вхідної і вихідний змінних



Рис. 2.12 – Результати оцінювання АКФ вхідного сигналу та ВКФ вхідного і вихідного сигналів

Ідентифікацію моделі каналу ОК здійснюють у два етапи. На першому етапі за оцінкою АКФ вхідного сигналу проводять спрощену ідентифікацію його моделі.

Для ідентифікації АКФ запропоновано два варіанти моделі (рис. 2.14).

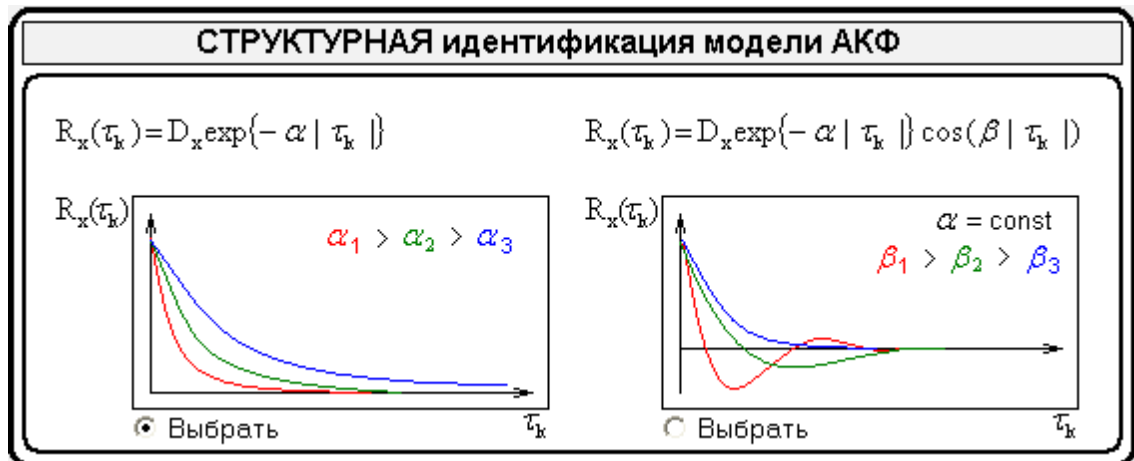


Рис. 2.13 – Структурна ідентифікація моделі АКФ

Для проведення параметричної ідентифікації необхідно задатися початковими наближеннями параметрів моделі АКФ. Результати параметричної ідентифікації моделі АКФ наведено на рис. 2.14 і 2.15.

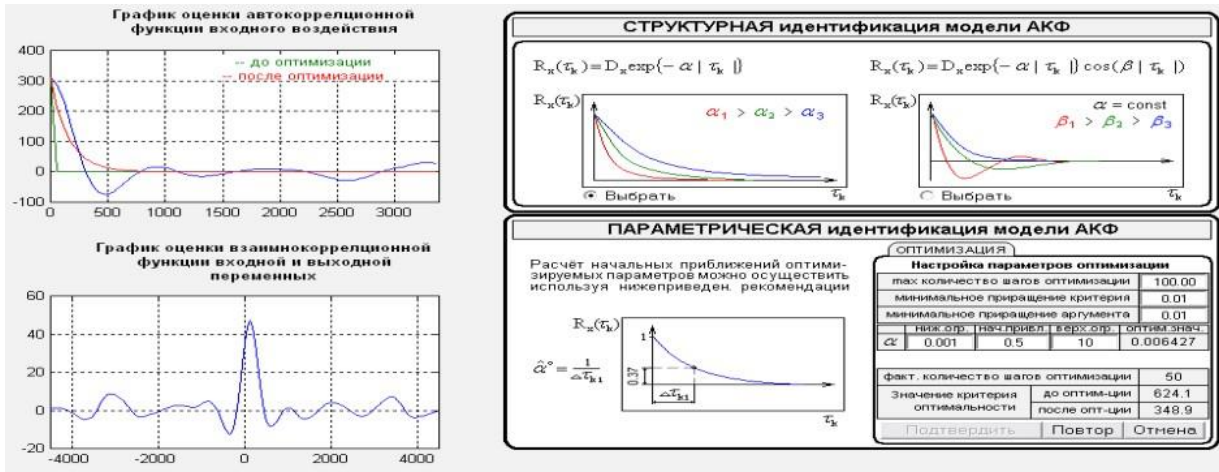


Рис. 2.14 – Результаты параметричної ідентифікації моделі АКФ за моделлю

№1

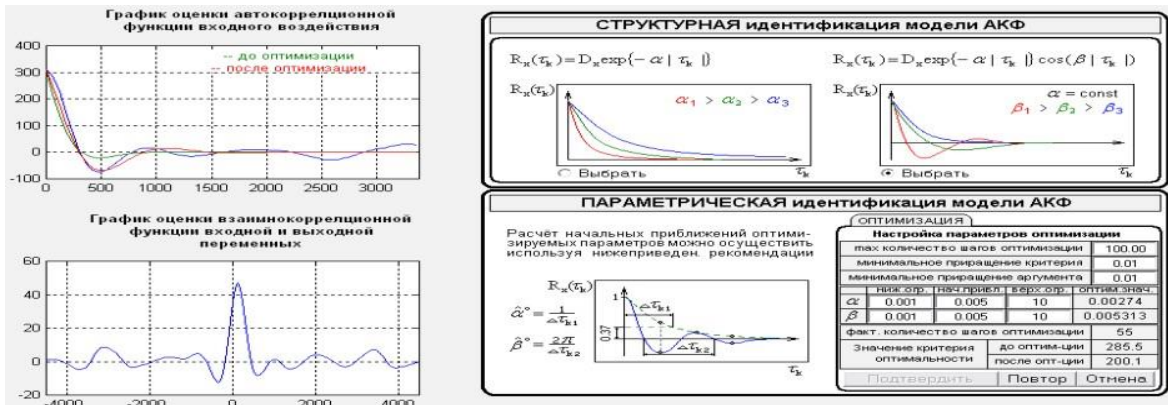


Рис. 2.15 – Результаты параметричної ідентифікації моделі АКФ за моделлю

№2

Як видно з результатів параметричної ідентифікації моделі АКФ, точнішою є модель №2, тому що для неї значення критерію оптимальності після оптимізації є меншим, тобто меншим є відхилення моделі АКФ від її оцінки саме для моделі №2. Тому подальшу ідентифікацію будемо проводити саме на базі цієї моделі.

На другому етапі за оцінкою ВКФ проводять ідентифікацію моделі каналу ОК. За зовнішнім виглядом оцінки ВКФ проводимо структурну ідентифікацію моделі каналу контрольованого збурення ОК. Як видно з рис. 2.15, цей канал має властивість самовирівнювання, а, отже, може бути описаний передаточними функціями:



Результати параметричної ідентифікації моделей каналу контрольованого збурення ОК наведені на рис. 2.16 і 2.17.

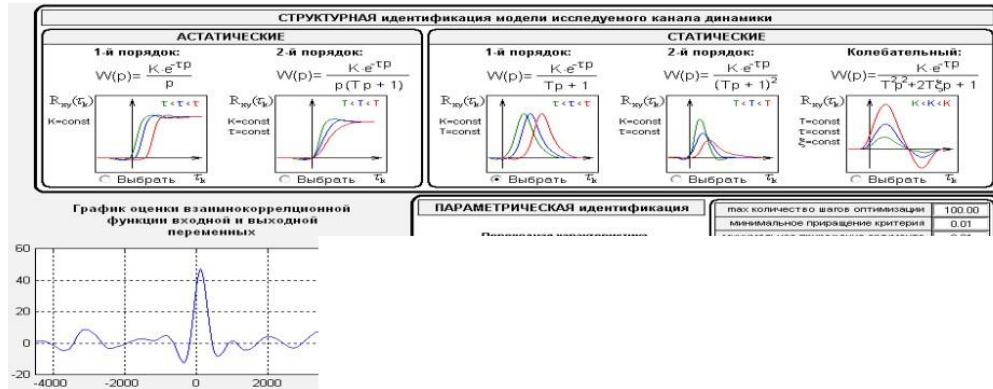


Рис. 2.16 – Структур

36

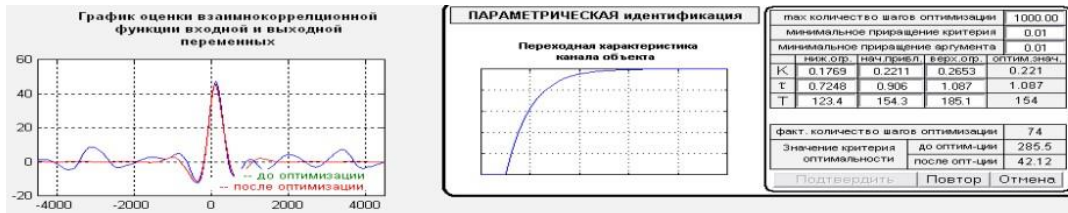


Рис. 2.17 – Структурна ідентифікація моделі каналу контрольованого збурення ОК в часовій області

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вид:

$$W_0(p) = \frac{0,221 * e^{-1,087p}}{154p + 1}$$



Рис. 2.18 – Результати параметричної ідентифікації моделі 2-го порядку каналу контрольованого збурення ОК

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК буде мати вид:

$$W_0(p) = \frac{0,1018 * e^{-1,382p}}{(50,38p + 1)^2}$$

2.4 Ідентифікація моделей статички каналів керування об'єкту регулювання з істотного нелінійними властивостями.

2.4.1 Вибір і опис доцільного методу експериментальних досліджень властивостей каналів з метою отримання необхідної інформації.

Метою цього підрозділу курсової роботи є отримання моделей статички для побудови моделей динаміки в абсолютних величинах. Також метою підрозділу є отримання моделей статички каналі ОК з суттєво нелінійними властивостями, якщо така задача передбачена індивідуальним завданням.

Статичні властивості ОУ описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відбивають взаємозв'язок між вхідними і вихідними координатами (перемінними) каналів ОУ в статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних складових цих перемінних. З цього визначення випливає, що канали ОУ з астатичними властивостями не мають статичних характеристик. У разі потреби для таких каналів може бути отримана статична характеристика, що пов'язує вхідну змінну каналу і швидкість зміни вихідної змінної.

Значення y , отримані в результаті експерименту, завжди мають випадкову складову, обумовлену дією некерованих і неконтрольованих змінних, похибками вимірювання y та x . У цьому випадку залежність розум $y^M = \hat{y} = \Phi(\vec{x})$ визначається з використанням статистичних ("усредняючих") методів, і вона називається регресією, регресійною залежністю або рівнянням регресії.

2.4.2 Планування активного експерименту на об'єкті для реалізації обраного методу і відображення результатів натурного або уявного експериментів у виді оцінок статичних характеристик.

Суть планування експерименту полягає у виборі діапазонів зміни факторів, кроку збільшення факторів, послідовності їх зміни та числа повторів цих змін.

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.

М. 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 3 і на рис.2.19-2.22.

Таблиця 3.

Результати експерименту для отримання моделі статичної ОК

№ експерименту	Фактори		Відгуки	
	$U_{\text{газ}}, \% \text{ х.р.о}$	$U_{\text{вод}}, \% \text{ х.р.о}$	$\Theta_{\text{печь}}, ^\circ\text{C}$	$M_{\text{печь}}, \%$
1	0	50	30	-
2	10	50	68	-
3	20	50	110	-
4	30	50	144	-
5	40	50	170	-
6	46,7	50	192	-
7	20	0	-	40

8	20	20	-	58,06
9	20	40	-	74,19
10	20	50	-	80
11	20	60	-	86,45
12	20	80	-	94,84
13	20	100	-	99,99
14	0	50	-	95
15	10	50	-	88,95
16	20	50	-	80
17	30	50	-	75
18	40	50	-	71
19	60	50	-	62,63
20	80	50	-	55,26
21	100	50	-	50
22	20	0	95	-
23	20	20	101	-
24	20	40	106,67	-
25	20	50	110	-
26	20	60	114,17	-
27	20	80	126,67	-
28	20	100	145	-

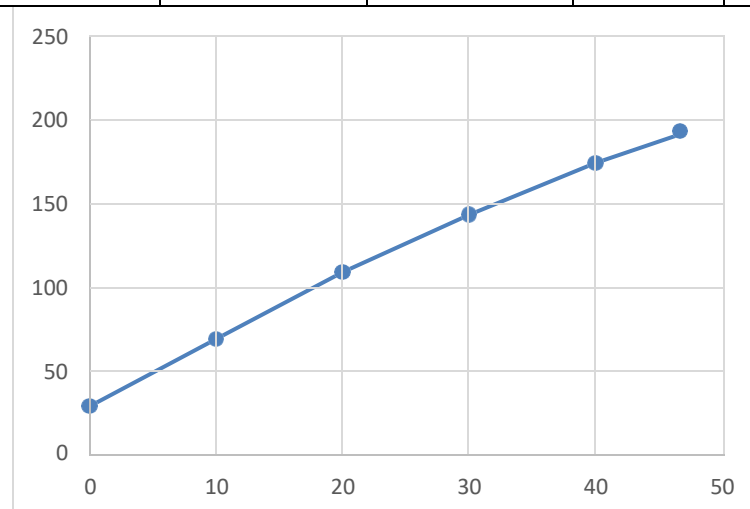


Рис.2.19 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК по каналу $U_{\text{газ}} - \Theta_{\text{печь}}$

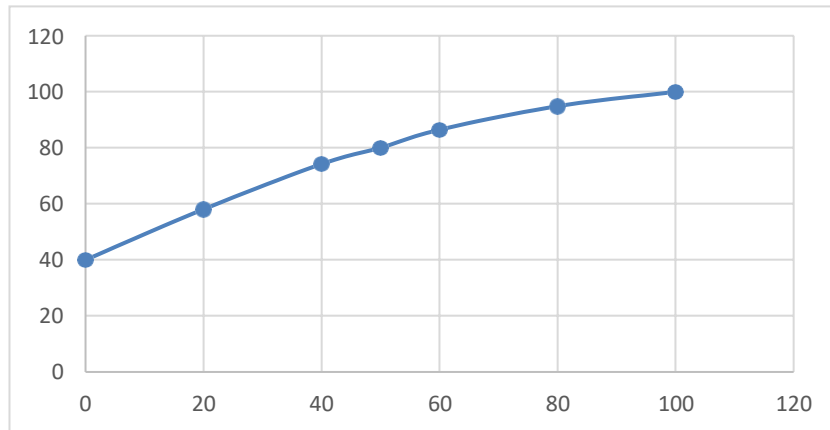


Рис.2.20 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК по каналу $U_{\text{вод}} - M_{\text{печь}}$

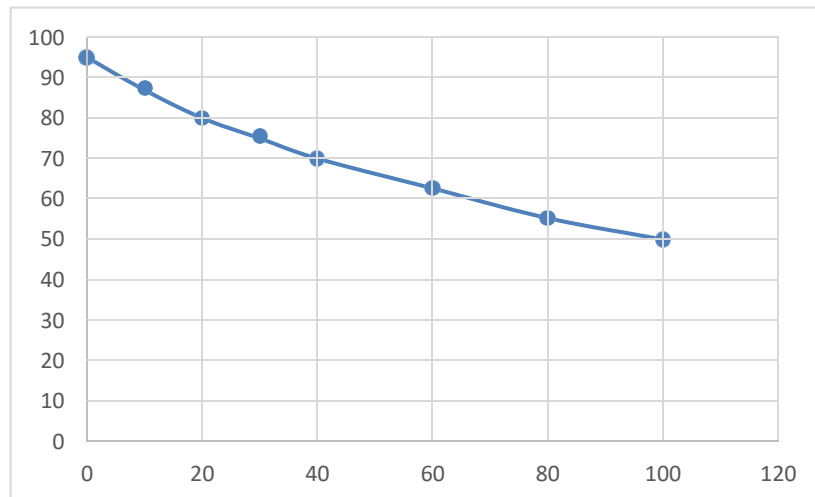


Рис.2.21 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК по каналу $U_{\text{газ}} - M_{\text{печь}}$

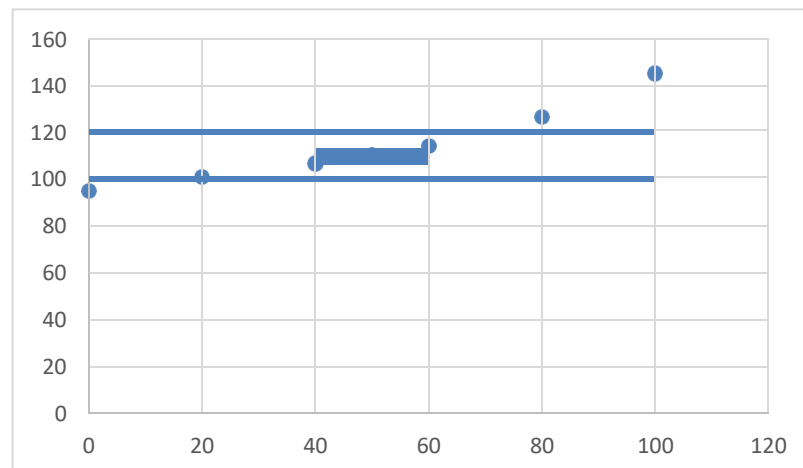


Рис.2.22 – Результати експерименту для визначення статичної

характеристики ОК по каналу $U_{\text{вод}} - \Theta_{\text{піч}}$

2.4.3 Аналіз отриманої в ході експерименту інформації та ітераційний підбір структури моделі з їх параметричною ідентифікацією, порівняльний аналіз моделей різної структури за статистичними критеріями, прийняття рішення про вибір моделі для опису нелінійних властивостей каналів керування.

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(x)$. У порівнянні з розглянутою раніше аналогічною задачею для моделей динаміки, структурна ідентифікація моделей статички гірше формалізується. Це виявляється, зокрема, у тім, що типові моделі для опису статичних властивостей об'єктів відсутні. Розроблювачеві доводиться спиратися, в основному, на евристичні методи і самому шукати компроміс між безліччю вимог до моделей. Основні з них: високий ступінь близькості між результатами експерименту і результатами, розрахованими за моделлю; фізична коректність моделі, тобто відсутність у моделі фізично необґрунтованих екстремумів і перегинів (при доброму виконанні першої вимоги); робастність (грубість) моделі, що гарантує її "працездатність" при варіаціях вихідних даних; компактність моделі, наслідком якої є невелике число параметрів, що підлягають ідентифікації, що полегшує процедуру параметричної ідентифікації; простота використання моделі; інтерпретовуваність (змістовність) моделі, що досягається за рахунок надання визначеного фізичного змісту константам і функціям, що входять у модель.

$$\bar{a}^* = \arg \min \left\{ I(\bar{a}) = \sum_{i=1}^n \left(y_i(\bar{x}_i) - y^i(\bar{a}, \bar{x}_i) \right)^2 \right\}$$

Якщо модель ОК є багатоканальною та за одним, кількома або усіма каналами має суттєво нелінійні властивості, то для ідентифікації доцільно використовувати можливість табличного процесора MS Excel, а саме надбудову "Поиск Решения". Основу ідентифікації складають результати багатфакторного експерименту у табличному вигляді.

За допомогою MS EXCEL отримали моделі статичних характеристик температури повітря в печі та вологості:

$$\theta_{печ.} = a_1 \cdot u_{газ}^3 + a_2 \cdot u_{вод.}^3 + a_3 \cdot P_{газ}^3 + a_4 \cdot u_{газ}^2 + a_5 \cdot u_{вод.}^2 + a_6 \cdot P_{газ}^2 + a_7 \cdot u_{газ} + a_8 \cdot u_{вод.} + a_9$$

$\cdot P_{газ} + a_0$ – температури 2-го етапа випечки хлеба

$$M_{печ.} = a_1 \cdot u_{газ}^3 + a_2 \cdot u_{вод.}^3 + a_3 \cdot u_{газ}^2 + a_4 \cdot u_{вод.}^2 + a_5 \cdot u_{газ} + a_6 \cdot u_{вод.} + a_0 -$$

влагності 1-го етапа випечки хлеба

$$\theta_{печ.} = 0 \cdot u_{газ}^3 + 2.4 \cdot 10^{-7} \cdot u_{вод.}^3 + 1.6 \cdot 10^{-6} \cdot P_{газ}^3 + 0 \cdot u_{газ}^2 + 5.17 \cdot 10^{-9} \cdot u_{вод.}^2 + 1.98 \cdot 10^{-8} \cdot$$

$P_{газ}^2 + 3.51 \cdot u_{газ} + 0.37 \cdot u_{вод.} + 0.15 \cdot P_{газ} + 0.87$ – температури 2-го етапа випечки хлеба

$$M_{печ.} = 0.003 \cdot u_{газ}^3 + 0 \cdot u_{вод.}^3 + 2.4 \cdot u_{газ}^2 + 1.17 \cdot u_{вод.}^2 + 0.94 \cdot u_{газ} + 0.6 \cdot u_{вод.} + 0.997$$

– влагності 1-го етапа випечки хлеба

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ВХІДНИХ ДІЙ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

2.5.1 Априорний аналіз вхідних впливів.

2.5.2 Аналіз фізичної суті, можливих діапазонів зміни і частотних властивостей вхідних дій і їх наслідків.

Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція системи на них. Діапазон їх зміни доцільно прив'язувати до фізичного діапазону зміни управляючих дій. З теорії автоматичного керування відомо, що фізичний діапазон зміни управляючої дії лежить у межах 0...100 %х.р.о., а діапазон зміни неконтрольованих збурень може становити приблизно 10...15% від діапазону зміни управляючої дії, тобто становить приблизно 10...15 %х.р.о. (якщо неконтрольовані збурення прикладені до управляючої дії), або $(10...15) \cdot y_0$ (якщо неконтрольовані збурення прикладені до регульованої координати).

де $\bar{f}(t)$ – детермінована повільно змінювана складова;

$\tilde{f}(t)$ – квазидетермінована складова;

$\tilde{f}^c(t)$ – стохастична центрована складова – центрований випадковий процес;

$\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$ – високочастотна стохастическа складова – шум.

Варто враховувати, що складові $\bar{f}(t)$, $\tilde{f}^{\text{п}}(t)$, $\tilde{f}^c(t)$ і їх сума є відносно низькочастотними діями, несприятливі наслідки яких САК повинна і може компенсувати. Складова $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$ пов'язана або із шумами у вимірювальних каналах, або з високочастотними збуреннями, наслідки яких, у силу особливостей каналів керування ОК, скомпенсовані бути не можуть. В обох випадках $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$ в САК повинні бути відфільтровані (не «пропущені» на вхід управляючого пристрою). Для вирішення цього завдання і повинні бути отримані властивості $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$.

2.5.3 Аналіз можливостей ідентифікації моделей координатних і параметричних збурень різного рівня деталізації і вибір загальної структури моделей.

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану складову ($f_{\text{нд}}$) доцільно привести до управляючої дії, а квазидетерміновану та стохастичну складові ($f_{\text{нс}}$) доцільно привести до відповідної регульованої координати (див. рис. 3.1).

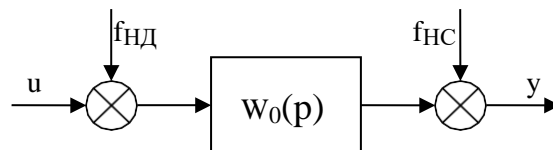


Рис. 3.1 – Структурна схема моделі неконтрольованих збурень

Модель контрольованих збурень по аналогії з моделлю неконтрольованих збурень може бути представлена чотирма складовими, які будуть прикладені до входу каналу контрольованих збурень.

2.5.4. Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових неконтрольованих збурень.

2.5.5 Планування пасивного експерименту для збору інформації про координатні збурення, попередній вибір швидкості протягання стрічки самописів або періоду запису інформації ЦОМ, тривалості запису, представлення реалізацій записаних у ході експерименту або згенерованих спеціальною програмою змінних.

Проведення пасивного експерименту:

- а) запускаємо програму PGEN в Matlab і вводимо необхідні дані ;
- б) формуємо файл із отриманим випадковим сигналом:

2.5.6 Аналіз реалізацій, обґрунтування і конкретизація умов віднесення її окремих складових загальної структури моделі координатних збурень до певних видів, вибір процедури перетворення (фільтрації) сигналів для їх поділу.

Формальна процедура виділення зазначених складових з урахуванням їх частотного складу може бути відображена структурною схемою (рис. 3.25).

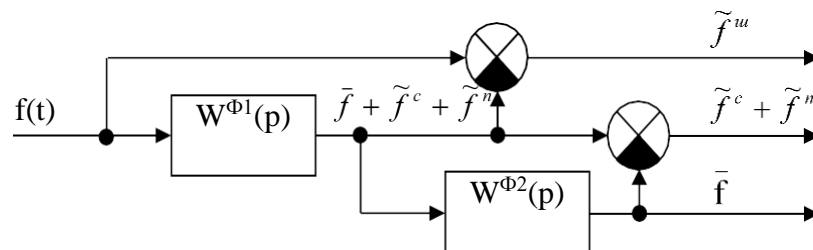


Рис. 3.2 – Структурна схема поділу динамічного процесу на складові

На рис. 3.2 прийняті наступні позначення: $W^{\Phi 1}(P)$ $W^{\Phi 2}(P)$ - передаточні функції фільтрів для виділення складових динамічного процесу f .

В якості фільтрів можна використовувати фільтри низьких частот, які можуть реалізувати процедури виділення ковзного середнього з рівномірним або експонентним усередненням. Для експонентного усереднення:

$$W^{\Phi E}(p) = \frac{1}{T_{OE}P + 1},$$

2.5.7 Попередня обробка (фільтрація) записаної реалізації вхідної дії (якщо це не проводилося одночасно з записом) і формування файлів реалізацій складового сигналу, що відповідають обраній структурі моделі координатних збурень.

Для генерації випадкових процесів була використана програма PGEN в Matlab. Метою було дослідження неконтрольованих збурень для досліджуваного ОК.

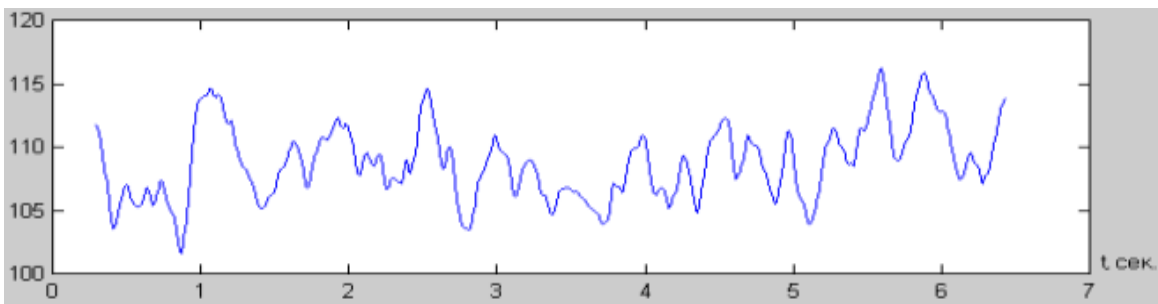


Рис.3.3 – Генерація випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для $\Theta_{\text{печь}}$

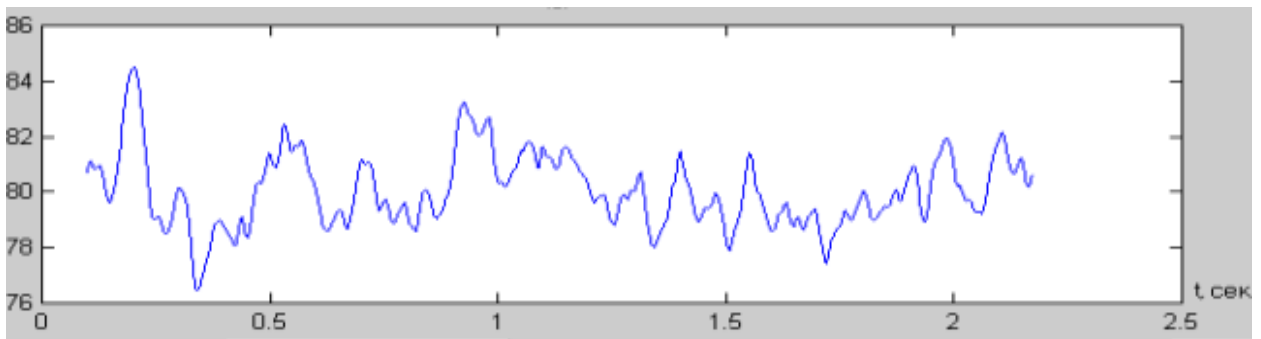


Рис.3.4 – Генерація випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для $M_{\text{печь}}$

2.5.8 Оцінювання імовірнісних характеристик випадкових складових координатних збурень, аналіз оцінок щільностей імовірності, кореляційних функцій, спектральних щільностей і уточнення структури моделі (структурна ідентифікація), зокрема оцінка присутності істотної схованої періодичної складової .

Першим етапом ідентифікації моделі неконтрольованих 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.

Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням.

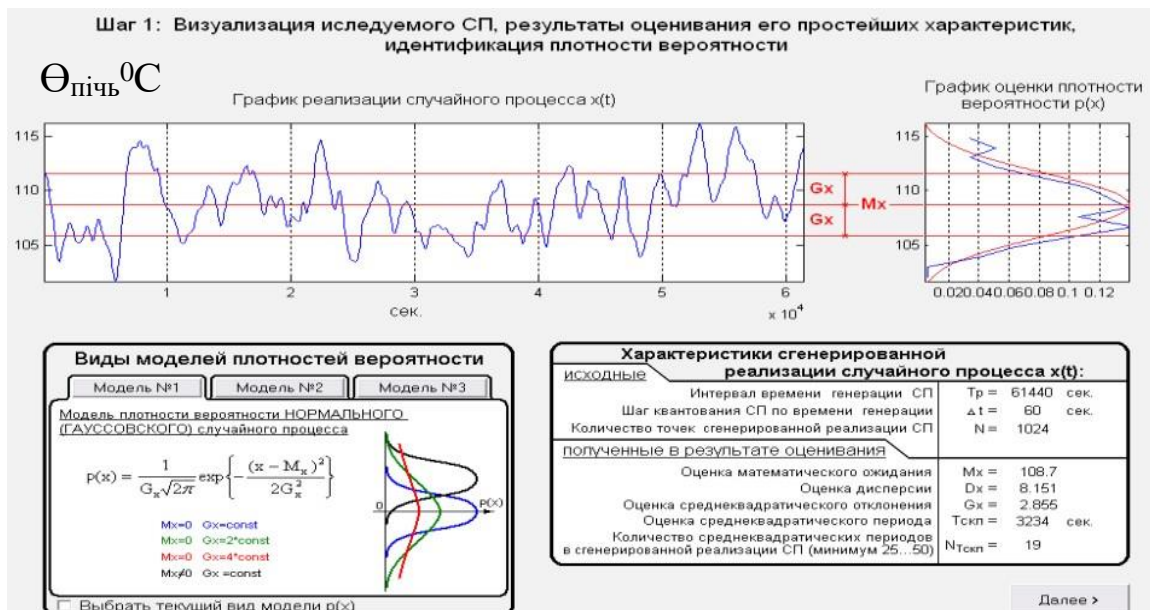


Рис.3.5 – Результат оцінювання імовірних характеристик випадкового процесу

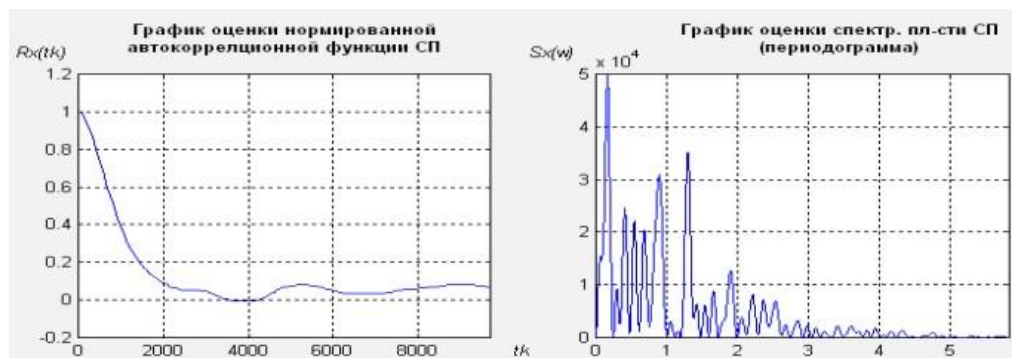


Рис.3.6 – Графіки оцінки автокорреляційної функції і спектральної щільності

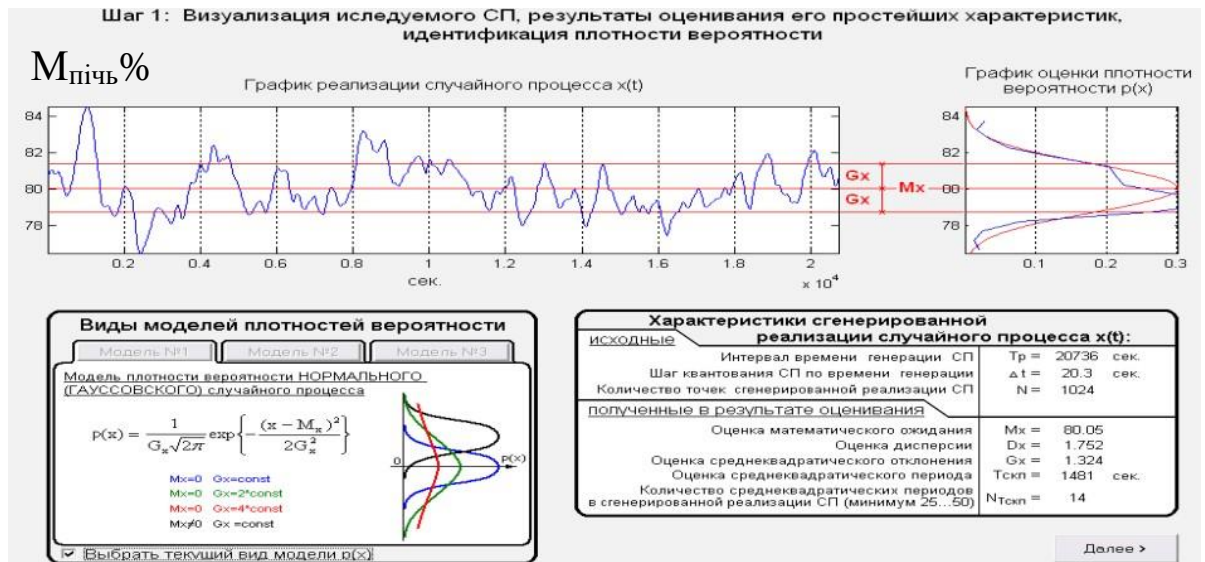


Рис.3.7 – Результат оцінювання імовірних характеристик випадкового процесу

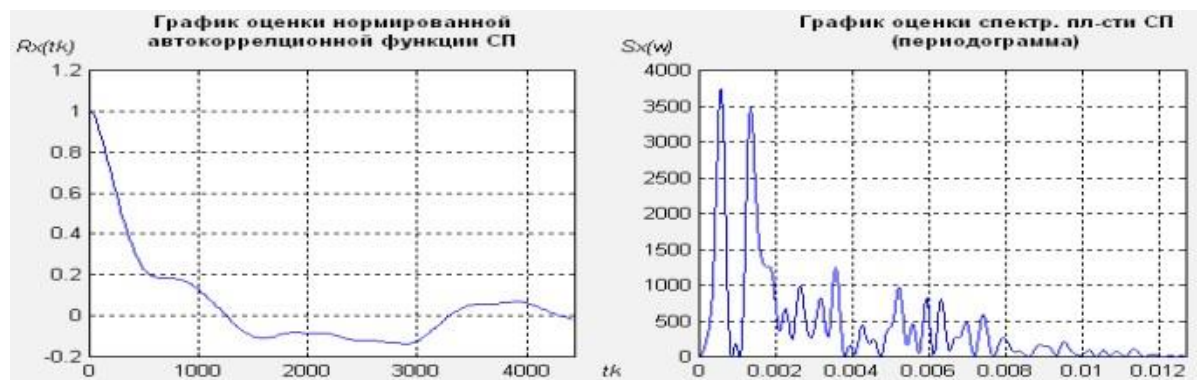


Рис.3.8 – Графіки оцінки автокорреляційної функції і спектральної щільності

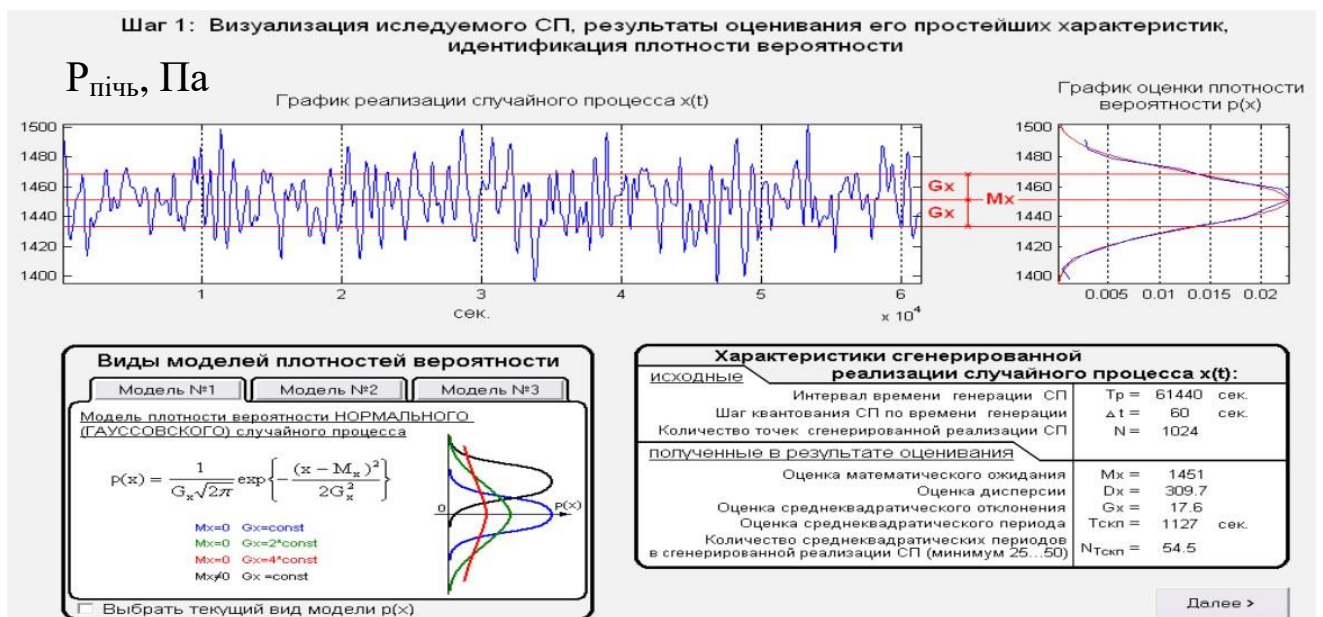


Рис. 3.9 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного контролюваному збуренню

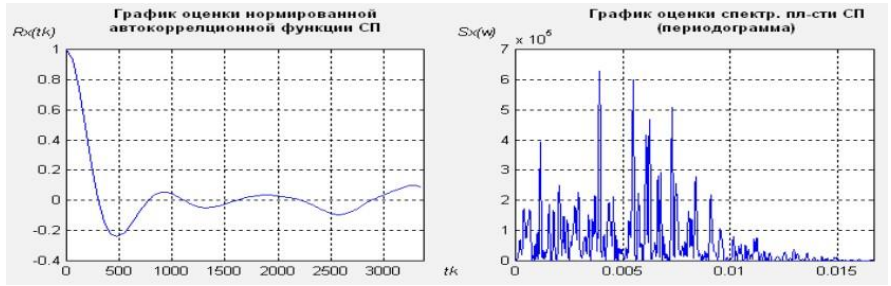


Рис.3.10 – Графіки оцінки автокоррелціонної функції і спектральної щільності

Із таблиць результатів ідентифікації, а також із графіків оцінки нормованої автокореляції функції ВП і графіка оцінки спектральної щільності ВП видно, що модель 6 та 5 є кращими.

За результатами оцінювання нормованих кореляційних функцій з набору типових вибираємо два варіанти моделей кореляційних функцій і спектральних щільностей:

Модель №5

$$R_{xx}(t_k) = \sum_{j=1}^n \beta_j e^{-\alpha_j t_k} \cos(\omega_j t_k + \varphi_j)$$

Модель №6

$$R_{xx}(t_k) = \sum_{j=1}^n \beta_j e^{-\alpha_j t_k} \left[\cos(\omega_j t_k + \varphi_j) + \gamma_j \sin(\omega_j t_k + \psi_j) \right]$$

2.5.9 Параметрична ідентифікація моделей імовірнісних властивостей випадкова складових, оцінка результатів ідентифікації, і при необхідності повернення до попереднього пункту.

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

$$\underline{a}^* = \arg \min_{\underline{a}} \left[\hat{R}_f(\tau_k) - R_M(\tau_k) \right]_2^2, \quad \underline{a} = \{\alpha, \beta\}^T.$$

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 3.11), кращої є модель №6, тому що для цієї моделі меншим є середньоквадратичне відхилення моделі від оцінки кореляційної функції.

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованого збурення (рис. 3.14), кращої є модель №5, тому що для цієї моделі меншим є середньоквадратичне відхилення моделі від оцінки кореляційної функції.

Як видно з результатів ідентифікації моделі контрольованих збурень (рис. 3.17), кращої є модель №6, тому що для цієї моделі меншим є середньоквадратичне відхилення моделі від оцінки кореляційної функції.

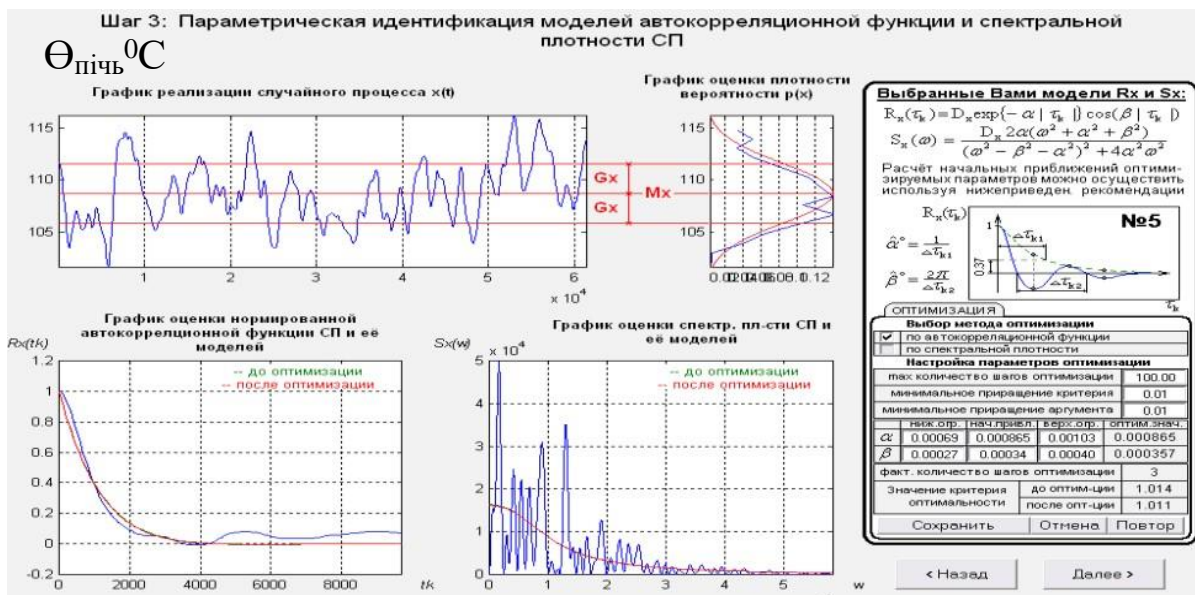


Рис. 3.11 - Результаты параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень

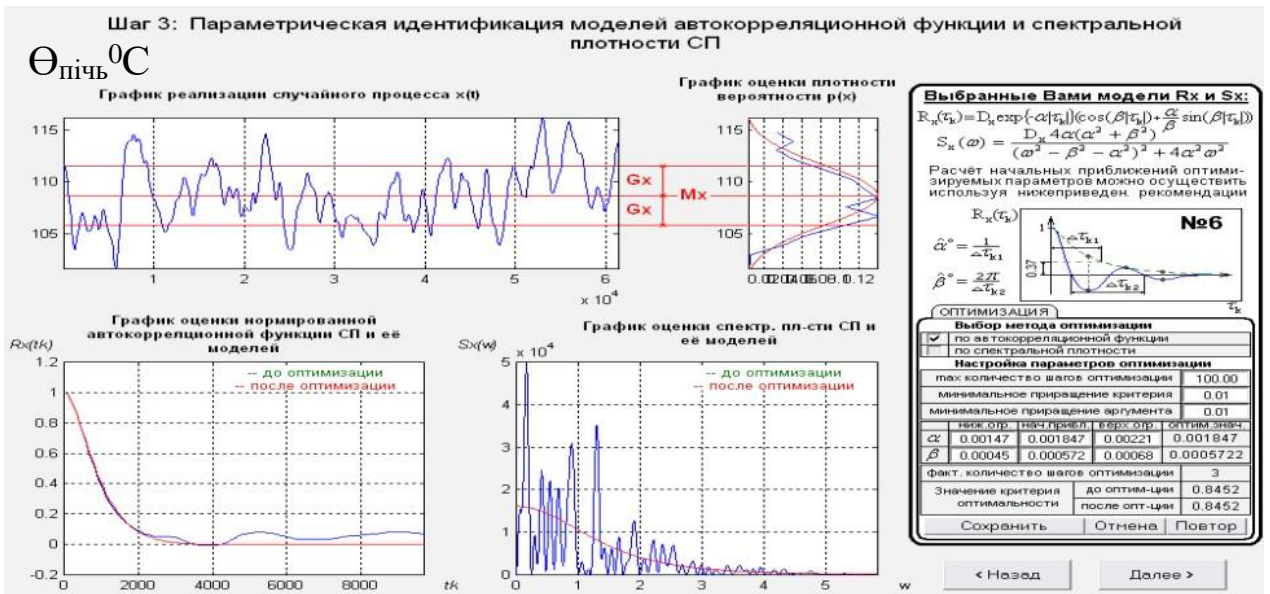


Рис. 3.12 - Результаты параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень



Рис.3.13 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

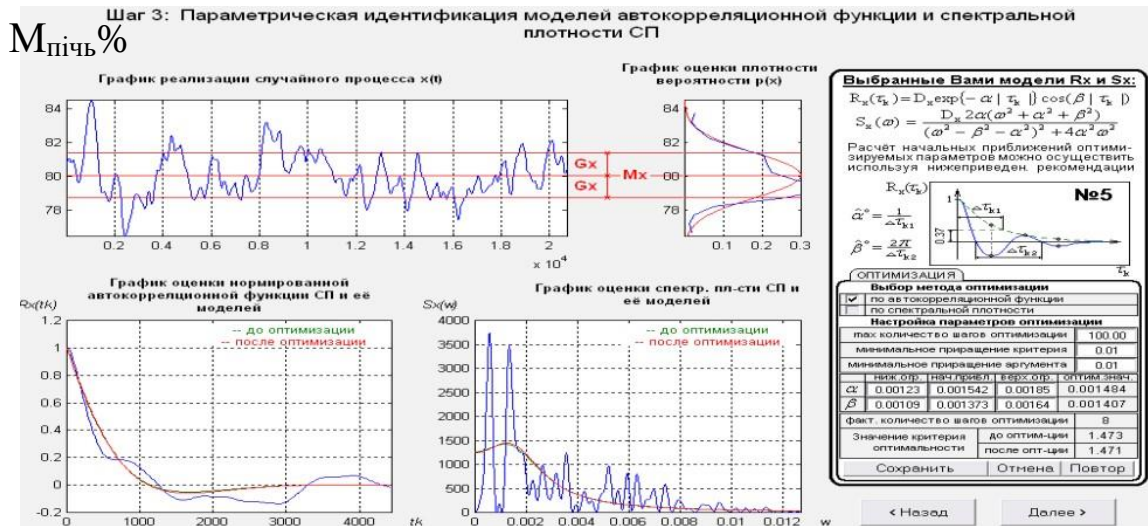


Рис. 3.14 - Результаты параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень

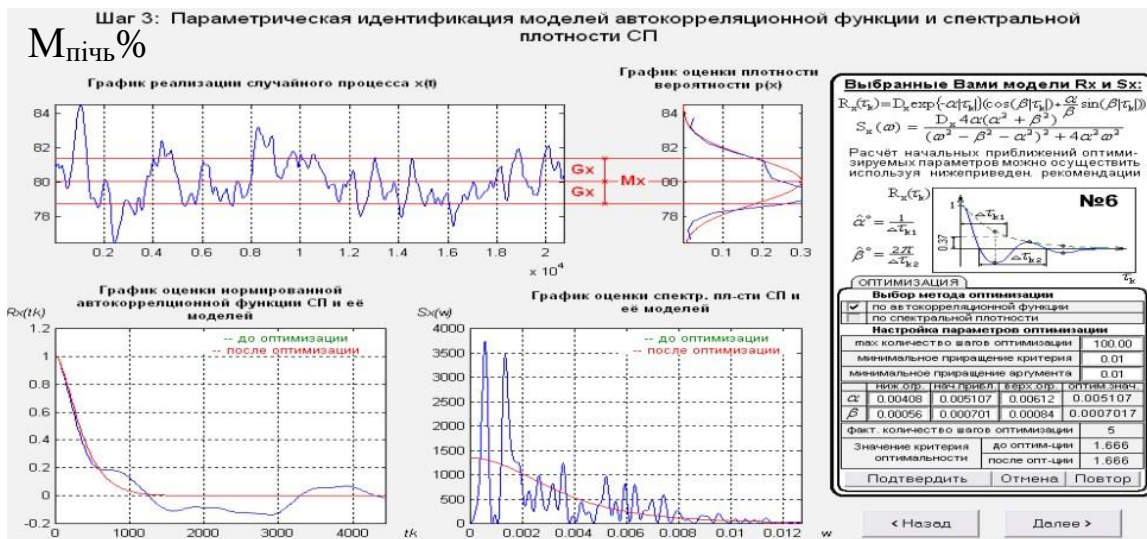


Рис. 3.15 - Результаты параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень



Рис.3.15 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

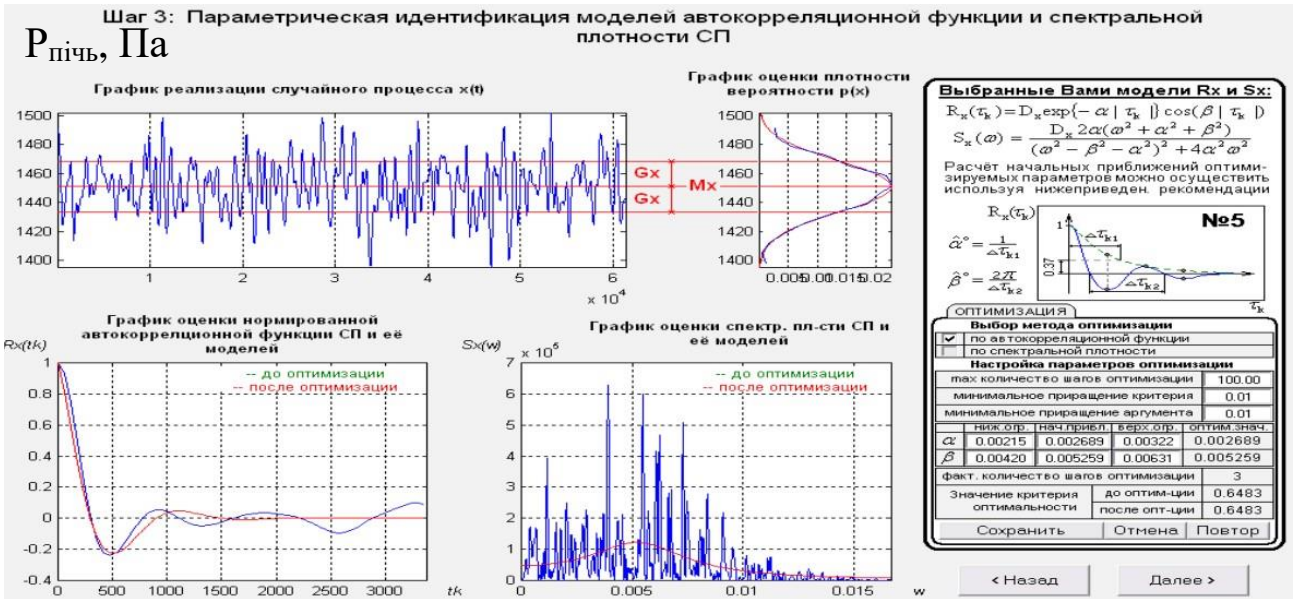


Рис. 3.16 - Результаты параметричної ідентифікації моделі №5 контрольованих збурень

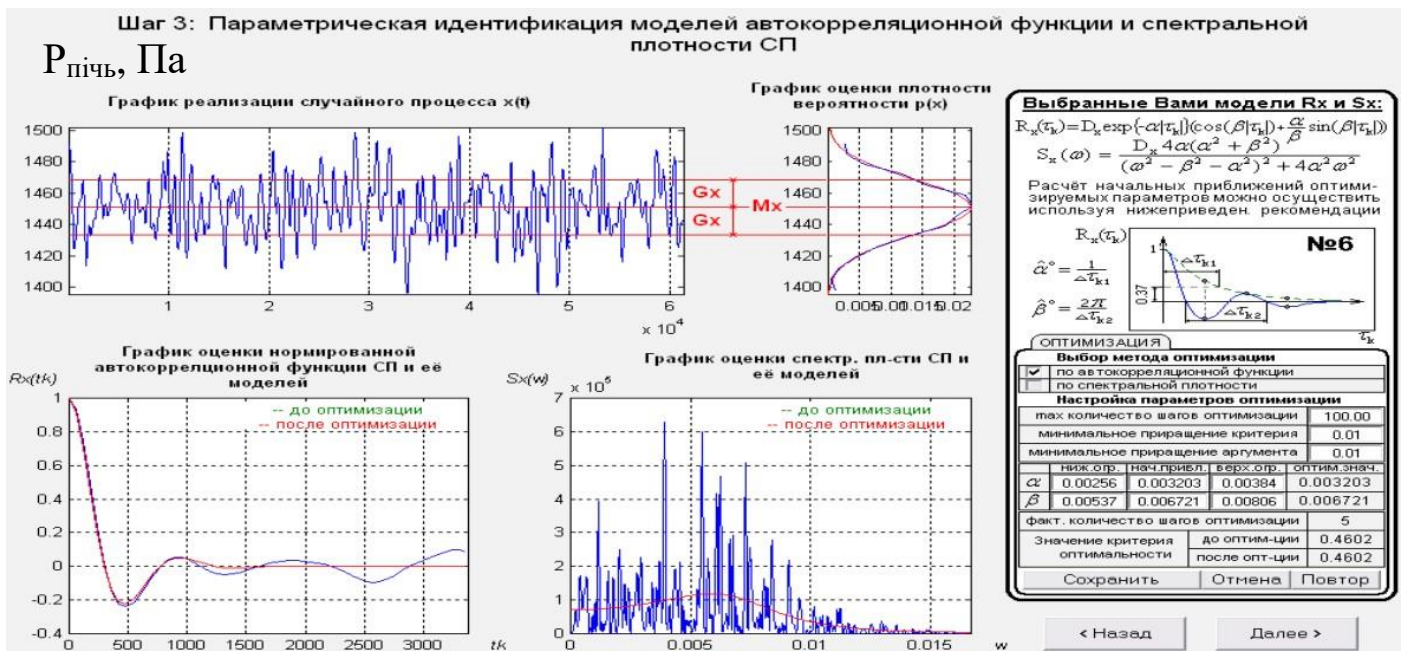


Рис. 3.17 - Результаты параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень

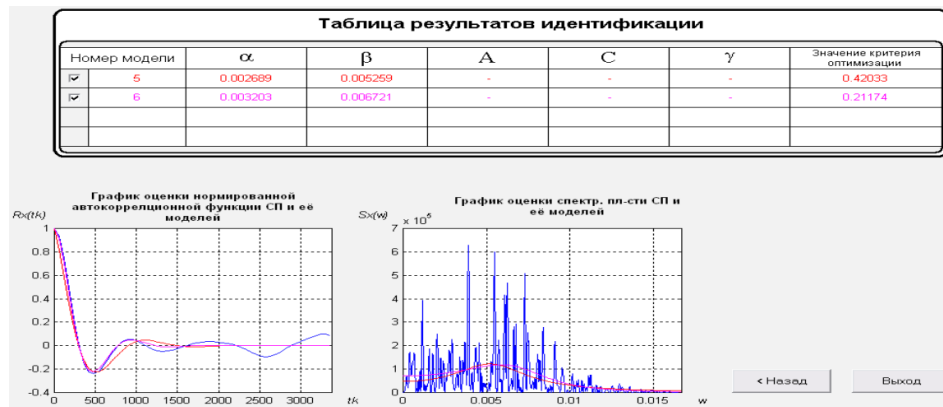


Рис.3.18 – Підсумкові результати ідентифікації моделі контрольованих збурень

Обґрунтований вибір структури моделі детермінованої складової координатного збурення і її параметрична ідентифікація.

Перша частина процедури відповідає процедурі ідентифікації контрольованих збурень, тільки замість моделі $\bar{f}_k^M(\bar{a}_{fk}, t)$ маємо в наявності модель зміни $\bar{y}_f^M(\bar{a}_y, t)$. Інакше кажучи, будемо шукати модель зміни керованої (регульованої) змінної, котра викликається сукупною дією неконтрольованих збурень (управляюча дія на інтервалі запису $y(t)$ не повинна змінюватися).

Надалі слід вирішити питання про точку додавання детермінованої складової неконтрольованих збурень. Для досліджуваного ОК вона аддитивно прикладається до управляючої дії u .

1. Визначають (приблизно) середнє значення управляючої дії $u(t) = \bar{u}^H(t)$, якому відповідає номінальне значення регульованої координати.
2. Задають значення $\Delta f_H \approx 0,2u^H(t)$.

ПРИМІТКА: У тому випадку, якщо управляюча дія є двопозиційною, то $\bar{u}^H(t)$ визначають за формулою:

$$u^H(t) \approx \frac{\bar{t}_u^{\max}}{\bar{t}_u} \cdot 100\%$$

де \bar{t}_u - середній період перемикання $U(t)$;

\bar{t}_u^{\max} - середній час включення $U^{\max}(t)$.

Для досліджуваного ОК в якості моделі детермінованої складової неконтрольованих збурень прийmemo ступінчасту вхідну дію величиною $10\%x.p.o.$

РЕАЛІЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ У СЕРЕДОВИЩІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І ПІДТВЕРДЖЕННЯ ЇХ ВІДПОВІДНОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ ДАНИМ.

2.6.1 Реалізація на ЦОМ моделей каналів перетворення впливів і підтвердження їхньої адекватності.

2.6.2 Розробка схем моделювання динаміки каналів перетворення дій, отримання перехідних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними перехідними характеристиками.

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналів « $U_{\text{газ}} - \theta_{\text{печь}}$, $U_{\text{газ}} - M_{\text{печь}}$, $U_{\text{вод}} - \theta_{\text{печь}}$, $U_{\text{вод}} - M_{\text{печь}}$ » ОК розробляється схема моделювання, як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

Таблиці 4.

t, c	$\theta_{\text{печь}}, ^\circ\text{C}$	t, c	$\theta_{\text{печь}}, ^\circ\text{C}$	t, c	$M_{\text{печь}}, ^\circ\text{C}$	t, c	$M_{\text{печь}}, ^\circ\text{C}$
0	110	0	110	0	80	0	80
15	110	15	110	5	80	25	80
20	110,2	30	109,68755	10	79,9	50	79,85
40	110,8	52,5	108,9	20	79,7	75	79,55
60	111,6	76,5	107,69	30	79,17	100	79,05
80	113	105	106,9	40	78,5	125	78,68
124	116,46	120	106,75	43	78,33	150	78,35
156	121,2	135	106,72	48	77,8	175	77,65
228	133,8	150	106,7	50	77,4	210	76,5
260	138	175	106,7	63	75,3	250	75,5
280	140,5	-	-	70	74,4	275	75,1
300	143	-	-	80	73,6	300	75
320	144	-	-	90	73,35	325	75
340	144	-	-	100	73,3	-	-
-	-	-	-	110	73,3	-	-

Для каналу $U_{\text{газ}} - \theta_{\text{печь}}$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{3,4 * e^{-120p}}{90p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{3,4 * e^{-72p}}{(65p + 1)^2}$$

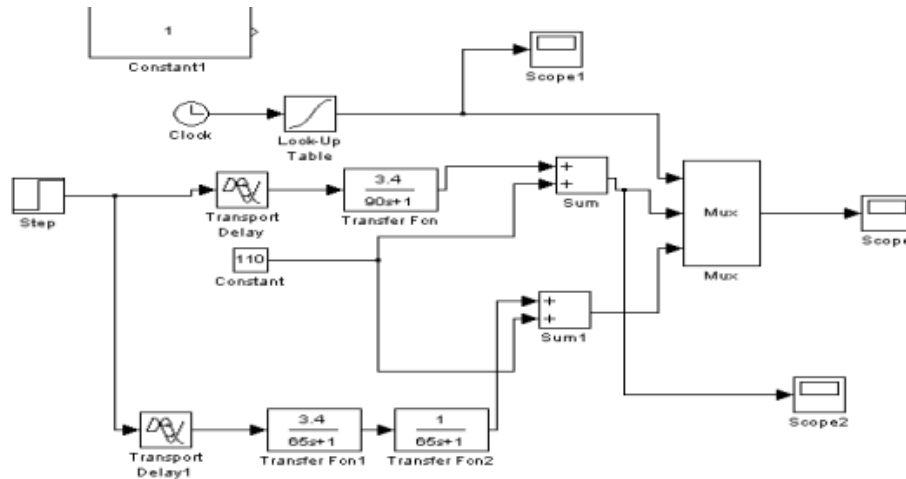


Рис.4.1 - Схема моделювання для каналу $U_{\text{газ}} - \theta_{\text{пичь}}$

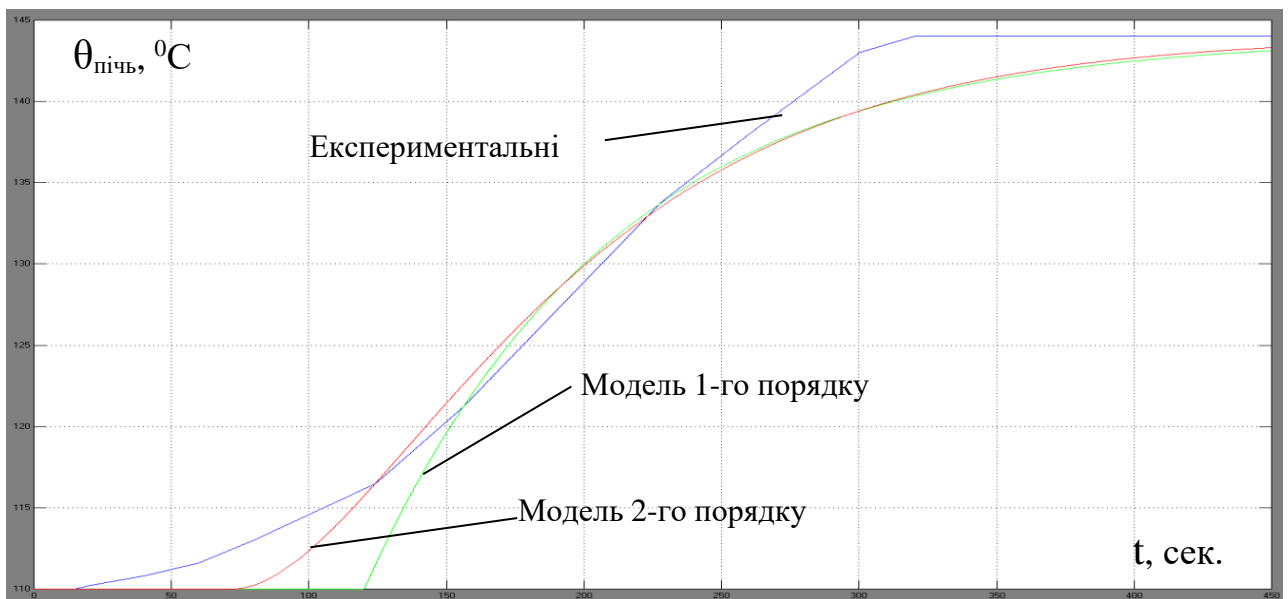


Рис.4.2 – Динамічна характеристика по каналу $U_{\text{газ}} - \theta_{\text{пичь}}$

Для каналу $U_{\text{вод}} - \theta_{\text{пичь}}$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,33 * e^{-40,5p}}{30p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,33 * e^{-18p}}{(24,38p + 1)^2}$$

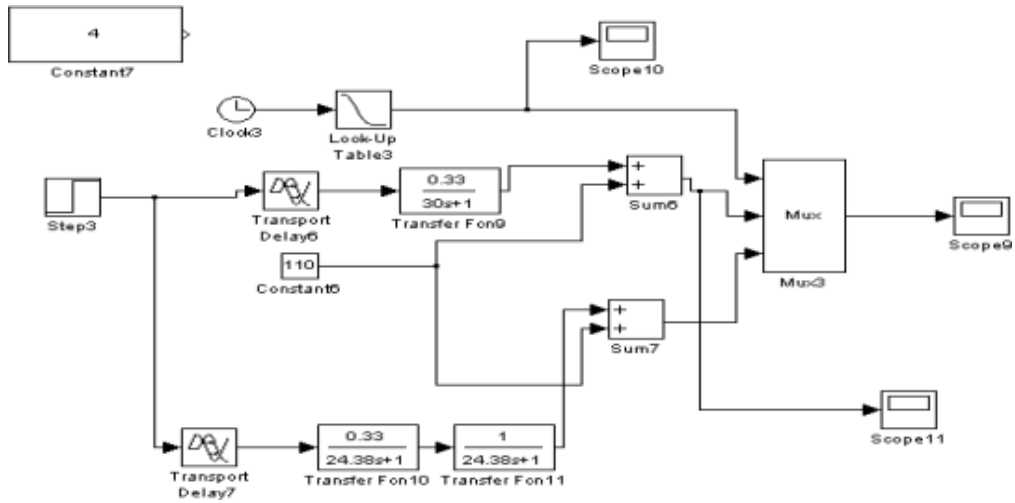


Рис.4.3 - Схема моделювання для каналу $U_{\text{вод}} - \theta_{\text{печь}}$

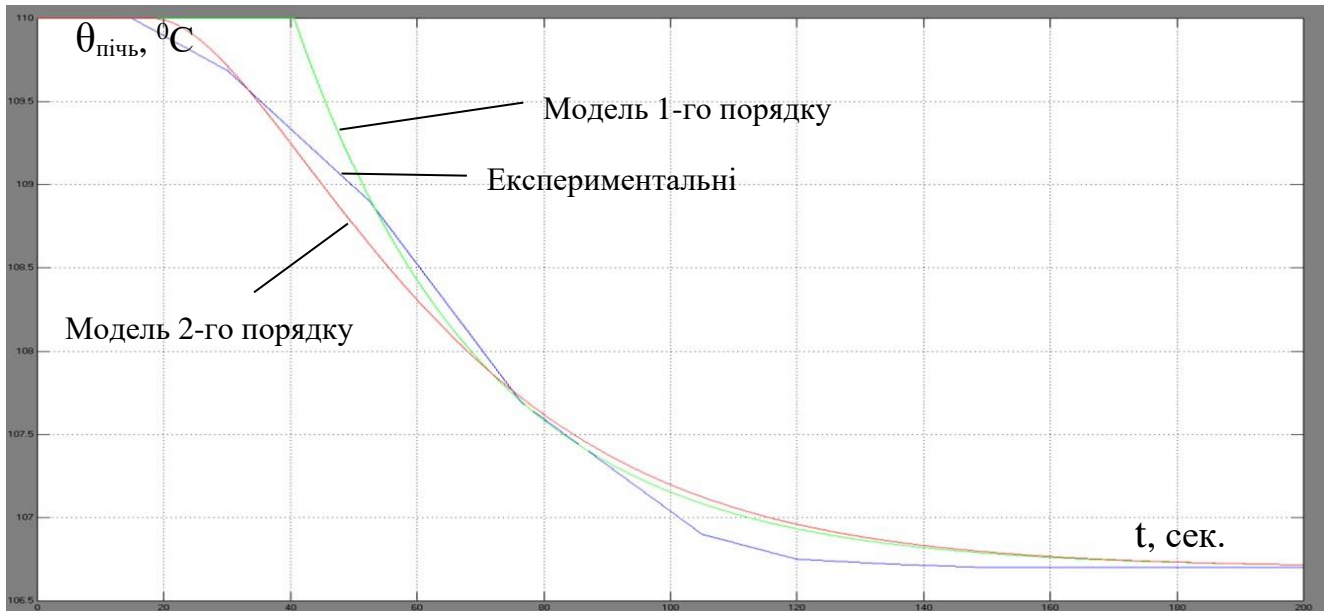


Рис.4.4 – Динамічна характеристика по каналу $U_{\text{вод}} - \theta_{\text{печь}}$

Для каналу $U_{\text{вод}} - M_{\text{печь}}$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,67 * e^{-40,5p}}{18,75p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,67 * e^{-33p}}{(12,5p + 1)^2}$$

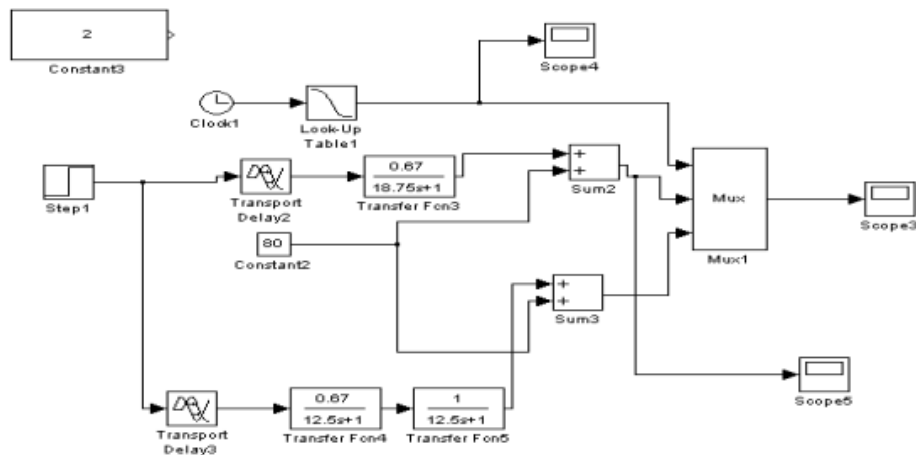


Рис.4.5 – Схема моделювання для каналу $U_{\text{вод}} - M_{\text{печь}}$

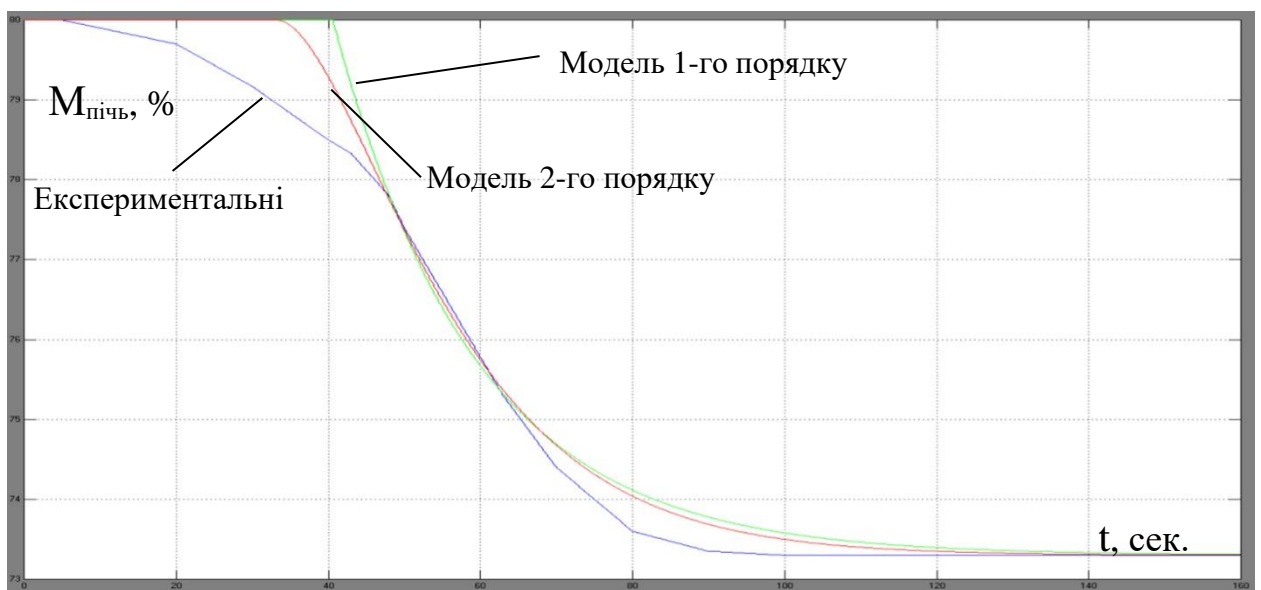


Рис.4.6 – Динамічна характеристика по каналу $U_{\text{вод}} - M_{\text{печь}}$

Для каналу $U_{\text{газ}} - M_{\text{печь}}$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{-0,5 * e^{-120p}}{75p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{-0,5 * e^{-45p}}{(68,75p + 1)^2}$$

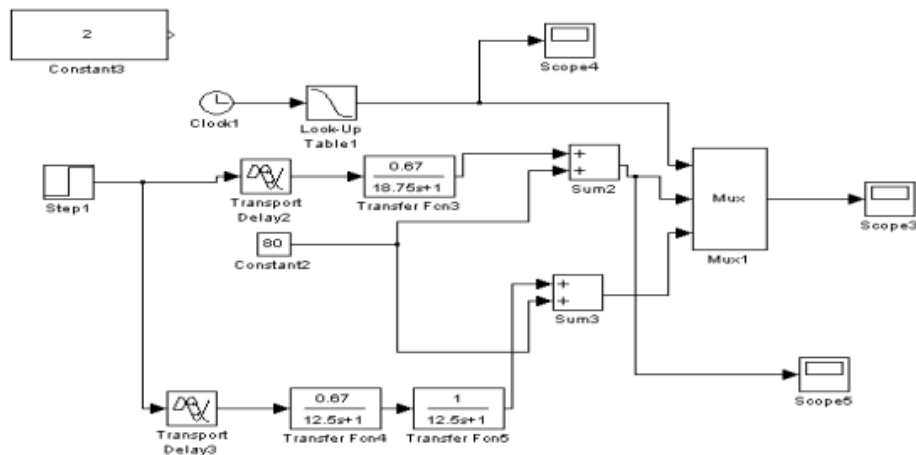


Рис.4.7 – Схема моделювання для каналу $U_{\text{газ}} - M_{\text{пичь}}$

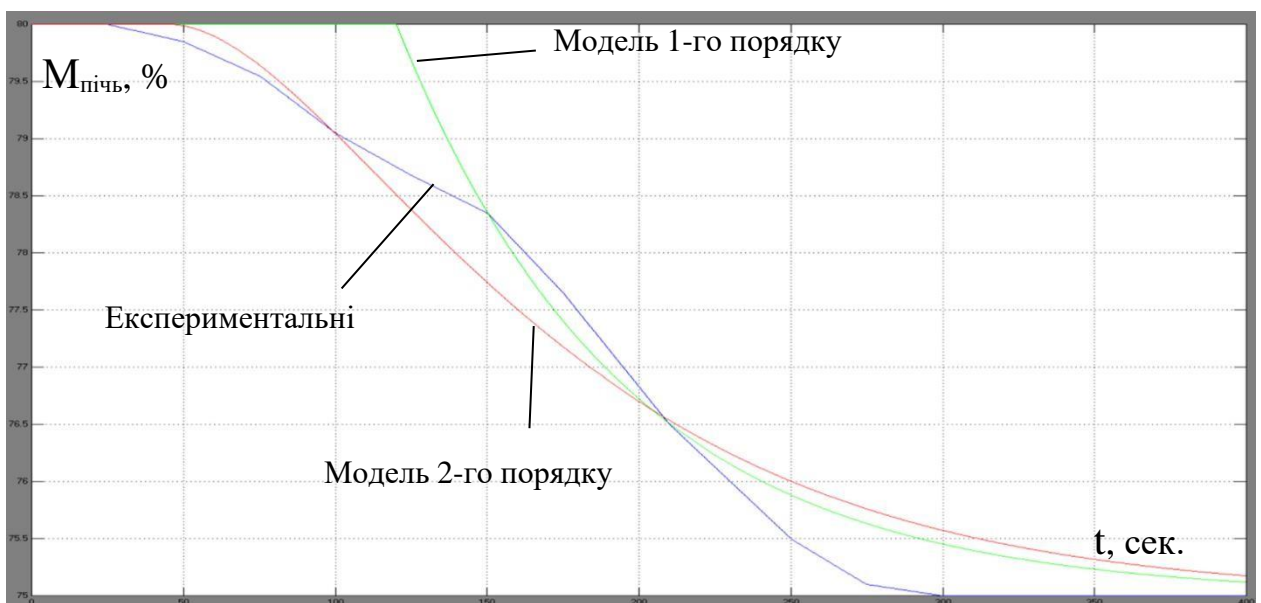


Рис.4.8 – Динамічна характеристика по каналу $U_{\text{газ}} - M_{\text{пичь}}$

Канал ОУ « $P_{\text{газ}} - \theta_{\text{пичь}}$ »

Результати ідентифікації моделі в часовій області

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,221 * e^{-1,087 p}}{154 p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{0,1018 * e^{-1,382 p}}{(50,36 p + 1)^2}$$

Схема моделювання каналу контрольованого збурення Ок наведена на рис. 4.9 Результати моделювання наведені на рис. 4.10.

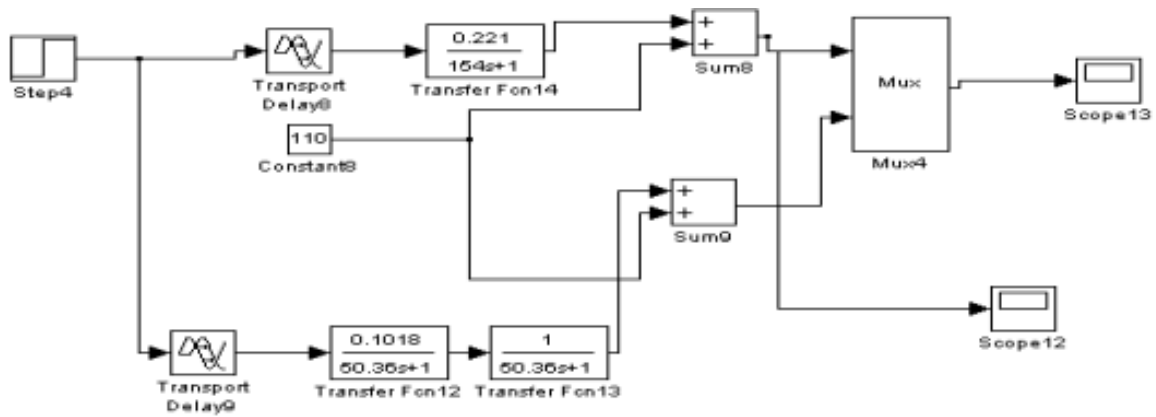


Рис. 4.9 – Схема моделювання каналу контрольованого збурення ОК

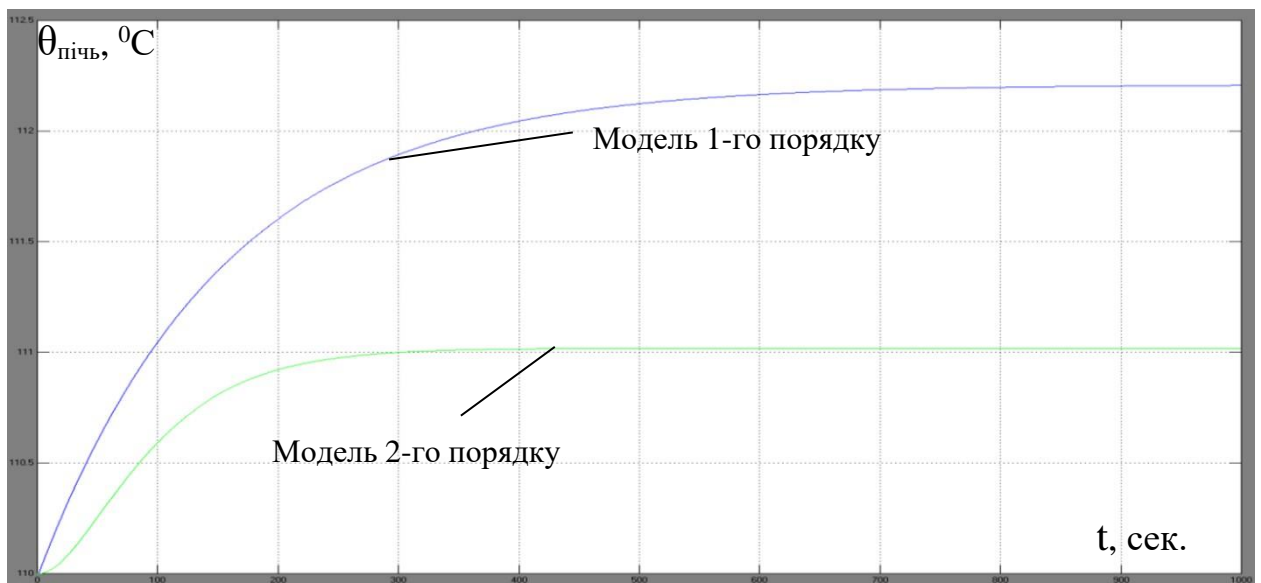


Рис. 4.10 – Результати моделювання ОК по каналу « $P_{\text{газ}} - \theta_{\text{піч}}$ »

2.6.3 Розробка схем моделювання каналів статички, отриманих статичних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними статичними характеристиками.

Модель статичної характеристики:

$$\theta_{\text{печ.}} = 0 \cdot u_{\text{газ}}^3 + 2.4 \cdot 10^{-7} \cdot u_{\text{вод.}}^3 + 1.6 \cdot 10^{-6} \cdot P_{\text{газ}}^3 + 0 \cdot u_{\text{газ}}^2 + 5.17 \cdot 10^{-9} \cdot u_{\text{вод.}}^2 + 1.98 \cdot 10^{-8} \cdot P_{\text{газ}}^2 + 3.51 \cdot u_{\text{газ}} + 0.37 \cdot u_{\text{вод.}} + 0.15 \cdot P_{\text{газ}} + 0.87$$

– температури 2-го етапу випечки хлеба

$$M_{\text{печ.}} = 0.003 \cdot u_{\text{газ}}^3 + 0 \cdot u_{\text{вод.}}^3 + 2.4 \cdot u_{\text{газ}}^2 + 1.17 \cdot u_{\text{вод.}}^2 + 0.94 \cdot u_{\text{газ}} + 0.6 \cdot u_{\text{вод.}} + 0.997$$

– воложності 1-го етапу випечки хлеба

Для виконання цього розділу роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel. Експериментальні дані для перевірки моделі статички наведені в таблиці 3, представлені дані графіках рис.4.11-4.14.

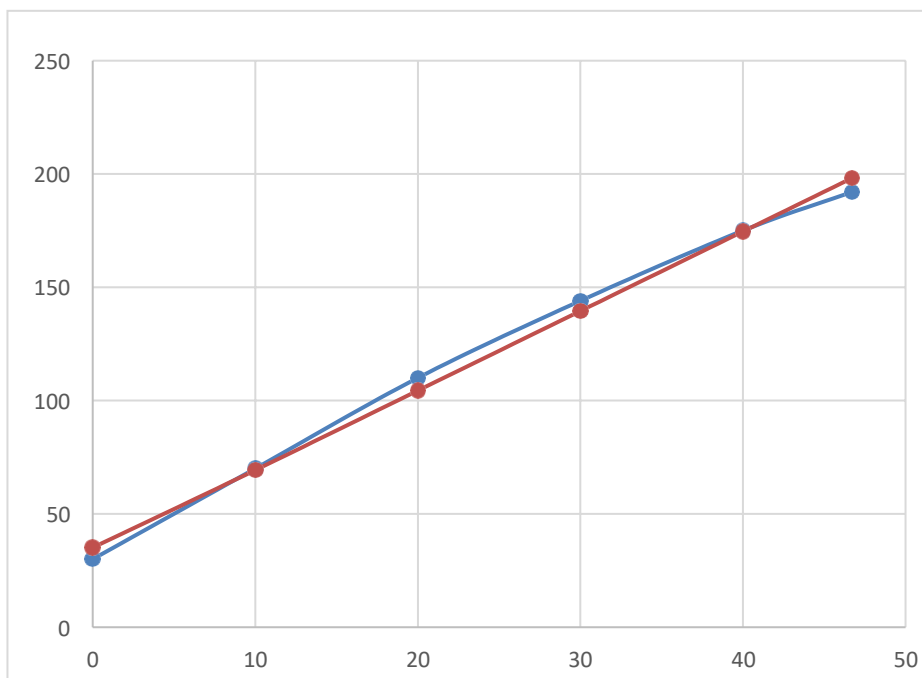


Рис.4.11 – Результати моделювання статичної характеристики ОК по каналу $U_{\text{газ}} - \Theta_{\text{піч}}$

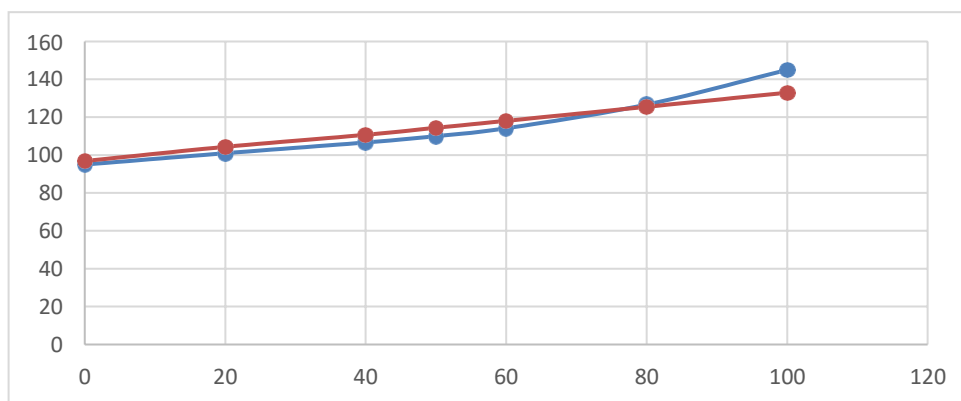


Рис.4.12 – Результати моделювання статичної характеристики ОК по каналу $U_{\text{вод}} - \Theta_{\text{піч}}$

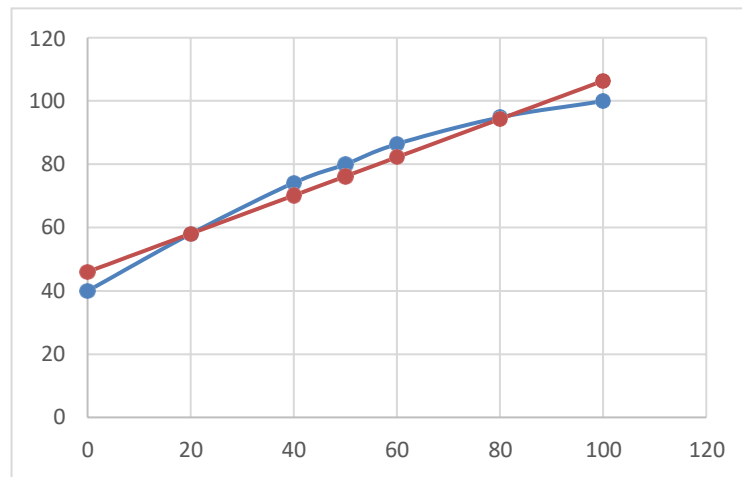


Рис.4.13 – Результати моделювання статичної характеристики ОК по каналу $U_{\text{вод}} - M_{\text{печь}}$

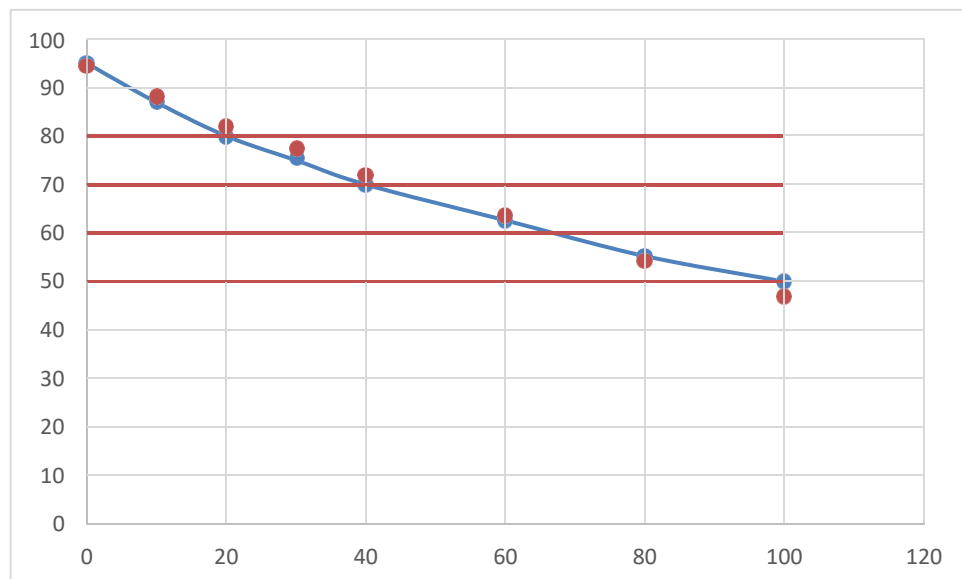


Рис.4.14 – Результати моделювання статичної характеристики ОК по каналу $U_{\text{газ}} - M_{\text{печь}}$

2.6.4 Розробка схем моделювання повних моделей каналів перетворення координатних дій.

Повна модель каналів ОК містить у собі моделі каналів управління з урахуванням статичної характеристики.

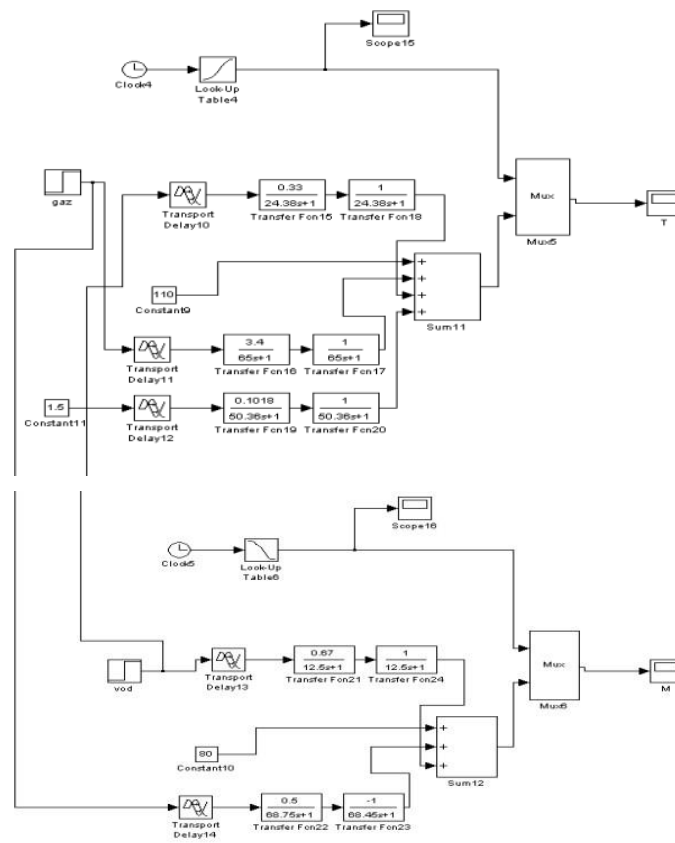


Рис.4.15 – Схема моделювання повної моделі каналів ОК

Перехідні характеристики $\Theta_{\text{печь}}$, $M_{\text{печь}}$ рис.4.16, 4.17 при зміні положення управляючого органа $U_{\text{газ}} = 30\%$, $U_{\text{вод}} = 50\%$.

Перехідні характеристики $\Theta_{\text{печь}}$, $M_{\text{печь}}$ рис.4.17, 4.18 при зміні положення управляючого органа $U_{\text{газ}} = 20\%$, $U_{\text{вод}} = 40\%$.

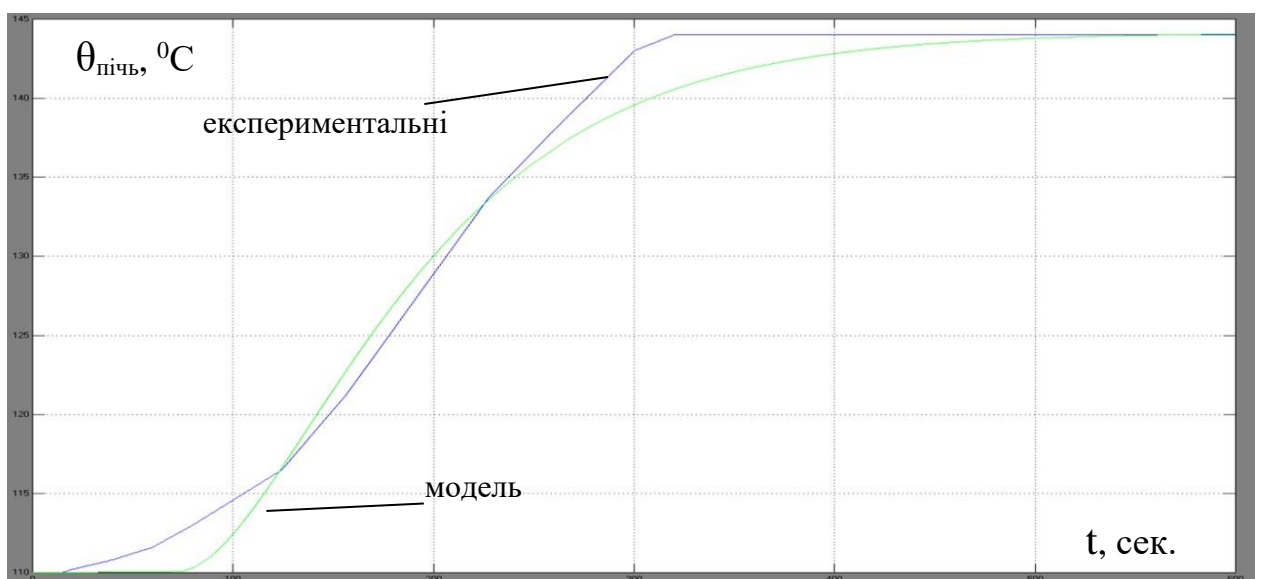


Рис.4.16 – Перехідна характеристика зміни $\Theta_{\text{підч}}$ при зміні положення $U_{\text{газ}}$
 $=30\%$

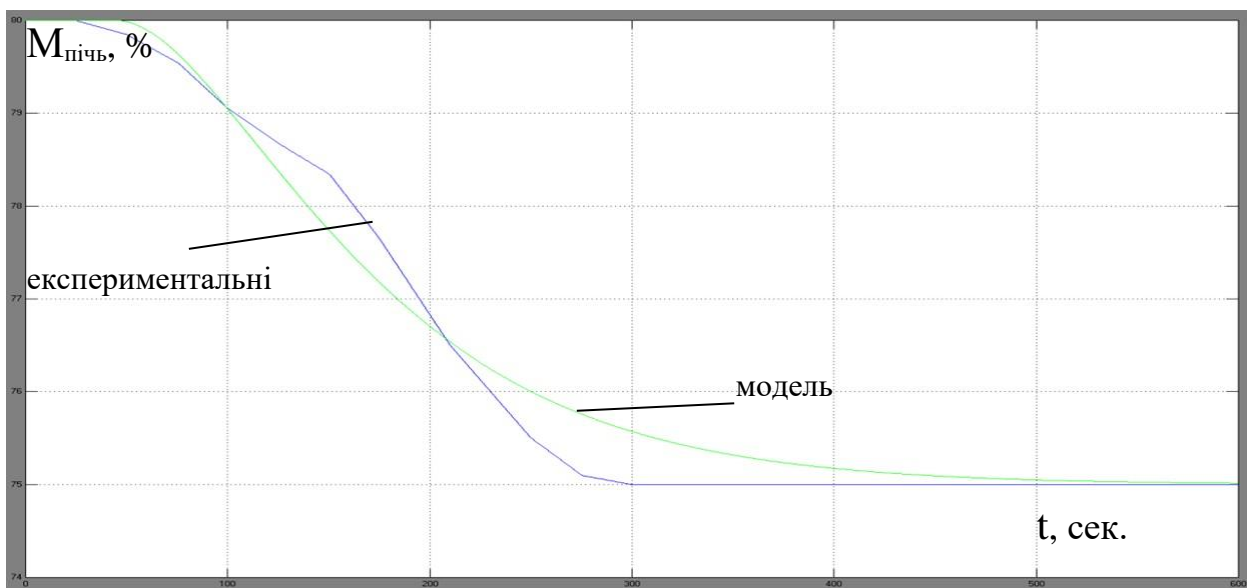


Рис.4.17 – Перехідна характеристика зміни $M_{\text{підч}}$ при зміні положення $U_{\text{газ}}$
 $=30\%$

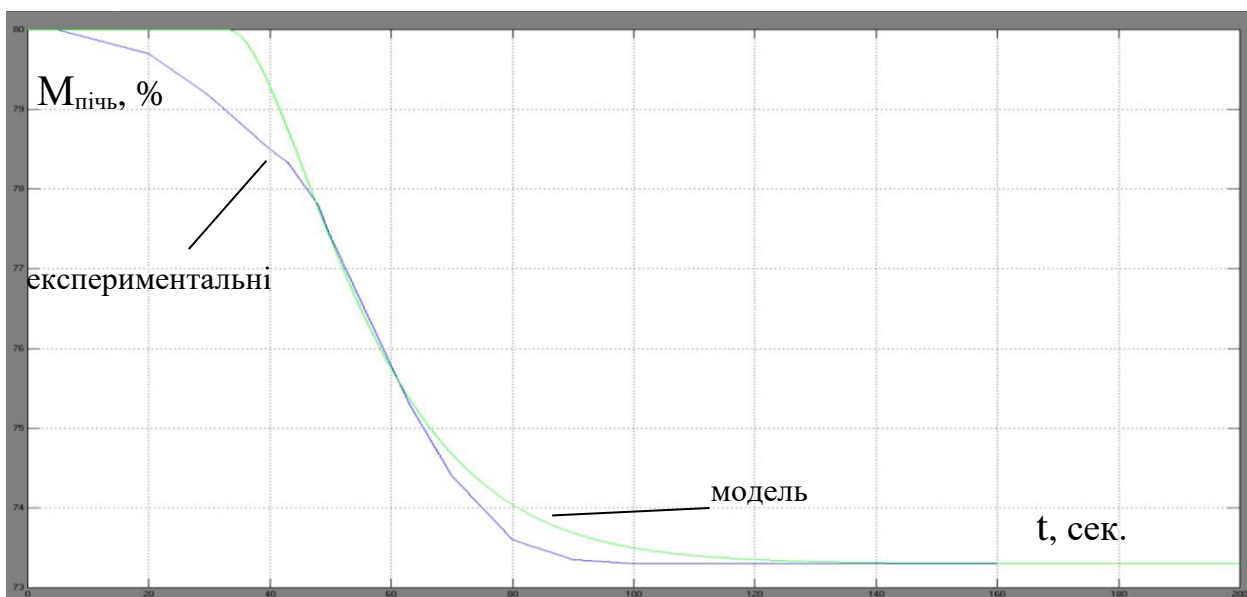


Рис.4.18 – Перехідна характеристика зміни $M_{\text{підч}}$ при зміні положення $U_{\text{вод}}$
 $=40\%$

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

$$S_x(\omega) = \frac{D_f \Delta t_2}{\alpha^2},$$

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

Модель №5.

$$R_f(\tau) = D_f e^{-\alpha|\tau|} \cdot \cos(\beta|\tau|); \quad S_f(\omega) = \frac{D_f 2\alpha(\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2}$$

$$\begin{aligned} S_f(j\omega) &= \frac{D_f 2\alpha(-(j)^2\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(-(j)^2\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 - 4\alpha^2(j)^2\omega^2} = \\ &= \frac{D_f 2\alpha(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} + j\omega) \cdot (\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - j\omega)}{((j^2\omega^2 + \beta^2 + \alpha^2) + 2\alpha j\omega) \cdot ((j^2\omega^2 + \beta^2 + \alpha^2) - 2\alpha j\omega)} = \\ &= \frac{\sqrt{D_f 2\alpha}(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} + j\omega) \cdot \sqrt{D_f 2\alpha}(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - j\omega)}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \beta^2 + \alpha^2 \quad (-j\omega)^2 - 2\alpha j\omega + \beta^2 + \alpha^2} \end{aligned}$$

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

А після заміни

$$W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{\sqrt{2 \cdot D_f \cdot \alpha} \cdot \left(p + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \right)}{p^2 + 2\alpha p + \alpha^2 + \beta^2} = \frac{\sqrt{2 \cdot D_f \cdot \alpha} \cdot (\alpha^2 + \beta^2) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} p + 1 \right)}{(\alpha^2 + \beta^2) \cdot \left(\frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} p^2 + \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} p + 1 \right)}$$

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

де $k = \frac{1}{S_x(\omega)} \sqrt{2D_f\alpha}$, $T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}$, $\xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}$.

Для моделі №6

$$S_x(\omega) = \frac{D_f \Delta t_2}{\alpha^2} \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \beta^2 + \omega^2}$$



Бачимо, що

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

А після заміни

$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{S_x(\omega) \cdot \sqrt{D_f \alpha (\alpha^2 + \beta^2)}}{p^2 + 2\alpha p + \alpha^2 + \beta^2} = \frac{S_x(\omega) \cdot \sqrt{D_f \alpha (\alpha^2 + \beta^2)}}{(\alpha + \beta) \left(\frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} p + \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} p + 1 \right)}$$

Тоді

де

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} \quad T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \quad \xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}$$

Канал $U_{\text{газ}} - \Theta_{\text{піч}}$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання:

$$\alpha = 0,001847; \beta = 0,0005722$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{2,855}{2} = 1,4275$$

$$\Delta t_r = \frac{1}{(2 \dots 3) \cdot \alpha} = \frac{1}{(2 \dots 3) * 0,001847} = 270,7 \dots 180,47$$

Виберемо крок генерації, рівним 200.

$$S_x(\omega) = G_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_r}{3} = 1,4275^2 \cdot \frac{2 \cdot 200}{3} = 271,7$$

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{2}{271,7} \cdot \sqrt{\frac{2,04 \cdot 0,001847}{0,001847^2 + 0,0005722^2}} = 0,23$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,001847^2 + 0,0005722^2}} = 517,17$$

$$\xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0,001847}{\sqrt{0,001847^2 + 0,0005722^2}} = 0,96$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра

$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{0.23}{517.17^2 p^2 + 2 \cdot 0.96 \cdot 517.17 \cdot p + 1}$$

Канал $U_{\text{вод}}-M_{\text{піч}}$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання:

$$\alpha = 0,001484; \beta = 0,001407$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{1.324}{2} = 0.662$$

$$\Delta t_r = \frac{1}{(2 \dots 3) \cdot \alpha} = \frac{1}{(2 \dots 3) * 0,001484} = 336,9 \dots 224,6$$

Виберемо крок генерації, рівним 300.

$$S_x(\omega) = G_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_r}{3} = 0,662^2 \cdot \frac{2 \cdot 300}{3} = 87,6$$

$$k = \frac{1}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{2D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{87,6} \cdot \sqrt{\frac{2 * 0.44 \cdot 0.001484}{0.001484^2 + 0.001407^2}} = 0.2$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0.001484^2 + 0.001407^2}} = 487.95$$

$$\xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0.001484}{\sqrt{0.001484^2 + 0.001407^2}} = 0.72$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра

$$W_{\phi\phi}(p) = 0,2 \frac{487,95p + 1}{487,95^2 p^2 + 2 \cdot 0.72 \cdot 487,95 \cdot p + 1}$$

Для випадкового процесу, що відображає контрольоване збурення:

$$\alpha = 0,032; \beta = 0,0067;$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{309,7}{2} = 154,85$$

$$\Delta t_r = \frac{1}{(2 \dots 3) \cdot \alpha} = \frac{1}{(2 \dots 3) \cdot 0,032} = 15,63 \dots 10,42 \text{ c}$$

Виберемо крок генерації, рівним 12

$$S_x(\omega) = G_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_r}{3} = 154,85^2 \cdot \frac{2 \cdot 12}{3} = 191828,18$$

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{2}{191828,18} \cdot \sqrt{\frac{23978,52 \cdot 0,0032}{0,0032^2 + 0,0067^2}} = 0,012$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,032^2 + 0,0067^2}} = 134,68$$

$$\xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0,0032}{\sqrt{0,032^2 + 0,0067^2}} = 0,43$$

Вихідна передаточна функція формуючого фільтра

$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{0,012}{134,68^2 p^2 + 2 \cdot 0,43 \cdot 134,68 \cdot p + 1}$$

4.2.2 Розробка схем моделювання, генерація випадкових складових моделей вхідних дій, параметрична ідентифікація їх імовірнісних характеристик і підтвердження адекватності моделей.

Сигнал неконтрольованих збурень

Повинен відповідати таким статичним параметрам:

Канал $U_{\text{газ}} - \Theta_{\text{піч}}$

$$M_f = 108.7$$

$$\sigma_f = 2.855$$

$$\alpha = 0.001847$$

$$\beta = 0.0005722$$

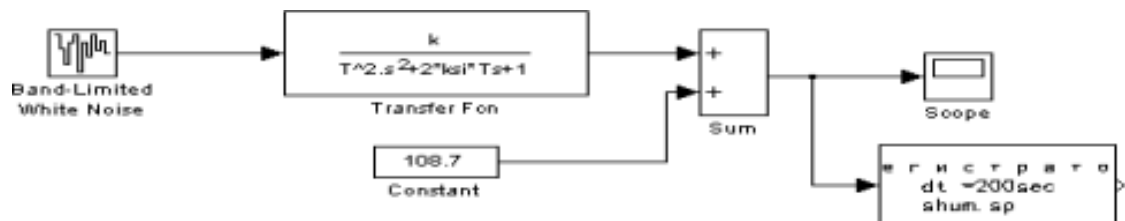


Рис.4.21 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|108.7 - 108.7|}{108.7} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,08194 - 2,855|}{0,08194} \cdot 100\% = 3384\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,001 - 0,001847|}{0,001} \cdot 100\% = 84,7\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta\beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,00105 - 0,0005722|}{0,00105} \cdot 100\% = 45,5\%$$

Похибка відтворення σ_f , β_f , більша від 5%, а значить необхідно провести коректування параметрів формуючого фільтра. Після коректування були отримані наступні параметри формуючого фільтра: $k = 8,24$; $T = 100\text{с}$; $\zeta = 5,221$.

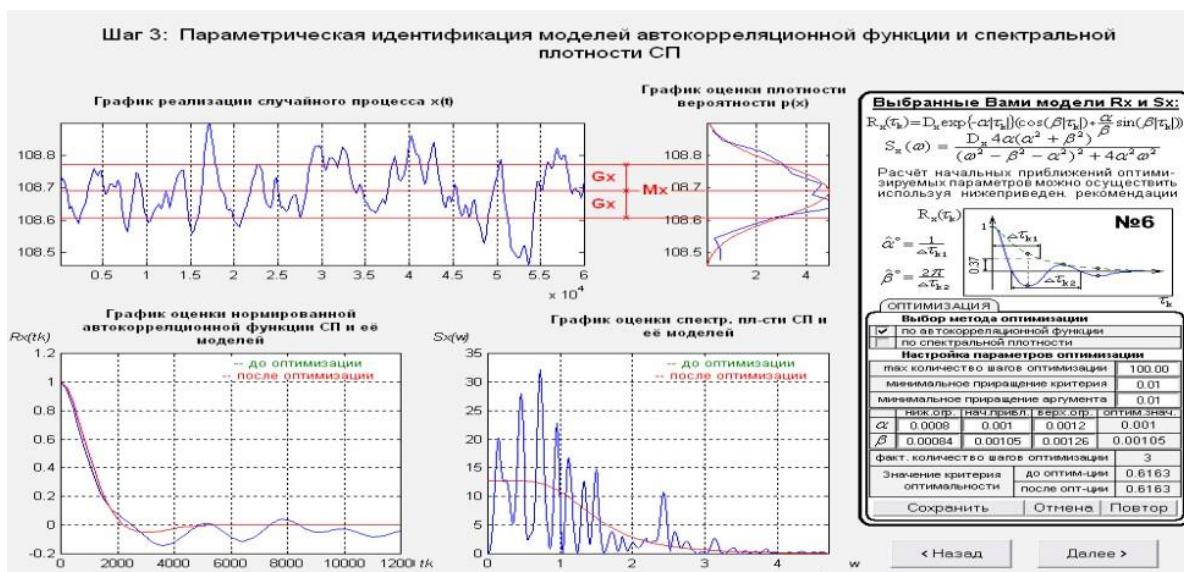


Рис.4.22 – Результат моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

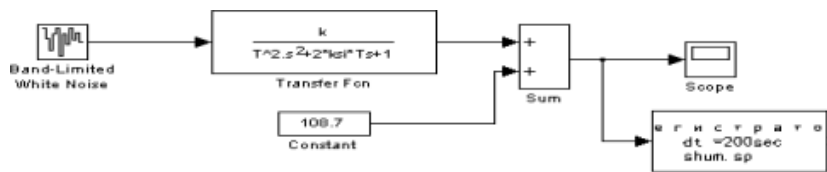


Рис. 4.23– Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має скоректовані параметри

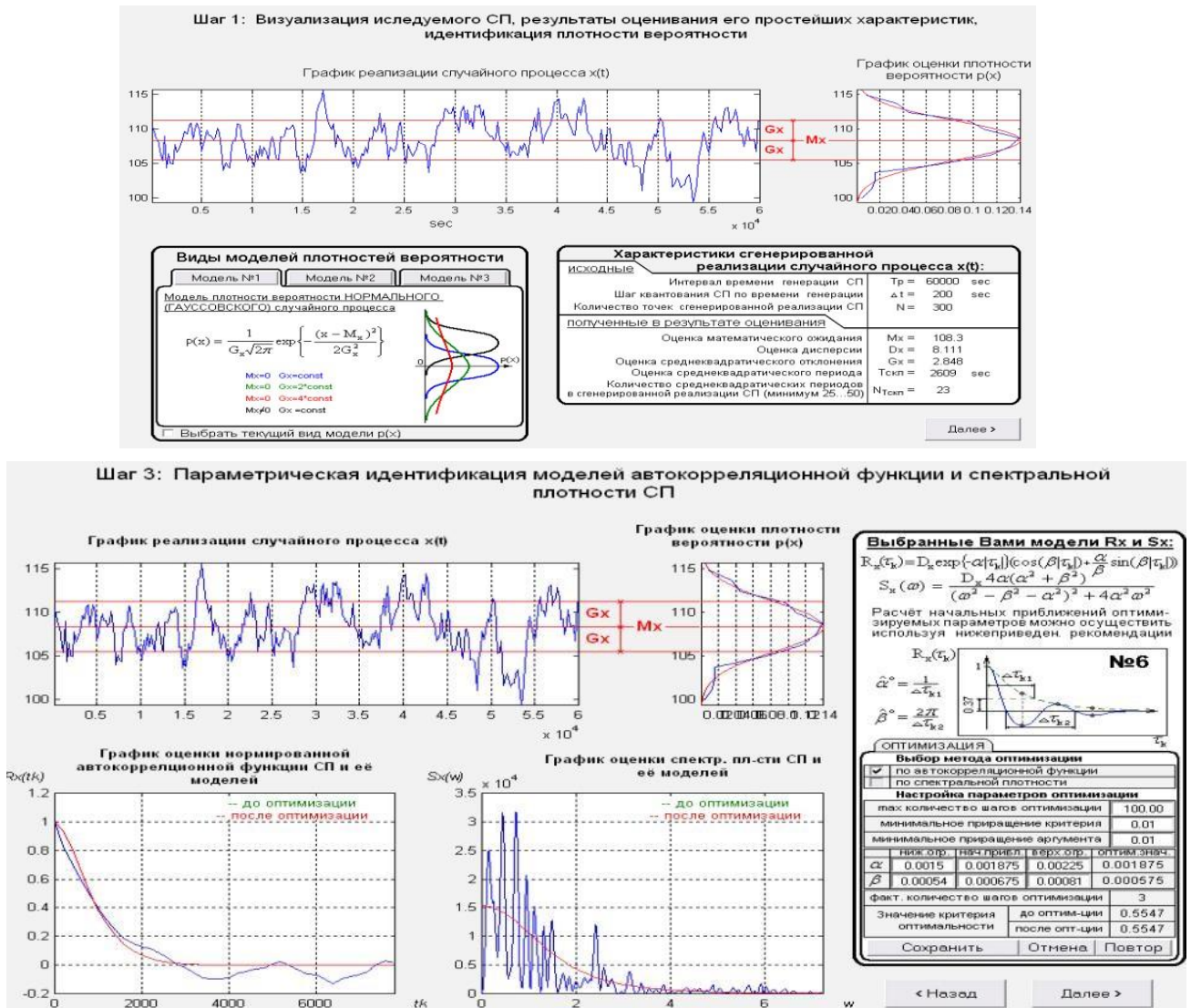


Рис. 4.24– Результат моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формулюючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|108,3 - 108,3|}{108,3} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|2,848 - 2,855|}{2,848} \cdot 100\% = 0,25\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,001875 - 0,001847|}{0,001875} \cdot 100\% = 1,49\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta\beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,000575 - 0,0005722|}{0,000575} \cdot 100\% = 0,00028\%$$

Похибка відтворення σ_f , α і β менше 5%, а, значить, точність моделі неконтрольованих збурювань є достатньою.

Канал $U_{\text{вод}}-M_{\text{пічч}}$

$$M_f = 80.05$$

$$\sigma_f = 1.324$$

$$\alpha = 0.001484$$

$$\beta = 0.001407$$

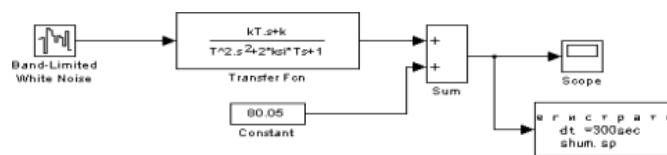


Рис.4.25 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|80.04 - 80.05|}{80.04} \cdot 100\% = 0,0012\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta\sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,058 - 1,324|}{0,058} \cdot 100\% = 2182\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta\alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0007 - 0,001484|}{0,0007} \cdot 100\% = 112\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta\beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0017 - 0,001407|}{0,0017} \cdot 100\% = 17,24\%$$

Похибка відтворення σ_f , β_f , більша від 5%, а значить необхідно провести коректування параметрів формуючого фільтра. Після коректування були отримані наступні параметри формуючого фільтра: $k = 8,05$; $T = 780\text{с}$; $\xi = 1,22$.

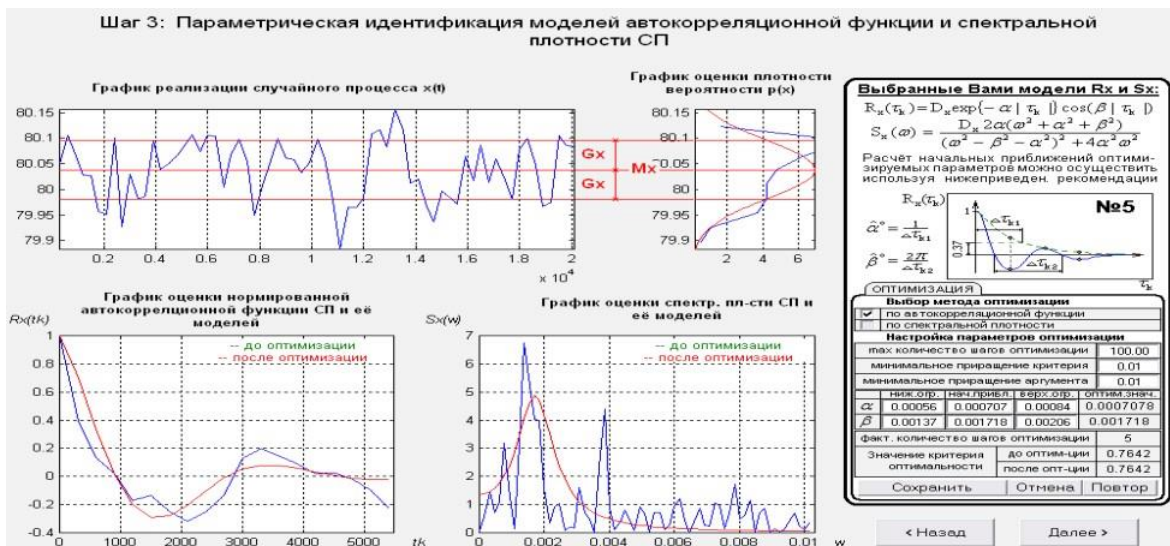
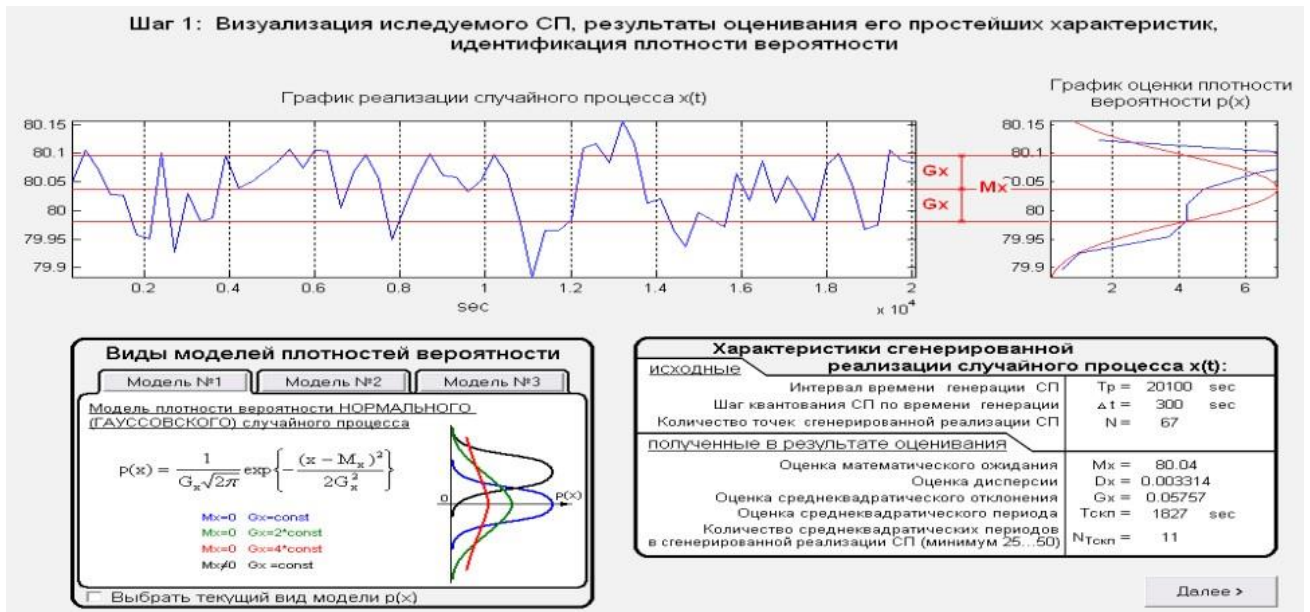


Рис.4.26 – Результат моделирования неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

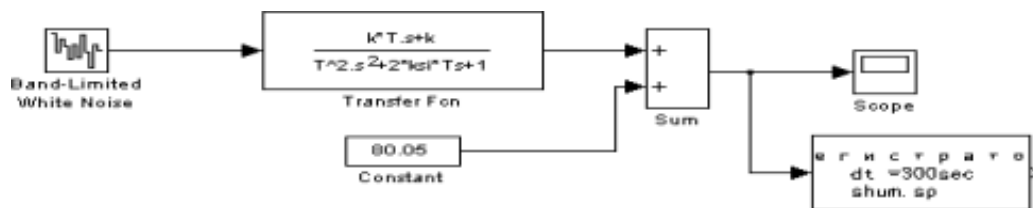


Рис. 4.27– Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має скоректовані параметри

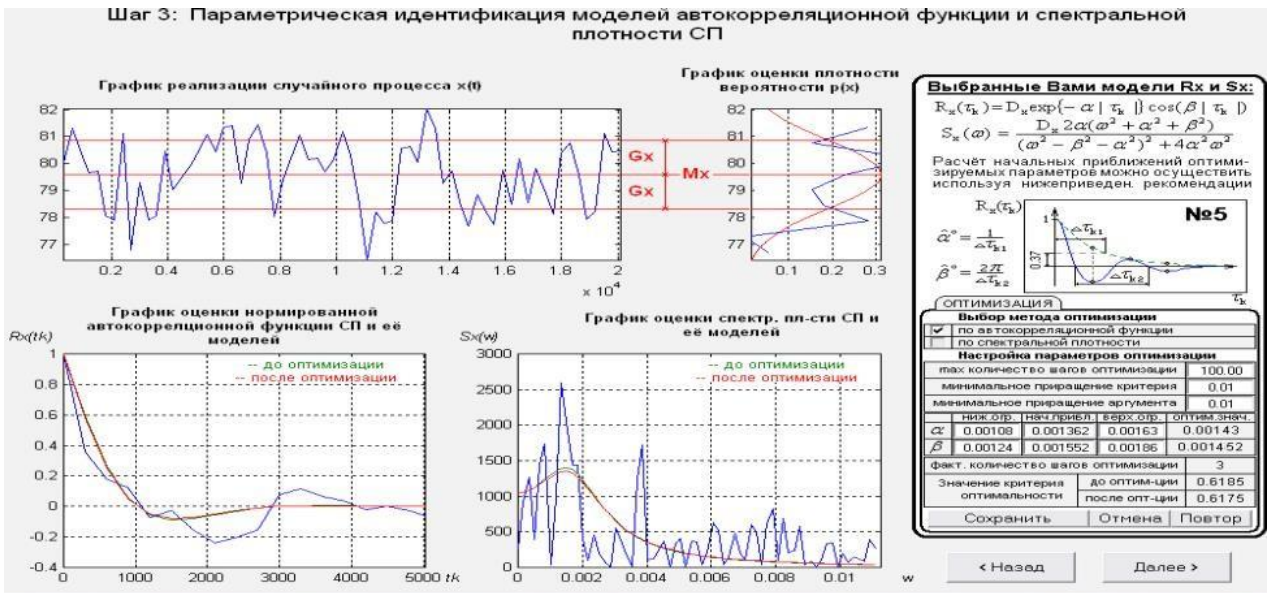
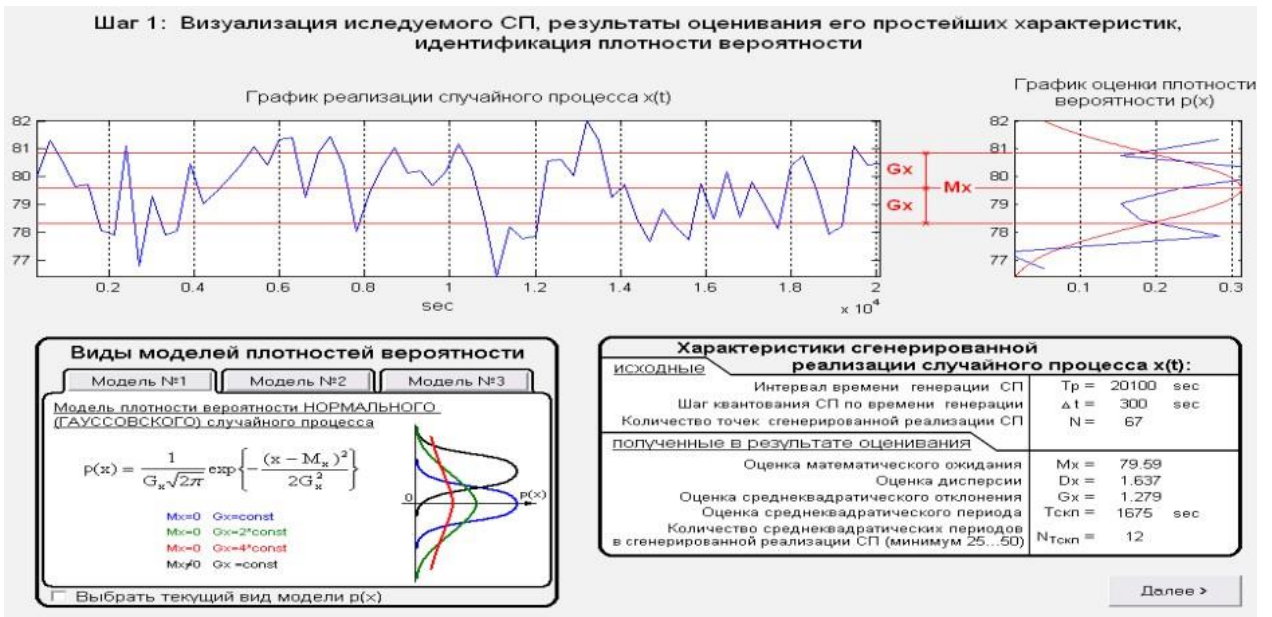


Рис. 4.28– Результат моделирования неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|79,59 - 80,5|}{79,59} \cdot 100\% = 1,14\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|1,279 - 1,324|}{1,279} \cdot 100\% = 4,5\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,00143 - 0,001484|}{0,00143} \cdot 100\% = 3,78\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta\beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,001452 - 0,001407|}{0,001452} \cdot 100\% = 3,1\%$$

Похибка відтворення σ_f , α і β менше 5%, а, значить, точність моделі неконтрольованих збурювань є достатньою.

Сигнал контрольованих збурень

Повинен відповідати таким статичним параметрам:

Канал $P_{\text{Газ-}\Theta_{\text{печь}}}$

$$M_f = 1451$$

$$\sigma_f = 309,7$$

$$\alpha = 0.0032$$

$$\beta = 0.0067$$

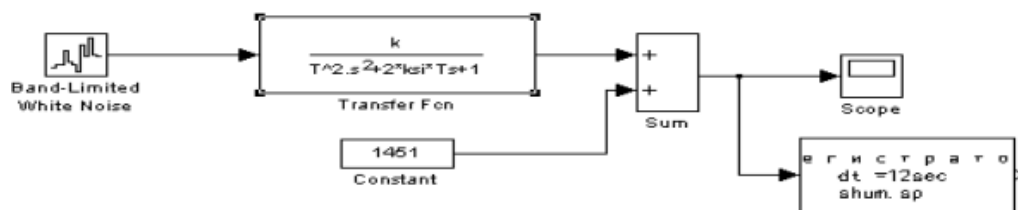


Рис.4.29 – Схема моделювання контрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|1451 - 1451|}{1451} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta\sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,3229 - 309,7|}{0,3229} \cdot 100\% = 955812\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta\alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0039 - 0,0032|}{0,0039} \cdot 100\% = 18\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta\beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0064 - 0,0067|}{0,0064} \cdot 100\% = 4,7\%$$

Похибка відтворення σ_f , α , більша від 5%, а значить необхідно провести коректування параметрів формуючого фільтра. Після коректування були отримані наступні параметри формуючого фільтра: $k = 0,1097$; $T = 130,68\text{с}$; $\xi = 0,4$.

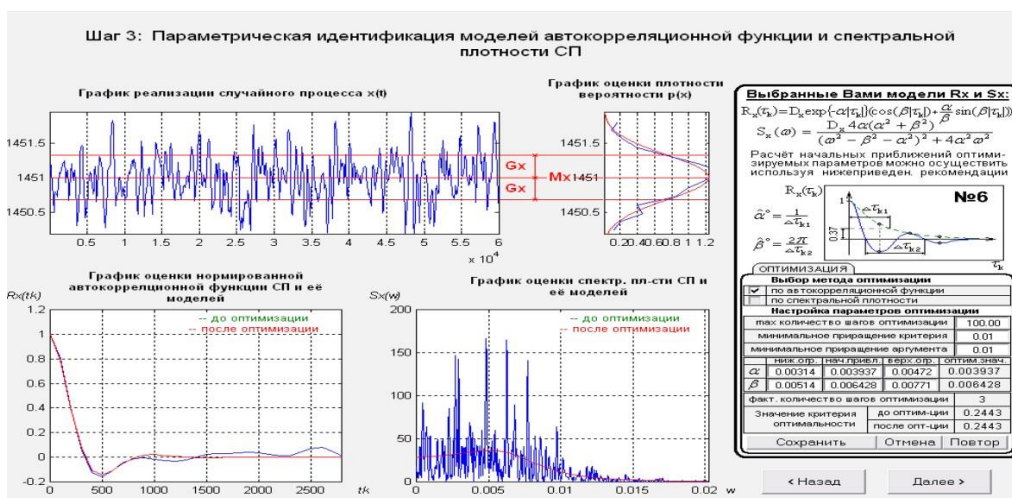
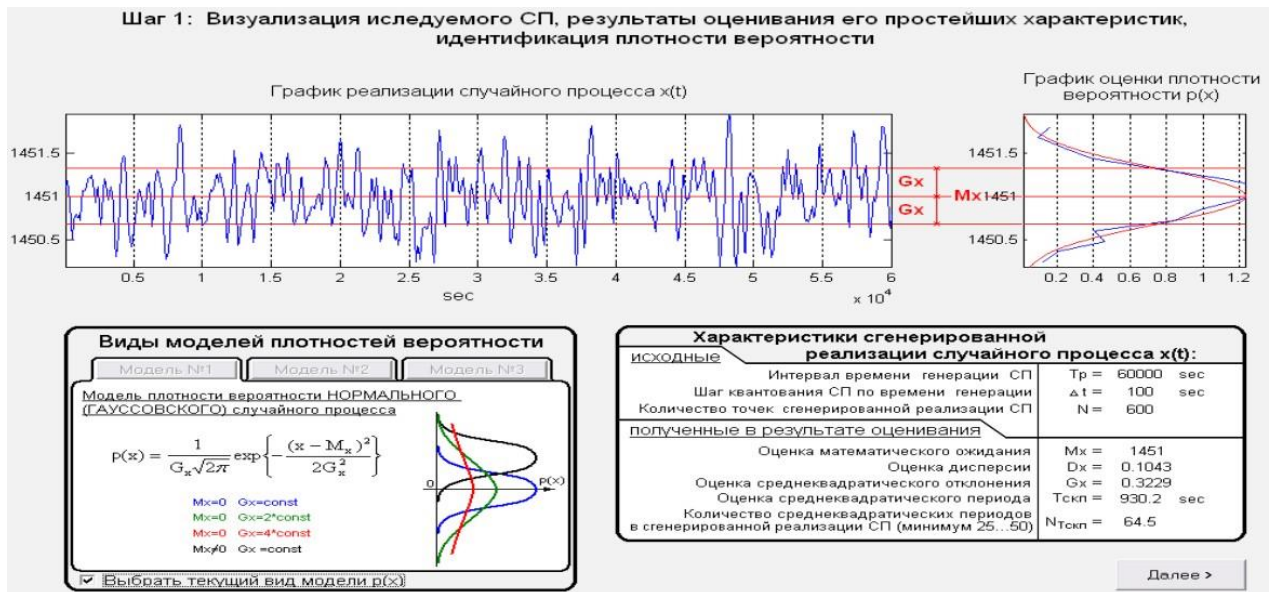


Рис.4.30 – Результат моделювання контрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

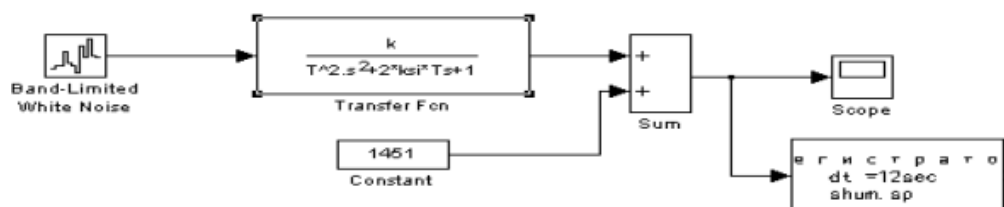


Рис. 4.31– Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має скоректовані параметри

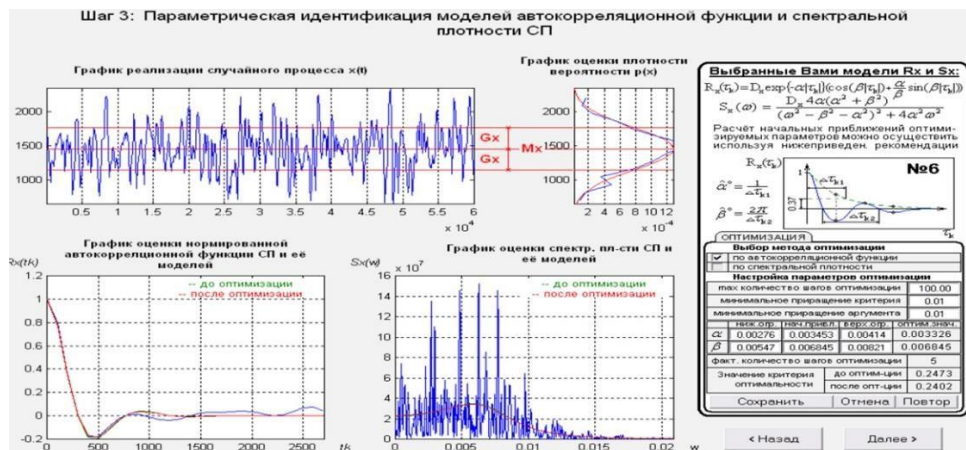
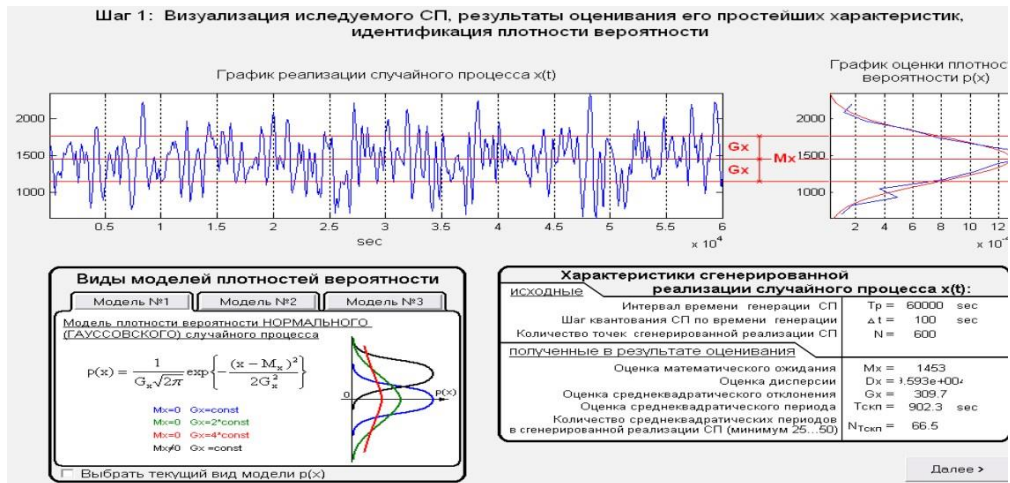


Рис. 4.32– Результат моделирования неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формууючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|1453 - 1451|}{1453} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|309,7 - 309,7|}{309,7} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,003326 - 0,0032|}{0,003326} \cdot 100\% = 3,79\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta_f - \hat{\beta}|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,006845 - 0,0067|}{0,006845} \cdot 100\% = 2,16\%$$

Похибка відтворення σ_f , α і β менше 5%, а, значить, точність моделі

неконтрольованих збурювань є достатньою.

2.6.8 Реалізація у середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту керування і підтвердження її адекватності .

2.6.9 Розробка повної схеми моделювання об'єкту.

Повна модель ОК містить в собі повну модель каналів і модель вхідних дій. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис.4.29

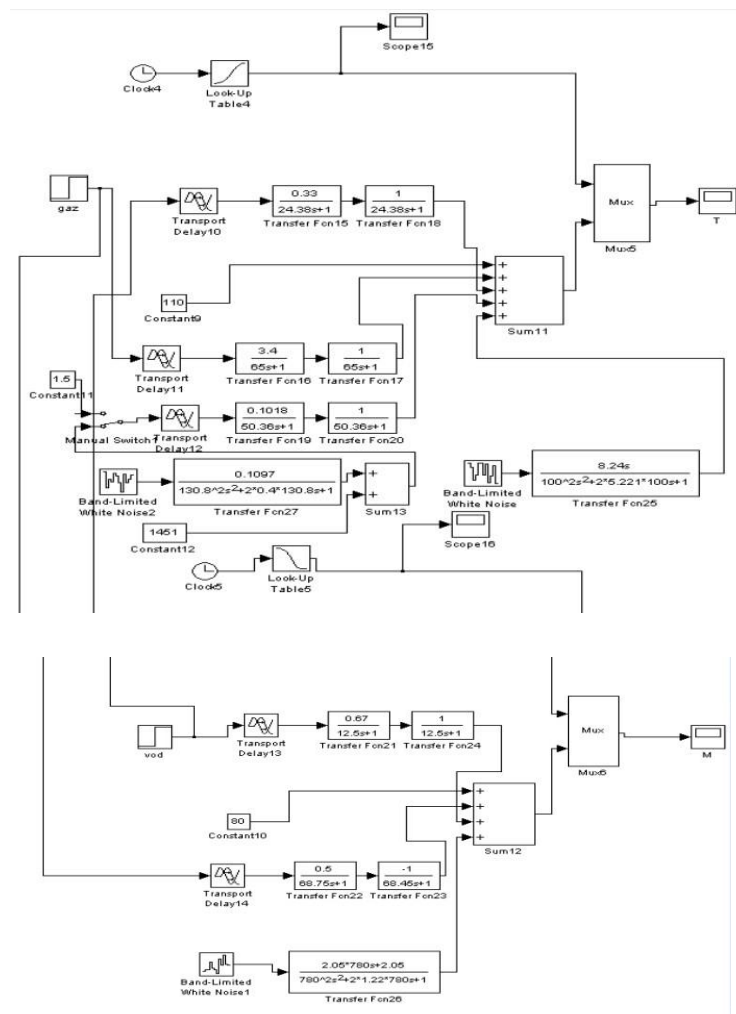
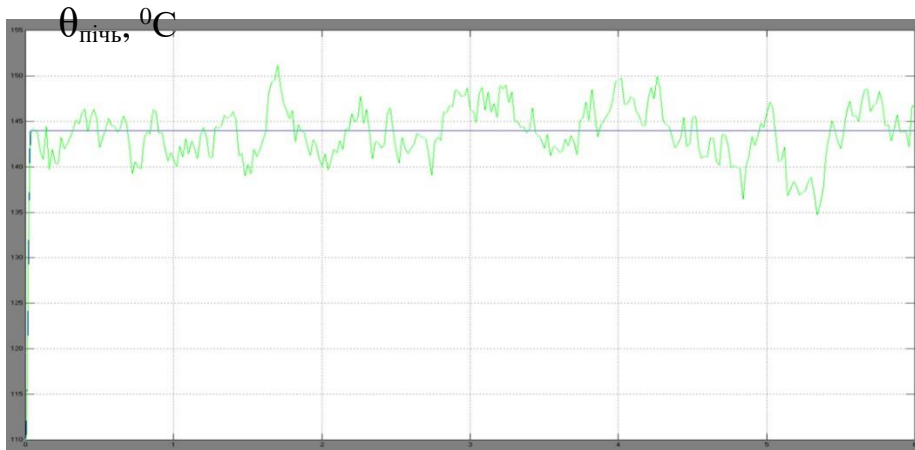


Рис.4.33– Схема моделювання повної моделі ОК

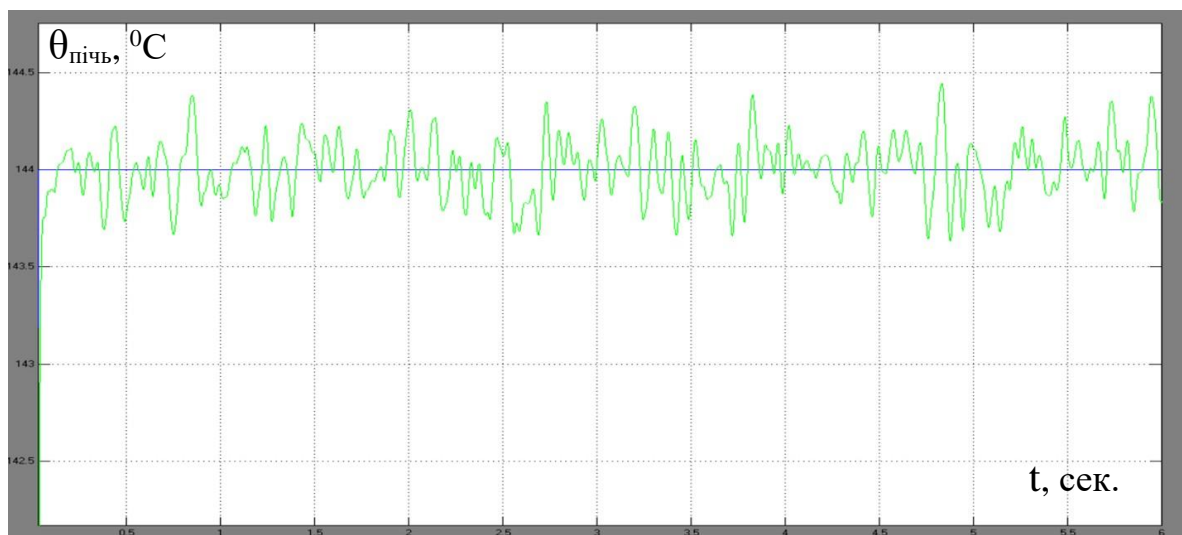
Проведення з моделлю об'єкта машинних експериментів, аналогічних тим натурним, при яких здійснювався збір інформації про властивості об'єкту, порівняння результатів цих експериментів, прийняття висновку про відповідність моделі експериментальним даним.

Проведемо експерименти з повною моделлю ОК. Результати експерименту в результаті дії стохастичних неконтрольованих збурень – на рис. 4.30-4.33



t, сек.

Рис.4.34 – Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень по каналу $U_{\text{газ}}-\Theta_{\text{пичь}}$



t, сек.

Рис. 4.35 – Результати експерименту в умовах дії стохастичного контрольованого збурення по каналу $U_{\text{газ}}-\Theta_{\text{пичь}}$



Рис. 4.36 – Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих і контрольованих збурень $U_{\text{газ}}-\Theta_{\text{піч}}$

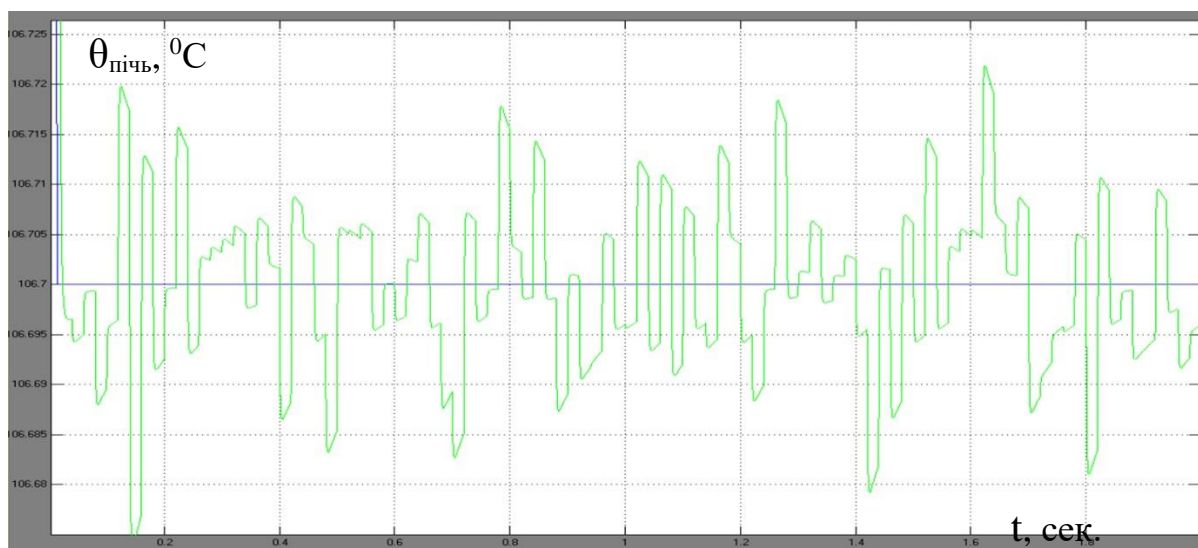


Рис.4.37 – Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень по каналу $U_{\text{вод}}-\Theta_{\text{піч}}$

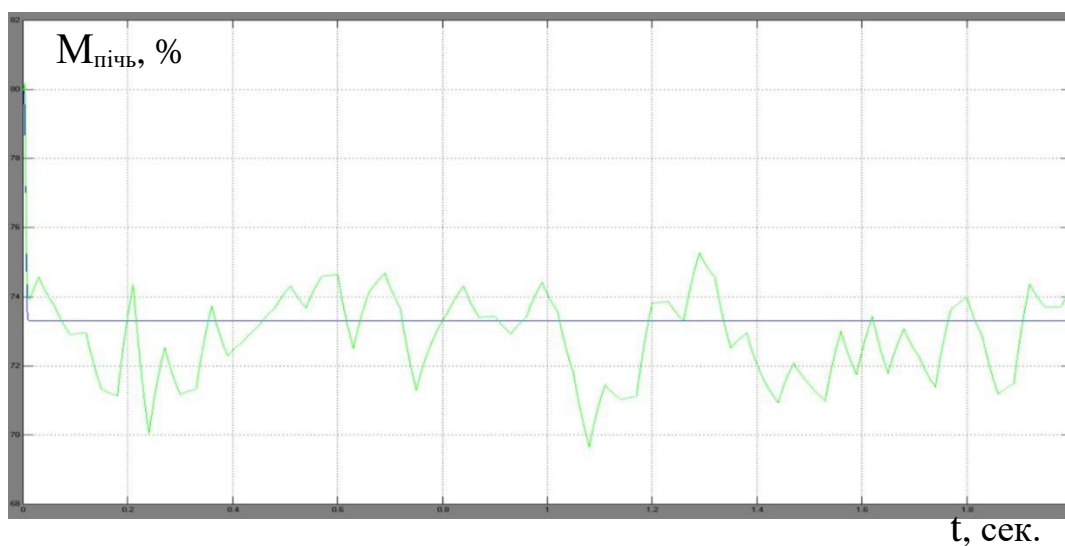


Рис.4.38 – Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень по каналу $U_{\text{вод}}-M_{\text{піч}}$

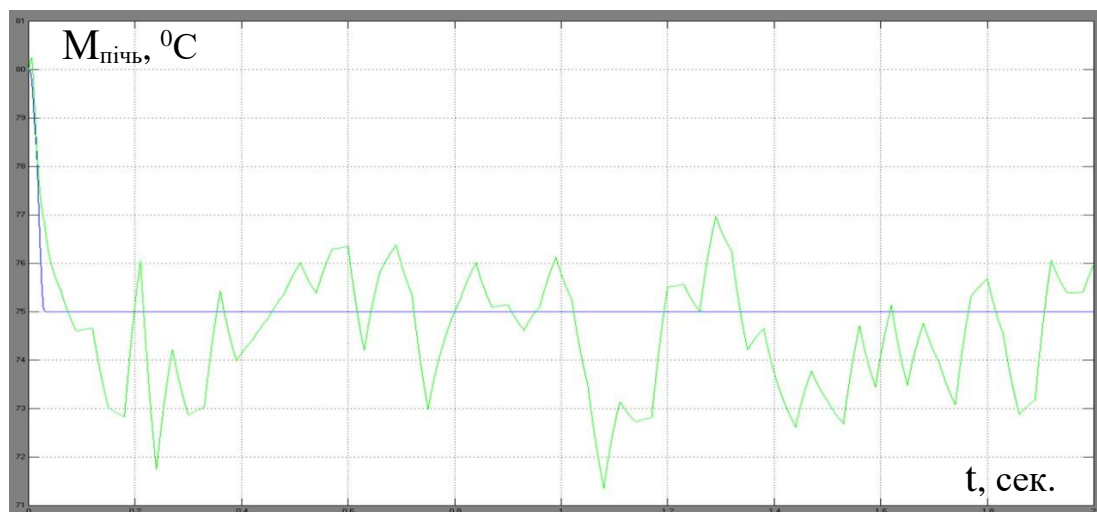


Рис.4.39 – Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень по каналу $U_{\text{газ}}-M_{\text{піч}}$

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР, ОТРИМАННЯ ЦИФРОВИХ АНАЛОГІВ ОБРАНИХ АЛГОРИТМІВ

3.1. Формування задач управління технологічним агрегатом

3.1.1 Декомпозиція загальної задачі управління технологічним агрегатом та формування часних задач.

Загальною метою управління є управління матеріальними та енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети управління можна виділити основне завдання:

- Підтримання вихідної змінної об'єкта управління $\theta_{nich.}$, $M_{nich.}$ на її заданому значенні $\theta_{nich.}$, $M_{nich.}$ - завдання регулювання.
- Пристосування в процесі роботи об'єкта управління до його мінливим властивостям - завдання адаптації;
- Забезпечення найкращих (оптимальних) у певному (заданому) сенсі режимів роботи об'єкта управління - завдання оптимізації;
- Забезпечити включення і відключення при пусках, остановах, аварійних ситуаціях - завдання логічного керування.

3.1.2 Обґрунтування необхідності й доцільності (для розглянутої ситуації) автоматизації кожної з часних задач управління.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожну з завдань управління.

Для **задачі регулювання** автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної та економічно доцільною реалізації технологічного процесу випікання хліба в ротаційній печі Roto Passat необхідно регулювати температуру печі $\theta_{печ.}$, і вологість у камері печі $M_{печ.}$.

Для **задачі адаптації** необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта управління до його мінливим властивостям, завданням.

Розглянутий технологічний процес є об'єктом періодичної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу змінюються мало. Це завдання можна вирішити, міняючи (коригуючи) настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для **задачі оптимізації** необхідно автоматизувати пошук оптимального проходження процесу, мінімізувати витрати енергії, брак продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу випічки хліба це завдання можна вирішити, підвищивши вимоги до вирішення завдання регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження витрат пари і грюючих газів на реалізацію технологічного процесу.

Процес випічки хліба в ротаційній печі є об'єктом періодичної дії. Для нього є характерним тривалий робочий режим, на який об'єкт виводять в дистанційному режимі. Режими пуску і зупинки подачі пари, в камеру випічки, і продуктів горіння є неекономічними режимами роботи установки. Підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах пуску і зупинки можна досягти, автоматизувавши ці завдання. Тому для розглянутого технологічного процесу актуальна автоматизація **задачі логічного керування**.

3.1.3 Формалізація вимог до вирішення задачі регулювання та вибір принципу побудови системи автоматичного регулювання

3.1.4 Формалізація вимог до гранично-допустимих статичних і динамічних відхилень регульованих змінних від відповідних заданих значень перевідних і динамічно сталих процесів і подання їх у формі регламентних зон регульованих змінних.

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. Таблицю 1.1) температура в камері печі $\theta_{\text{печ}}$ повинна підтримуватися на рівні

$$\left\{ \begin{array}{l} 110^{\circ}\text{C}, t < 7 \text{ мин.} \\ 210^{\circ}\text{C}, 27 > t > 7 \text{ мин.} \\ \hline 40^{\circ}\text{C}, 0 > t > 57 \text{ мин.} \end{array} \right.$$

з точністю $\pm 10^{\circ}\text{C}$. За цим параметром допустимі короткочасні відхилення до $\pm 20^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 100 секунд, а вологість в камері печі $M_{\text{печ}}$ повинна підтримуватися на рівні

$$\left\{ \begin{array}{l} 80\%, t < 7 \text{ мин.} \\ 40\%, 27 > t > 7 \text{ мин.} \\ \hline 40\%, 0 > t > 57 \text{ мин.} \end{array} \right.$$

з точністю $\pm 1,5\%$. За цим параметром допустимі короткочасні відхилення до $\pm 2\%$ протягом часу не більше 200 секунд.

Таблиця 1. Регламентів

Найменування параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Найменування значення параметра, або функція зміни номінального значення	Допустимі відхилення		
				Тривалі ($t \rightarrow \infty$)	Короткочасні ($0 < t < \infty$)	
				величина	величина	Час, с
1. Температура в печі	$\theta_{\text{печ}}$	$^{\circ}\text{C}$	$110^{\circ}\text{C}, t < 7 \text{ мин.}$ $\{ 210^{\circ}\text{C}, 27 > t > 7 \text{ мин.}$ $40^{\circ}\text{C}, 0 > t > 57 \text{ мин.}$	5	20	400
2. Вологість в печі	$M_{\text{печ}}$	%	$80\%, t < 7 \text{ мин.}$ $\{ 50\%, 27 > t > 7 \text{ мин.}$ $40\%, 0 > t > 57 \text{ мин.}$	2	6,5	200

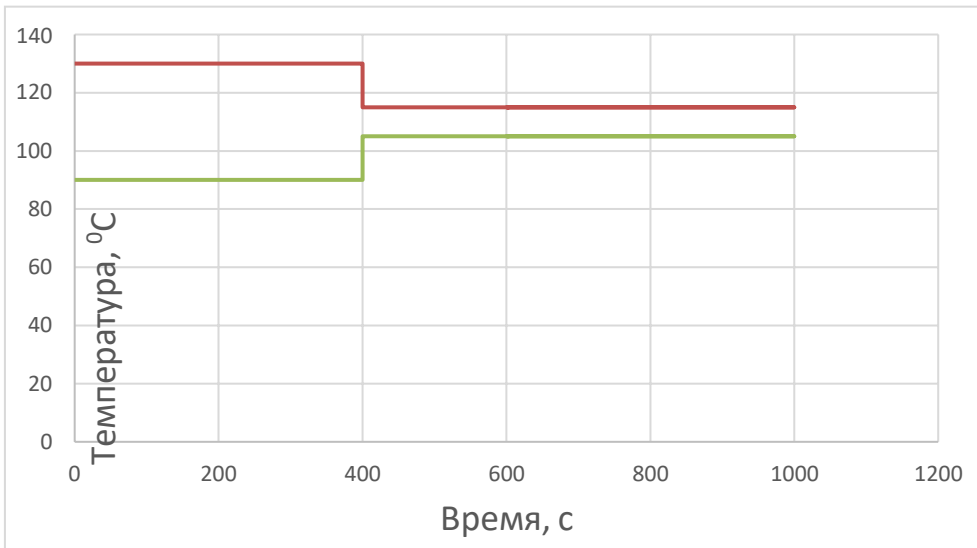


Рис. 1.1 – Регламентна зона температури в печі $\theta_{печ.}$, при випічці хліба на другій стадії.

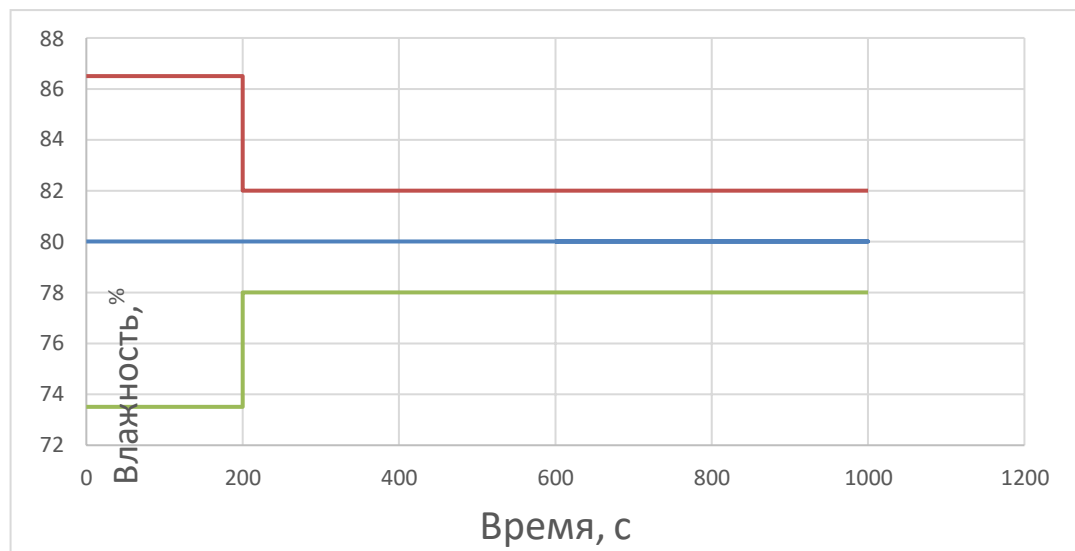


Рис. 1.2 - Регламентна зони вологості в печі $M_{печ.}$, при випічці хліба на першій стадії.

3.1.5 Формалізація інтегральних вимог до перехідних і динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегрального критерію оптимальності САР.

Задамося модульним критерієм оптимальності, оскільки нам необхідно підтримувати значення температури і вологості в ЗНО тривалий час, а також забезпечити швидкий перехід з одного періоду на інший.

Критерії оптимальності: зі штрафом швидкості - не зміг би забезпечити швидкий перехід ПП з одного періоду на інший, а квадратичний - потрібний ступінь загасання ПП.

$$J = \int_0^t \left[\left| \frac{(\Delta\theta_{\text{пiч.}}(t))}{\theta_{\text{пiч.}}^{\text{зд}}(t)} \right| + \left| \frac{(\Delta M_{\text{пiч.}}(t))}{M_{\text{пiч.}}^{\text{зд}}(t)} \right| \right] \cdot dt$$

де t – час ПП;

$\Delta\theta_{\text{пiч.}}(t)$ – відхилення температури печі від заданого значення.

$\Delta M_{\text{пiч.}}(t)$ – відхилення вологості в камері печі від заданого значення.

$M_{\text{пiч.}}^{\text{зд}}(t)$ – задане значення вологості повітря в камері печі.

$\theta_{\text{пiч.}}^{\text{зд}}(t)$ – задане значення температури в камері печі.

3.1.6 Вибір, обґрунтування і представлення у вигляді узагальненої структурної схеми принципу побудови системи автоматичного регулювання.

Для САР процесу випікання хліба (хлібобулочних виробів) у доступній, крім інформації про бажане стан ОУ, є інформація про поточний стан ОУ. Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу достатній для реалізації замкнутого принципу управління. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР температури пастеризації базової структури. Структурна схема цього принципу управління наведена на малюнку 1.3.

Підвищення динамічної точності САР можна досягти за рахунок компенсації впливу перехресних каналів об'єкта, шляхом побудови автономної САР.

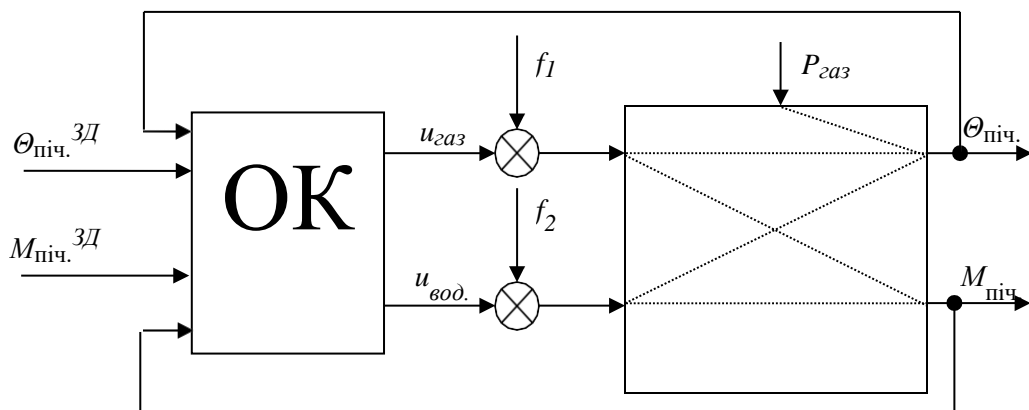


Рис. 1.3 – Структурна схема САР відповідно із замкнутим принципом управління

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПРОСТОЇ СТРУКТУРИ

3.2 Конкретизація структури САР і алгоритмів регулювання

3.2.1 Розробка на основі обраного загального принципу побудови САР, її найпростішої конкретної структури.

Координатна схема процесу випічки хліба в ротаційній печі наведена на малюнку 2.1.

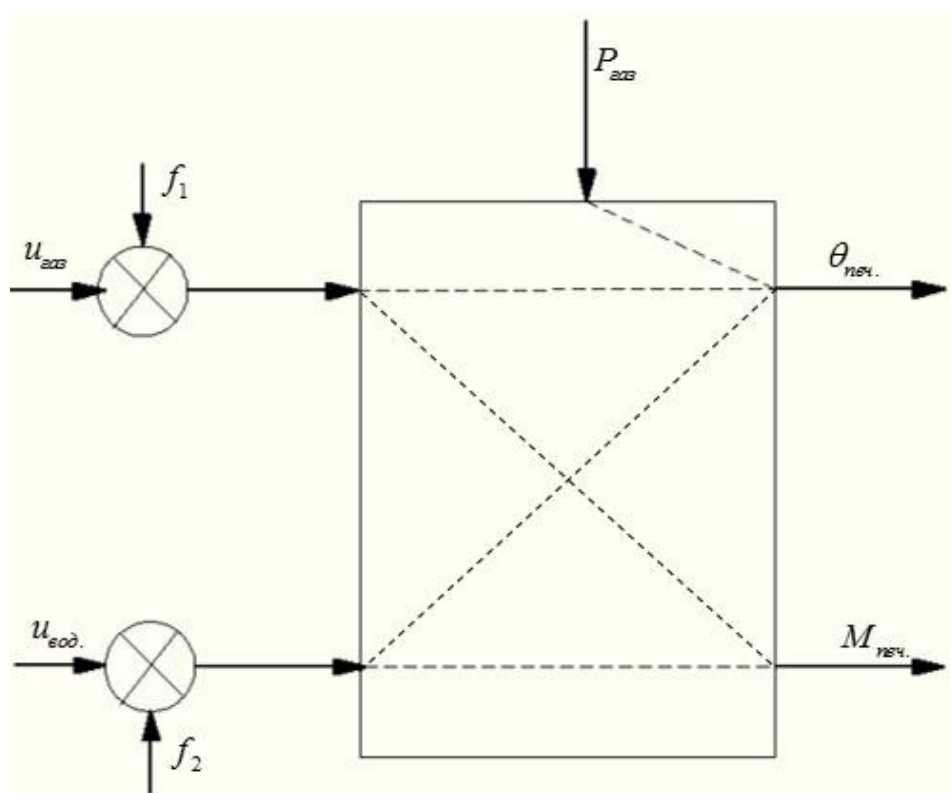


Рис. 2.1 – Структурна схема ТП (випічки хліба)

На рисунку:

$u_{газ}$ - керуючий вплив (регулююча змінна); положення вентиля газу (% , х.р.о.)

$u_{вод}$ - керуючий вплив (регулююча змінна); положення вентиля води(% , х.р.о.)

$\theta_{печ}$ - регульована змінна; температура повітря в печі ($^{\circ}\text{C}$)

$M_{печ}$ - регульована змінна; рівень відносної вологості повітря в печі (%)

$P_{газ}$ - контрольоване збурення; тиск у вентилі газу (кПа)

f_1, f_2 - неконтрольовані збурення;

Структурна схема САР базової структури наведена на рисунку 2.2.

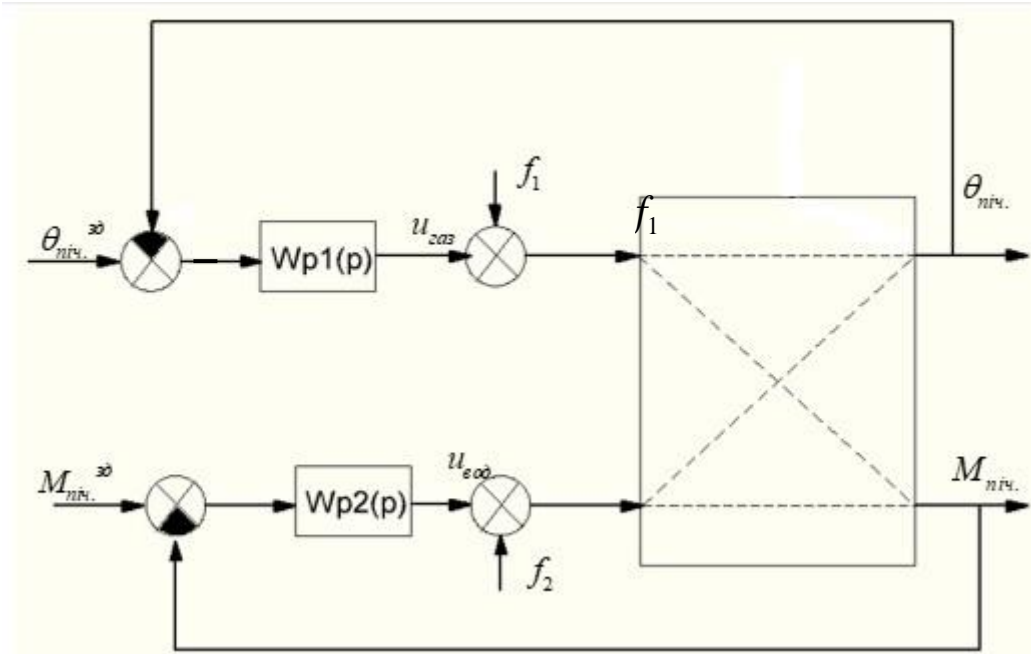


Рис. 2.2 – Структурна схема САР випічки хліба базової структури

$u_{газ}$ - керуючий вплив (регулююча змінна); положення вентилі газу (% , х.р.о.)

$u_{вод.}$ - керуючий вплив (регулююча змінна); положення вентилі води (% , х.р.о.)

$\theta_{печ.}$ - регульована змінна; температура повітря в печі ($^{\circ}\text{C}$)

$M_{печ.}$ - регульована змінна; рівень відносної вологості повітря в печі (%)

$P_{газ}$ - контрольоване збурення; тиск у вентилі газу (Па)

f_1, f_2 - неконтрольовані збурення;

$Wp_1(p), Wp_2(p)$ – передатні функції регуляторів температури та рівня відносної вологості повітря в печі.

$\Delta\theta_{печ.}, \Delta M_{печ.}$ - помилка регулювання змінної

3.2.2 Вибір кількох альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання, запис їх рівнянь і передатних функцій.

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-диференціальний (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання. Якщо ОК по каналах управління володіє статичними властивостями, то П- і ПД-алгоритми регулювання у 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 астатичної складової самого ОУ. Тому такі регулятори доцільно використовувати в об'єктах, канали яких володіють астатичними властивостями. Якщо канали ОУ є статичними, рекомендується використовувати алгоритми регулювання з І-складовою, тобто ПІ і ПІД.

Процес випічки хліба по всіх каналах володіє статичними властивостями, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання вибираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

$$u(t) = K_P \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{ИЗ}} \int_0^t \Delta y(t) dt \right) + u_0;$$

Передатна функція ПІ-регулятора

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

Рівняння руху ПІД-регулятора

$$u(t) = K_P \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{ИЗ}} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_{нр} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0;$$

Передатна функція ПІД-регулятора

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{изp}} + \frac{T_{ппp}}{0,2 \cdot T_{ппp} p + 1} \right)$$

3.2.3 Розробка структурної схеми і програми цифрового імітаційного моделювання САР при детермінованих і стохастичних вхідних впливах.

В результаті виконання курсової роботи з дисципліни «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних впливів технологічного процесу. Результати ідентифікації зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 -Результати ідентифікації каналів перетворення координатних впливів ОК

Канал ОУ	Модель динаміки	
	1-го порядку	2-го порядку
« $u_{газ} - \theta_{піч}$ »	$W_0(p) = \frac{3,4 \cdot e^{-120p}}{90p + 1}$	$W_0(p) = \frac{3,4 \cdot e^{-12p}}{(65p + 1)^2}$
« $u_{вод} - M_{піч}$ »	$W_0(p) = \frac{0,67 \cdot e^{-40,5p}}{18,75p + 1}$	$W_0(p) = \frac{0,67 \cdot e^{-35p}}{(12,5p + 1)^2}$
« $P_{газ} - \theta_{піч}$ »	$W_0(p) = \frac{0,221 \cdot e^{-1,087p}}{154p + 1}$	$W_0(p) = \frac{0,221 \cdot e^{-1,087p}}{(50,38p + 1)^2}$
$U_{газ} - M_{піч}$	$W_o(p) = \frac{-0,5 \cdot e^{-120p}}{75p + 1}$	$W_o(p) = \frac{-0,5 \cdot e^{-45p}}{(68,75p + 1)^2}$
$U_{вод} - \theta_{піч}$	$W_o(p) = \frac{0,33 \cdot e^{-40,5p}}{30p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,33 \cdot e^{-18p}}{(24,38p + 1)^2}$

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на малюнку 2.3, а з ПІД-регулятором - на рис. 2.4. Структурна схема моделювання ОУ наведена на рис. 2.5.

вибрали коливальний перехідний процес із $R_{\Pi} = 40\%$, настроювальні параметри ПІ- і ПІД – регуляторів.

Канал $U_{\text{газ}} - \theta_{\text{піч}}^{\text{ь}}$

Передаточна функція моделі 1-го порядку:

$$W_0(p) = \frac{3,4 \cdot e^{-120p}}{90p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ – регулятора:

$$K_p = \frac{1,1 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1,1 \cdot 90}{3,4 \cdot 120} = 0,24 \text{ \%х.р.о}^{\circ}\text{C} \quad T_{\text{із}} = 2 * \tau_0 = 2 * 120 = 240 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІД – регулятора:

$$K_p = \frac{1,2 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1,2 \cdot 90}{3,4 \cdot 120} = 0,26 \text{ \%х.р.о}^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{із}} = 1,4 * \tau_0 = 1,4 * 120 = 168 \text{ с}$$

$$T_{\text{пр}} = 0,8 * \tau_0 = 0,8 * 120 = 96 \text{ с}$$

Канал $U_{\text{вод}} - M_{\text{піч}}^{\text{ь}}$

Передаточна функція моделі 1-го порядку:

$$W_0(p) = \frac{0,67 \cdot e^{-40,5p}}{18,75p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ – регулятора:

$$K_p = \frac{1,1 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1,1 \cdot 18,75}{0,67 \cdot 40,5} = 0,76 \text{ \%х.р.о}^{\circ}\text{C} \quad T_{\text{із}} = 2 * \tau_0 = 2 * 40,5 = 81 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІД – регулятора:

$$K_p = \frac{1,2 \cdot T_0}{K_0 \cdot \tau_0} = \frac{1,2 \cdot 18,75}{0,67 \cdot 40,5} = 0,83 \text{ \%х.р.о}^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{із}} = 1,4 * \tau_0 = 1,4 * 40,5 = 56,7 \text{ с}$$

$$T_{\text{пр}} = 0,8 * \tau_0 = 0,8 * 40,5 = 32,4 \text{ с}$$

3.2.6 Параметричний оптимальний синтез САР з альтернативними алгоритмами регулювання для детермінованих (ступінчатих) вхідних впливів.

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІ – регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, приведену на рис.2.11.

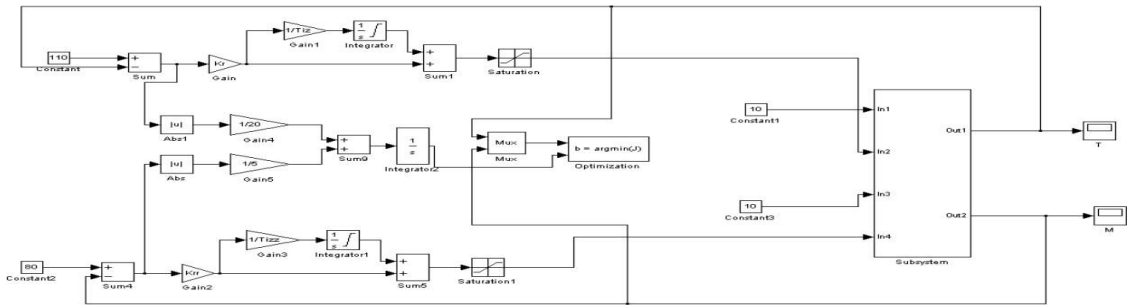


Рис. 2.6 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

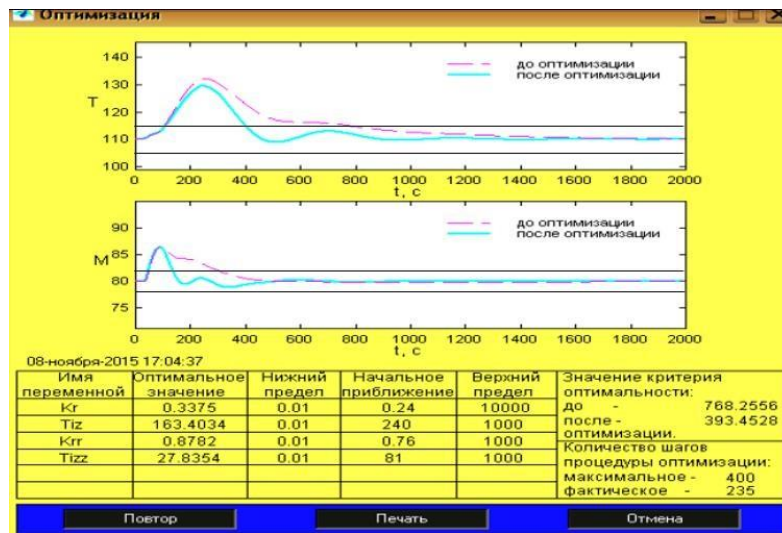


Рис. 2.7 - Результаты оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямим показниками якості. Результати порівняння зведені в таблицю 2.2.

Таблица 2

Θ _{підь}			
САР и ПІ-регулятором	Прямі показники якості		Критерій
	Δy ^{max}	t, c	
до оптимізації	22	800	768
після оптимізації	19,95	400	393
M _{підь}			

САР и ПИ-регулятором	Прямі показники якості		Критерій
	Δu^{\max}	t, c	
до оптимізації	6,7	310	768
після оптимізації	6,5	134	393

Для оптимального параметричного синтезу САР температури пастеризації соку з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на малюнку 2.8. Результати оптимізації настройок ПІД-регулятора наведено на рис. 2.9.

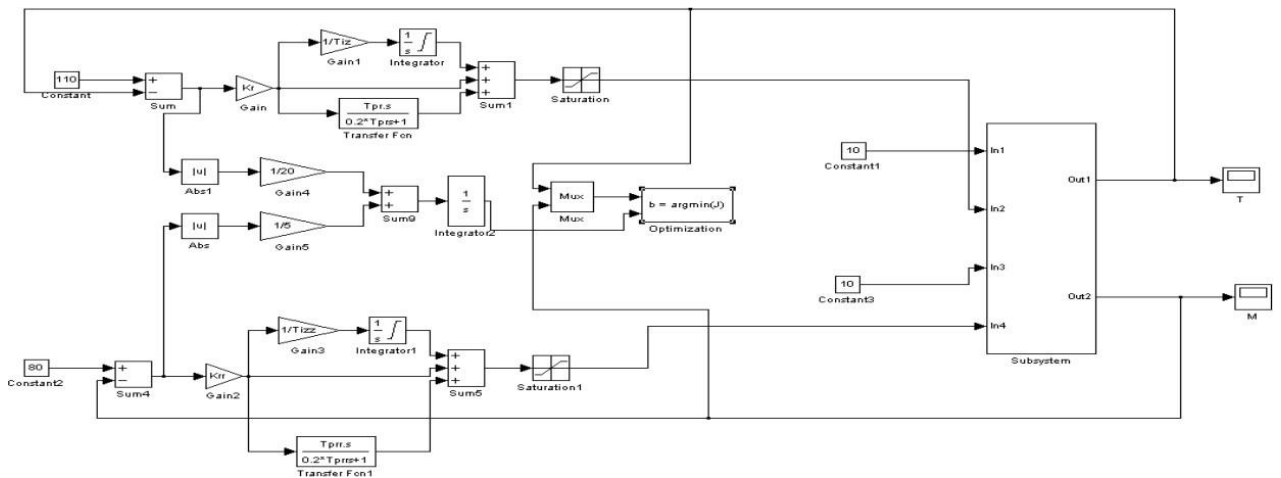


Рис. 2.8 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

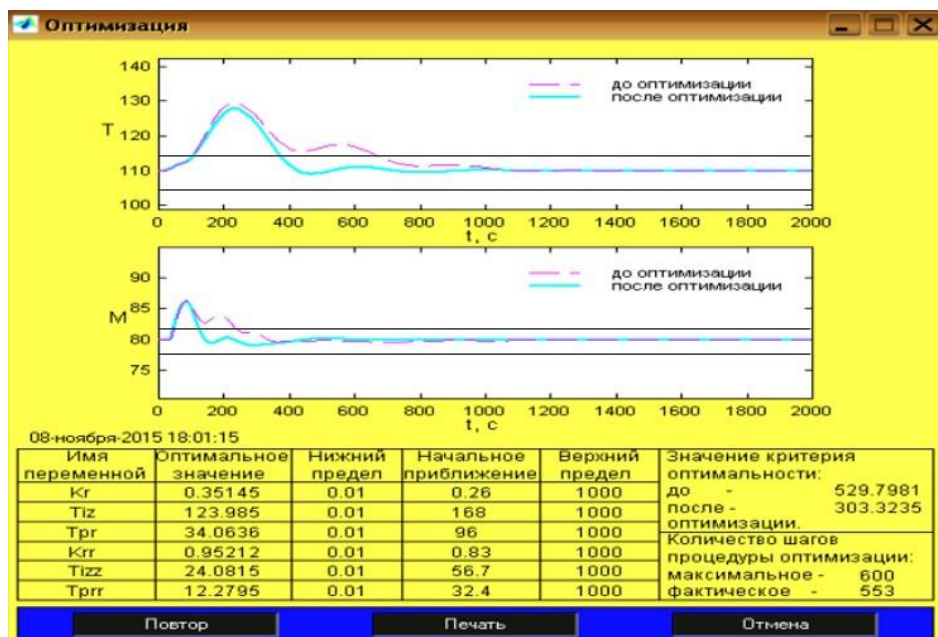


Рис. 2.9 – Результаты оптимизации настроек ПИД-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямим показниками якості. Результати порівняння зведені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

$\Theta_{\text{підч}}$			
САР и ПІД-регулятором	Прямі показники якості		Критерій
	Δu^{max}	t, с	
до оптимізації	18,5	670	530
після оптимізації	18	360	303
$M_{\text{підч}}$			
САР и ПІД-регулятором	Прямі показники якості		Критерій
	Δu^{max}	t, с	
до оптимізації	6,25	248	530
після оптимізації	6,25	125	303

3.2.7 Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності і показникам, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- і ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 2.10. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 2.11, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 2.12. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 2.13 і в таблиці 2.4.

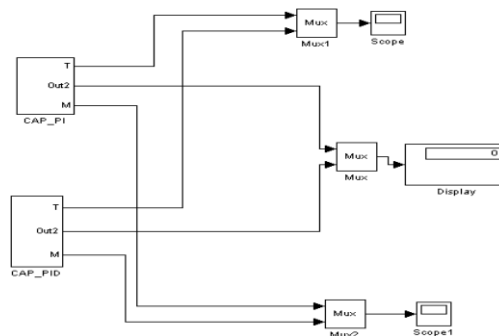


Рис. 2.10 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

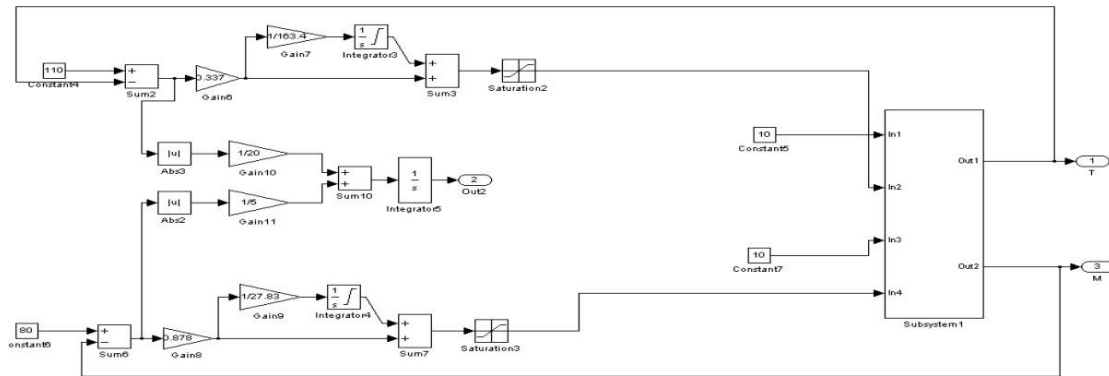


Рис. 2.11 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

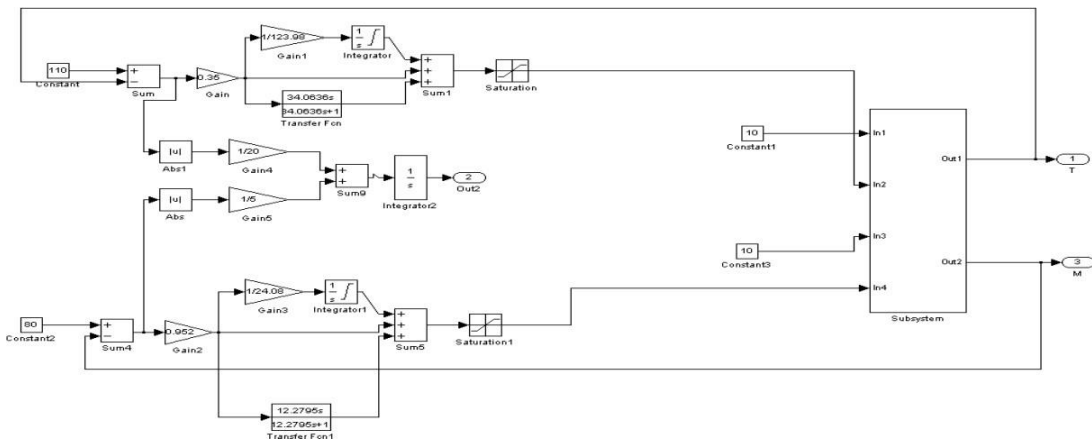
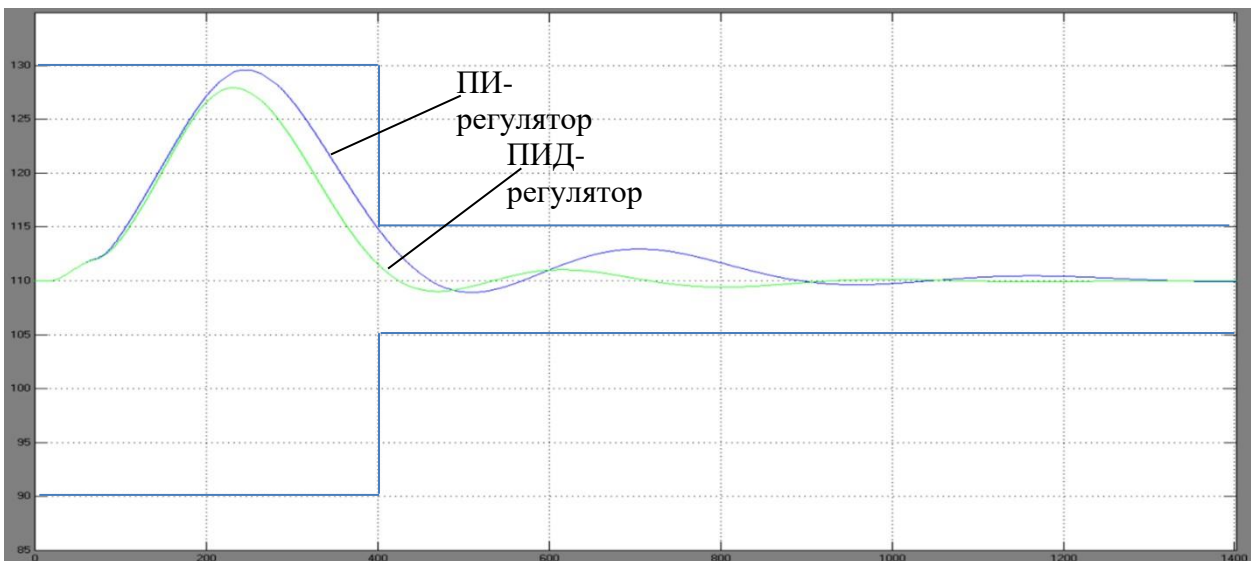


Рис. 2.12 - Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором



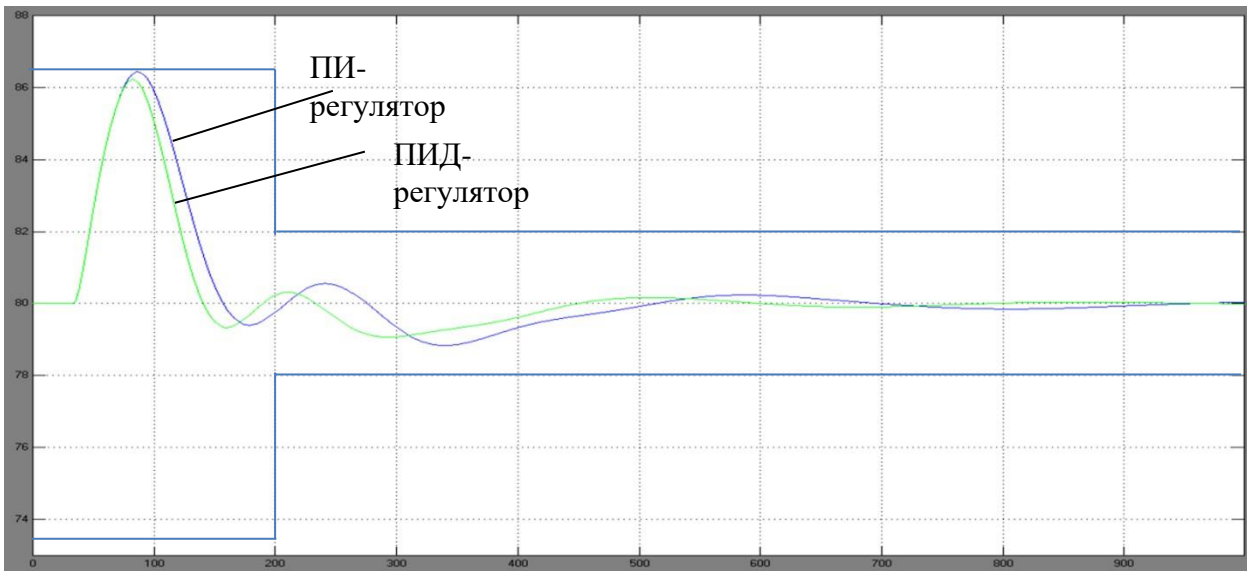


Рис. 2.13 – Результати порівняння варіантів САР

Таблиця 2.4 – Результати сравнения вариантов САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$\Theta_{\text{піч}}^{\text{max}}$		
	$\Delta \Theta_{\text{піч}}^{\text{max}}$	t, c	
ПІ	19,95	400	393,5
ПІД	18	360	303,3
Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$M_{\text{піч}}$		
	$\Delta M_{\text{піч}}^{\text{max}}$	t, c	
ПІ	6,5	134	393,5
ПІД	6,25	125	303,3

3.2.8 Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОУ

3.2.9 Вибір параметрів ОУ, за який доцільно оцінити грубість САР значень їх варіацій і планування машинного експерименту з оцінки брутальності.

У процесі роботи ротаційної печі може змінюватися час запізнювання в каналах ОУ. Слід зазначити, що внаслідок нелінійності, параметри каналів

можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість будемо проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень 10% х.р.о. і детермінованого ступеневої контрольованого збурення в 1,5кПа. Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- і ПІД-регуляторами на грубість наведено на рис. 2.10, 2.11 та 2.12.

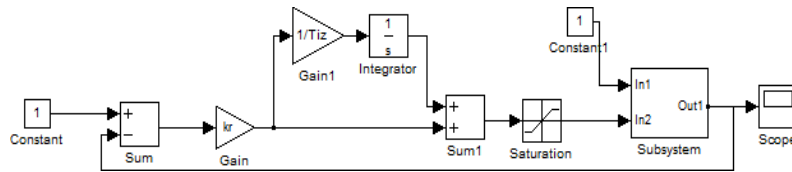


Рис.2.10 – Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІ-регулятором на грубість

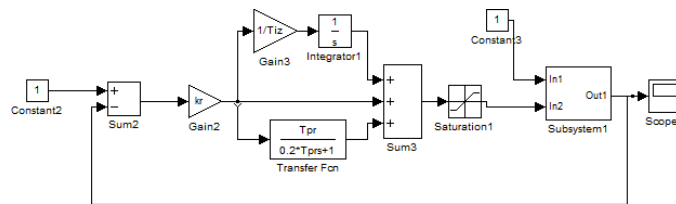


Рис.2.11 – Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІД-регулятором на грубість

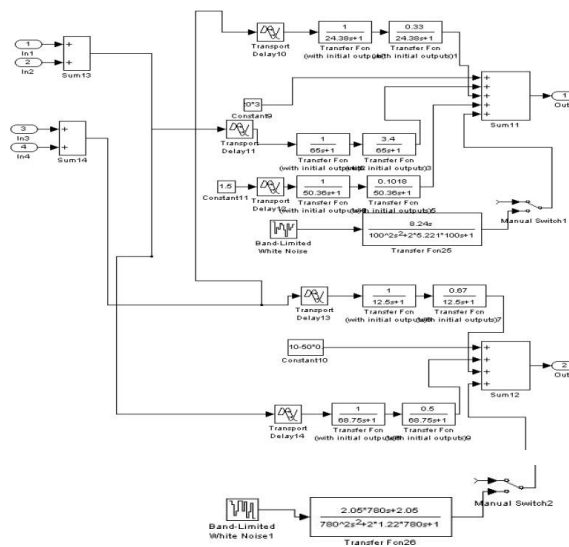


Рис.2.12 – Структурна схема моделювання ОУ для аналізу САР на грубість

3.3.1 Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведено на рис. 2.13, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 2.14. Як видно з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПІД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОУ дає збіжні перехідні процеси. Але також в умовах дії збурень детермінованого характеру перехідні процеси в САР виходять за рамки регламентних зон.

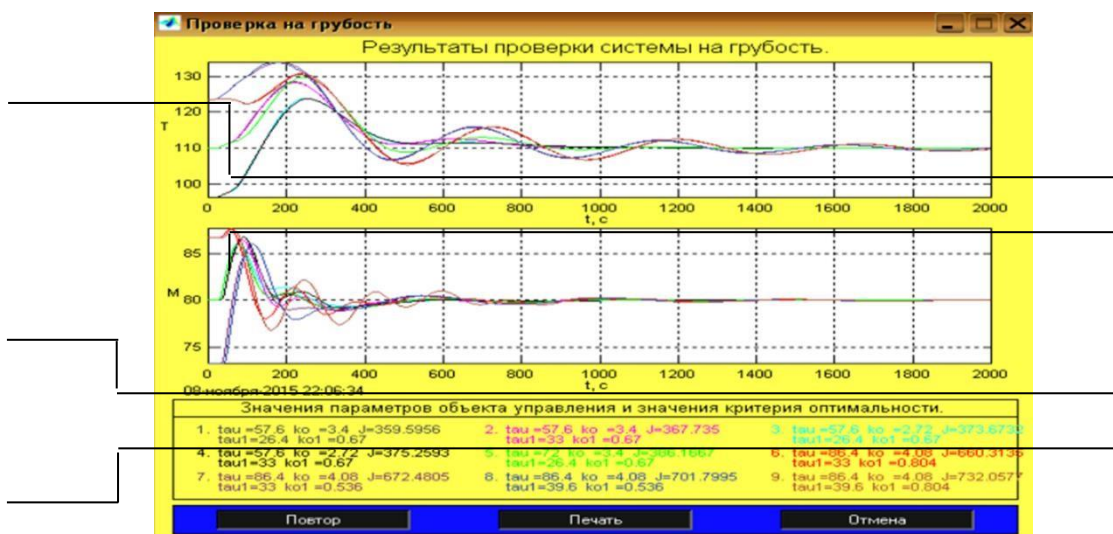


Рис. 2.13 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором в умови дії детермінованих контрольованих і неконтрольованих збурень

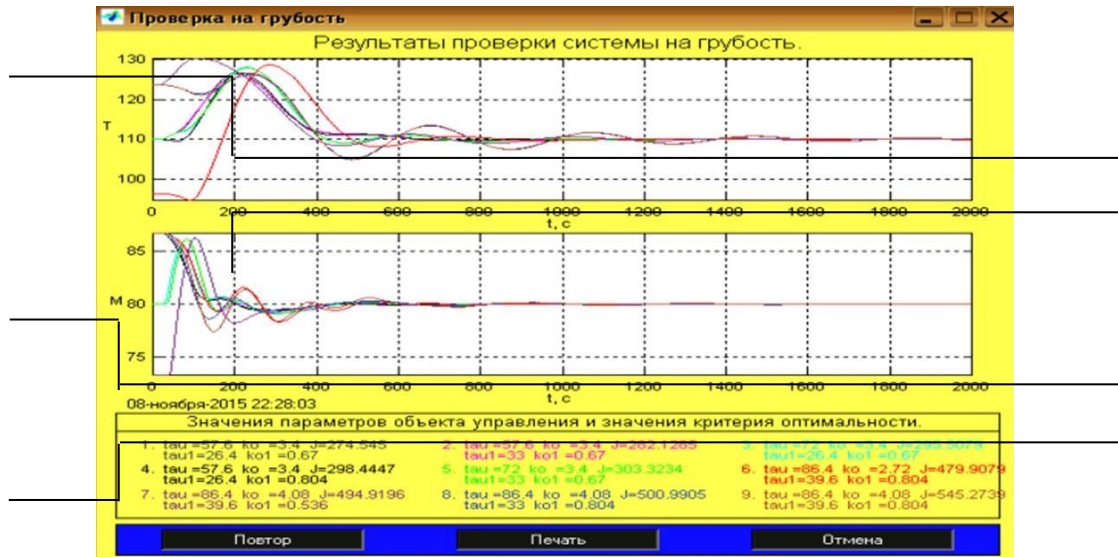


Рис. 2.14 - Аналіз на грубість САР з ПД-регулятором в умови дії детермінованих контрольованих і неконтрольованих збурень

3.3.2 Вибір з розглянутих поєднань параметрів ОУ найбільш «несприятливих» і «сприятливих» для управління.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найгіршим" для управління поєднанням параметрів ОУ є більшими на 12% час запізнювання ОУ, а "найкращим" для управління поєднанням - на 25% менший час запізнювання.

Схема моделювання САР базової структури і ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОУ "сприятливими" і "несприятливими" для управління наведена на рис. 2.15. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 2.16 і зведені в таблицю 2.5.

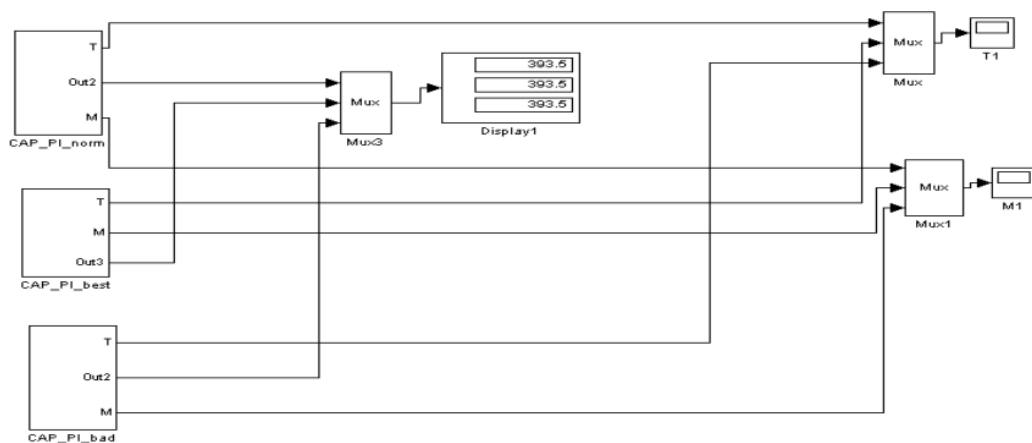


Рис. 2.15 – Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "сприятливими" і "несприятливими" для управління параметрами ОУ

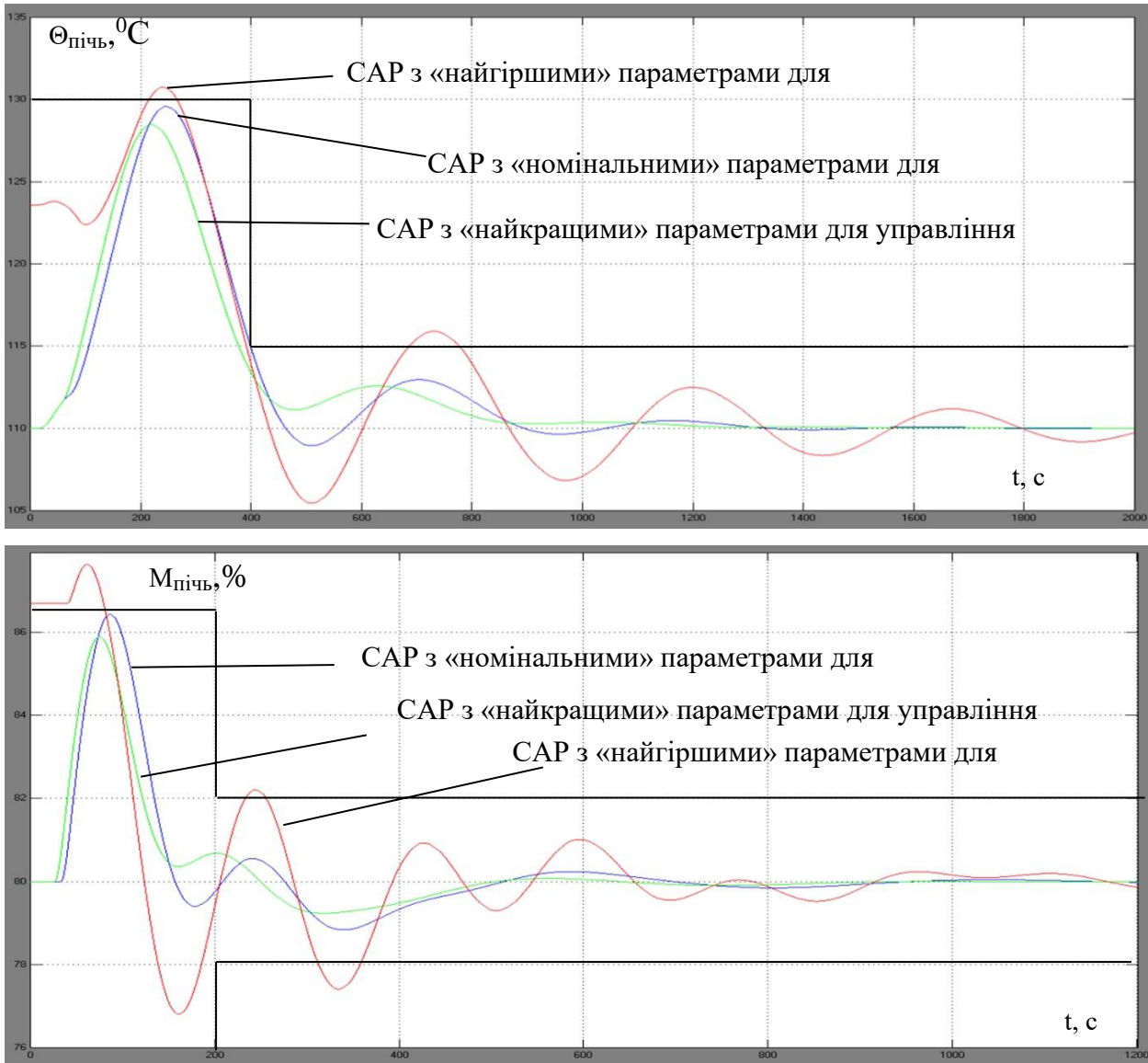


Рис. 2.16 – Результати порівняння варіантів САР базової структури

Таблиця 2.5 – Результати сравнения вариантов САР базовой структуры с ПИ-регулятором

Поєднання параметрів ОУ	Прямі показники якості $\theta_{\text{пiчь}}$		Критерій
	$\Delta\theta_{\text{пiчь}}^{\text{МАКС}}$	t, c	
Номінальні	19,95	400	393,5
"Благоприятні"	18,5	378	359,6
"Неблагоприятні"	21	775	732

Поєднання параметрів ОУ	Прямі показники якості $M_{\text{підч}}$		Критерій
	$\Delta M_{\text{підч}}^{\text{МАКС}}$	t, с	
Номінальні	6,5	134	393,5
"Благоприятні"	6	121,7	359,6
"Неблагоприятні"	7,6	357	732

Схема моделювання САР базової структури і ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОУ "сприятливими" і "несприятливими" для управління наведена на рис. 2.17. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 2.18 і зведені в таблицю 2.6.

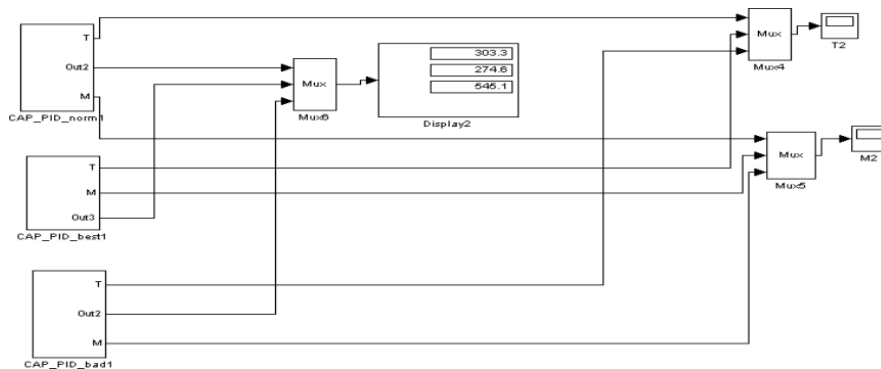
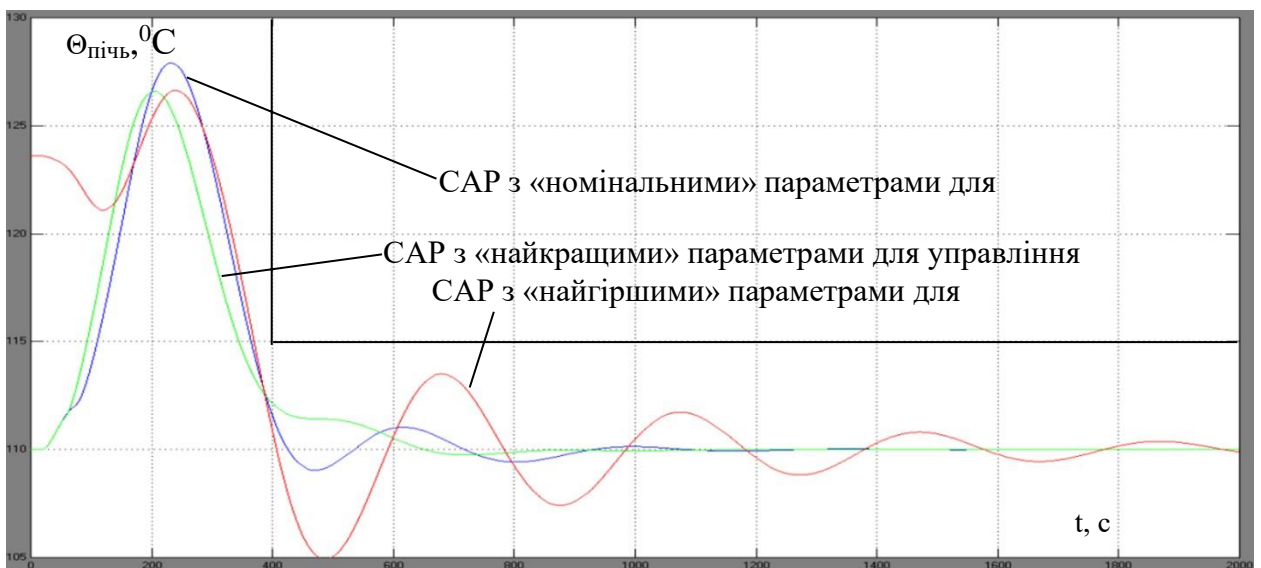


Рис. 2.17 – Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "сприятливими" і "несприятливими" для управління параметрами ОУ



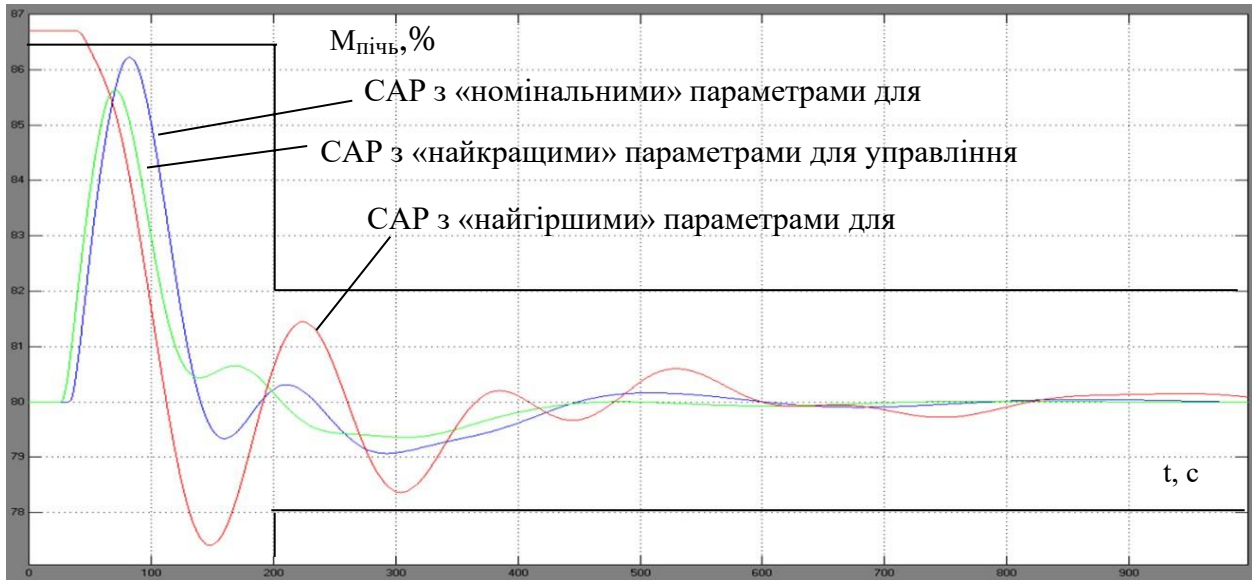


Рис. 2.18 - Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регулятором

Таблиця 2.6 – Результати сравнения вариантов САР базовой структуры с ПИД-регулятором

Поєднання параметрів ОУ	Прямі показники якості $\theta_{\text{під}}$		Критерій
	$\Delta\theta_{\text{під}}^{\text{МАКС}}$	t, с	
Номінальні	18	360	303,3
"Благоприятні"	16,6	344	274,6
"Неблагоприятні"	16,65	369,4	545,1
Поєднання параметрів ОУ	Прямі показники якості $M_{\text{під}}$		Критерій
	$\Delta M_{\text{під}}^{\text{МАКС}}$	t, с	
Номінальні	6,25	125	303,3
"Благоприятні"	5,64	108,3	274,6
"Неблагоприятні"	6,75	100	545,1

Аналіз сталих процесів в САР при стохастичних вхідних впливах

3.1 Оцінка отримання статистично стійких результатів.

Для оцінки САР на грубість у сталому режимі будемо використовувати схеми моделювання, наведеними на рис. 2.19 - 2.21. Результати моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 2.22, а з ПІД-регулятором - на рис. 2.23.

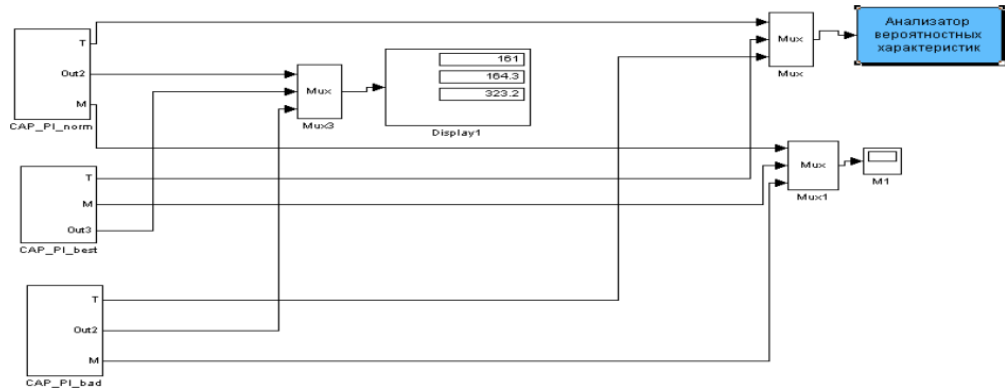


Рис. 2.19 - Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором для оцінки грубісті в сталих режимах

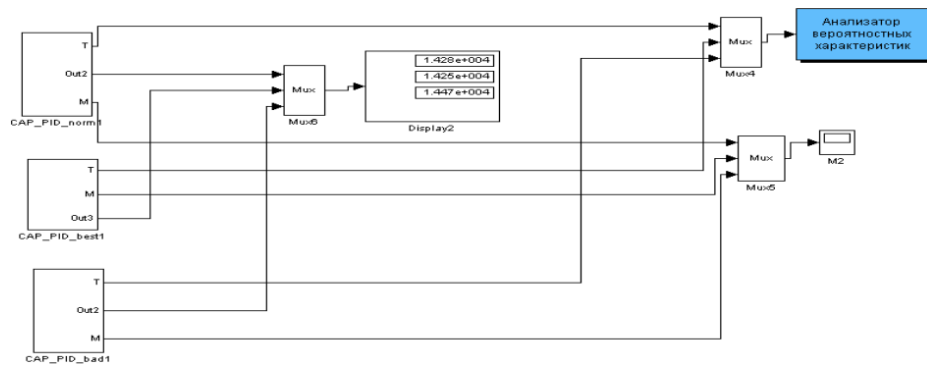


Рис. 2.20 - Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором для оцінки грубісті в сталих режимах

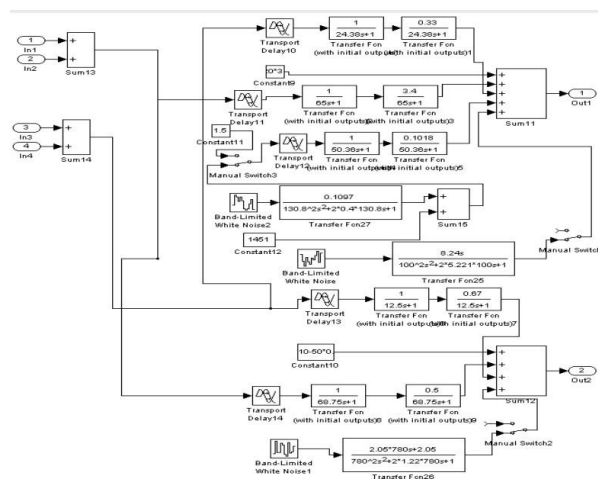


Рис. 2.21 - Структурна схема моделювання ОУ для оцінки грубісті САУ в сталих режимах

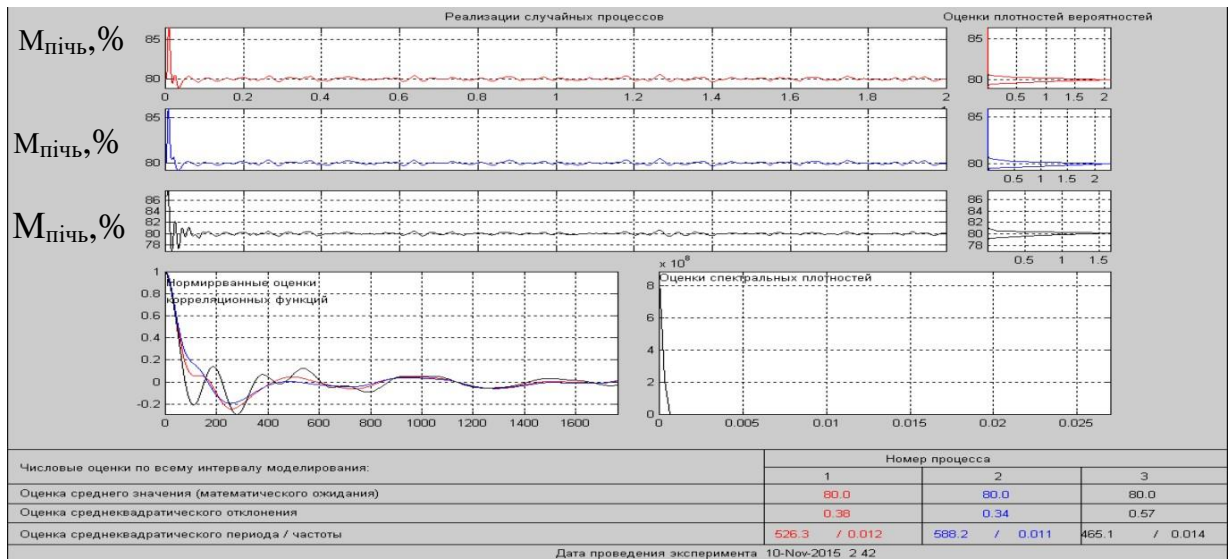
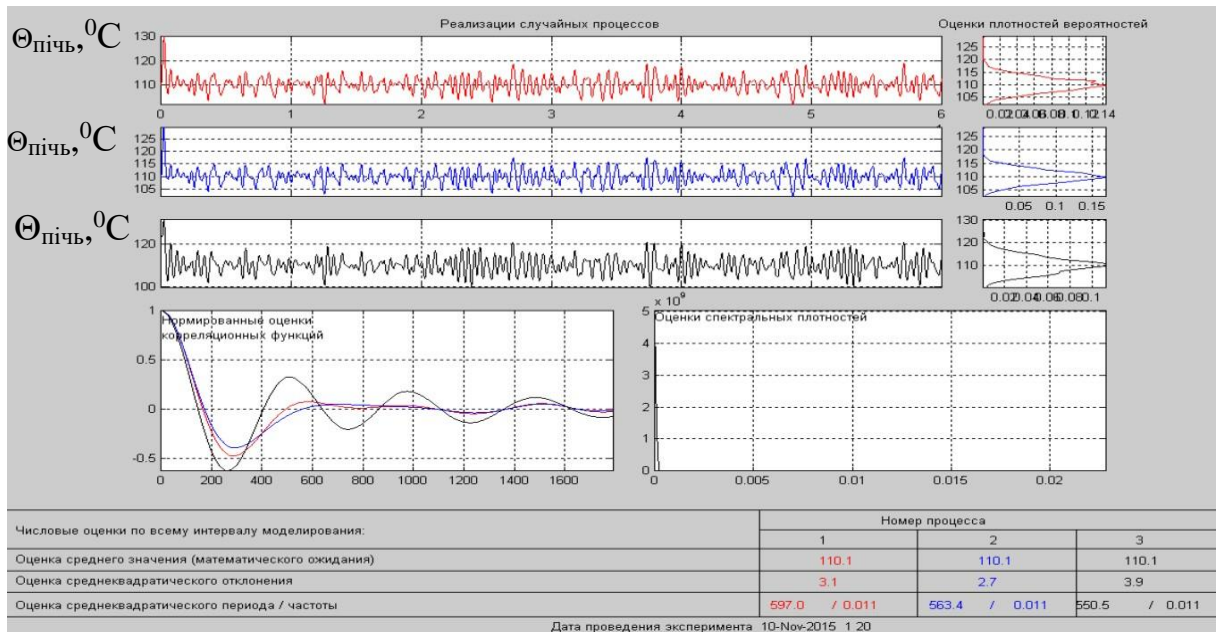
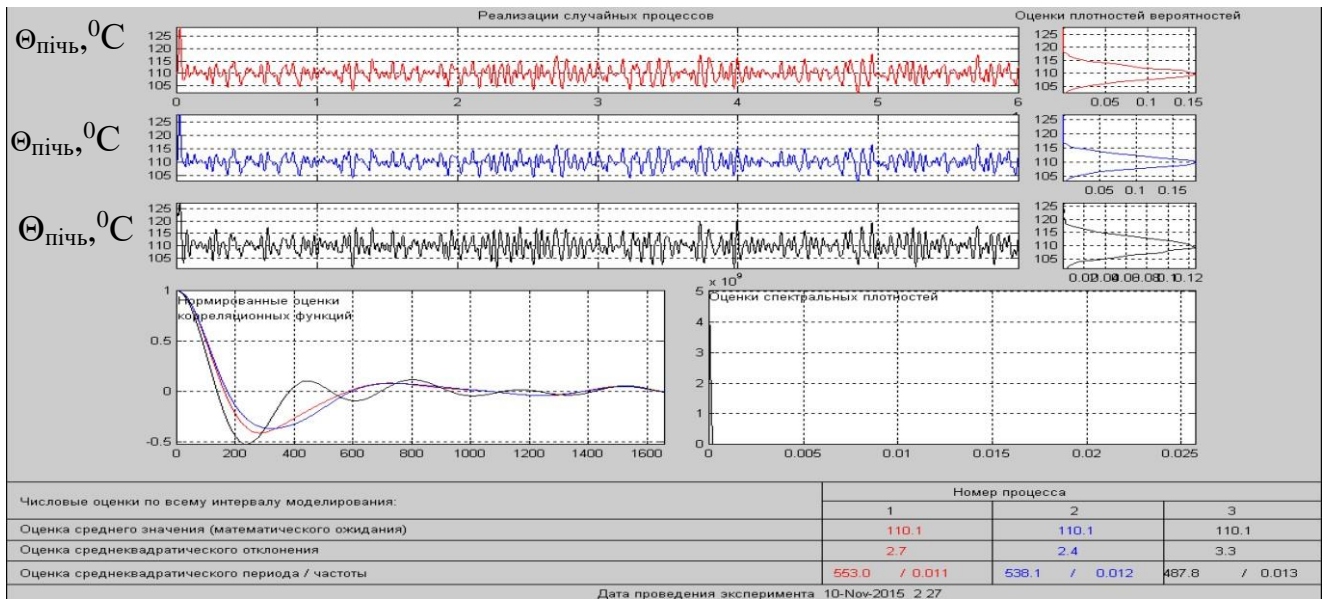


Рис. 2.22 – Результаты моделирования САР з ПІ-регулятором



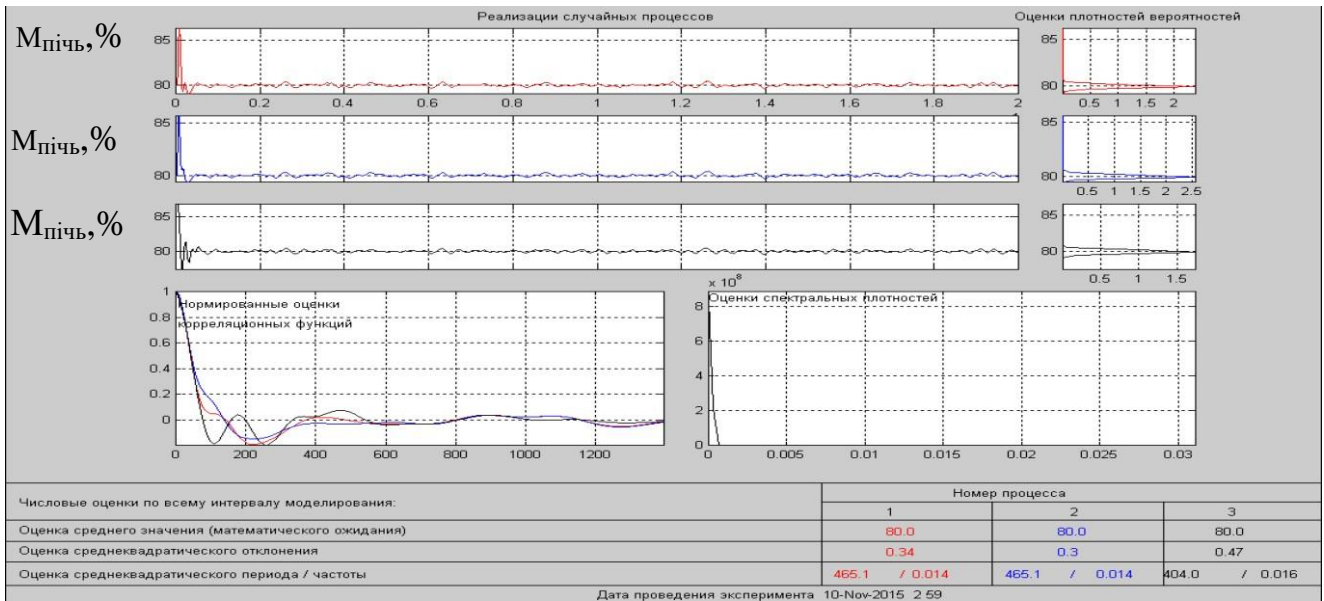


Рис. 2.23 – Результаты моделирования САР с ПИД-регулятором

3.1.1 Порівняльний аналіз сталих процесів для поєднань параметрів ОУ, відповідних номінальним, «несприятливим» і «сприятливим» властивостям ОУ за інтегральним показником і показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Порівняння результатів моделювання проведемо по математичному очікуванню, середньоквадратичного відхилення, середньоквадратичного періоду і інтегральним критерієм. Порівняльні результати оцінки САР на грубість з ПІ-регулятором зведені в таблицю 2.7, а САР з ПІД-регулятором - в таблицю 2.8.

Таблиця 2.7 – Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість в сталих процесах

$$\Theta_{\text{пичь}}, ^\circ\text{C}$$

Показник якості	Значення параметрів ОУ		
	номінальні	найкращі	найгірші
Математичне очікування	110,1	110,1	110,1
Середньоквадратичне відхилення	3,1	2,7	3,9
Середньоквадратичний період	597	563,4	550,5
Інтегральний критерій	9047	7822	11390

$M_{\text{печь}}, \%$

Показник якості	Значення параметрів ОУ		
	номінальні	найкращі	найгірші
Математичне очікування	80	80	80
Середньоквадратичне відхилення	0,38	0,34	0,57
Середньоквадратичний період	526,3	588,2	465,1
Інтегральний критерій	2748	2418	3433

Таблиця 2.8 – Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на grubість в сталіх процесах

 $\Theta_{\text{печь}}, ^\circ\text{C}$

Показник якості	Значення параметрів ОУ		
	номінальні	найкращі	найгірші
Математичне очікування	110,1	110,1	110,1
Середньоквадратичне відхилення	2,7	2,4	3,3
Середньоквадратичний період	553	538,1	487,8
Інтегральний критерій	7965	6899	9676

 $M_{\text{печь}}, \%$

Показник якості	Значення параметрів ОУ		
	номінальні	найкращі	найгірші
Математичне очікування	80	80	80
Середньоквадратичне відхилення	0,34	0,3	0,47
Середньоквадратичний період	465,1	465,1	404
Інтегральний критерій	2431	2140	3047

3.1.2 Висновки по розділу

САР з ПІ- ПІД-регулятором в перехідних режимах задовольняє гранично допустимим вимогам. САР базової структури в сталіх режимах не виходить за рамки зони незначущих відхилень.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПП1-регулятора коефіцієнт передачі збільшився на 40%, а час ізодрома зменшився на 31,9%, інтегральний критерій зменшився на 48,8%, максимальне динамічне відхилення зменшилася на 1%, час перехідного процесу зменшився на 50%. Після проведення процедури оптимізації параметрів ПП2-регулятора коефіцієнт передачі збільшився на 15,6%, а час ізодрома зменшився на 65,6%, інтегральний критерій зменшився на 48,8%, максимальне динамічне відхилення зменшилася на 1%, час перехідного процесу зменшився на 56,8%.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ППД1-регулятора коефіцієнт передачі збільшився на 34%, час ізодрому зменшився на 26%, час упередження зменшився на 64,5%, інтегральний критерій зменшився на 43%, максимальне динамічне відхилення зменшилося на 3%, час перехідного процесу зменшився на 46%. Після проведення процедури оптимізації параметрів ППД2-регулятора коефіцієнт передачі збільшився на 14,5%, час ізодрому зменшився на 57,5%, час упередження зменшився на 62%, інтегральний критерій зменшився на 43%, максимальне динамічне відхилення майже не зменшилося, час перехідного процесу зменшився на 50%.

САР з ПП-регулятором, і САР з ППД-регулятором є грубими. Відносна різниця між "сприятливими" і "несприятливими" поєднаннями параметрів ОУ, по $\Theta_{\text{підч}}$ в САР з ПП-регулятором становить за критерієм 51%, по максимальному динамічному відхиленню - 11,9%, а по часу перехідного процесу - 51%, по $M_{\text{підч}}$ в САР по максимальному динамічному відхиленню - 21%, а по часу перехідного процесу - 66%. Різниця між "сприятливими" і "несприятливими" поєднаннями параметрів ОУ в САР з ППД-регулятором становить за критерієм 7%, по $\Theta_{\text{підч}}$ в САР з ППД-регулятором становить по максимальному динамічному відхиленню - 0,5%, а за часом перехідного процесу - 50%, по $M_{\text{підч}}$ в САР по максимальному динамічному відхиленню - 16,4%, а по часу перехідного процесу - 8,3%. За більшістю показників відносна різниця показників якості перехідних процесів при "сприятливих" і "несприятливих" для управління параметрах ОУ більше для САР з ПП-

регулятором. Це може означати, що САР з ПІД-регулятором "грубіше", тобто менш чутлива до варіації параметрів ОУ.

Параметри ПІ1-регулятора: коефіцієнт передачі збільшився на 41,7%, а час ізодрому зменшився на 21%, ПІ2-регулятора: коефіцієнт передачі збільшився на 15,8%, а час ізодрому зменшився на 34,4%. Параметри ПІД1-регулятора: коефіцієнт передачі збільшився на 34,6%, час ізодрому зменшився на 26%, час випередження зменшився на 64,6%, параметри ПІД2-регулятора: коефіцієнт передачі збільшився на 14,5%, час ізодрому зменшився на 57,5%, час випередження зменшився на 62%. В принципі, параметри регуляторів в результаті параметричної оптимізації змінюються досить суттєво, але і налаштування регуляторів, отримані з інженерних методиками, дають нам стійкі перехідні процеси в САР. Тому можна зробити висновок, що інженерні методики розрахунку параметрів регулятора на практиці застосовні, хоча існує значний запас підвищення динамічної точності САР.

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ САР ПІДВИЩЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

3.3. Структурний синтез САР підвищеної динамічної точності

3.3.1 Аналіз особливостей об'єкта регулювання, що знижують динамічну точність і вибір способів її підвищення за рахунок введення в структуру САР додаткових зв'язків, що забезпечують, наприклад, її інваріантність, автономність, компенсацію запізнювання і т. Д.

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивне зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОУ і САР (значне співвідношення t_0 / T_e , взаємний вплив каналів в багатовимірної САР).

У багатовимірних системах для зменшення впливу контурів регулювання до складу ОК можуть вводитися межрегуляторні перехресні (коригуючі зв'язку).

3.3.2 Розробка на основі вибраних способів підвищення динамічної точності САР її структурної схеми і формулювання (в аналітичній формі) умов, що забезпечують необхідні властивості САР.

САР з підвищеною динамічною чіткістю, з використанням корегуючих зв'язків, які будуть компенсувати вплив контурів регулювання, буде мати наступний вид рис. 3.1.

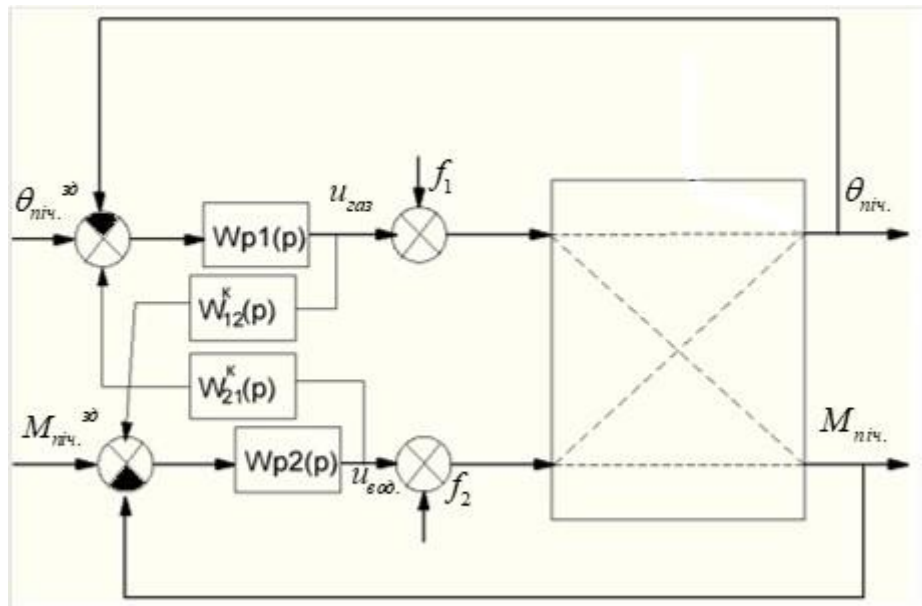


Рис. 3.1 - Структурна схема автономної САР

На схемі $W_{12}^k(p)$, $W_{21}^k(p)$ - передатні функції коригувальних зв'язків.

Достатньою умовою реалізації САР є фізична реалізованість передавальних функцій корегуючих зв'язків.

3.3.3 Виведення передавальних функцій коригувальних зв'язків, аналіз їх структури з умов фізичної реалізованості, приведення до фізично реалізуємого виду, уявлення у формі з'єднання типових динамічних ланок та отримання перехідних характеристик.

$$\begin{aligned}
 W_{11}(p) &= \frac{3.4 * e^{-72p}}{(65p+1)^2} \\
 W_{12}(p) &= \frac{0.5 * e^{-45p}}{(68.75p+1)^2} \\
 W_{22}(p) &= \frac{0.67 * e^{-33p}}{(12.5p+1)^2} \\
 W_{21}(p) &= \frac{0.33 * e^{-18p}}{(24.38p+1)^2} \\
 W_{1,2}^p(p) &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_{уз} p} + \frac{T_{np} p}{0.2 * T_{np} p + 1} \right) \\
 W_1^p(p) &= 0.35 \left(1 + \frac{1}{123.99p} + \frac{34.06p}{0.2 * 34.06p + 1} \right) \\
 W_2^p(p) &= 0.95 \left(1 + \frac{1}{24.08p} + \frac{12.28p}{0.2 * 12.28p + 1} \right) \\
 W_{12}^\kappa(p) &= - \frac{W_{12}^0(p)}{W_{22}^0(p) W_2^p(p)} ; \\
 W_{12}^\kappa(p) &= \frac{0.5 * e^{-45p}}{(68.75p+1)^2} \\
 W_{12}^\kappa(p) &= \frac{0.67 * e^{-33p}}{(12.5p+1)^2} * \frac{(0.95 * 24.08p * (2.5p+1) + 0.95 * (2.5p+1) + 12.28p * 24.08p * 0.95)}{24.08p * (2.5p+1)} \\
 W_{12}^\kappa(p) &= \frac{12.08p * (12.5p+1)^2 * (2.5p+1) * e^{-12p}}{(68.75p+1)^2 * (57.19p^2 + 22.088p + 2.38p + 0.95 + 280.9p^2)} \\
 W_{12}^\kappa(p) &= \frac{4718.75p^4 + 2642.5p^3 + 332.2p^2 + 12.08p}{159753.69p^4 + 157090.32p^3 + 8119.24p^2 + 155p + 0.95} e^{-12p} \\
 W_{21}^\kappa(p) &= \frac{0.33 * e^{-18p}}{(24.38p+1)^2} \\
 W_{21}^\kappa(p) &= \frac{3.4 * e^{-72p}}{(65p+1)^2} * \frac{(0.35 * 123.99p(6.8p+1) + 0.35 * (6.8p+1) + 1478.08p^2)}{123.99p(6.8p+1)} \\
 W_{21}^\kappa(p) &= \frac{40.9p * (6.8p+1) * (65p+1)^2 * e^{54p}}{3.4 * (43.4p(6.8p+1) + 2.38p + 0.35 + 1478.08p^2) * (24.38p+1)^2} \\
 W_{21}^\kappa(p) &= \frac{40.9p * (6.8p+1) * (65p+1)^2 * e^{54p}}{3.4 * (1773.2p^2 + 45.78p + 0.35) * (24.38p+1)^2}
 \end{aligned}$$

Отримана передатна функція корегуючого зв'язку є фізично не реалізуємою, так як має ланку чистого випередження. Для забезпечення фізичної реалізуємості передатної функції виконаємо заміну:

$$e^{54p} = 1 + \frac{54p}{0.1 * 54p + 1}$$

Тоді передатна функція фізично реалізуємого корегуючого зв'язку буде мати вид:

$$W_{21}^{\kappa}(p) = \frac{40.9p*(6.8p+1)*(65p+1)^2}{3.4*(1773.2p^2+45.78p+0.35)(24.38p+1)^2} \left(1 + \frac{54p}{0.1*54p+1}\right)$$

$$W_{21}^{\kappa}(p) = \frac{1175057p^4 + 208958.1p^3 + 5595.12p^2 + 40.9p}{3583445.7p^4 + 386483.44p^3 + 14325.68p^2 + 213.67p + 1.19} \left(1 + \frac{54p}{0.1*54p+1}\right)$$

Структурна схема моделювання передатної функції корегуючого зв'язку наведена на рис. 3.2, а її перехідна характеристика - на рис. 3.3.

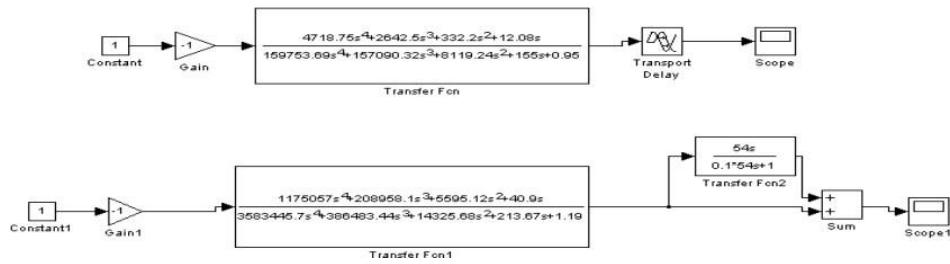


Рис. 3.2 – Структурна схема моделювання передатної функції корегуючих зв'язків

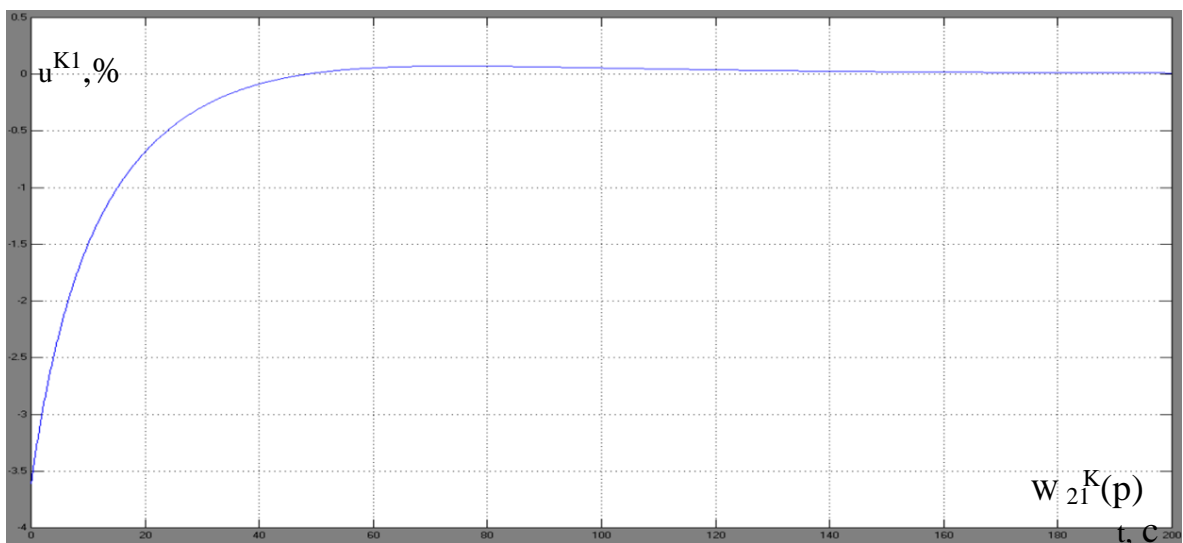
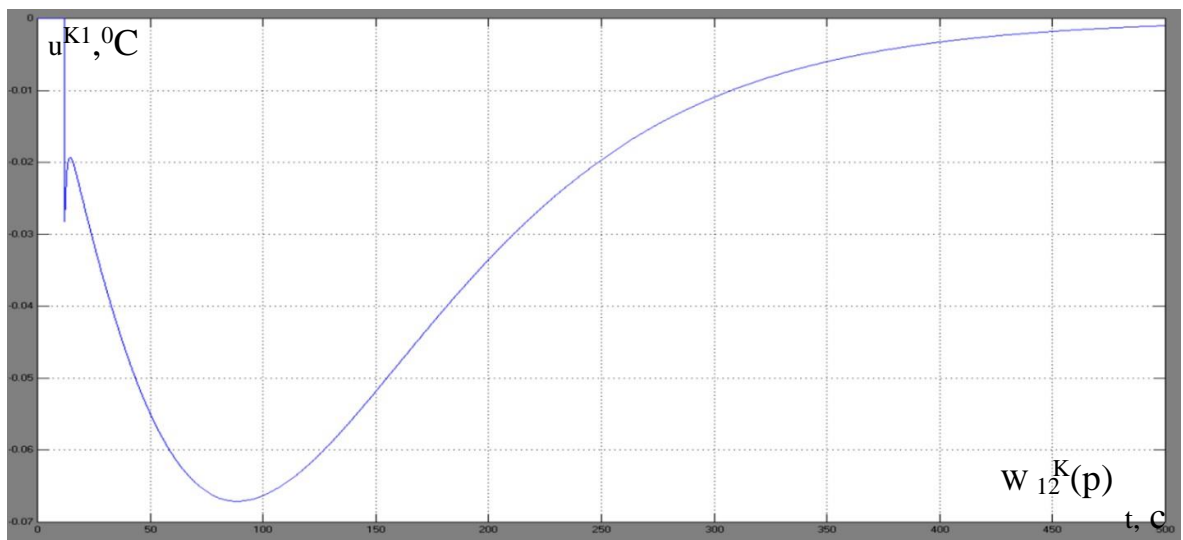


Рис. 3.3 - Перехідні характеристики корегуючих зв'язків

3.3.4. Спрощення коригувальних зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації і параметричний синтез САР при детермінованих вхідних впливах

3.3.5. Аналіз складності технічної реалізації коригувальних зв'язків з урахуванням можливостей технічних засобів та їх спрощення за рахунок зниження розмірності передатних функцій, апроксимації запізнювання дрібно-раціональними передатними функціями і т.п. із збереженням загальних властивостей зв'язків, подання керуючих зв'язків з'єднанням типових ланок. Отримана передатна функція корегуючих зв'язків представлена занадто складною передавальною функцією, тому її доцільно спростити при збереженні її дифференціюючих властивостей. Спрощена передатна функція корегуючих зв'язків буде мати вигляд:

$$W_{12}^K(p) = K_p \frac{T_{K1}p}{(T_{K2}p+1)^2}$$

$$W_{21}^K(p) = K_p \frac{T_{K3}p}{(T_{K4}p+1)^2} \left(1 + \frac{T_{K5}p}{0.1 * T_{K5}p + 1}\right)$$

3.3.6. Вибір початкових наближень параметрів спрощених коригувальних зв'язків з умов близькості перехідних характеристик коригувальних зв'язків до і після їх спрощення (можливе застосування будь-яких методів як оптимізаційних, так і звичайних).

Для W_{12}^K :

$$K_r=0.5$$

$$T_{K1}=46.2$$

$$T_{K2}=68.75$$

Для W_{21}^K :

$$K_r=0,33$$

$$T_{K3}=100,8$$

$$T_{K4}=24,38$$

$$T_{K5}=54$$

Для уточнення початкових наближень параметрів корегувальних зв'язків скористаємося схемою моделювання, наведеною на рис. 3.4. Результати розрахунку початкових наближень параметрів корегуючих зв'язків наведені на рис. 3.5, а результати моделювання - на рис. 3.6.

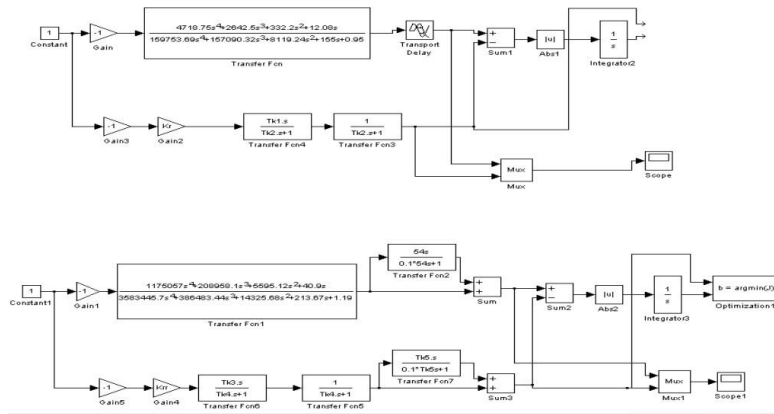
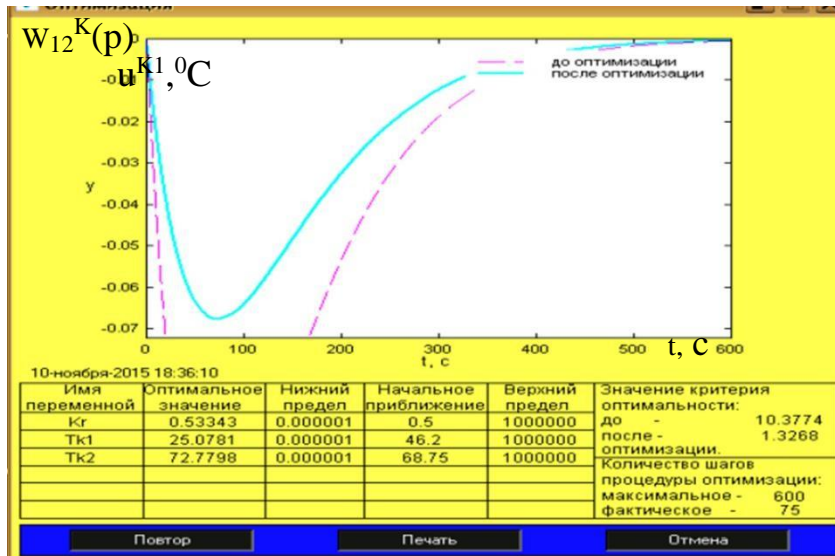


Рис. 3.4 - Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів корегувальних зв'язків



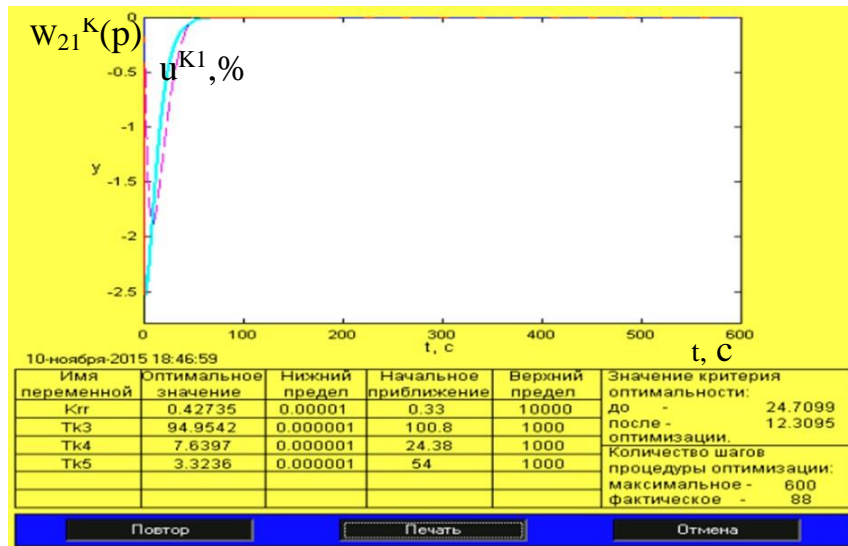


Рис. 3.5 – Результати розрахунку початкових приближень параметрів корегуючих зв'язків

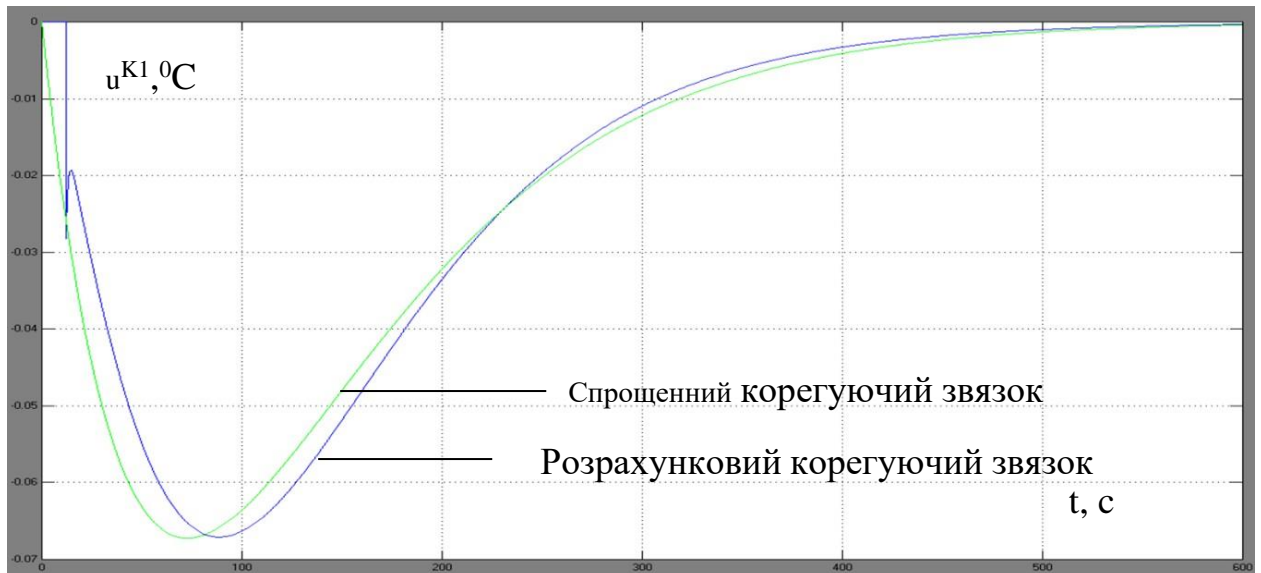


Рис. 3.6 – Перехідні характеристики розрахункових да спрощених корегуючих зв'язків

3.3.7. Розробка структурної схеми і програми цифрового імітаційного моделювання та параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності для детермінованих (східчастих) вхідних впливів.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу корегуючих зв'язків наведена на рис. 3.7, а результати оптимізації - на рис. 3.8

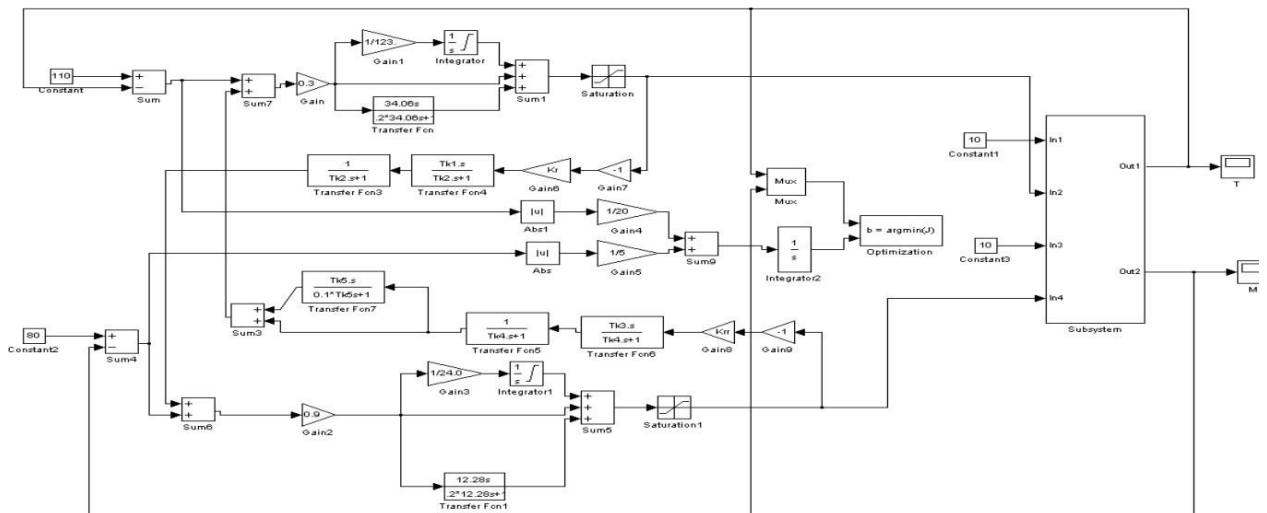


Рис. 3.7 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу корегуючих зв'язків

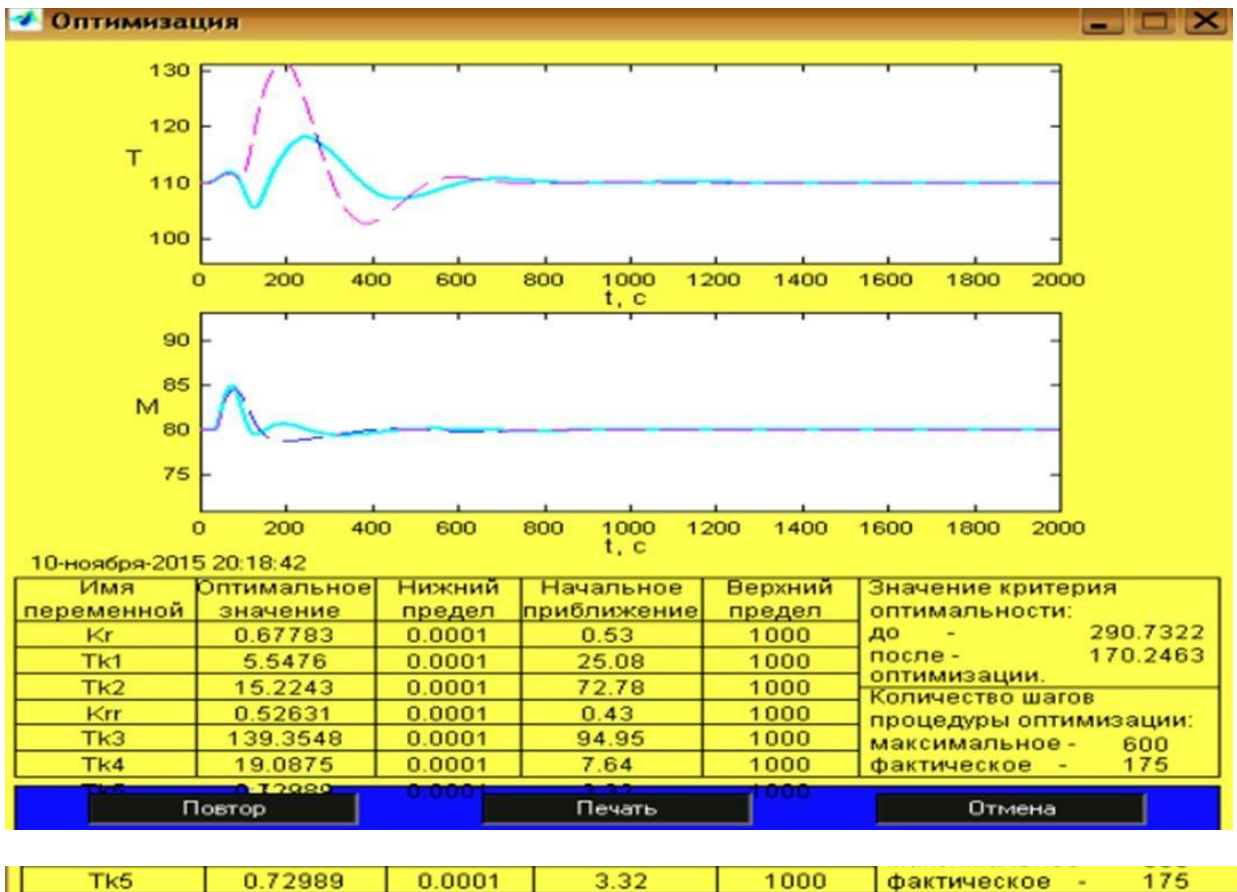


Рис. 3.8 – Результати оптимізації параметрів корегуючих зв'язків

3.4 Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об'єкта регулювання

3.4.1 Вибір параметрів ОУ, за якими доцільно оцінити грубість САР значень їх варіацій і планування машинного експерименту з оцінки на грубість.

Як і у випадку з САР базової структури, САР підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОУ, а саме, часу запізнювання в каналах ОУ $\pm 20\%$.

3.4.2 Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОУ наведено на рис. 3.9. Як видно з результатів

оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОУ САР дає сходящися перехідні процеси, а значить, САР є грубою.

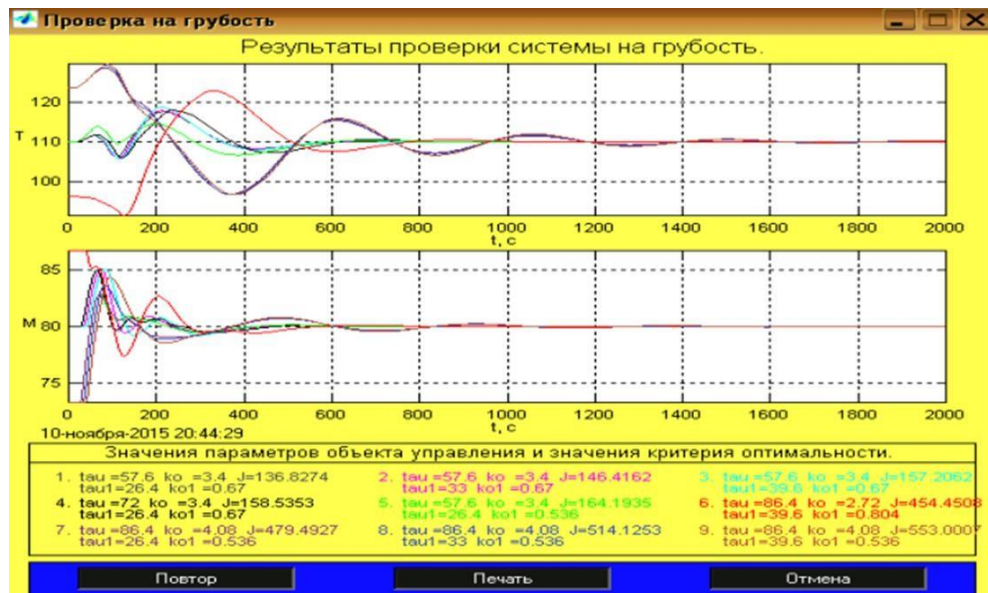


Рис. 3.9 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОУ

3.4.3 Вибір з розглянутих поєднань параметрів ОУ найбільш «несприятливих» і «сприятливих» для управління.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, найбільш "сприятливим" для управління є номінальне час запізнювання по каналу управління, і запізнювання, менше на 20% щодо контрольованого обурення по каналу контрольованого обурення. Найбільш "несприятливим" для управління є поєднання параметрів ОУ, відповідне часам запізнювання по обох каналах, на 20% більшим їх номінальних значень.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОУ "сприятливими" і "несприятливими" для управління наведена на рис. 3.10. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.11 і зведені в таблицю 3.1.

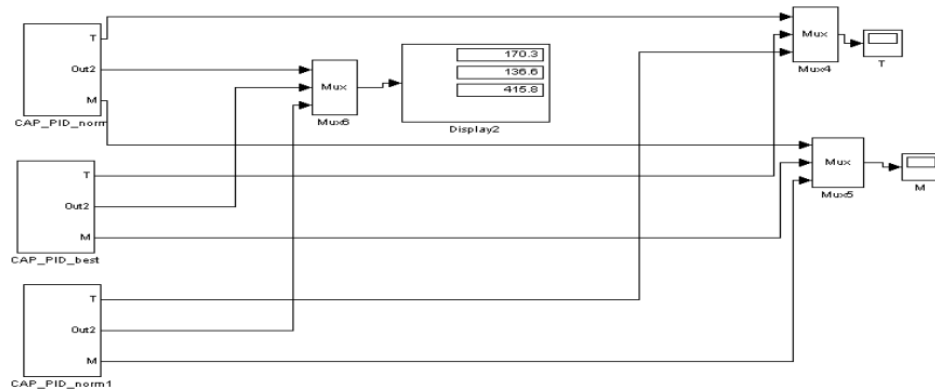


Рис. 3.10 – Схема моделювання CAP підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними, "сприятливими" і "несприятливими" для управління параметрами ОУ

Таблиця 3.1 – Результати порівняння варіантів CAP підвищеної динамічної точності

Поєднання параметрів ОУ	Прямі показники якості $\theta_{\text{підч}}$		Критерій
	$\Delta\theta_{\text{підч}}^{\text{МАКС}}$	t, с	
Номінальні	8	300	170,3
"Благоприятні"	7,5	275	136,6
"Неблагоприятні"	16	495	415,8
Поєднання параметрів ОУ	Прямі показники якості $M_{\text{підч}}$		Критерій
	$\Delta M_{\text{підч}}^{\text{МАКС}}$	t, с	
Номінальні	5	100	170,3
"Благоприятні"	4,8	80	136,6
"Неблагоприятні"	7	133	415,8

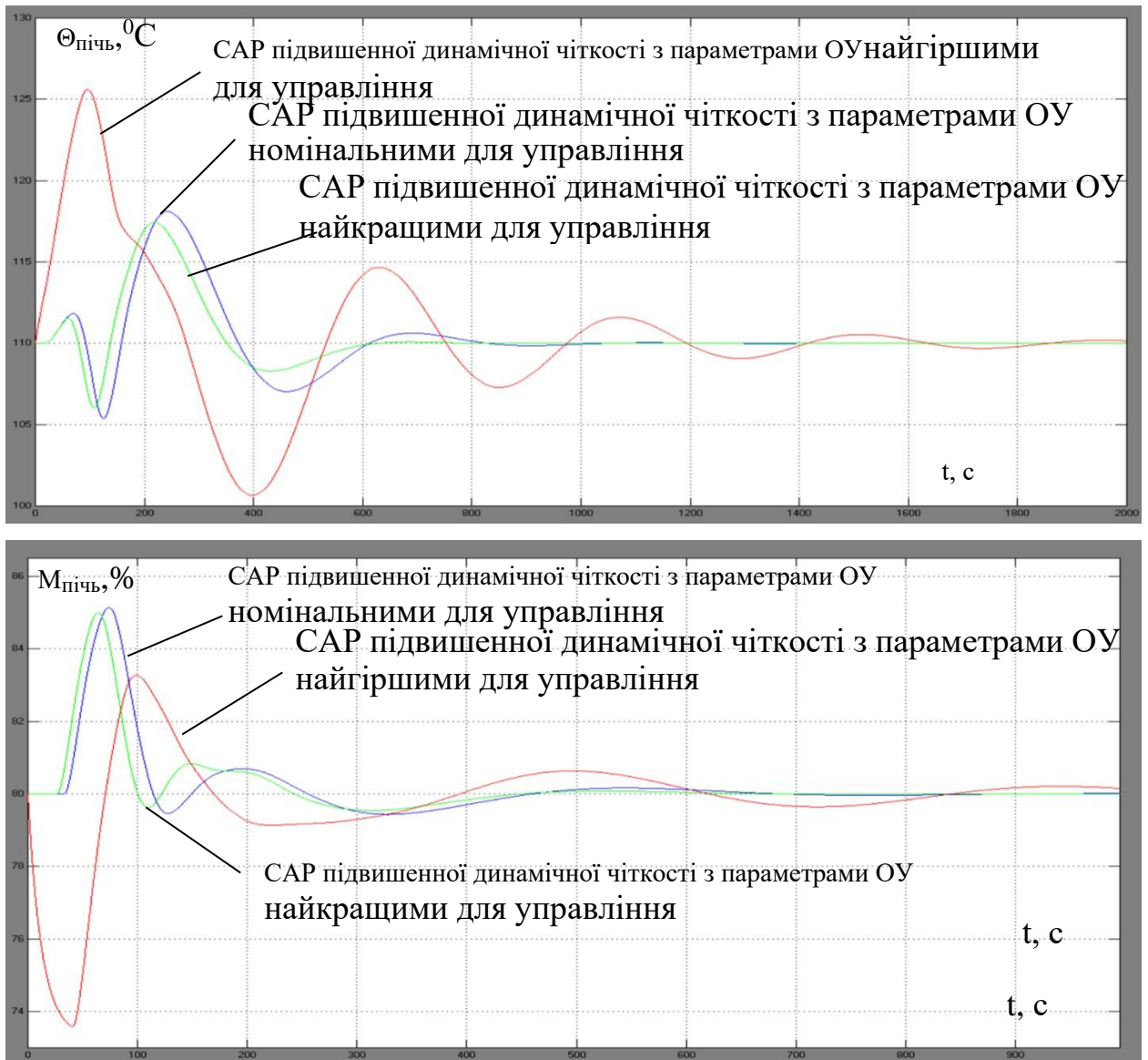


Рис. 3.11 – Результати порівняння варіантів САР підвищеної динамічної точності

Як видно з результатів аналізу САР на грубість, САР підвищеної динамічної точності є грубою, бо при будь-яких поєднаннях параметрів ОУ дає сходящися перехідні процеси, які, до того ж, не виходять за рамки зони незначущих відхилень.

3.5 Аналіз сталих процесів в САР при стохастичних вхідних впливах

3.5.1 Оцінка отримання статистично стійких результатів.

Для оцінки САР на грубість у сталому режимі будемо використовувати схему моделювання, наведену на рис. 3.13. Результати моделювання наведені на рис. 3.14 і в таблиці 3.2.

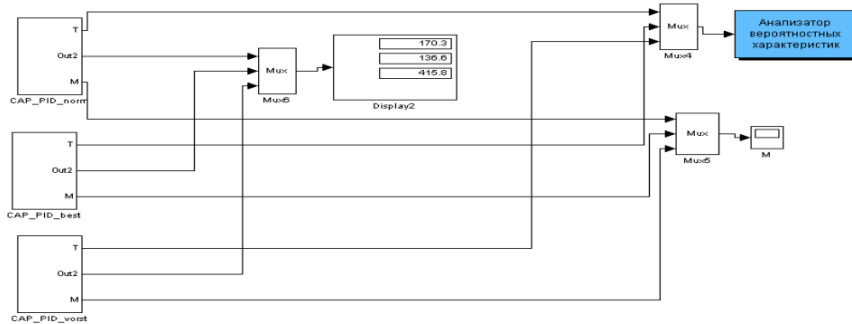


Рис. 3.13 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оцінки на грубість у сталих режимах

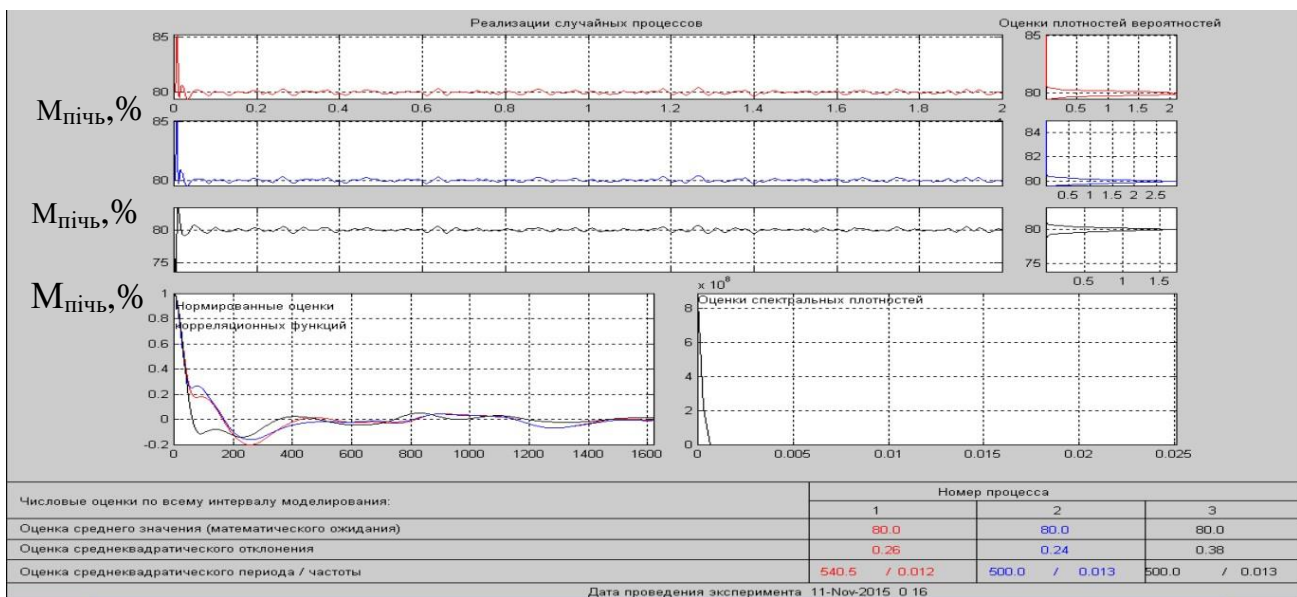
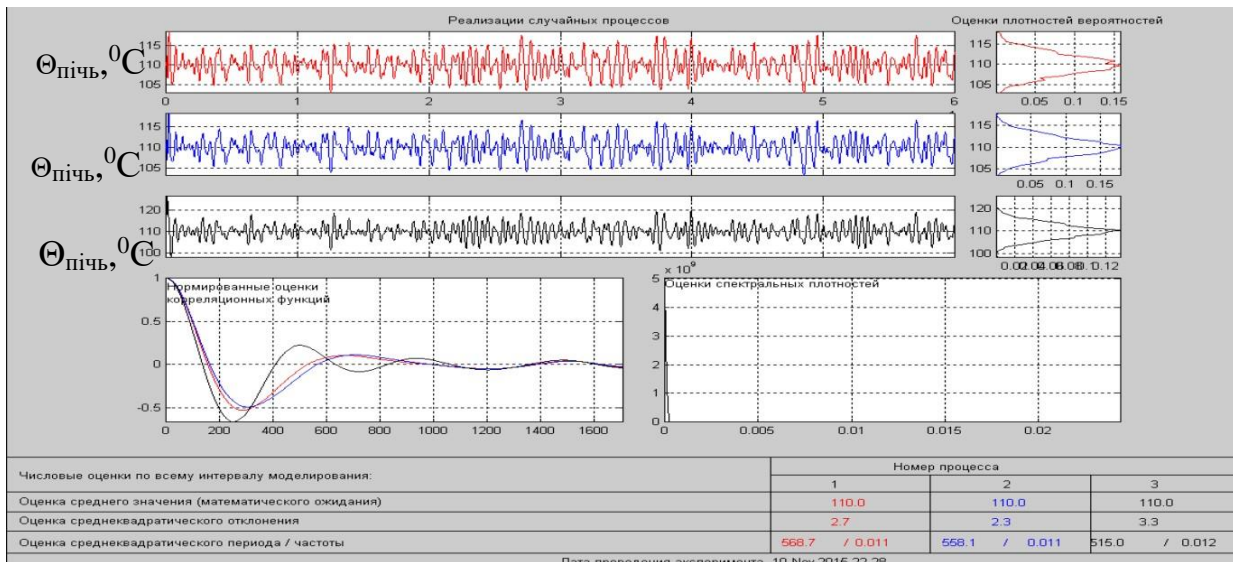


Рис. 3.14 - Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності на
грубість у сталих режимах

Таблиця 3.2 – Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності на
грубість у сталих режимах

$\Theta_{\text{печь}}, ^\circ\text{C}$

Показник якості	Значення параметрів ОУ		
	номінальні	найкращі	найгірші
Математичне очікування	110	110	110
Середньоквадратичне відхилення	2,7	2,3	3,3
Середньоквадратичний період	568,7	558,1	515
Інтегральний критерій	7919	6837	10400

$M_{\text{печь}}, \%$

Показник якості	Значення параметрів ОУ		
	номінальні	найкращі	найгірші
Математичне очікування	80	80	80
Середньоквадратичне відхилення	0,26	0,24	0,38
Середньоквадратичний період	540,5	500	500
Інтегральний критерій	2296	2022	3010

3.6 Порівняльний аналіз САР найпростішої структури і підвищеної динамічної точності (з коригуючими зв'язками)

3.6.1 Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних САР по величинам критеріїв і показників, на які встановлено гранично-допустимі значення.

Для порівняння якості роботи САР базової структури і підвищеної динамічної точності розроблена структурна схема моделювання, наведена на рис. 3.15. Результати порівняння наведені на рис. 3.16 і в таблиці 3.3.

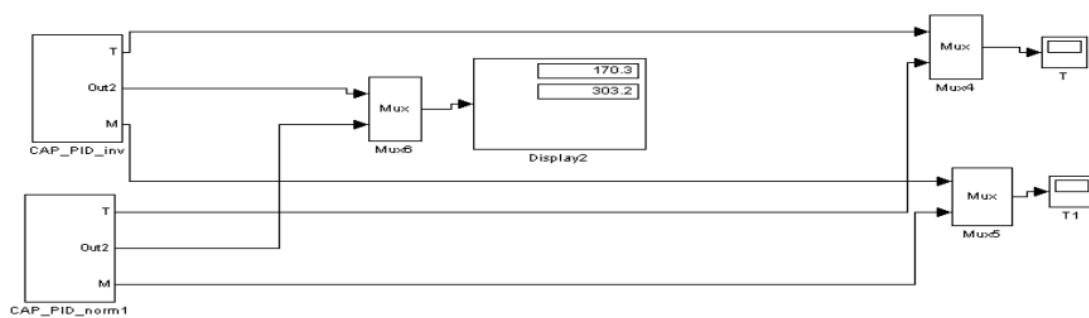


Рис. 3.15 - Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

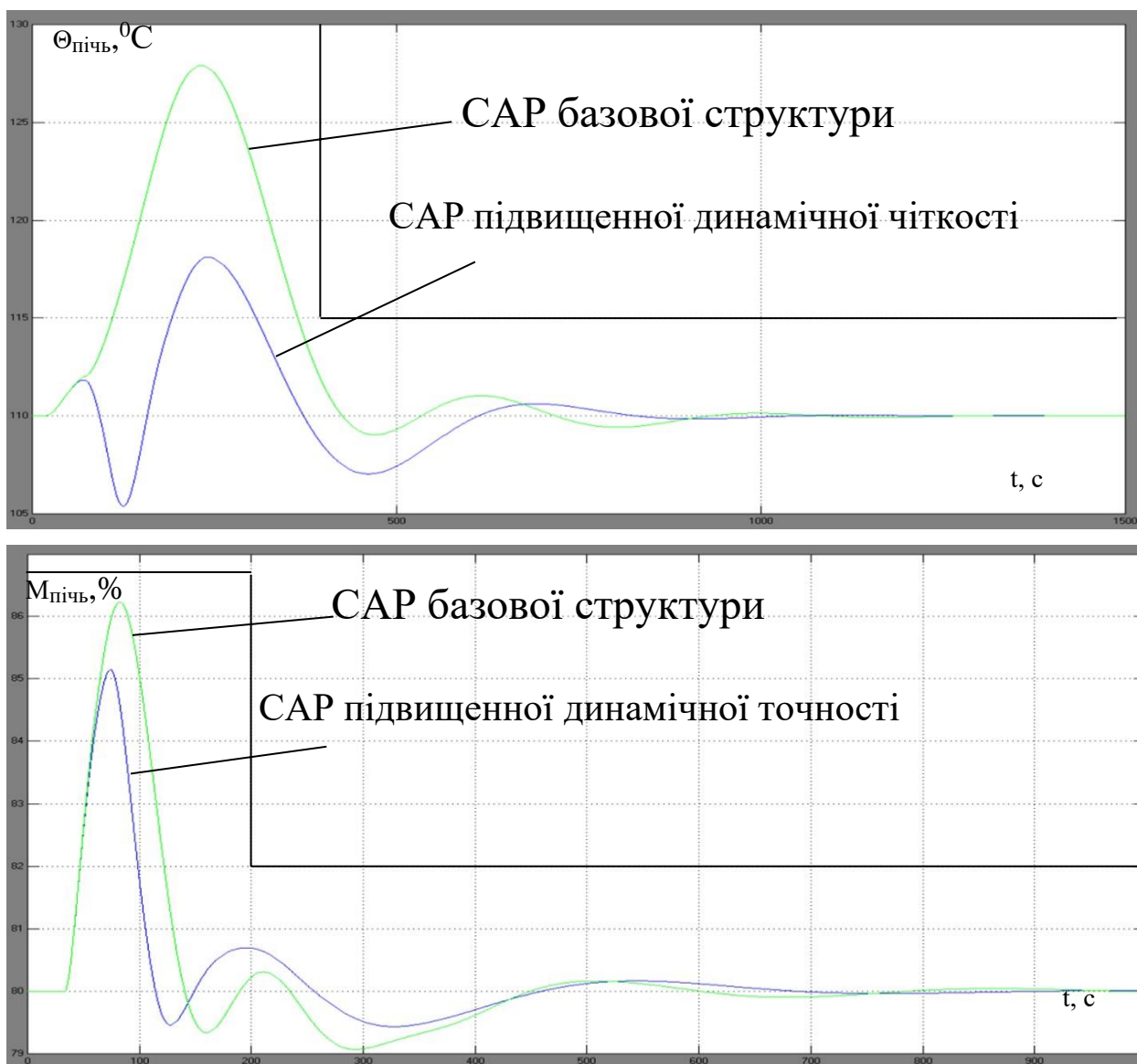


Рис. 3.16 – Перехідні процеси в САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Таблиця 3.1 – Результати порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

$$\Theta_{\text{пiчb}}, ^\circ\text{C}$$

Структура САР	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta \Theta_{\text{пiчb}}^{\text{max}}$	t, с	
Базова	18	360	303,2
Підвищеної динамічної точності	8	307	170,3

$$M_{\text{пiчb}}, \%$$

Структура САР	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta M_{\text{пiчb}}^{\text{max}}$	t, с	
Базова	6,25	125	303,2
Підвищеної динамічної точності	5	100	170,3

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

Для порівняння якості роботи САР базової структури і підвищеної динамічної точності в сталих режимах розроблена структурна схема моделювання, наведена на рис. 3.17. Результати порівняння наведені на рис. 3.18 і в таблиці 3.4.

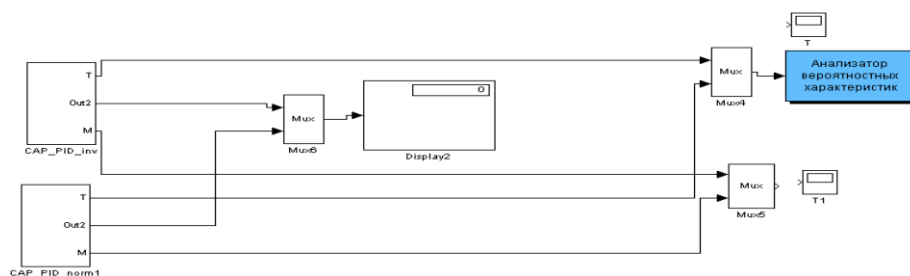


Рис. 3.17 – Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в сталих режимах

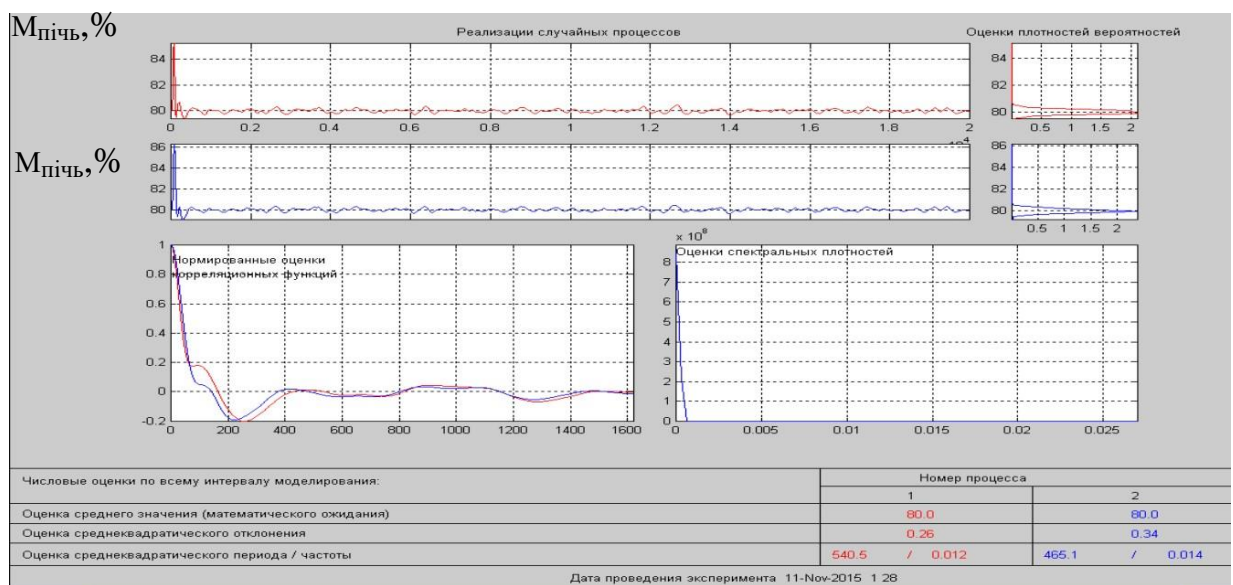
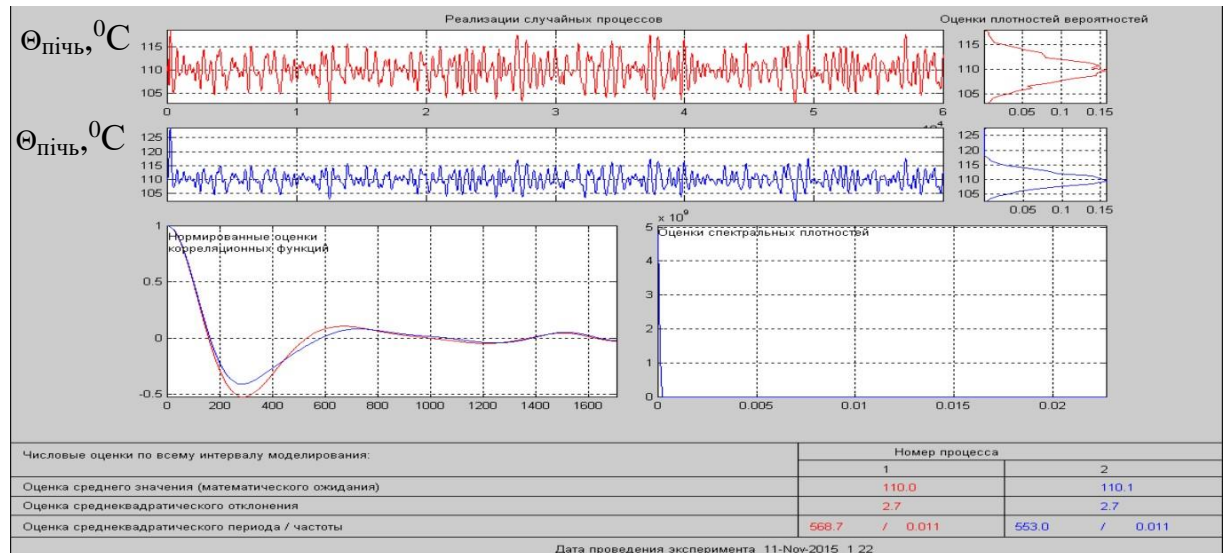


Рис. 3.18 – Результати порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

Таблиця 3.4 – Результати порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

$\Theta_{\text{пичь}}, ^\circ\text{C}$

3.5.3 Порівняльний аналіз грубості параметрично оптимальних САР.

Як показують результати досліджень варіантів САУ, і САР базової структури, і САР підвищеної динамічної точності є грубими.

3.6 Висновки по розділу

У результаті виконання даного розділу курсової роботи була розроблена САР підвищеної динамічної точності - автономна САР. У результаті синтезу

САР підвищеної динамічної точності ми одержали систему, показники якості якої – є кращими, в порівнянні із САР найпростішої структури, а головне більш грубими (за рахунок корегувальних зв'язків). Це означає підвищення працездатності й надійності системи.

РОЗДІЛ 4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИПІЧКИ ХЛІБУ В РОТАЦІЙНІЙ ПЕЧІ

4.1. Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом в ротаційній печі з тепло нагрівачем (Газовою горілкою)

В якості об'єкта модернізації системи автоматизації обраний процес випікання хліба в ротаційній печі Roto Passat 980/Н, апаратурно-технологічна схема котрого наведена на рис.4.1.

Тісто розміщується на протвині, які вручну вкочуються в вагон для випічки. Після вибору програми випічки вагон укочують в розігріту до потрібної температури піч і фіксують. Після цього слід закрити двері печі і запустити програму випічки на дисплеї управління. Можна задати наступні параметри: час випічки, температура, кількість пари, положення парового клапана (витяжка), положення клапана циркуляції повітря. Випічка в Roto Passat відбувається за допомогою гарячого повітря, що подається в камеру випічки через прорізь на задній стінці печі. Під час процесу випічки вагон для випічки обертається.

Принцип підігріву в печі полягає в тому, що вентилятор змушує циркулювати повітря через теплообмінник, який потім подається через прорізь в камеру випічки;

Вологість в камері випічки регулюється подачею пари, з теплообмінника (пластинчастого пароросподілювача).

Відплив повітря з камери випічки відбувається через повітряну шахту, прикріплену на лівій внутрішній стінці. Потім повітря перетікає наверх, назад в теплообмінник.

Roto Passat забезпечена потужним пластинчастим розподілителем пара, що вмонтований позаду стінки з прорізом на задній стіні печі і обдається з двох сторін повітряними потоками.

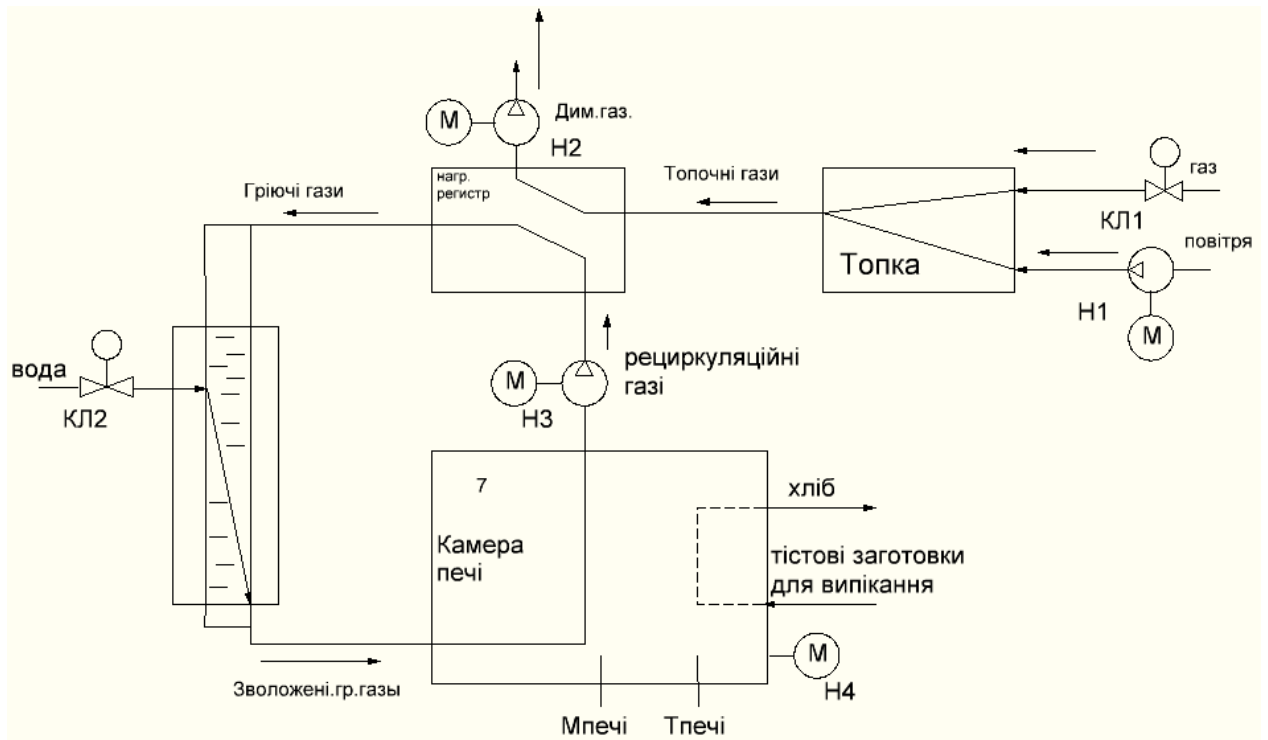
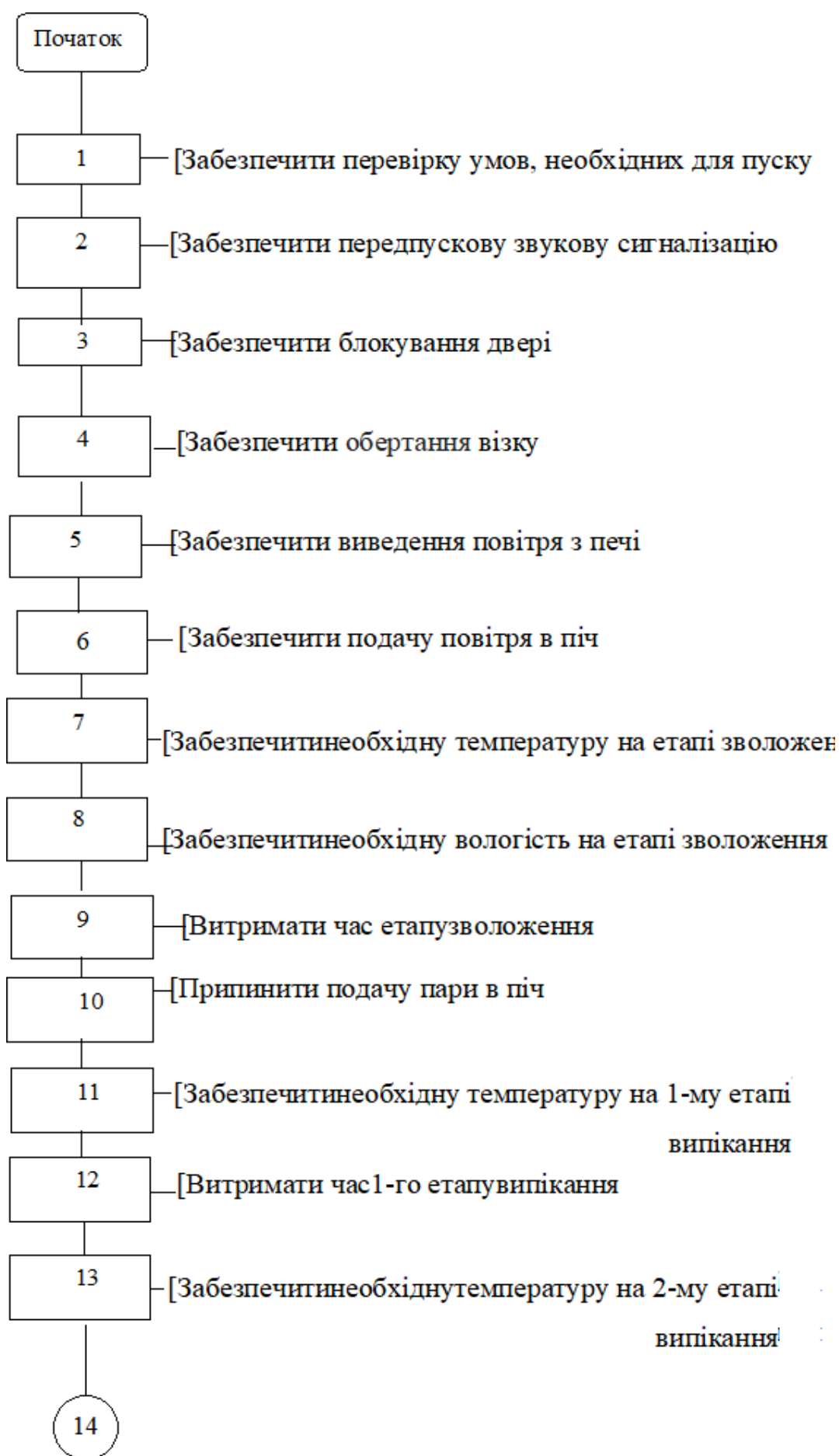


Рис. 4.1 – Апаратурно-технологічна схема процесу випікання хліба в ротаційній печі Roto Passat 980/H

4.2.Формалізація регламентів та розробка алгоритмів логічного управління для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях.

Складемо блок-схему регламенту функціонування ротаційної печі за її пуском (рис.4.2.), згідно до наведеного вище словесного опису.



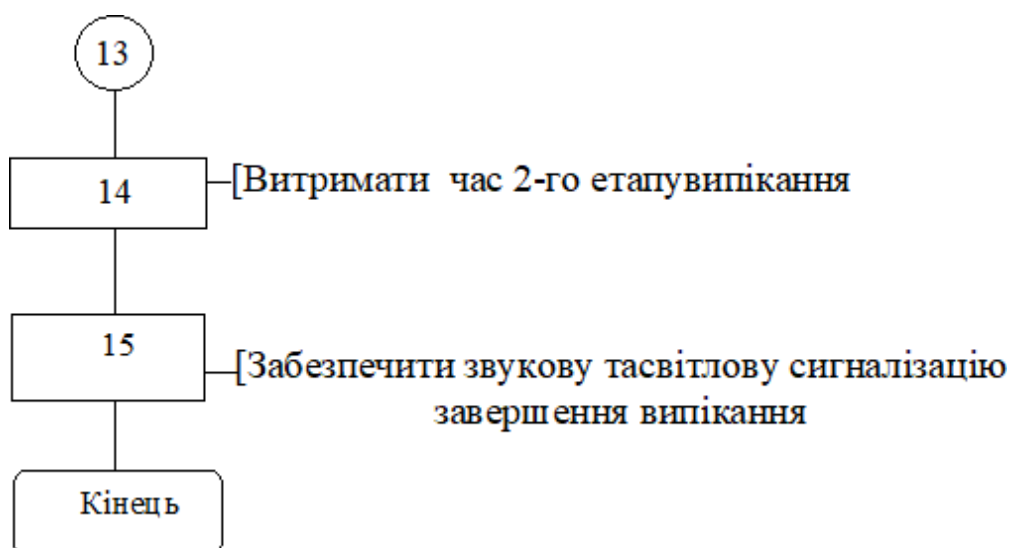


Рис.4.2– Блок-схема регламенту функціонування ротаційної печі за її пуском
 Складемо блок-схему регламенту функціонування ротаційної печі за її штатною зупинкою (рис. 4.3.).

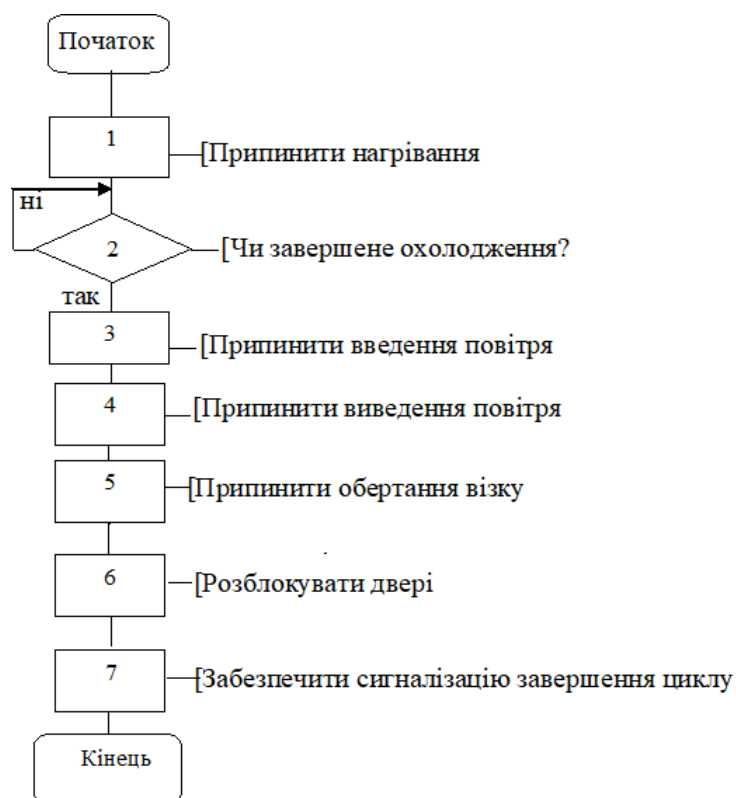


Рис. 4.3– Блок-схема регламенту функціонування ротаційної печі за штатною зупинкою

Розглянемо регламент функціонування ротаційної печі з аварійною зупинкою. Причиною аварійної зупинки печі, будемо вважати аварійну зупинку приводу М1 вентилятору повітря В1. Якщо перевірка в процесі випікання показує наявність аварії ($M1=0$), необхідно негайно вимкнути газову горілку. Після чого, треба дочекатися охолодження повітря в печі (до температури $\theta_{\text{пов}} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ та відносної вологості $-M_{\text{пов}} = 40\%$). Якщо охолодження завершено, треба припинити введення повітря та його виведення з печі, а також зупинити обертання візка. На завершення аварійної зупинки печі необхідно розблокувати двері та подати сигнал про зупинку агрегату.

Складемо блок-схему регламенту функціонування за аварійною зупинкою ротаційної печі (рис. 4.4.).

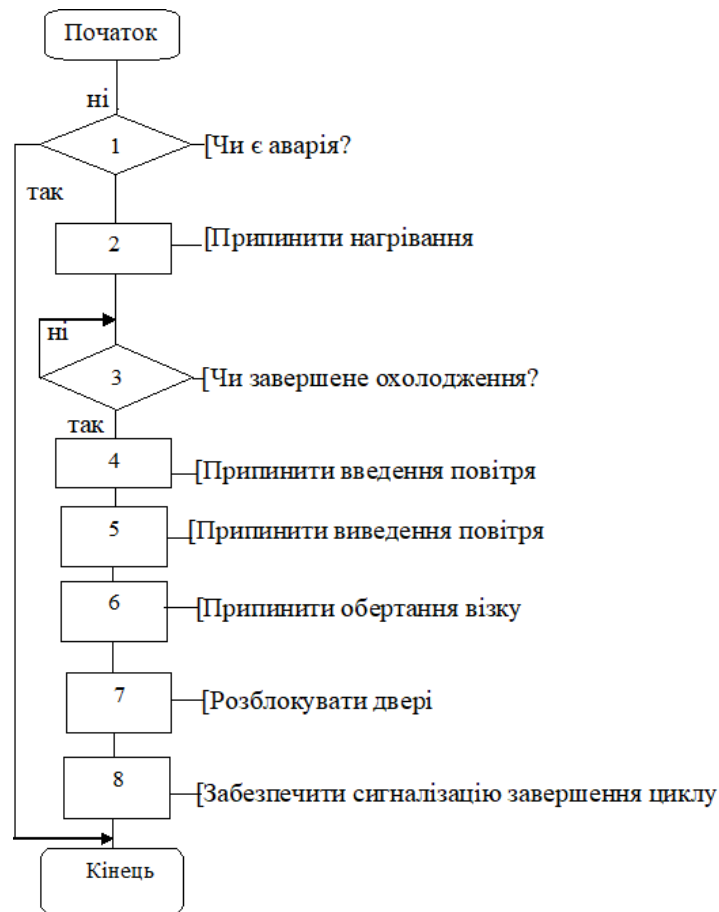


Рис. 4.4.– Блок-схема регламенту функціонування ротаційної печі за аварійною зупинкою ротаційної печі.

Розробка алгоритмів автоматичного керування: за пуском, технологічною та аварійною зупинкою ротаційної печі.

На основі регламенту функціонування ТОК, складеному в попередньому підрозділі, розробимо алгоритми керування (тобто послідовність формування та видачі керуючих дій на ТОК) у вигляді окремих блок-схем, на аналогічних етапах циклу функціонування агрегату: керування за пуском та технологічною зупинкою.

Пуск процесу здійснюється за натисканням оператором кн. «PUSK».

Перед початком технологічного процесу перевіряються передпускові умови, тобто: зачинені двері печі ($GS=1$) та наявний достатній тиск ($PS=1$) в паропроводі. Якщо умови виконані, то починається процес. Спочатку включається передпускова сигналізація. Через 10 сек. вона виключається, засувка ЗС для блокування дверей закривається, а потім включається електропривод, який обертає візок з хлібом (МЗ), Оскільки потужність $M3 \ll M2$, витримку часу після його включення робити необов'язково. Після включення МЗ, включається електропривод М2 вентилятора, що виводить повітря з печі (В2), через витримку часу 10с включається електропривод М1 вентилятора В1, котрий подає повітря в піч. Після створення циркуляції повітря в печі включається регульований нагрівач, та задатчиком подається величина струму на 30% від максимально можливого. Коли температура середовища досягне нижньої межі діапазону – $\theta_{пов} > 107^\circ\text{C}$ (за датчиком ТЕ), переключається керування горілкою на вихід регулятора температури (КР θ), при цьому зовнішній задатчик регулятора ($\theta^{зд}_{пов} = 110^\circ\text{C}$) повинен бути до нього підключений. Після включення КР $\theta_{пов}$ відкривається Кл. пари в піч. Задатчик спочатку встановлюється на 80% діапазону, а після досягнення вологості до нижньої межі діапазону – $M_{пов} = 67\%$ (за датчиком МЕ), переключається керування Кл. пари на вихід регулятора вологості (КР М), при цьому внутрішній задатчик регулятора вологості встановлений на 80%. Здійснення етапу зволоження триває 3хв. (180с), після чого для реалізації першого етапу випікання, відключається КР $M_{пов}$ та підвищується температура середовища

печі до $\theta_{\text{пов}} = 255^{\circ}\text{C}$ шляхом підключення до КР $\theta_{\text{пов}}$ зовнішнього датчика регулятора ($\theta_{\text{пов}}^{\text{зд}} = 255^{\circ}\text{C}$). Здійснення 1-го етапу випікання триває 10хв. (600с), після чого для реалізації другого етапу випікання, знижується температура середовища печі до $\theta_{\text{пов}} = 185^{\circ}\text{C}$ шляхом підключення до КР $\theta_{\text{пов}}$ зовнішнього датчика регулятора ($\theta_{\text{пов}}^{\text{зд}} = 185^{\circ}\text{C}$). Здійснення 2-го етапу випікання триває 94хв. (5640 с), після чого подається звуковий сигнал (тривалістю 2с) та світловий про закінчення випікання.

Блок-схема алгоритму керування за пуском ротаційної печі наведена на рис.

4.5. **Технологічна зупинка** здійснюється після появи звукового сигналу (2с)

та світловий про закінчення випікання, шляхом натискання оператором кн. «STOP», після чого реалізується алгоритм технологічної зупинки печі.

По-перше, необхідно вимкнути КР $\theta_{\text{пов}}$, внаслідок чого відключається газова горілка, завдяки чому починається процес охолодження. За досягненням початкових значень температури охолодження – $\theta_{\text{пов}} = 35^{\circ}\text{C}$, відносної вологості $M_{\text{пов}} = 40\%$, вимикають електроприводи М1 та М2 вентиляторів В1 та В2. Після чого вимикають електропривод М3, обертання візку. Останньою дією є розблокування дверей вимиканням ЗС та подання сигналу про завершення циклу випікання. Блок-схема алгоритму керування за штатною зупинкою ротаційної печі наведена на рис. 4.6.

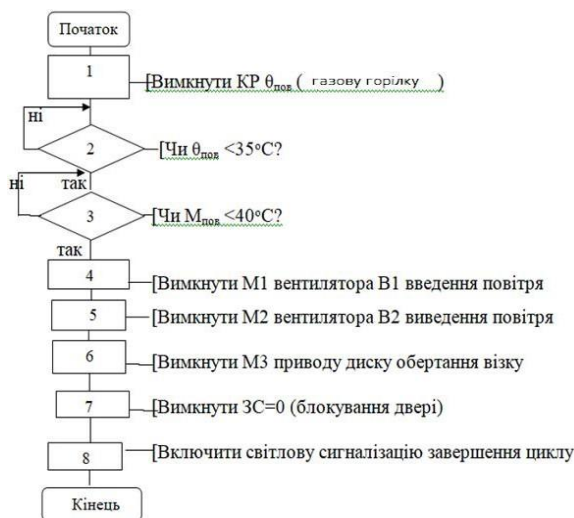


Рис. 4.6 – Блок-схема алгоритму керування ротаційною
підчюзаштатною зупинкою

Аварійна зупинка здійснюється автоматично за сигналом аварійного вимикання електроприводу М1. Блок-схема наведена на рис. 4.7. Спочатку перевіряється наявність аварії, якщо її нема алгоритм завершений. Якщо перевірка в процесі випікання показує наявність аварії ($M1=0$), негайно вимикається контур регулювання ($KP \theta_{пов}$), внаслідок чого відключається газова горілка. Після чого, треба дочекатися охолодження повітря в печі (до температури $35^{\circ}C$ та відносної вологості 40%). Якщо охолодження завершено, треба вимкнути М2 (В2), а також вимкнути М3. На завершення аварійної зупинки печі необхідно відключити блокування двері ($ZC=0$) та подати сигнал про зупинку агрегату.

4.3. Реалізація алгоритмів логіко-програмного управління в виді функціональної логічної схеми

ФЛС процесу наведена на рис. 4.8. Формування умов необхідних для запуску здійснюється елементом 12 за сигналами від датчику реле 1, який вказує на зачинені двері ($GS=1$), датчику реле 2 тиску ($PS=1$) пари в паропроводі, а також від кнопки «**PUSK**» 3, котрі приходять у схему, через ДЦП6-8. Підхоплення сигналу пуску здійснює RS-тригер 14. Після появи логічної «**I**» на виході RS-тригера включається передпускова звукова сигналізація (ППЗС). Витримку часу забезпечує таймер 15 (10 с). Формує сигнал включення на ППЗС елемент 16 «**&**» через ЦДП 17. По завершенні дії ППЗС від таймера 15 подається сигнал «**I**» на RS-тригер 22, потім на ЦДП 23 для блокування двері. Одночасно сигнал «**I**» подається на RS-тригер 25, потім на М3 (привод обертання візка), через ЦДП 26. Крім того, сигнал «**I**» подається на RS-тригер 27 і через ЦДП 28 включає М2 (привод витяжного вентилятора В2). Витримку часу забезпечує таймер 31 (10 с). Після витримки часу сигнал «**I**» подається на RS-тригер 29 і через ЦДП 30, включає М1 (привод

вентилятора В1). Після включення М1, від RS-тригера 29, також, сигнал «I» подається на блок «&» 45, а потім на RS-тригер 46, від котрого сигнал іде до задатчика 47 (30%), звідки сигнал подається до перемикача 48 (зверху), та включає нагрівач газову горілку (на відповідний % потужності), через ЦАП 49 та перетворювач струму.

Датчик температури через АЦП 50 подає сигнал на регулятор 53, через який він подається на перемикач 48 (збоку). Одночасно датчик температури через АЦП 50 подає сигнал на пороговий елемент 51 ($\theta > 107^{\circ}\text{C}$), через який (за виконанням умови) він подається на блок «&» 52, куди також, сигнал раніше подається від RS-тригера 46. Від блоку «&» 52 сигнал подається на перемикач 48 (знизу). Внаслідок перемикання блока 48, на ТЕН через ЦАП 49 та перетворювач току подається сигнал керування (u_1) від регулятора температури 53. Від RS-тригера 46 сигнал «I», також, подається на задатчики 54 (35°C – початкова температура в печі), 59 (110°C), та на перемикач 55 (знизу), завдяки чому, сигнал завдання від Н1 (110°C) передається через перемикачі 56, 57 та фільтр 58 на регулятор 53 (як зовнішнє завдання).

Після нагріву печі більш 97°C включається КР вологості. При цьому від RS-тригера 29, сигнал «I» подається на блок «&» 74 та 37, RS-тригер 38 і задатчик 39 (80%), подається сигнал до перемикача 40 (зверху), котрий відкриває клапан пари до зволожувача (на 70%), через ЦАП 43.

Датчик вологості через АЦП 44 подає сигнал на регулятор вологості, через який він подається на перемикач 40 збоку. Також, датчик вологості через АЦП 44 подає сигнал на пороговий елемент 42 ($M > 69,5\%$), через який він (за досягненням нижнього порогового значення діапазону) подається на блок «&» 41. Туди, також, раніше поданий сигнал від RS-тригера 38. Від блоку «&» 41 сигнал подається на перемикач 40 знизу, що забезпечує підключення сигналу керування (u_2) від регулятора вологості до клапану пари до зволожувача через ЦАП 43.

Переключення зовнішнього програмного задатчика на режими згідно до етапів випікання здійснюється наступним способом. Витримку часу 180с

(3хв.) етапу зволоження здійснює таймер 62 після чого, задатчик **Н2** 60 (255°C) подає сигнал на перемикач 60. Від таймеру 62 (180с) сигнал «**I**» ще йде на вхід «**R**» RS-тригер 38, та з інверсією на блок 37, що забезпечує скидання RS-тригеру 38 та закриття клапану пари. Крім того, той же сигнал «**I**» подається на перемикач 56 (знизу), завдяки чому завдання з **Н2** 60 (255°C) подається через перемикач 57 і фільтр 58 на регулятор температури.

Аналогічно, за закінченням часу етапу зволоження та першого етапу випікання 780с (3+10 хв.), що здійснюється таймером 63, підключається задатчик **Н3** 61 (185°C), котрий подає сигнал через фільтр 58 до регулятора температури.

Від RS-тригеру 46, також, сигнал подається на таймер 64, котрий імітує час 6420с (3+10+ 93 хв.) етапів зволоження, першого та другого етапу випікання, після чого сигнал «**I**» поступає на вхід «**S**» RS-тригер 65, котрий зводиться і через ЦДП 75 включає світлову сигналізацію «Закінчення випікання» та одночасно забезпечує подачу імпульсу (таймер 73 – 2с) на пристрій звукової сигналізації НА.

Оператор почувши звуковий сигнал і побачивши світовий сигнал закінчення випікання (2-го етапу) перевіряє візуально (через вікно у двері печі) кольоровий стан виробів, і за задовільним результатом натискає кнопку «**STOP**», завдяки чому здійснюється штатна зупинка.

За натисканням кнопки «**STOP**» (імпульс 2-3хв.) сигнал «**I**» з ДЦП 5 поступає через суматор 24 на вхід «**R**» RS-тригера 14, завдяки чому він скидається до 0, і на входи «**S**» RS-тригерів 22, 25, 27 поступає сигнал 0, що дозволить їх скинути за приходом сигналів «**I**» на їхні «**R**» входи. Також сигнал «**I**» поступає на вхід «**S**» RS-тригера 9, звідки сигнал «**I**» через суматор 66 поступає на вхід «**R**» RS-тригера 46 та інверсний сигнал на вхід суматора 45, що забезпечить обнуління RS-тригера 46, внаслідок чого КР температури вимикається. Процес охолодження в печі вважається закінченим, коли температура та вологість в ній повернуться до початкових значень, факт чого визначається за появою сигналів «**I**» на виході порогових елементів

відповідно 70 та 69. Сигнали «I» через суматори 71, 33 та 36 поступає на входи «R» RS-тригерів 29, 27, 25, 22, що призводить до вимикання приводів M1, M2, M3 та розблокування дверей, і, як наслідок, зупинки відповідних механізмів (B1, B2, обертання візка), а через витримку часу (через таймер 18) включає світлову сигналізацію закінчення циклу випікання. Остання сигналізація вказує на можливість для оператора відкриття дверей та вивантаження готової продукції. .

Імітування аварійної зупинки після включення системи відображає аварійну виробничу ситуацію, пов'язану з виходом з ладу електроприводу M1. При цьому, сигнал «I» проходить через ДЦП 11 поступає на вхід «S» RS-тригера 67, звідки через суматор 66 повторює послідовність проходження сигналу для відключення , як за штатною зупинкою, та після охолодження послідовне відключення приводів M2, M3 та розблокування дверей, а через витримку часу (через таймер 18) на зупинку відповідних механізмів (B2, обертання візка), включає світлову сигналізацію закінчення циклу випікання. При цьому скидання тригеру 14 здійснюється через таймер 35 (2с для створення імпульсу), суматори 34 и 24.

Скидання низки тригерів 9, 19, 65, 67 для підготовки наступного циклу роботи здійснюється за наступним натисканням кнопки «**PUSK**».

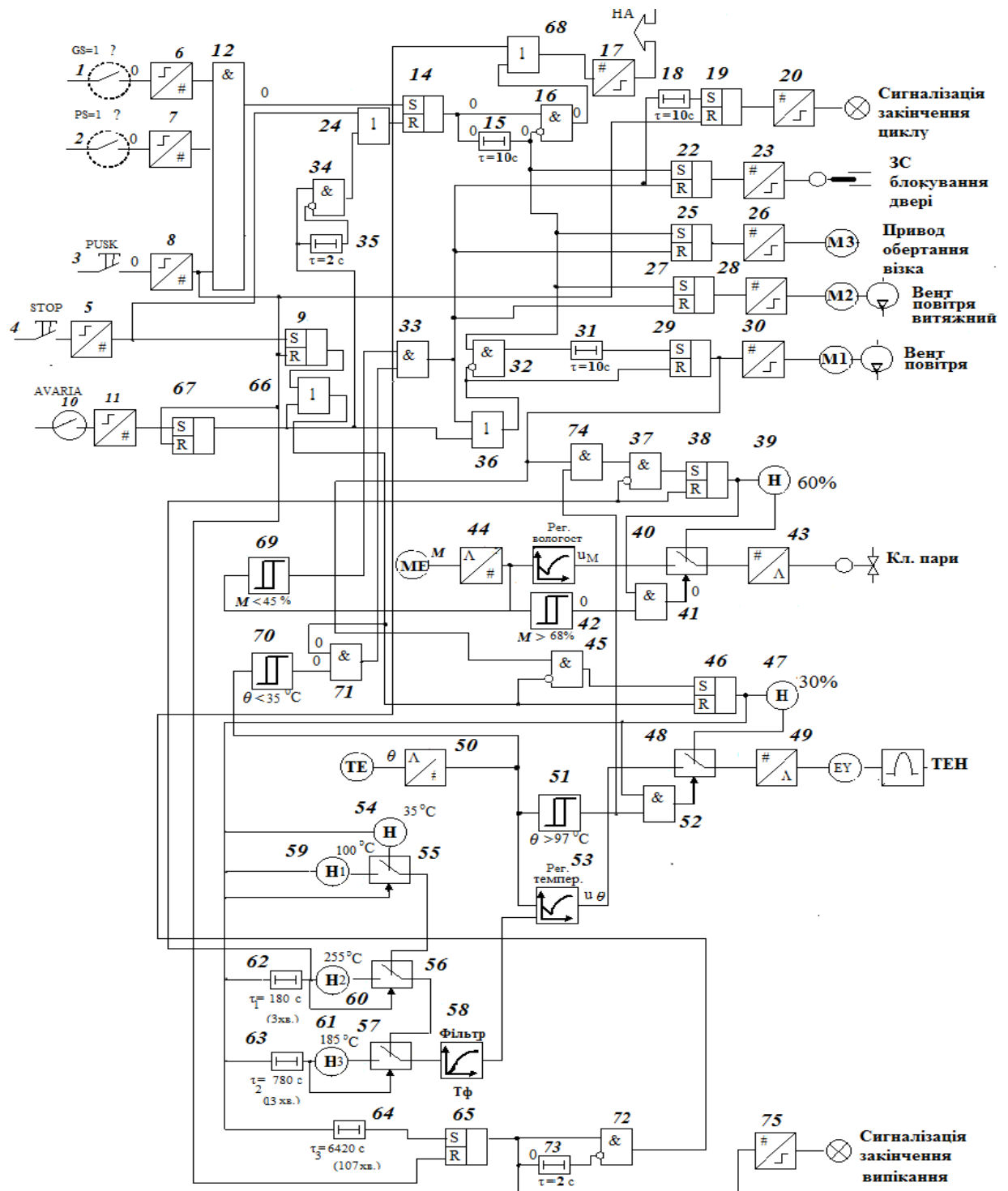


Рис. 4.8 – Функціонально логічна схема керування процесом випікання хліба в ротативній печі

4.4. Імітаційне моделювання роботи алгоритмів логічного керування

4.4.1. Розробка моделі системи логічного управління ТО засобами середовища MatLab/Simulink

Програма моделювання роботи САК наведена на рис.4.9. Для скорочення часу моделювання деякі параметри блоків масштабовані (зменшені), а саме: блок 180с Timer4 – 90с, блок 780с Timer5 – 380с, блок 6420с Timer6 – 1700с.

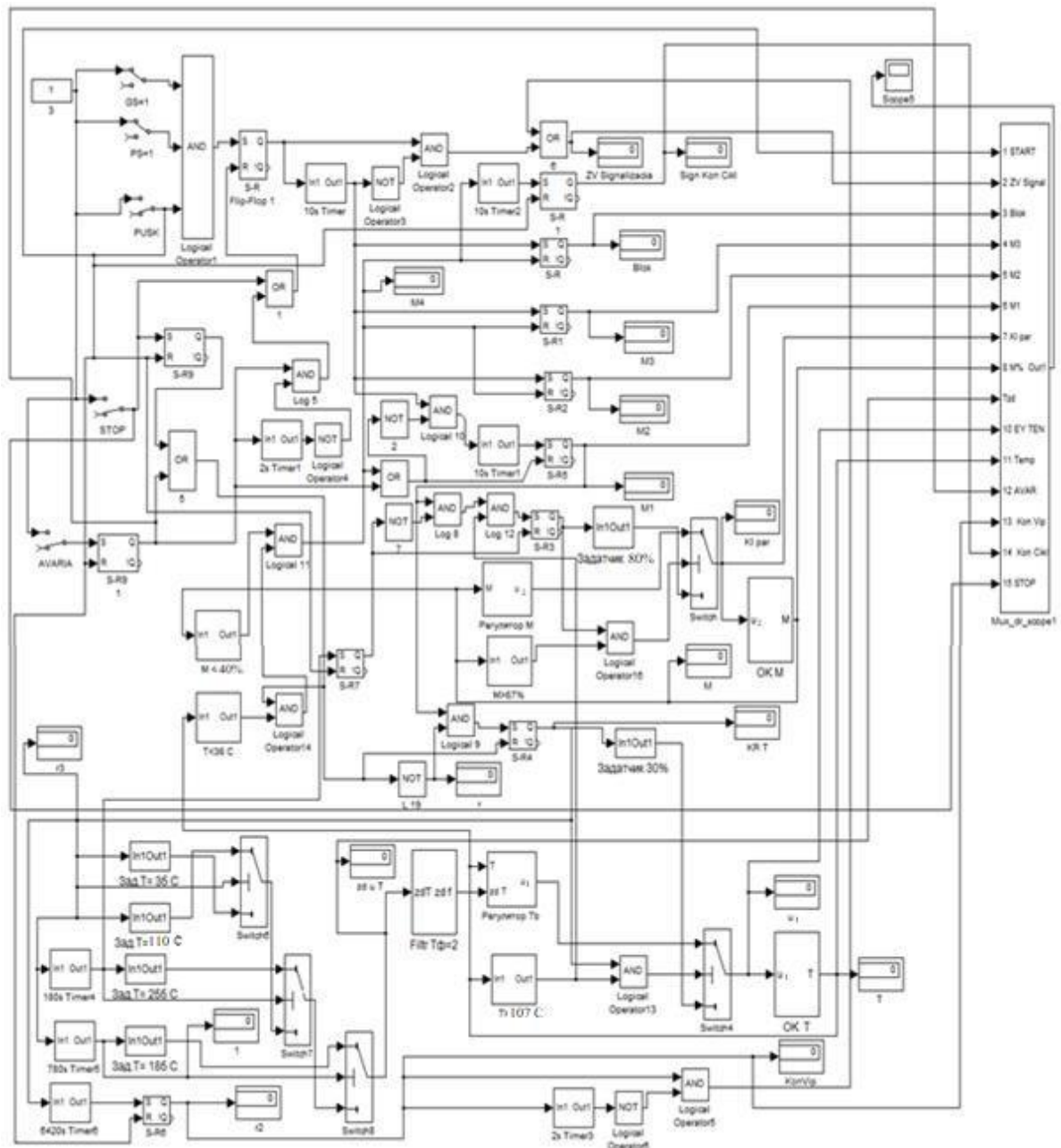


Рис. 4.9 –Схема моделювання роботи алгоритму керування за пуском, технологічною та аварійною зупинкоюкотла, реалізована в MATLAB
 Моделювання роботи САК здійснюється в середовищі MATLAB, при цьому використані характеристики ОК, регламенти, параметри налаштування регуляторів та програми зміни температурних режимів випікання ідентичні здобутим у попередніх дослідженнях.

Формування умов необхідних для *запуску* здійснюється елементом AND (Logicaloperator1 – AND1) за сигналами від датчику реле GS=1, який вказує на зачинені двері, датчику реле тиску PS=1 наявність пари в паропроводі, також від кнопки PUSK. З AND1 сигнал надходить на вхід «S» тригера SR Flip-Flop 1, котрий зводиться, і через AND2 починає працювати передпускова звукова сигналізація (ППЗС). Витримку часу на ППЗС забезпечує таймер 10sTimer, сигнал від якого через інвертор (NOT3), потрапляє в логічний елемент AND2, вихідний сигнал із котрого, формує сигнал на ППЗС.

По завершенні дії ППЗС від таймера подається сигнал на вхід «S» тригера S-R для блокування двері. Одночасно той же сигнал подається на вхід «S» тригера S-R1 для включення M3 та на S-R2 для включення M2 (B2). Через витримку часу, що забезпечує 10s таймер1, сигнал подається на вхід «S» тригера S-R5 для включення M1 (B1). Після включення B1, сигнал включення подається на AND8 (Logicaloperator8) та AND9 (Logicaloperator9) для включення контурів регулювання (КР) вологості та температури. КР температури починає працювати після приходу сигналу від AND9 через тригер S-R4 до задатчика 30%, котрий подає сигнал керування до перемикача Switch4 (знизу), через який подається на ОК Т, тобто включається через перетворювач струму нагрівач, відповідно на 30%. Сигнал виходу ОК Т, де імітується процес нагрівання, подається на регулятор температури (вх.1), вихід з котрого подається на перемикач Switch4 зверху. Також, сигнал температури подається на пороговий елемент ($\theta > 107^{\circ}\text{C}$), за виконанням умови, сигнал з котрого, подається на блок AND13, куди, також, подається сигнал з виходу S-R4. Сигнал «I» від блоку AND13 подається на перемикач Switch4, що забезпечує перемикач виходу регулятора на вхід ОК Т. Крім того, сигнал «I» з порогового елементу ($\theta > 107^{\circ}\text{C}$) подається на AND12, що дозволяє включення КР вологості.

Включення КР вологості здійснюється за поданням сигналу «I» на вхід «S» тригера S-R3 та через нього на задатчик (80%). Сигнал завдання (ступень

відкриття Клапана пари) подається до перемикача Switch знизу, і через нього подається на ОК М, тобто забезпечує відкриття на 80% клапан зволожувача.

Сигнал з виходу ОК М, де імітується процес зволоження, подається на регулятор вологості (М), вихід з котрого подається на перемикач Switchзверху. Також, сигнал вологості подається на пороговий елемент ($M > 67\%$), за виконанням умови, сигнал з котрого, подається на блок AND16, куди, також, подається сигнал з виходу S-R3. Сигнал «I» від блоку AND16 подається на перемикач Switch, що забезпечує перемикання виходу регулятора на вхід ОК М.

Крім того, сигнал «I» від S-R4, також, подається на задатчики (35°C), (100°C) та перемикач Switch6, що забезпечує формування зовнішнього завдання (100°C) через Switch7, Switch8 та Filtr на вх.2 регулятора температури. Після витримки часу зволоження, що здійснюється через таймер4 (180s), як зовнішній підключається задатчик (255°C) через Switch7, Switch8 та Filtr на вх.2 регулятора температури. Також від таймеру4 (180с) йде сигнал «1» на «S» вхід тригера S-R7, з виходу котрого сигнал «I» йде на «R» вхід тригера S-R3 та одночасно через елементи NOT7, AND8, AND12, для встановлення «0» на «S» вході тригера S-R3, що забезпечує вимикання КР вологості та закриття клапана пари.

Після витримки часу 1-го етапу випічки, що здійснюється через таймер5 ($180+600=780\text{s}$), як зовнішній підключається задатчик (185°C) через Switch8 та Filtr на вх.2 регулятора температури.

Після витримки часу 2-го етапу випічки, що здійснюється через таймер6 ($180+600+5640 = 6420\text{s}$), сигнал «I» подається на вхід «S» тригера S-R6, з виходу котрого сигнал одночасно забезпечує включення сигналізації про закінчення випікання та одночасно на вузол, що складається з 2 таймеру3, елементів NOT6 та AND6 формування імпульсу (2с) на звукову сигналізацію (НА).

Оператор почувши звуковий сигнал і побачивши світловий сигнал закінчення випікання (2-го етапу) перевіряє візуально (через вікно у двері печі)

кольоровий стан виробів, і за задовільним результатом натискає кнопку **STOP**», завдяки чому здійснюється штатна зупинка.

За натисканням кнопки «STOP» (імпульс 2-3хв.) сигнал «I» поступає через суматор OR1 на вхід «R» тригеру S-R Flip-Flop1, завдяки чому він скидається до 0, і на входи «S» тригерів S-R, S-R1, S-R2, поступає сигнал 0, що дозволить їх скинути за приходом сигналів «I» на їхні «R» входи. Також сигнал «I» поступає на вхід «S» тригеру S-R9, звідки сигнал «I» через суматор OR5 поступає на вхід «R» тригера S-R4 та інверсний (через NOTL19) сигнал на вхід суматора AND9, що забезпечить обнуління тригера S-R4, внаслідок чого КР температури вимикається і ТЕН відключається. Процес охолодження в печі вважається закінченим, коли температура та вологість в ній повернуться до початкових значень, факт чого визначається за появою сигналів «I» на виході порогових елементів відповідно $T < 36^{\circ}\text{C}$ та $M < 40\%$. Сигнали «I» через суматори AND14, AND11 та OR поступає на входи тригерів «R» S-R5, S-R2, S-R1, S-R, S-R_1, що призводить до вимикання приводів M1, M2, M3 та розблокування дверей, відповідно до зупинки відповідних механізмів (B1, B2, обертання візка), а через витримку часу (через 10s таймер2) включає світлову сигналізацію закінчення циклу випікання. Остання сигналізація вказує на можливість для оператора відкриття дверей та вивантаження готової продукції. .

Імітування аварійної зупинки здійснюється після включення системи, її пуску та виникнення АВАРІЇ, що відображає аварійну виробничу ситуацію, пов'язану з виходом з ладу електроприводу M1. При цьому, сигнал «I» поступає на вхід «S» тригеру S-R9_1, звідки через суматор OR5 повторює послідовність проходження сигналу для відключення ТЕНу, як за штатною зупинкою, та після охолодження послідовне відключення приводів M2, M3 та розблокування дверей, відповідно, як наслідок, зупинку відповідних механізмів (B1, B2, обертання візка), а через витримку часу (через 10s таймер2) включає світлову сигналізацію закінчення циклу випікання. При цьому скидання

тригеру S-RFlip-Flop1 здійснюється через 2s таймер1 (2с для створення імпульсу), блок інверсії, суматори AND5 и OR1.

Скидання низки тригерів S-R91, S-R1, S-R6, S-R9 для підготовки наступного циклу роботи здійснюється за наступним натисканням кнопки «**PUSK**», за рахунок подання імпульсу на входи «R» відповідних тригерів.

Програма ПІ-регулятора із зовнішнім завданням в КР температури наведена на рис. 4.10,а вологості - на рис. 4.11.

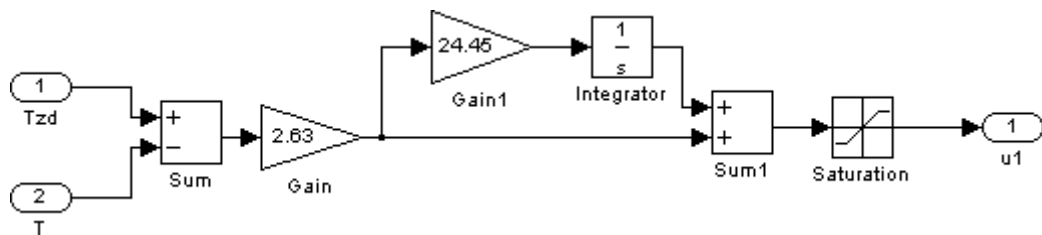


Рис.4.10 – Схема програми регулятора із зовнішнім задатчиком в КР температури

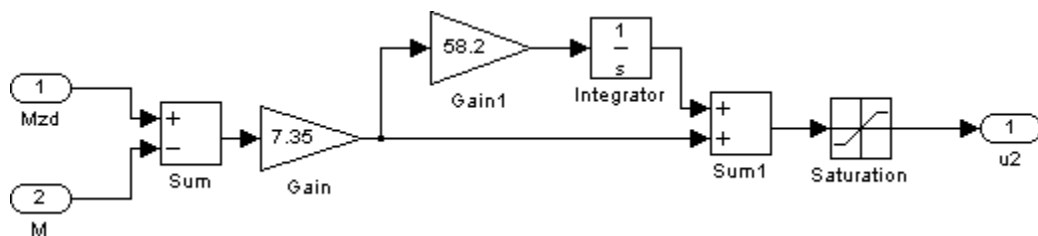


Рис.4.11 – Схема програми регулятора із зовнішнім задатчиком в КР вологості

Усі сигнали контрольованих змінних, а також ті, що керують Горілкою, клапаном пари, двигунами електроприводів та сигнали, що формуються оператором, від кнопок «START» і «STOP» подаються на Score5 через MUX_dr_score 1, схема котрого наведена на рис. 4.12.

Таким чином, робота ФЛС, що розроблена, повністю відображена в роботі програми в середовище MATLAB.

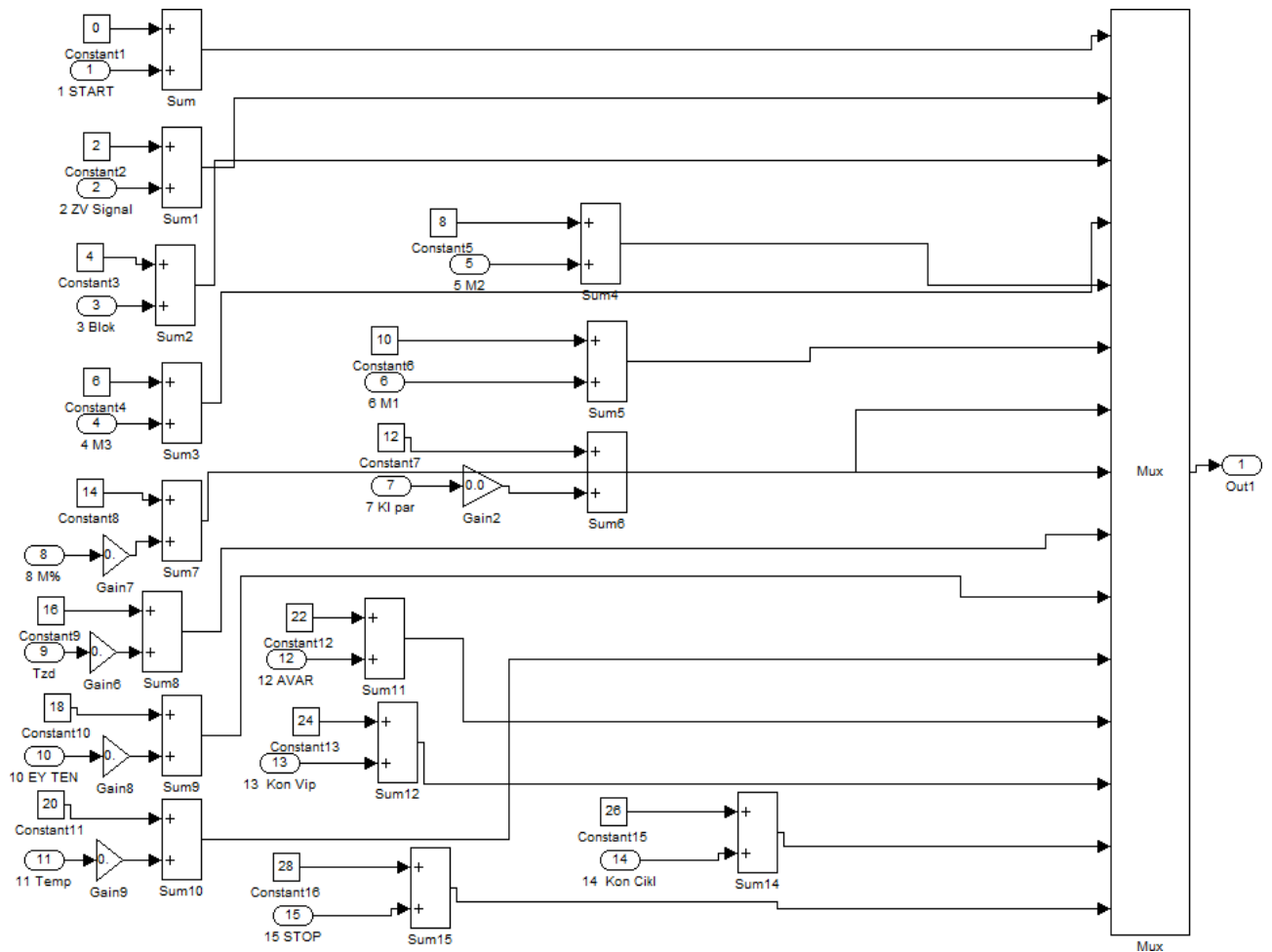


Рис.4.12 – Схема моделювання роботи блоку MUX_dr_score 1,
що реалізована в MATLAB

4.5. Результати моделювання роботи САК/СЛК

На рис. 4.13, 4.14 наведені часові графіки змінних (Діаграма роботи системи керування), що відображають реальну послідовність керування пристроями КТЗ (Газова горілка, клапаном пари, приводами вентиляторів, диском обертання, пристроєм блокування замку, світлової та звукової сигналізації і ін.).

На рис. 4.13 наведено діаграму роботи системи керування за пуском та в штатному режимі зупинки, що здійснюється за натисканням оператором кнопки «STOP».

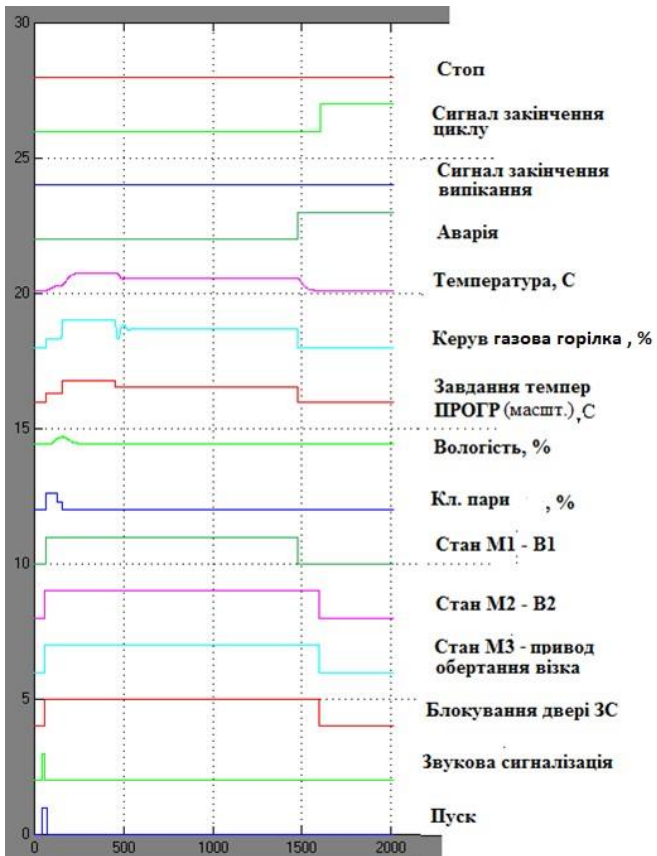


Рис. 4.12 – Діаграма роботи системи керування ротаційною піччю в штатному режимі

На рис. 4.14 наведено діаграму роботи системи керування за пуском та в аварійному режимі зупинки, що відповідає аварійній зупинці електроприводу М1 вентилятору повітря. При цьому кнопка «**STOP**» оператором не натискається.

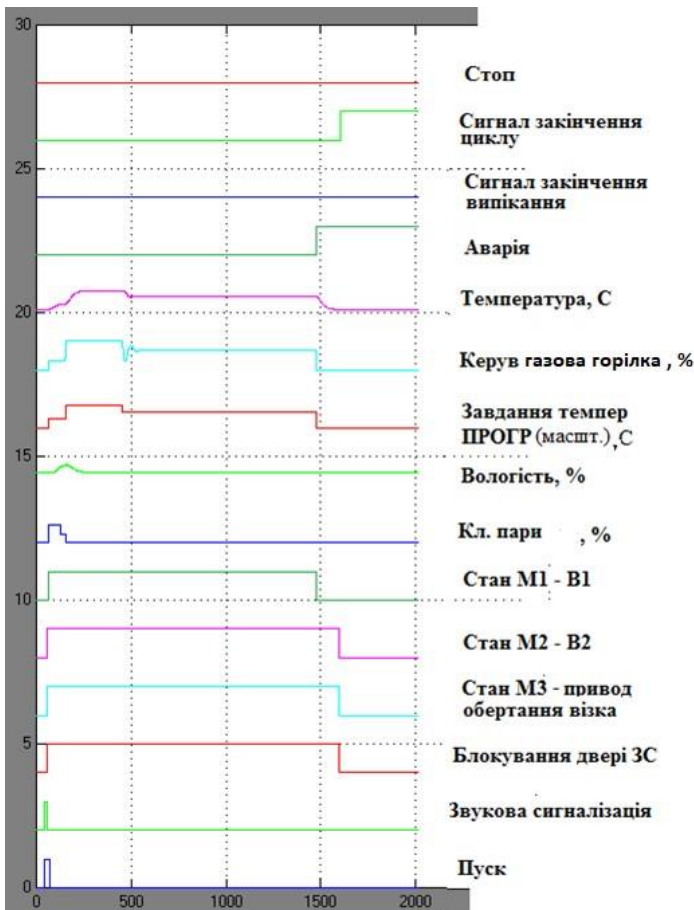


Рис. 4.14 – Діаграма роботи системи керування ротаційною піччю в аварійному режимі

4.6. Висновки за розділом

В результаті виконання 4 розділу кваліфікаційної роботи для даного технологічного агрегату були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки ротаційної печі в штатному та аварійному режимах, розроблена функціональна логічна схема керування ротаційної піччю, побудована імітаційна модель її реалізація на ЕОМ, за допомогою середовища MATLAB. Можемо зазначити, що алгоритми керування, які були розроблені, а також характеристики отримані при моделюванні роботи САК достатньо точно співпадають з реальними технологічними процесами випікання хліба в ротаційній печі.

Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі

5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення

Процес випічки хліба здійснюється в ротаційній печі, яка встановлена у опалювальному приміщенні, температура повітря в якому змінюється в діапазоні 20...30 °С. Цей процес пожежовибухонебезпечним, оскільки в приміщенні можуть виникнути фактори, які здатні викликати пожежу або вибух.

5.1.1 «Правила улаштування електроустановок» визначають:

5 відкрита, або зовнішня, електроустановка

Електроустановка, не захищена будівлею від атмосферного впливу. Електроустановки, захищені тільки навісами, сітчастими огорожами тощо, розглядають як зовнішні.

6 сухе приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря не перевищує 60 %. За відсутності в такому приміщенні умов, наведених у 10–12, воно називається нормальним.

7 вологе приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря є більше ніж 60 %, але не перевищує 75 %.

8 сире приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря тривалий час перевищує 75 %.

9 особливо сире приміщення

Приміщення, в якому відносна вологість повітря наближена до 100 % (стеля, стіни, підлога і предмети, що є в приміщенні, покриті вологою).

10 жарке приміщення

Приміщення, в якому під впливом різних теплових випромінювань температура перевищує постійно або періодично (понад 1 добу) + 35 °С (наприклад, приміщення із сушарками, сушильними і випалювальними печами, котельні тощо).

11 запилене приміщення

Приміщення, в якому за умовами виробництва виділяється технологічний пил у такій кількості, що він може осідати на проводах, проникати всередину машин, апаратів тощо. Запилені приміщення поділяються на приміщення зі струмопровідним пилом і приміщення з неструмопровідним пилом.

12 приміщення з хімічно активним або органічним середовищем

Приміщення, в якому постійно або протягом тривалого часу є присутніми агресивні пари, гази, рідини, утворюються відкладення або цвіль, що руйнують ізоляцію і струмопровідні частини електроустаткування.

Щодо небезпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

а) приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку (див. підпункти б), в);

б) приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в них

однієї з умов, що створює підвищену небезпеку:

1) вологості або струмопровідного пилу (див. 8 і 11);
2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);

3) високої температури (див. 10);

4) можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, які мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого;

в) особливо небезпечні приміщення, які характеризуються наявністю однієї з умов, що створює особливу небезпеку:

- 1) особливої вологості (див. 9);
- 2) хімічно активного або органічного середовища(див. 12);
- 3) одночасно двох або більше умов підвищеної небезпеки

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена ротаційна піч, слід віднести до жаркого приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

Згідно з «Правилами будови електроустановок електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» клас вибухонебезпечних зон характерних виробництв та категорія і група вибухонебезпечної суміші повинні відображатися в нормах технологічного проектування або в галузевих переліках виробництв з вибухопожежонебезпеки.

Газо-, пароповітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пилоповітряні — вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22.

Вибухонебезпечна зона класу 0 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або протягом тривалого часу.

Вибухонебезпечна зона класу 0 згідно з вимогами даного розділу може мати місце тільки в межах корпусів технологічного обладнання.

Вибухонебезпечна зона класу 1 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи (тут і далі нормальна робота — ситуація, коли установка працює відповідно до своїх розрахункових параметрів).

Вибухонебезпечна зона класу 2 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго. У цих випадках можливі аварії катастрофічних розмірів (розрив трубопроводів високого тиску або резервуарів значної місткості) не повинні розглядатися під час проектування електроустановок.

Вибухонебезпечна зона класу 20 — простір, у якому під час нормальної експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або часто в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з

повітрям, і (або) простір, де можуть утворюватися пилові шари непередбаченої або надмірної товщини. Звичайно це має місце всередині обладнання, де пил може формувати вибухонебезпечні суміші часто і на тривалий термін.

Вибухонебезпечна зона класу 21 — простір, у якому під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари в кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації.

Ця зона може включати простір поблизу місця порошкового заповнення або осідання і простір, де під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилових шарів, які можуть утворювати небезпечну концентрацію вибухонебезпечної пилоповітряної суміші.

Вибухонебезпечна зона класу 22 — простір, у якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися не часто й існувати недовго або в якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії.

Ця зона може включати простір поблизу обладнання, що утримує пил, який може вивільнитися шляхом витоку і формувати пилові утворення.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена ротаційна піч, слід віднести до вибухонебезпечної зони класу 2.

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють:

Табл. 5.1 Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин (стаціонарних і пересувних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
21	Вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9). Ступінь захисту IP54 Частини машин, що дають іскріння (наприклад, контактні кільця), повинні бути замкнені в оболонку зі ступенем захисту IP54

Табл. 5.2 Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів (стаціонарних, пересувних і переносних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху. Допускається застосовувати електрообладнання без засобів вибухозахисту для апаратів і приладів, що не іскрять і не нагріваються вище +80° С в оболонці зі ступенем захисту не менше IP54
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
21	Вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9) оболонки зі ступенем захисту не менше IP54

Для приміщення, де встановлена ротаційна піч, слід вибирати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Підвищеної надійності проти вибуху».

«Правила будови електроустановок електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» визначають:

Пожежонебезпечна зона класу II-I — простір у приміщенні, у якому знаходиться горюча рідина, яка має температуру спалаху більше +61° С.

Пожежонебезпечна зона класу П-ІІ — простір у приміщенні, у якому можуть накопичуватися і виділятися горючий пил або волокна.

Пожежонебезпечна зона класу П-ІІа — простір у приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Пожежонебезпечна зона класу П-ІІІ — простір поза приміщенням, в якому знаходяться горюча рідина, яка має температуру спалахнення понад +61° С або тверді горючі речовини.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлена ротаційна піч, слід віднести до пожежонебезпечної зони класу П-ІІ.

«Правила будови електроустановок електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють:

Табл. 5.3 Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин у залежності від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класу			
	П-І	П-ІІ	П-ІІа	П-ІІІ
Установки стаціонарні, які іскрять або мають частини, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні, які не іскрять і не мають частин, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Установки на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять або не іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44

Табл. 5.4 Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів у залежності від класу пожежонебезпечної зони

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класів			
	П-I	П-II	П-IIIa	П-III
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах, які не іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Шафи для розміщення апаратів і приладів	IP44	IP54 IP44*	IP44	IP44
Коробки наборів затискачів силових і вторинних кіл	IP44	IP44	IP44	IP44

Для приміщення, де встановлена ротаційна піч, слід вибирати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP54.

Датчики температури та вологості повітря встановлені в печі. Виконавчі механізми зміни витрат газу та води встановлені на відповідних трубопроводах. Обладнання системи керування та панель оператора-технолога знаходиться в шафі із ступенем захисту IP 54.

Рекомендований метал для засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнанням – нержавіюча сталь для харчових виробництв.

На обслуговуючий персонал діють такі шкідливі чинники, як шум та підвищена температура. В системі передбачена можливість місцевого та дистанційного керування технологічним обладнанням.

5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання

В ході технологічно процесу екстракції використовуються наступні технічні засоби:

5.2.1 Для виміру температури повітря застосований датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), діапазон 50 -250 °С.

Чутливі елементи датчика температури встановлюються в печі.



а)

Технічні характеристики:

Тип и НСХ: ТСМ (100П);

Кількість ЧЕ: 2;

Клас допуску: В;

Схема з'єднання: 2-проводна;

Різьбове з'єднання: М20х1,5;

Матеріал захисної арматури: сталь
12Х18Н10Т;

Діапазон температури: 50. ..250 °С;

Ступінь захисту: IP54 .

Ступінь вибухозахисту – 0ЕхiaІІВТ6

б)

Рис.- 5.1. Датчик температури Тера: а) зовнішній вигляд;
б) технічні характеристики

5.2.2 Нормуючий вимірювальний перетворювач ПСТ (0/150) – 100П

Для перетворення опору датчика в уніфікований сигнал 4-20мА вибраний нормуючий пристрій ПСТ (0/150) -100П. Він встановлюється безпосередньо в корпусі датчика температури.



а)

Технічні характеристики:

Тип ПСТ (0/150) - 100П;

Схема з'єднання: 2-проводна;

Діапазон уніфікованого вихідного сигналу
постійного струму : 4...20 мА

Споживана потужність, не більше: 0,8 Вт;

Умови експлуатації : - 30 ... + 50 °С,

вологість 95% при 35 °С

б)

Рис.5.2.- Нормуючий вимірювальний перетворювач а) зовнішній вигляд;
б) технічні характеристики

5.2.3 Для виміру відносної вологості повітря в печі застосований перетворювач відносної вологості Y 2-01 (Тера) з виходом 4-20 мА. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики наведені на рисунку 5.3.



а)

Технічні характеристики:

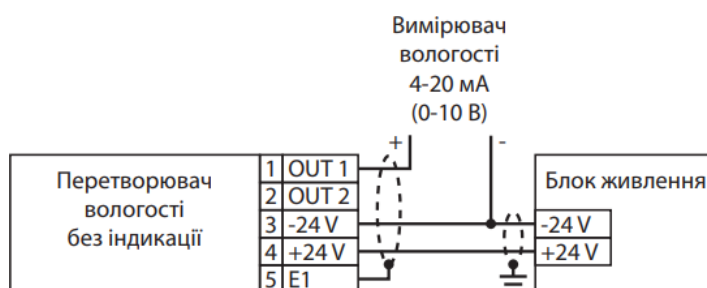
діапазон вимірювання відносної вологості 0...100%;

похибка вимірювання відносної вологості 3%;

матеріал захисної арматури сталь 321;

вихідний сигнал 4...20 мА

б)



в)

Рис. 5.3. – Датчик відносної вологості: а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики; в) схема підключення

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

5.3.1 Для регулювання витрат води застосований регулюючий клапан BELIMO H411B.



DN, мм	k_{VS} , м ³ /ч	2х- ход.	Електроприводи		
			Управл. 0..10 В	3х-точечн. управл.	С возврат. пружиной
15	0.63	H411B	NVD24-SR NV24-MFT, NVY24-MFT, NVG24-MFT	NVD230-3	NV230-3 NV24-3 NVF24-MFT, NVF24-MFT-E
15	1	H412B			
15	1.6	H413B			
15	2.5	H414B			
15	4	H415B			
20	6.3	H420B			
25	10	H425B			
32	16	H432B			
40	25	H440B			
50	40	H450B			

а) б)

Рис. 5.4 Регулюючий клапан BELIMO H411B:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

В якості приводу для клапана H411B використаний електропривод BELIMO NVD24-SR, степінь захисту корпусу IP54.



Технические характеристики NVD24-SR	
Напряжение питания	AC 24 В 50/60 Гц, DC 24 В
Диапазон напр. питан.	AC 19.2...28.8 В, DC 21.6...28.8 В
Расчетная мощность	5 ВА
Потребляемая мощн.	3 Вт
Соединит. кабель	1 м, 5x0.75 мм ²
Управляющий сигнал	DC 0...10 В 100 кОм
Рабочий диапазон	DC 2...10 В
Напр. обратной связи	DC 2...10 В (макс. 0,5 мА)
Точность позиционирования	± 5%
Номинальный ход	20мм
Фактическое усилие	500 Н
Ручное управление	Шестигранный ключ, самовозврат
Время хода штока	150 с
Уровень шума	Макс. 35 дБ
Индикация положения	Механическая, 10...20мм штока
Степень защиты	IP54

а) б)

Рис. 5.5. – Электропривід BELIMO NVD24-SR:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

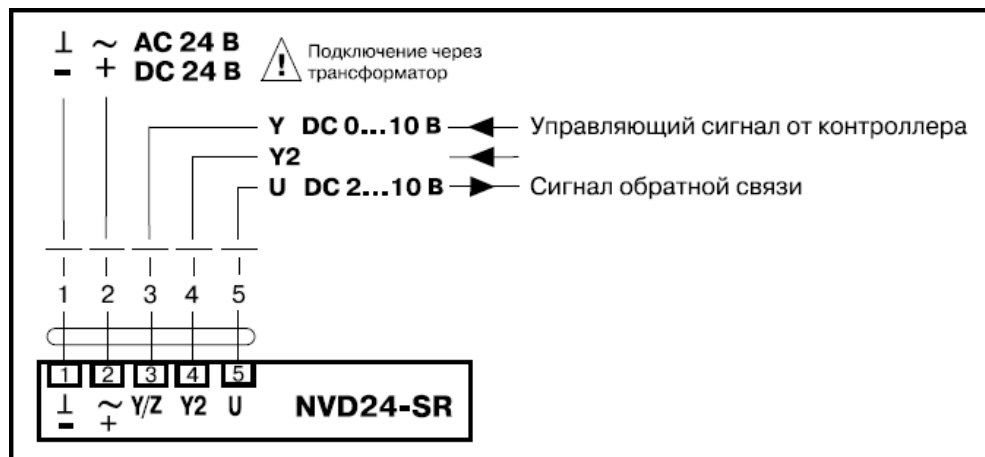


Рис. 5.6 Схема електричних підключень електроприводу BELIMO LH24A-SR100

5.3.2 Для регулювання витрат газу застосований регулюючий клапан RV, який служить для регулювання витрати газу в процесах, що вимагають великого діапазону регулювання.



Тип газа	природный, сжиженный (газообразная фаза), воздух и биогаз
Ду	от 32 до 100
Макс. рабочее давление (по исполнению)	150, 200, 360, 500, 1000 мбар
Напряжение питания	220 В, 110 В, 24 В
Степень защиты	IP 54
Время открытия	60 сек.
Присоединение	RV..ML: фланец с трубной резьбой Rp по ISO 7-1 RV..F: фланец по ISO 7005, PN16
Материал корпуса	сплав AISi
Рабочая температура	от -20 до +60 °C
Электроподключение	клеммная колодка 2.5 мм.кв, 3 x PG 13.5
Контактная нагрузка	60 – 250 В, 50/60 Гц, макс. 2А (омическая нагрузка)
Контактная нагрузка при 24 В	макс. 40 мА
Управляющие сигналы (RV..E с аналоговым управлением)	0(4)..20 мА 0..10 В 0..135 Ом

а)

б)

Рис. 5.7. – Регулирующий клапан RV з электроприводом:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

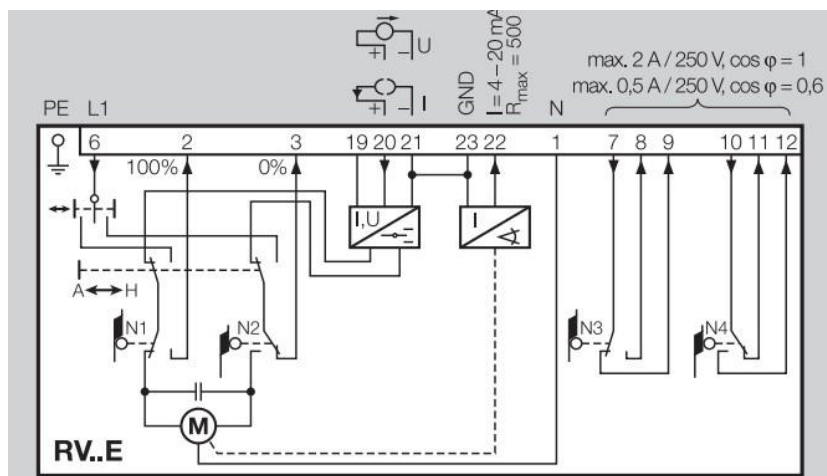


Рис. 5.8 Схема електричних підключень електроприводу клапана RV

5.3.1 Для прямого пуску та зупинки електроприводів сушарки обрані наступні технічні засоби.

Для електроприводу потужністю 1.5 кВт застосований автоматичний вимикач захисту двигуна SIEMENS SIRIUS 3RV1011-1EA10, 1.5 кВт, 2.8-4A 3RV2021-1KA10.

Контактор Siemens 3RT2017-1AP1-0CC0, для комутації електродвигунів, 3-полюсний, АС-3, потужність двигуна 1,5кВт/400В, Іном. 12 А, з блок-контактом 1НВ, номінальна напруга управління АС 230 В, типорозмір S00, номінальний струм основного контакту 12 А, з можливістю комунікації, гвинтові клеми.



Рис. 5. 9 Зовнішній вигляд:

а) автоматичного вимикача 3RV2021-1KA10;

б) контактора 3RT2017-1BB41-0CC0

в) проміжного реле Schneider Electric RXM4AB2BDPVS

Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24В DC, 6А, LED (RXM4AB2BDPVS) служить для розмноження сигналів та гальванічного розподілу.

5.4. Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі

5.4.1 Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи. Виконавши аналіз системи автоматизації подрібнення м'яса за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.

Табл. 5.5 Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Температура повітря в печі	A	I	0...20 mA DC
2	Вологість повітря в печі	A	I	0...20 mA DC
3	Сигнал стану авт.вимикача M1	D	I	24 V DC
4	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
5	Сигнал перемикача режиму M1	D	I	24 V DC
6	Сигнал стану кнопки АвСтоп M1	D	I	24 V DC
7	Сигнал стану авт.вимикача M2	D	I	24 V DC
8	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
9	Сигнал перемикача режиму M2	D	I	24 V DC
10	Сигнал стану авт.вимикача M3	D	I	24 V DC
11	Сигнал стану контактора M3	D	I	24 V DC
12	Сигнал перемикача режиму M3	D	I	24 V DC
13	Сигнал стану авт.вимикача M4	D	I	24 V DC
14	Сигнал стану контактора M4	D	I	24 V DC
15	Сигнал перемикача режиму M4	D	I	24 V DC
16	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
17	Сигнал керування M2	D	O	24 V DC
18	Сигнал керування M3	D	O	24 V DC
19	Сигнал керування M4	D	O	24 V DC
20	Сигнал керування звук.сигн.	D	O	24 V DC
21	Сигнал керування виконавчим механізмом подачі води	A	O	0...10 V DC
22	Сигнал керування виконавчим механізмом подачі газу	A	O	0...10 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 2, DI – 13, DO – 5

5.4.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

В системі автоматизації ПЛК та допоміжне устаткування розташовуються в одному приміщенні компактно, тому виберемо централізовану схему розміщення модулів системи керування.

Систему керування ПВК будемо розробляти на базі контролера S7-1500 фірми Siemens. Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у настінній шафі зі ступенем захисту не менш IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні.

На наступних рисунках наведені рекомендації з монтажу Simatic S7-1500 у шафі з урахуванням зазорів, можливості розсіювання тепла, а також схема заземлення.

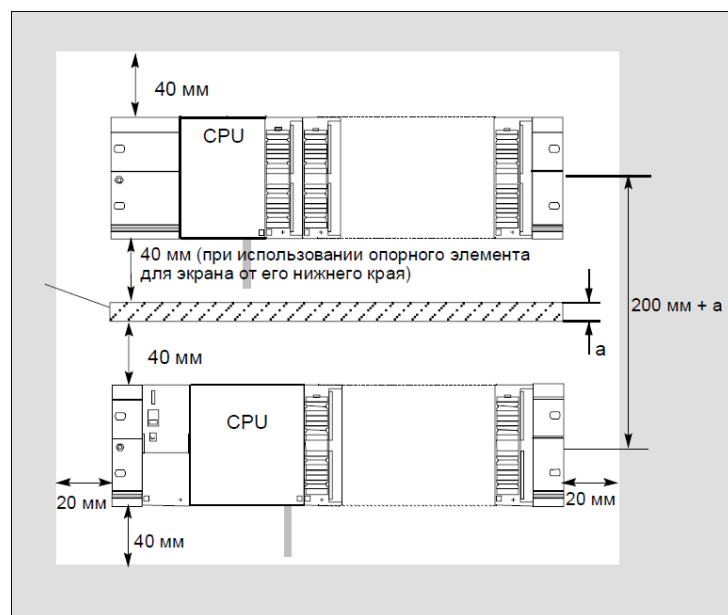


Рис. 5.10 Зазори при встановленні S7-1500 у шафі

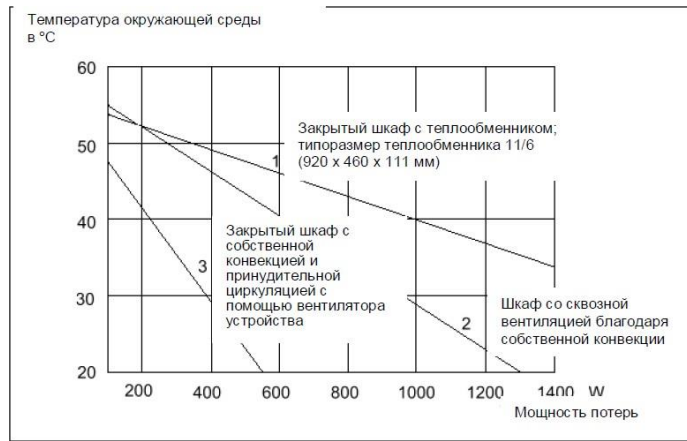


Рис. 5.11 Диаграмма припустимих потужностей розсіювання

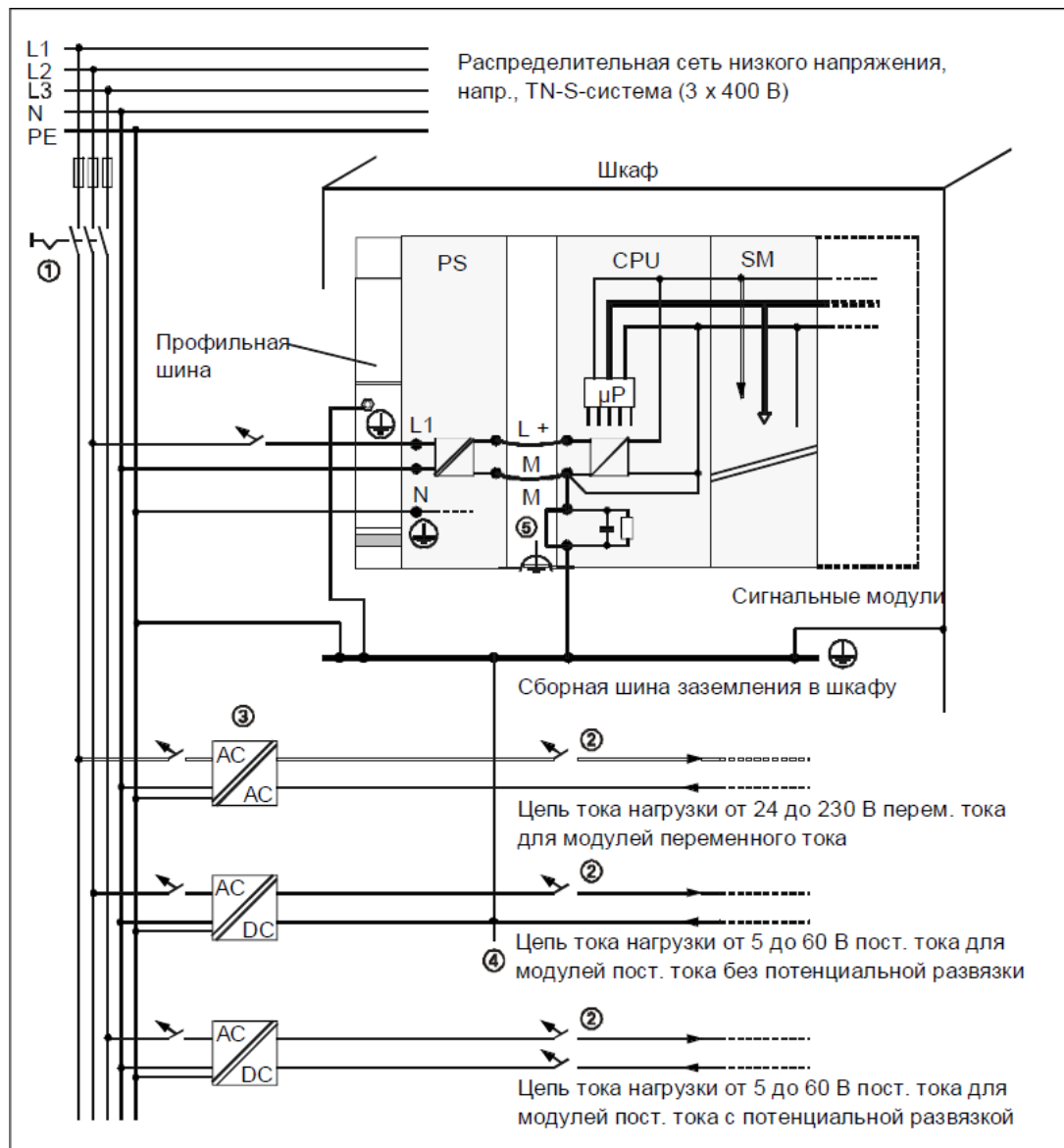


Рис. 5.12 Схема заземлення в шафі

Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання, а не з розширеним температурним діапазоном, які дорожче.

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

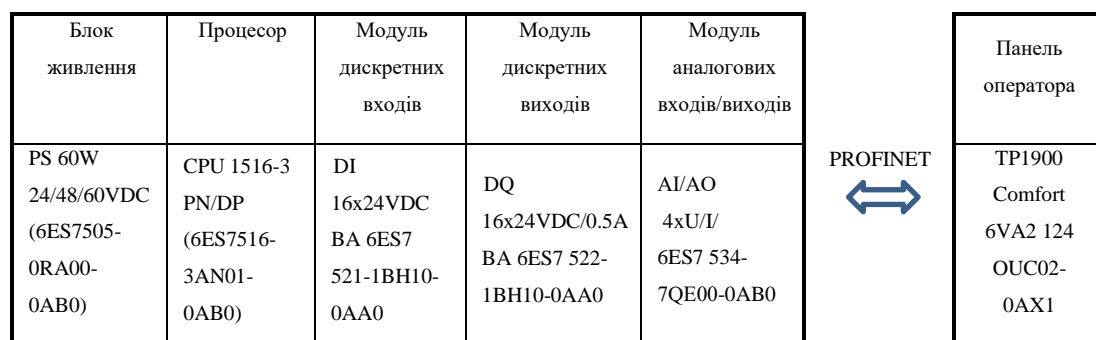


Рис. 5.13 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

Центральний процесор CPU 1516-3 PN / DP призначений для побудови систем управління, що вимагають виконання програм великого об'єму, високій швидкості оброблення даних і обслуговування систем розподіленого введення-виведення на основі мереж PROFINET IO і PROFIBUS DP. Оснащений інтерфейсами PROFINET, а також PROFIBUS.

6ES7516-3AN01-0AB0	
General information	
Product type designation	CPU 1516-3 PN/DP
Hardware function version	FS03
Firmware version	V2.0
Engineering with	
STEP 7 TIA Portal can be configured/integrated as of version	V14
Configuration control	
Via data record	Yes
Display	
Screen diagonal (cm)	6.1 cm
Operator controls	
Number of buttons	6
Mode selector	1
Supply voltage	
Type of supply voltage	24 V DC
Low limit of permitted range (DC)	19.2 V
High limit of permitted range (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Power and voltage failure buffering	
Power/voltage failure buffer time	5 ms

Input current	
Current consumption (rated value)	0.85 A
Inrush current, max.	2.4 A; rated value
I _t	0.02 A ² s
Power	
Power consumption from the backplane bus (balanced)	6.7 W
Incoming power to the backplane bus	12 W
Power loss	
Power loss, typ.	7 W
Memory	
Number of slots for SIMATIC memory card	1
SIMATIC memory card required	Yes
Work memory	
Integrated (for program)	1 MB
Integrated (for data)	5 MB

Рис. 5.14 Технічні дані CPU

Для вводу дискретних сигналів обраний модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)

Дискретные входы	
Количество входов	16
Количество групп входов	1
Активный уровень входного сигнала	Высокий (P)
Входная характеристика по IEC 61131:	
• типа 1	Нет
• типа 3	Есть
Входное напряжение:	
• номинальное значение	≈24 В
• сигнала низкого уровня	+5 ... -30 В
• сигнала высокого уровня	+11 ... +30 В
Входной ток сигнала высокого уровня, типовое значение	2.5 мА
Задержка распространения входного сигнала при номинальном входном напряжении:	
• для стандартных входов	0.05/ 0.1/ 0.4/ 1.6/ 3.2/ 12.8/ 20 мс
- настройка	Есть
• для входов аппаратных прерываний	
- настройка	Есть
Длина кабеля, не более:	
• экранированный кабель	1000 м
• обычный кабель	600 м

Рис. 5.15 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

Для виводу дискретних сигналів обраний модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)

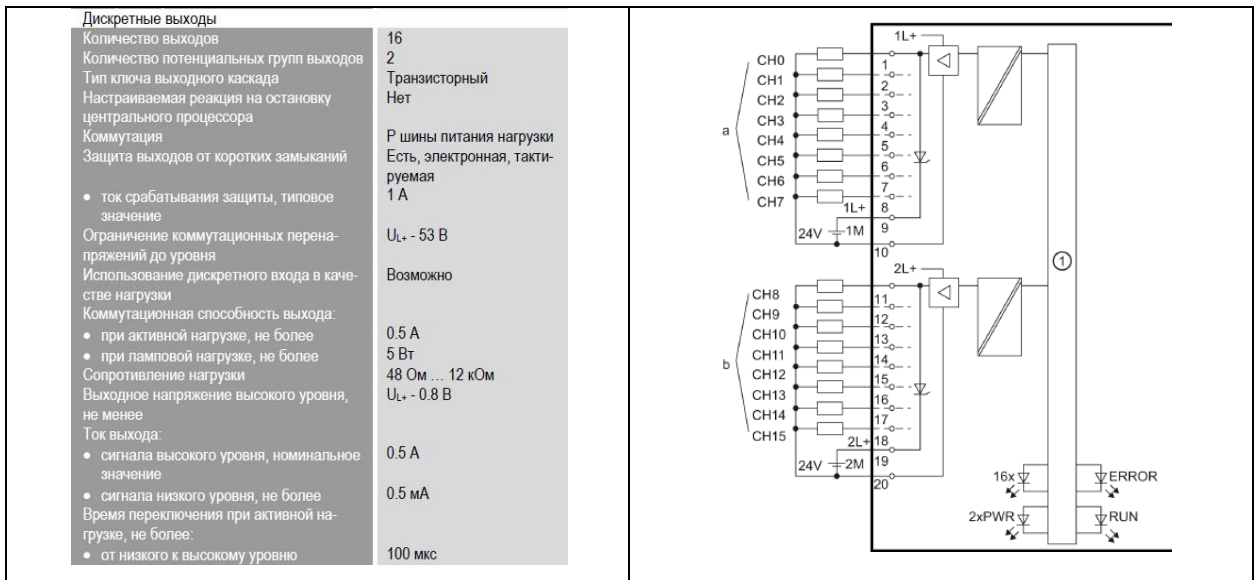


Рис. 5.16 Технічні характеристики та схема підключень

DQ 16x24VDC/0.5A BA

Рекомендації щодо підключення дискретних сигналів. У тих випадках, коли від контакторів приходять сигнали $\sim 220 В$ змінного струму, то для їхнього перетворення в сигнали $=24 В$ постійного струму слід використовувати інтерфейсні реле, наприклад, фірми Relpol.

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

Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

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

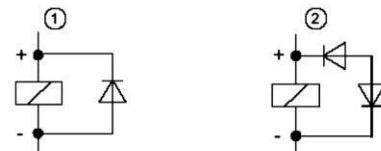


Рис. 3-2. Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

- ① с диодом
② со стабилитроном

Схема с диодом/стабилитроном обладает следующими свойствами:

- Можно полностью избежать перенапряжений, связанных с отключениями. Стабилитрон допускает более высокое отключаемое напряжение.
- Большая задержка отключения (в 6 – 10 раз больше, чем без защитной схемы). Схема со стабилитроном обеспечивает более быстрое отключение, чем схема с диодом.

Схемы защиты для катушек, обтекаемых переменным током

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

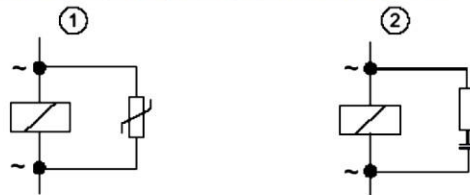


Рис. 3-3. Схемы защиты для катушек, обтекаемых переменным током

- ① с варистором
② с RC-цепочкой

Схема с варистором обладает следующими свойствами:

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

Схема с RC-цепочкой обладает следующими свойствами:

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

Рис. 5.17 - Рекомендації Siemens при підключенні дискретних виходів

Для вводу/выводу аналоговых сигналов обратный модуль AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0).

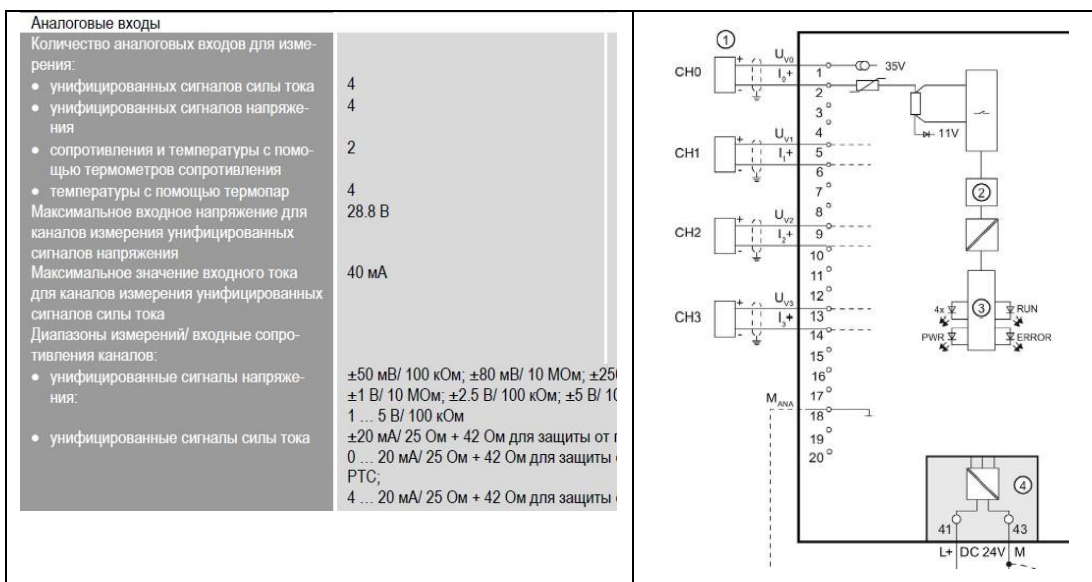


Рис. 5.18 Технічні характеристики та схема підключень датчиків сили струму до входів 6ES7534-7QE00-0AB0

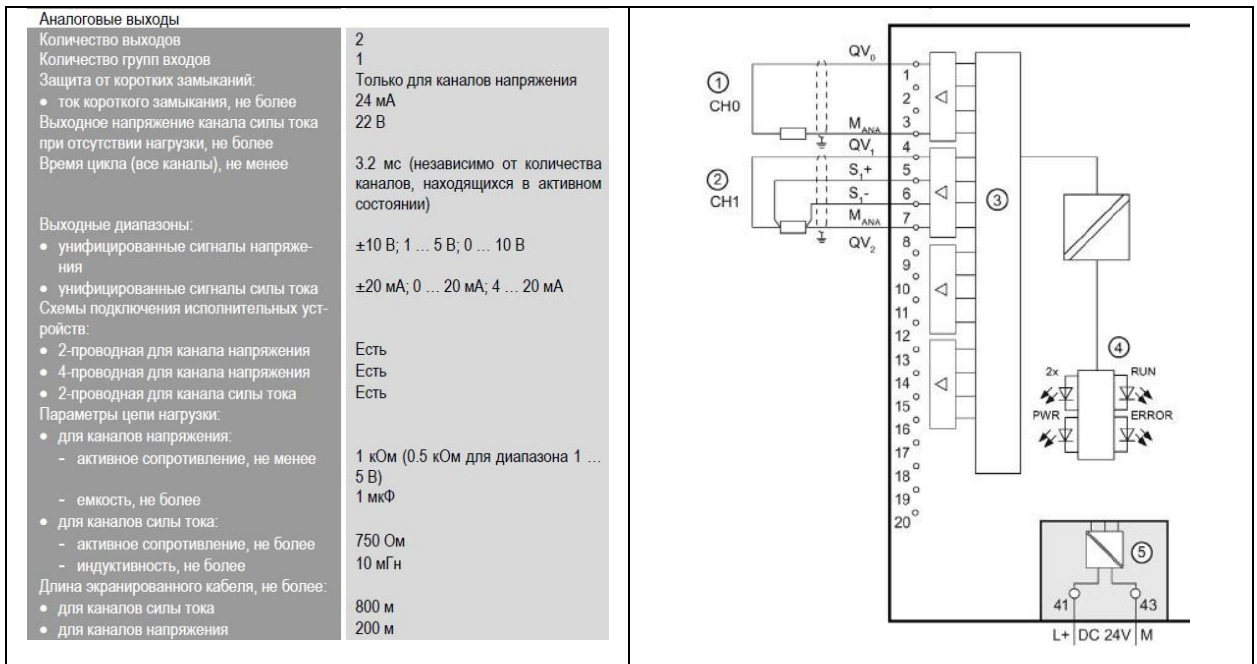


Рис. 5.19 Технічні характеристики та схема формування
уніфікованої напруги на виходах 6ES7534-7QE00-0AB0

5.5. Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом випічки хліба в ротаційній печі. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

РОЗДІЛ 6.

РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ САК.

6.1 Програмне конфігурування контролера

У середовищі TIA Portal створюємо проект і додаємо до його складу обрані контролер CPU 1516-3 PN / DP та панель оператора TP1900 Comfort.

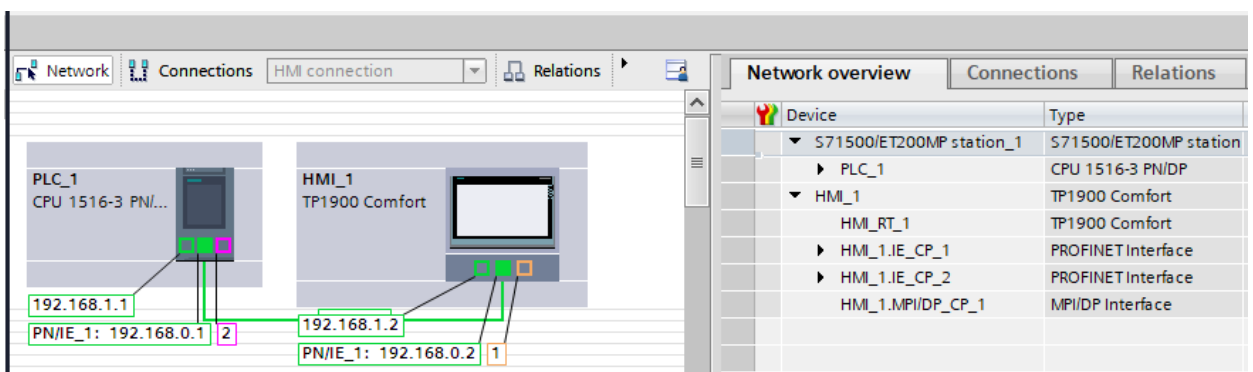


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту

Виконуємо конфігурування обраного контролера і модулів ПЗО. Спочатку необхідні модулі вводу/виводу перетягуємо в поле редагування з бібліотеки, присвоюємо імена фізичним входам і виходам.

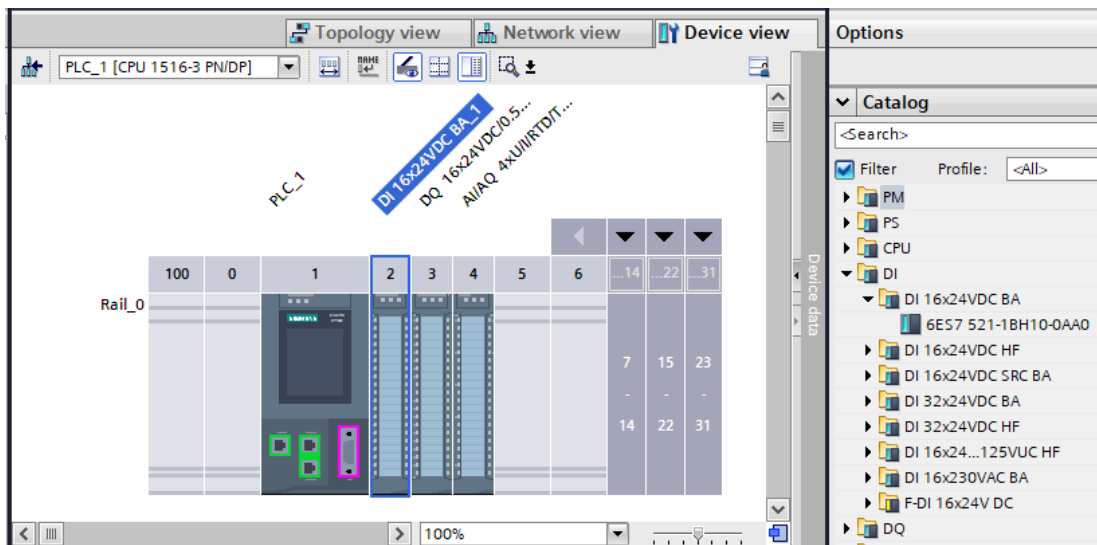


Рис. 6.2 Визначення модулів ПЗО

Визначаємо у властивостях модулів вид сигналів та діапазони їх зміни.

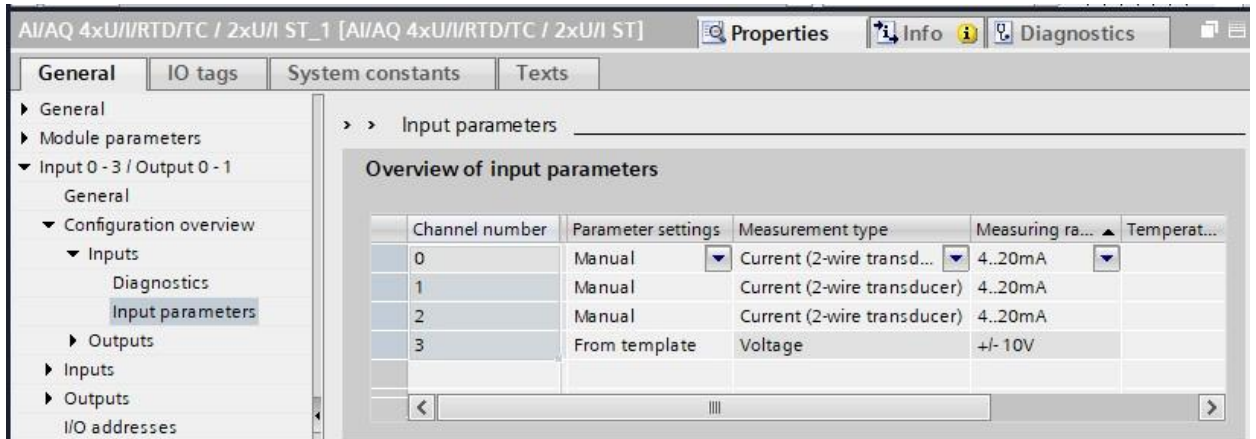


Рис. 6.3 Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни

Остаточне визначення імен входів/виходів проводимо в таблиці тегів програми.

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Sup...
17	bin_ForwardM1	Default tag table	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	bin_ForwardM2	Default tag table	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	bin_ForwardM3	Default tag table	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	bin_ForwardM4	Default tag table	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	input7	Default tag table	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	input8	Default tag table	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	Input9	Default tag table	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	Input10	Default tag table	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рис. 6.4 Приклад вікна таблиці тегів

6.2 Розробка програмного забезпечення

6.2.1 В дереві каталогу проекту створюємо два підкаталоги Cyclic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання, та Logic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування.

У вкладці Libraries відкриваємо бібліотеку SOL і за допомогою миші перетягуємо в проект теги з бібліотеки SOL та необхідні функціональні блоки.

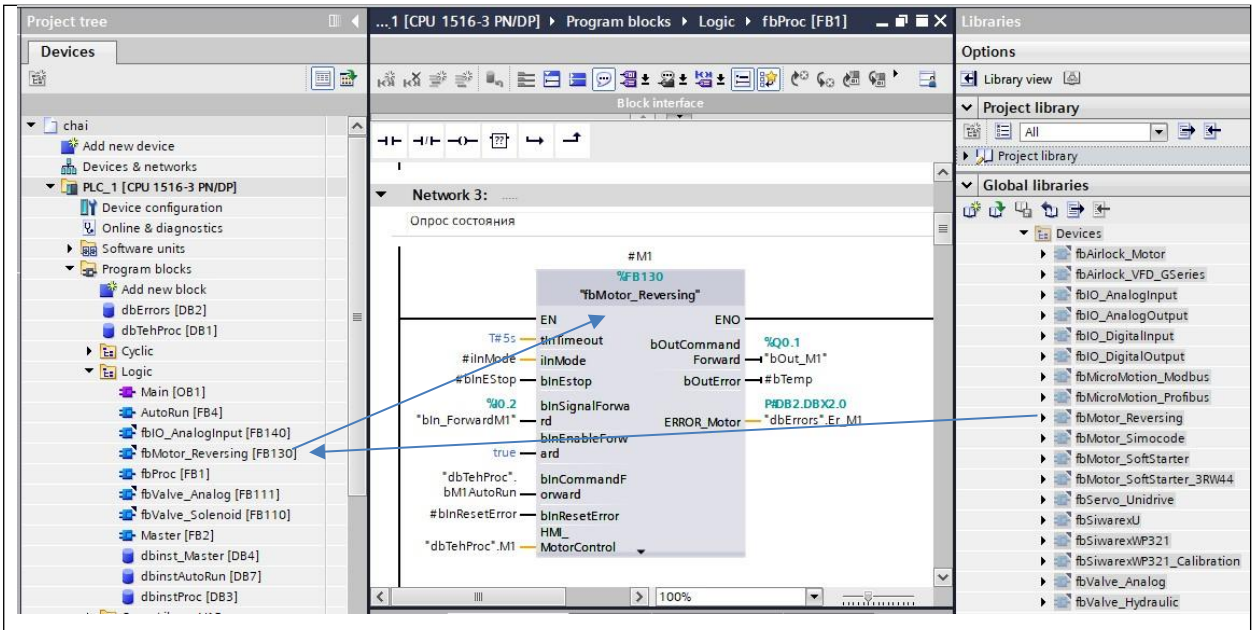


Рис. 6.5 Приклад додавання функціонального блоку FB Motor

Використовуючи бібліотечні типи даних, які розміщені в дереві каталогу проекту PLC data types, створюємо два глобальних блоки даних dbTehProc, dbErrors.

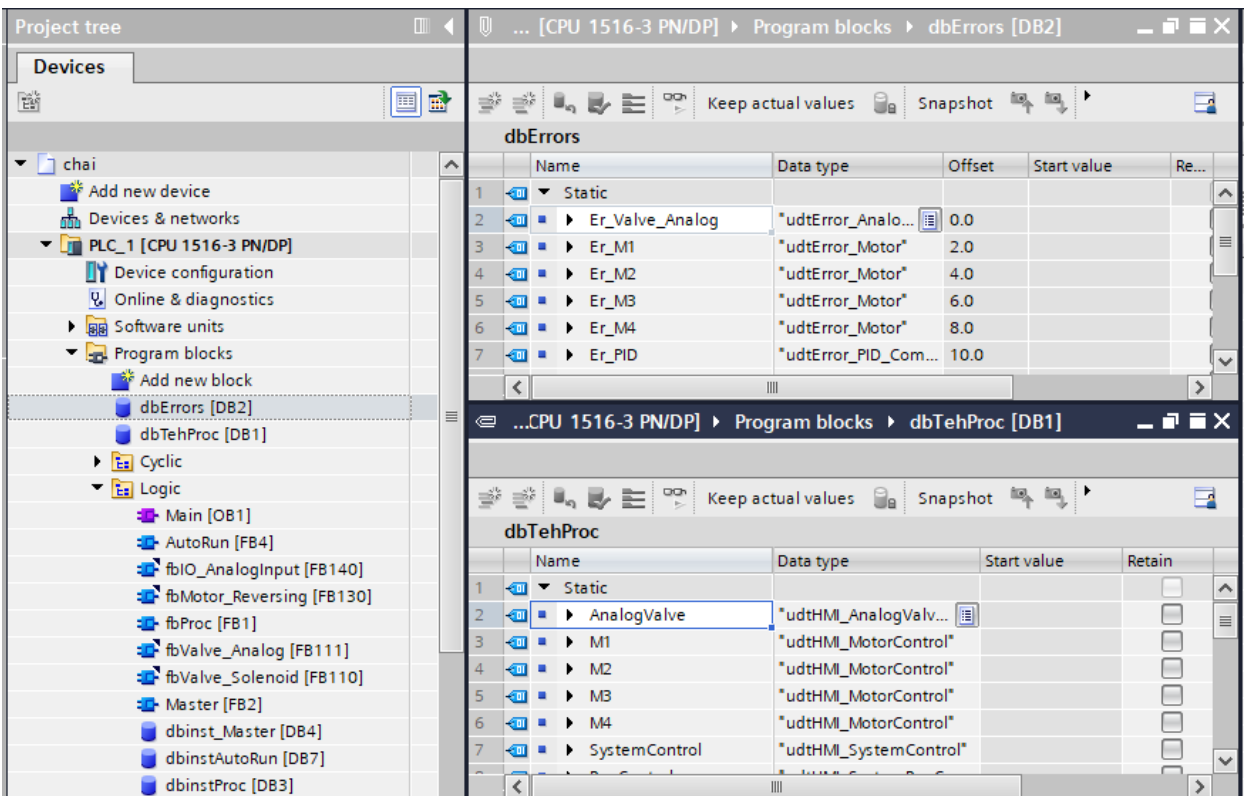
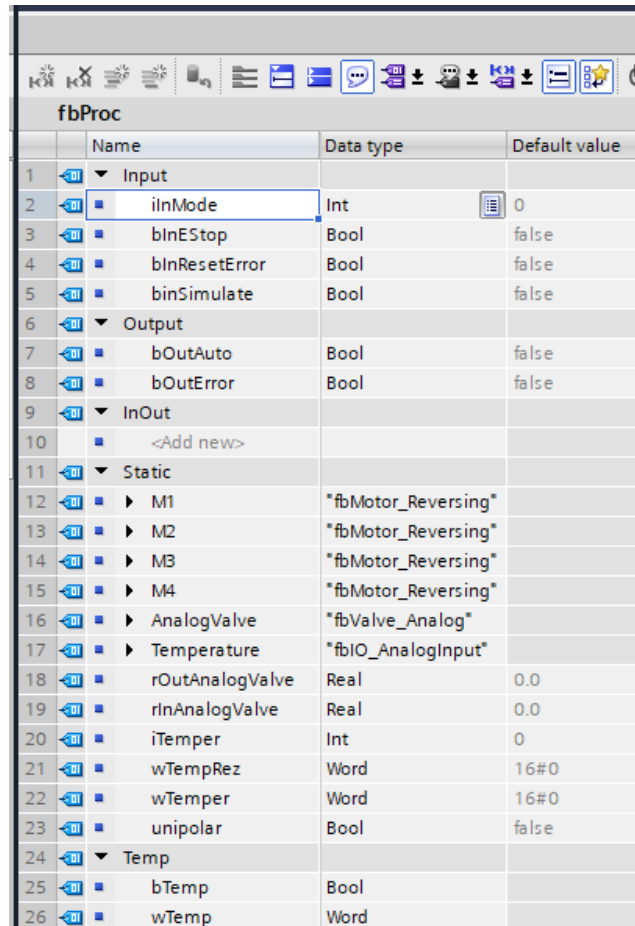


Рис. 6.6 Створення глобальних dbTehProc, dbErrors

6.2.2 Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів M1...M4 та виконавчого механізму повітряної заслінки (аналогового клапану). Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому вказуємо імена змінних та їх типи.



	Name	Data type	Default value
1	Input		
2	iInMode	Int	0
3	bInEStop	Bool	false
4	bInResetError	Bool	false
5	binSimulate	Bool	false
6	Output		
7	bOutAuto	Bool	false
8	bOutError	Bool	false
9	InOut		
10	<Add new>		
11	Static		
12	M1	*fbMotor_Reversing*	
13	M2	*fbMotor_Reversing*	
14	M3	*fbMotor_Reversing*	
15	M4	*fbMotor_Reversing*	
16	AnalogValve	*fbValve_Analog*	
17	Temperature	*fbIO_AnalogInput*	
18	rOutAnalogValve	Real	0.0
19	rInAnalogValve	Real	0.0
20	iTemper	Int	0
21	wTempRez	Word	16#0
22	wTemp	Word	16#0
23	unipolar	Bool	false
24	Temp		
25	bTemp	Bool	
26	wTemp	Word	

Рис. 6.7 Інтерфейс fbProc

Підпрограма fbProc створена на мові LD. Для кожного електроприводу викликається екземпляр бібліотечного функціонального блоку fbMotor_Reversing та попередньо пишеться строчка програми, яка імітує зворотній зв'язок з виходу цього блоку на його вхід, тобто спрацювання контактора електропривода. До входів/виходів fbMotor_Reversing підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors (рис. 6.8).

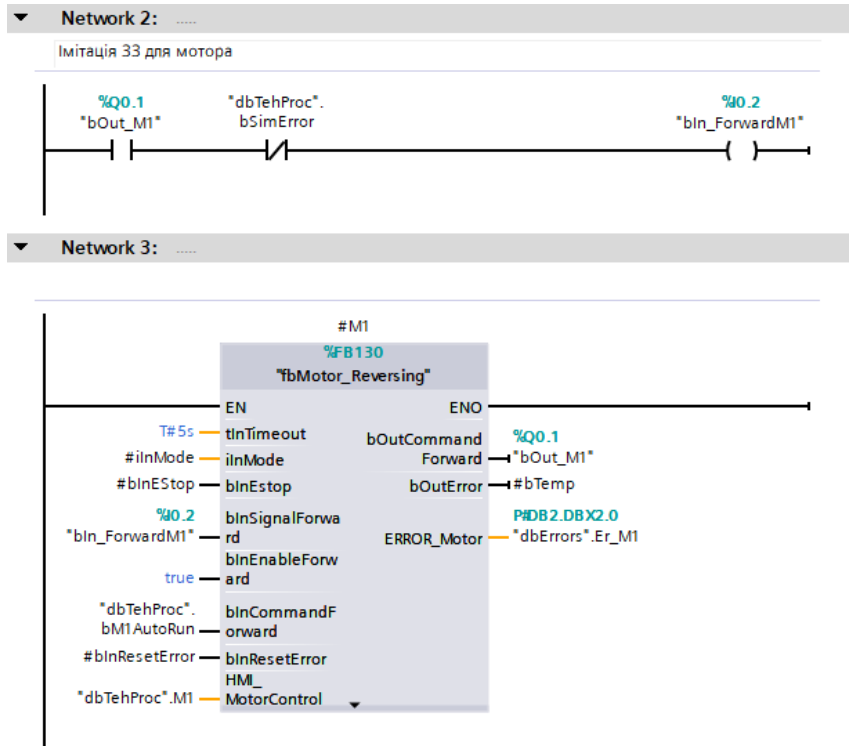


Рис. 6.8 Фрагмент підпрограми fbProc

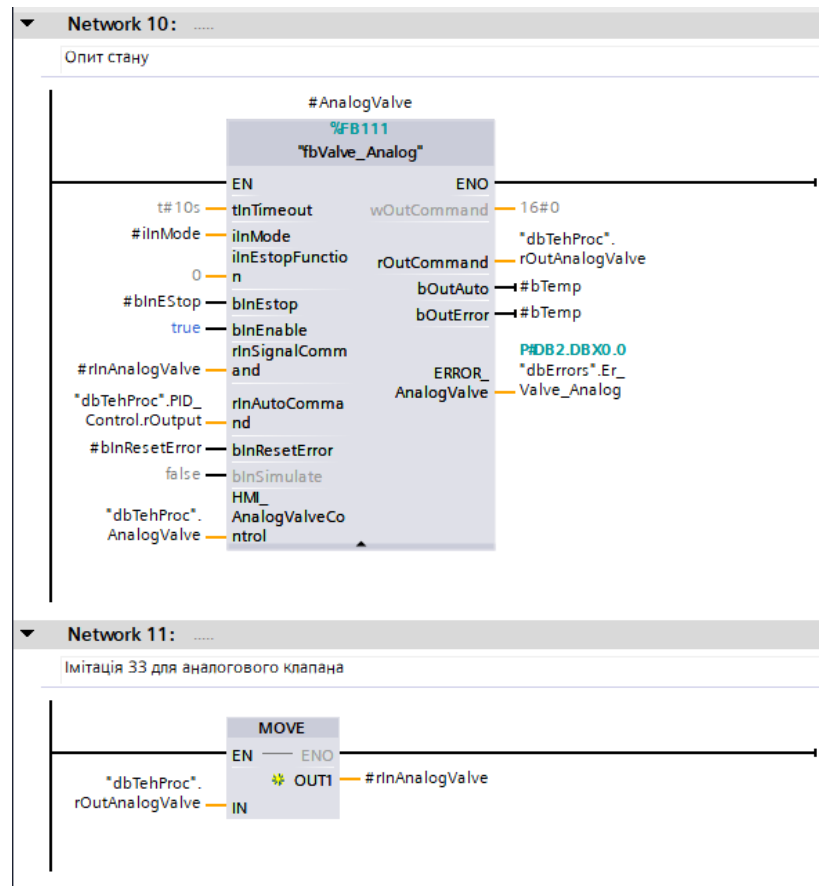


Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

Аналогічно здійснюється опит стану аналогового клапану (рис. 6.9), тобто виконавчого механізму повітряної заслінки. Для цього викликається екземпляр бібліотечного функціонального блоку fbValve_Analog, до входів/виходів якого підключаються відповідні змінні.

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання (рис. 6.10).

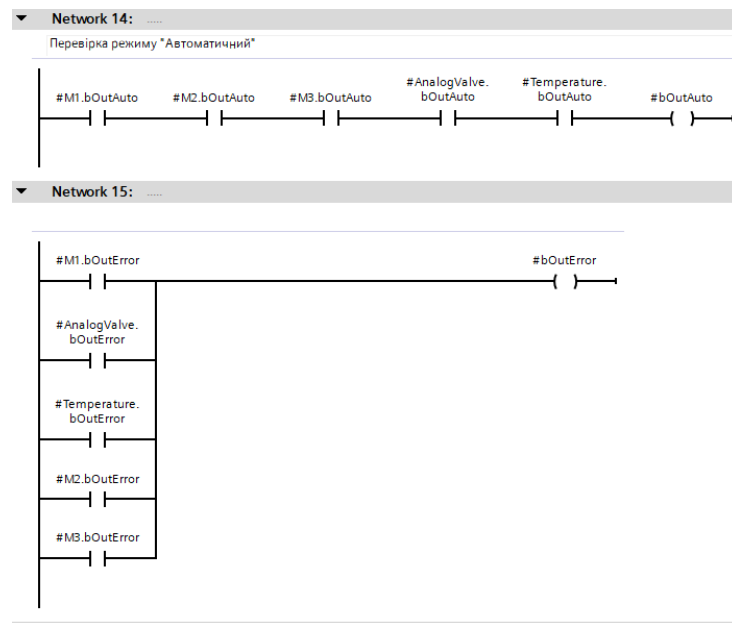


Рис. 6.10 Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

Далі складаємо підпрограму пуску та зупинки обладнання fbAutoRun, яка базується на алгоритмах, розроблених у розділі 4.

Спочатку створюється інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun, в якому вказуються змінні та їх типи (рис. 6.11).

А далі на мові LD пишуться строки цього блоку (рис. 6.12), які забезпечують почерговий запуск та зупинку електроприводів. Інтервали затримок встановлюються у відповідних таймерах типу TON, які відносяться до базових інструкцій мови, так само як і SR-тригери.

chai > PLC_1 [CPU 1516-3 PN/DP] > Program blocks > Logic > A

AutoRun

	Name	Data type	Default value
1	Input		
2	bInEnableStart	Bool	false
3	bInNotError	Bool	false
4	Output		
5	bOutAutoRunning	Bool	false
6	InOut		
7	<Add new>		
8	Static		
9	bAutoRun	Bool	false
10	bAutoStop	Bool	false
11	bM1_AR	Bool	false
12	bM2_AR	Bool	false
13	bM3_AR	Bool	false
14	bAnalogValve_AR	Bool	false
15	bTemperature_AR	Bool	false
16	Timer1	IEC_TIMER	
17	Timer2	IEC_TIMER	
18	Timer3	IEC_TIMER	
19	Timer4	IEC_TIMER	

Рис. 6.11 Інтерфейс функціонального блоку AutoRun

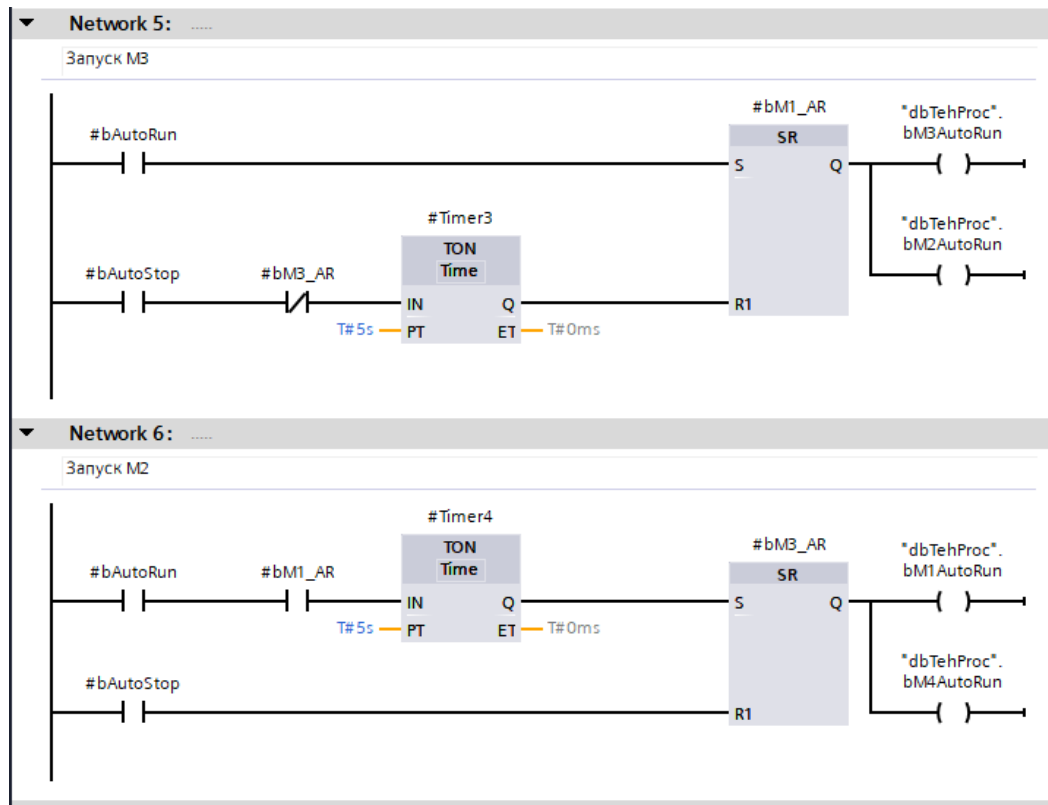


Рис. 6.12 Фрагмент підпрограми AutoRun

Завершують підпрограму строки із визначенням режиму роботи ПІД-регулятора (рис.)

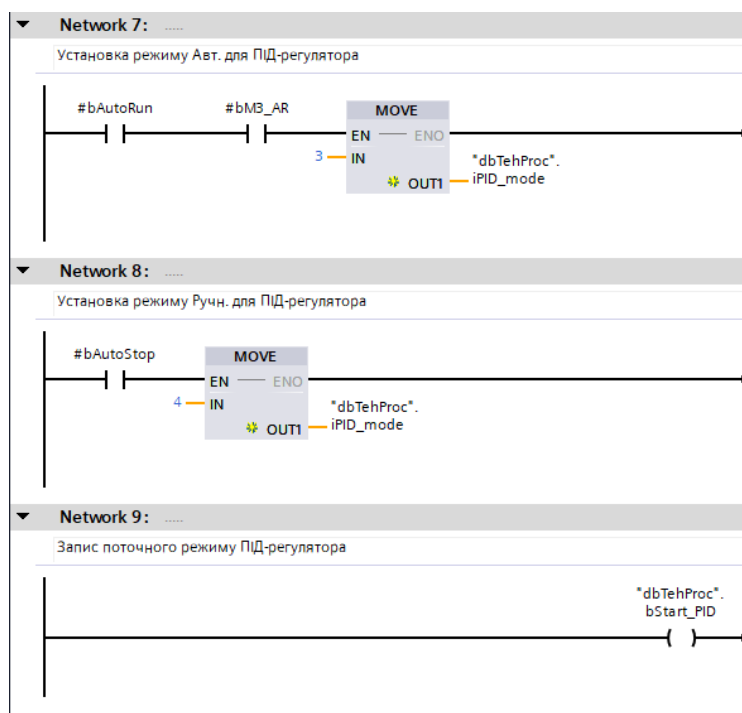


Рис. 6.13 Фрагмент підпрограми AutoRun

Виклик на виконання підпрограм `fbProc` та `AutoRun` здійснюється в підпрограмі `Master` (рис. 6.14), яка в свою чергу викликається на виконання в головній програмі `Main` (OB1).

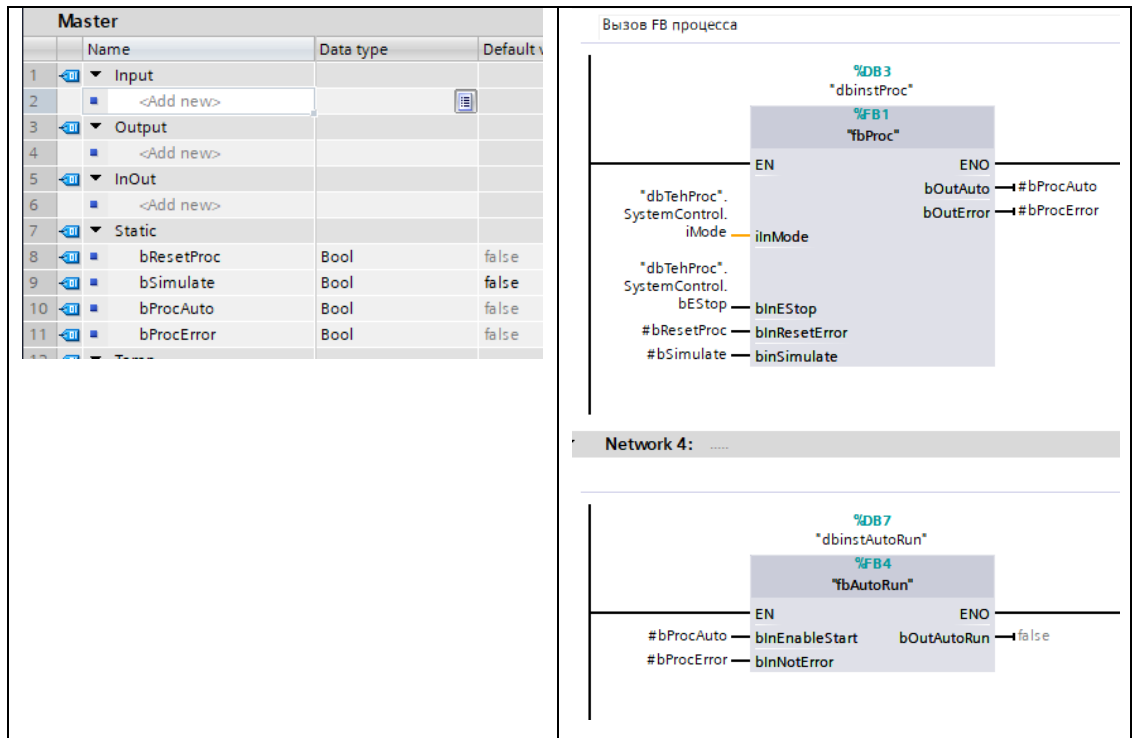


Рис. 6.14 Інтерфейс та текст підпрограми Master

6.6 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК

Модель САР реалізована у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якого виконується кожну 0.1 сек в організаційному блоці Cyclic interrupt (OB30). Необхідність використання саме організаційного блока OB30 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSim_Lagging і FB LSim_PT1), що формують модель ОК, і типового регулятора fbPID_Compact з бібліотеки Open Library. Інтерфейс підпрограми представлений на рис. 6.15, в якому вказані змінні підпрограми та їх типи.

fbSAR			
	Name	Data type	Default value
1	Input		
2	<Add new>		
3	Output		
4	<Add new>		
5	InOut		
6	<Add new>		
7	Static		
8	PID_reg	"fbPID_Compact"	
9	Zap	"LSim_Lagging"	
10	ApZveno	"LSim_PT1"	
11	ApZveno_1	"LSim_PT1"	
12	rChenel1	Real	0.0
13	rChenel2	Real	0.0
14	rChenel3	Real	0.0
15	uDelayCycles	UInt	46
16	Temp		
17	bTemp	Bool	
18	iTemp	Int	
19	diTemp	DInt	
20	dwTemp	DWord	
21	rTemp	Real	

Рис. 6.15 Інтерфейс fbSAR

Перша строчка підпрограми fbSAR містить виклик функціонального блоку ПД-регулятора fbPID_Compact, до входів/виходів якого підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

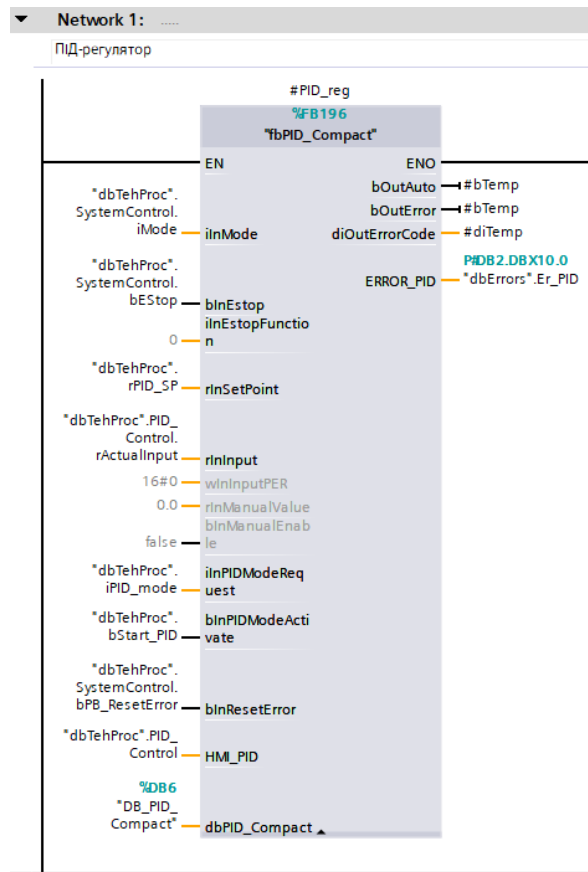


Рис. 6.16 – Фрагмент підпрограми fbSAR, що реалізує ПІД-регулятор

Вихідний сигнал ПІД-регулятора підключається до входу функціонального блоку аналогового клапану (див. рис. 6.9).

Далі за допомогою екземплярів типових ланок: запізнення LSim_Lagging та інерційної ланки першого порядку LSim_PT1, викликається на виконання модель ОК (рис. 6.17). Параметри моделі відповідають значенням, розрахованим в розділі 3.

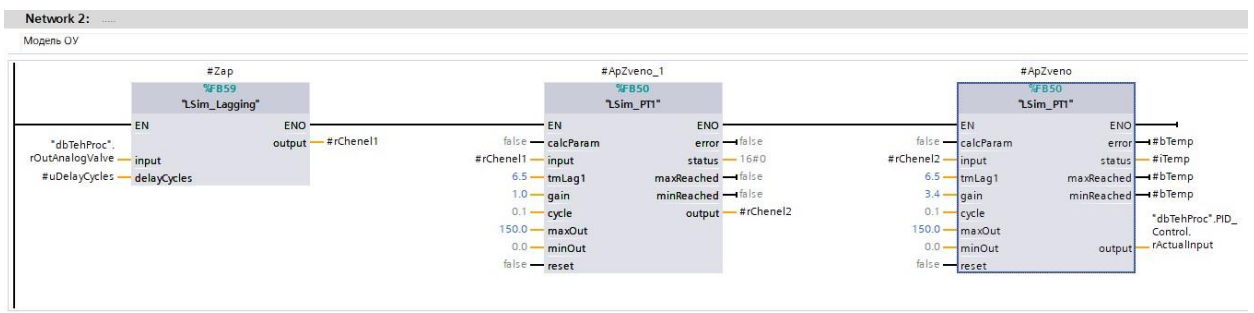


Рис. 6.17 Фрагмент підпрограми fbSAR, що реалізує модель ОК

Налаштування параметрів ПІД-регулятора проводимо через його блок даних, що знаходяться в розділі Technology objects в дереві каталогу проекту.

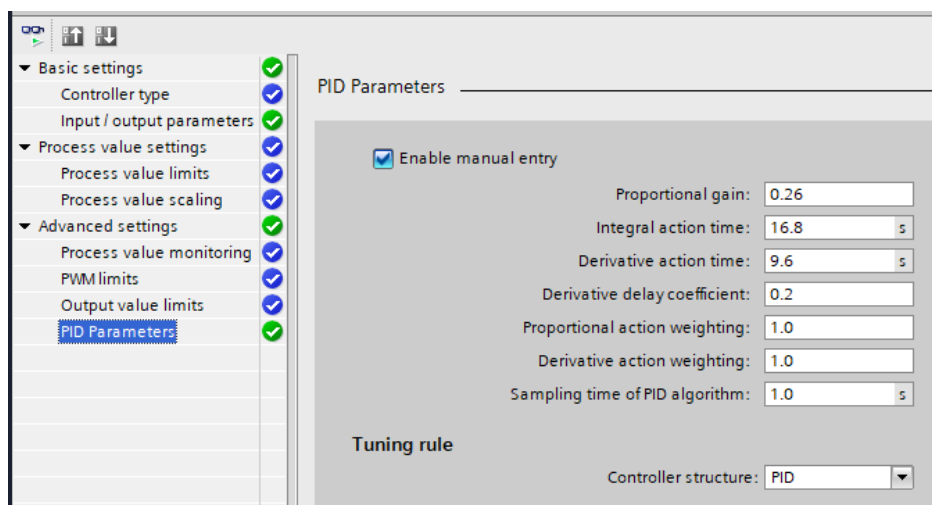


Рис. 6.18 Приклад налаштування параметрів ПІД-регулятора

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM.

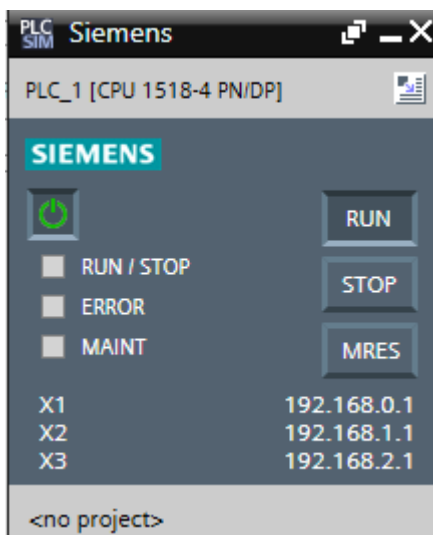


Рис. 6.19 Вигляд вікна програми PLCSIM

Результати тестування підтвердили правильність роботи програми, відповідно до вимог алгоритму керування. На рисунку 6.29 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.

6.7. Висновок

В результаті виконання даного розділу були вивчені основні характеристики контролерів фірми Siemens сімейства S7-1500 та принципи їх програмування.

Отримано навички використання документації виробника, правильного вибору необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання.

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК.

7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування

Для організації зв'язку вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET.

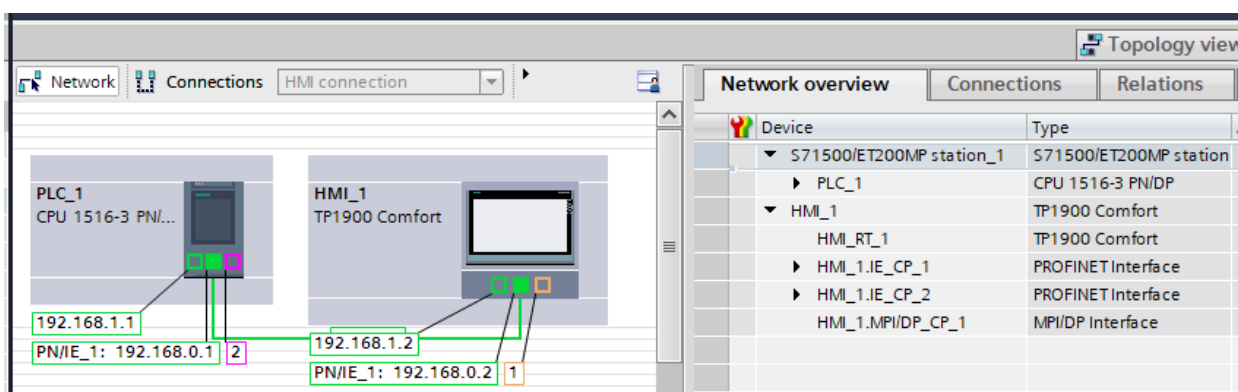


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

Конфігурування панелі оператора TP 1900 Comfort виконуємо в розділі HMI_1/Runtime settings дерева каталогу проекту.

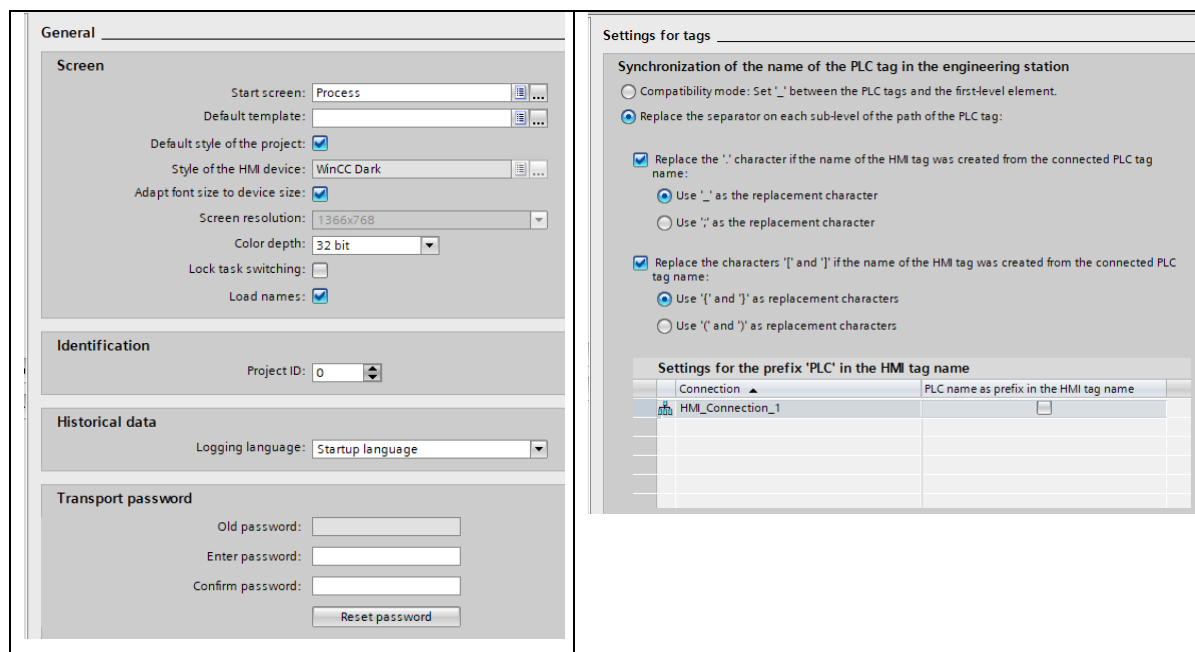


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

Щоб пов'язати між собою теги ПЛК та НМІ, створюємо таблицю НМІ-тегів Default tag table, куди за допомогою миші перетаскуємо складові блоку даних ПЛК dbTechProc.

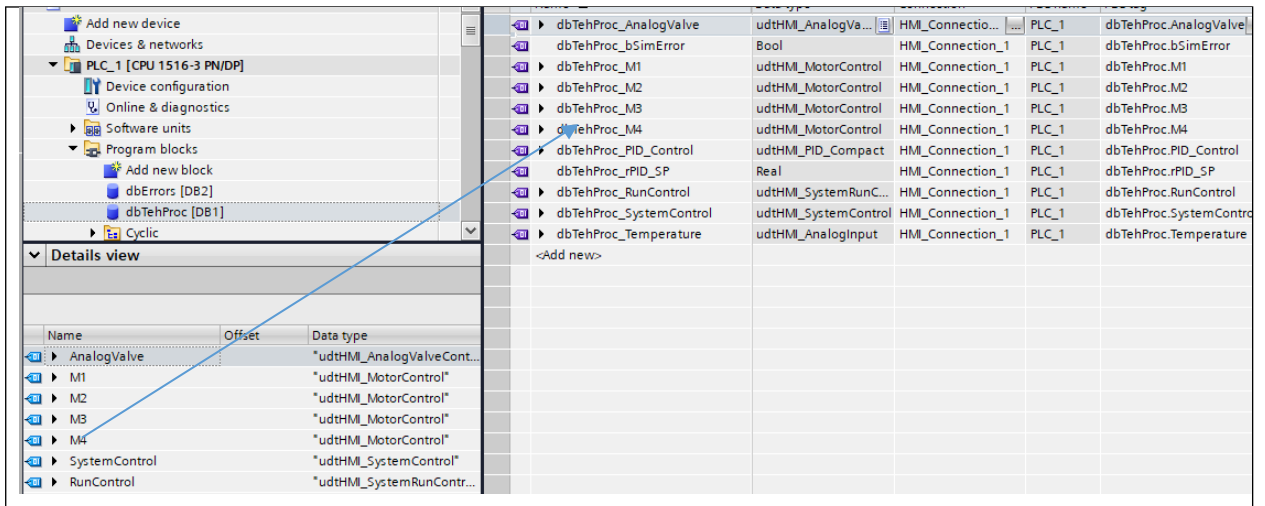


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці НМІ-тегів

В подальшому завдяки цьому взаємозв'язку зміни в змінних ПЛК будуть відображатися в елементах НМІ.

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

Структура екранів АРМ оператора-технолога повинна містити в собі екрани для керування процесом сушіння чаю:

- екран схеми установки для управління технологічним процесом;
- екран для спостереження за регульованими змінними;
- екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічного агрегату.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

- екран схеми установки надає функції управління виконавчим механізмом та електродвигунами, як в автоматичному режимі, так і в ручному;
- екран для спостереження за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіками в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регулятора;

екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити повідомлення про несправності, а також переглядати повідомлення, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.

Шаблон екранів.

Шаблон екранів Template_1 створюється в розділі Screen Management дерева каталогу проекту в розділі НМІ. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону будуть присутні на всіх екранах, які входять в проект.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Він включає логотипи університету, елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, прізвище розробника проекту.

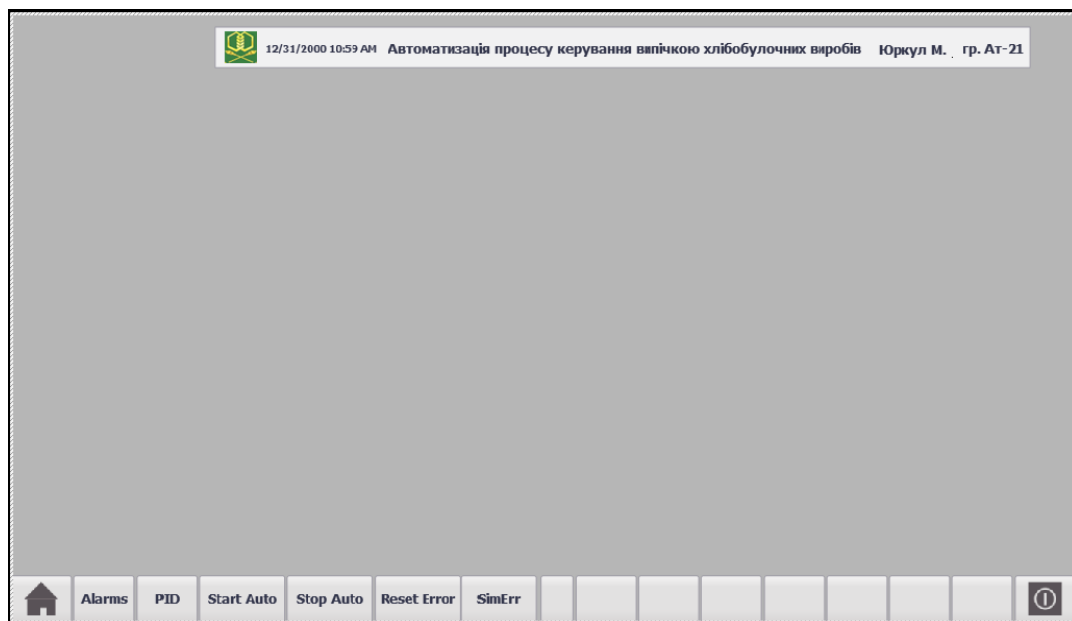


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикавання між різними графічними вікнами. Для перемикавання вікон використовуються спеціальні системні функції.

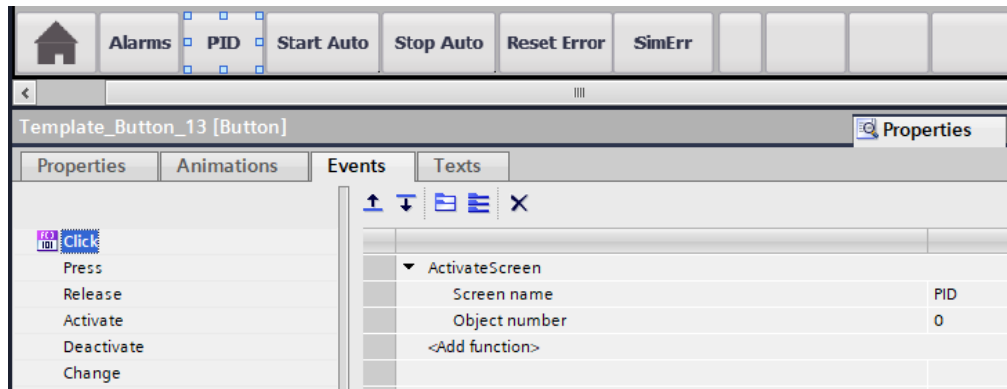


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

Для кожної одиниці обладнання спочатку створюємо пусті спливаючі вікна Pop-up screens, а потім заповнюємо їх відповідними зображеннями з розділу бібліотеки SOL.

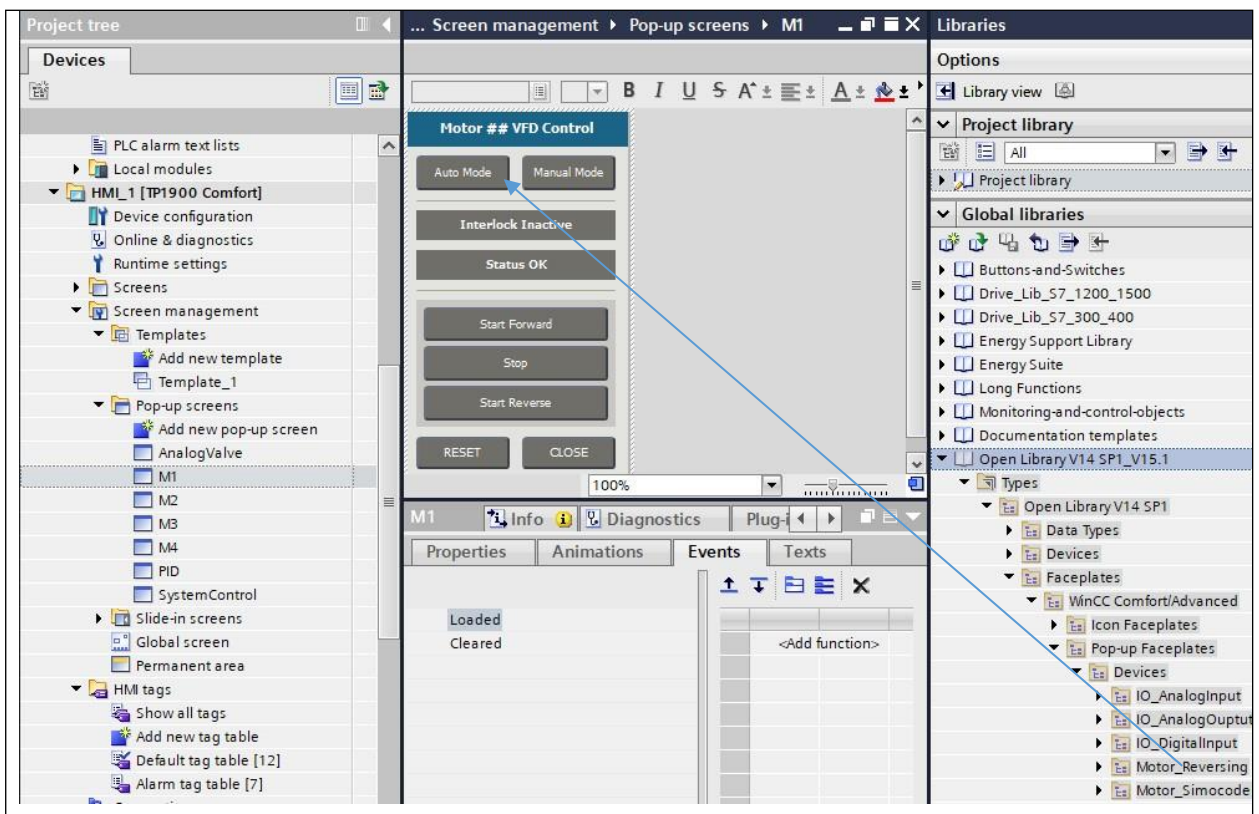


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для керування електроприводом

У властивостях Properties кожного спливаючого вікна на вкладці Interface встановлюємо взаємозв'язок із тегом HMI, який буде забезпечувати

динамізацію зображення вікна та можливість керування оператором станом електроприводів та клапанів, а також на вкладці Events вказуємо системну команду ShowPopupScreen.

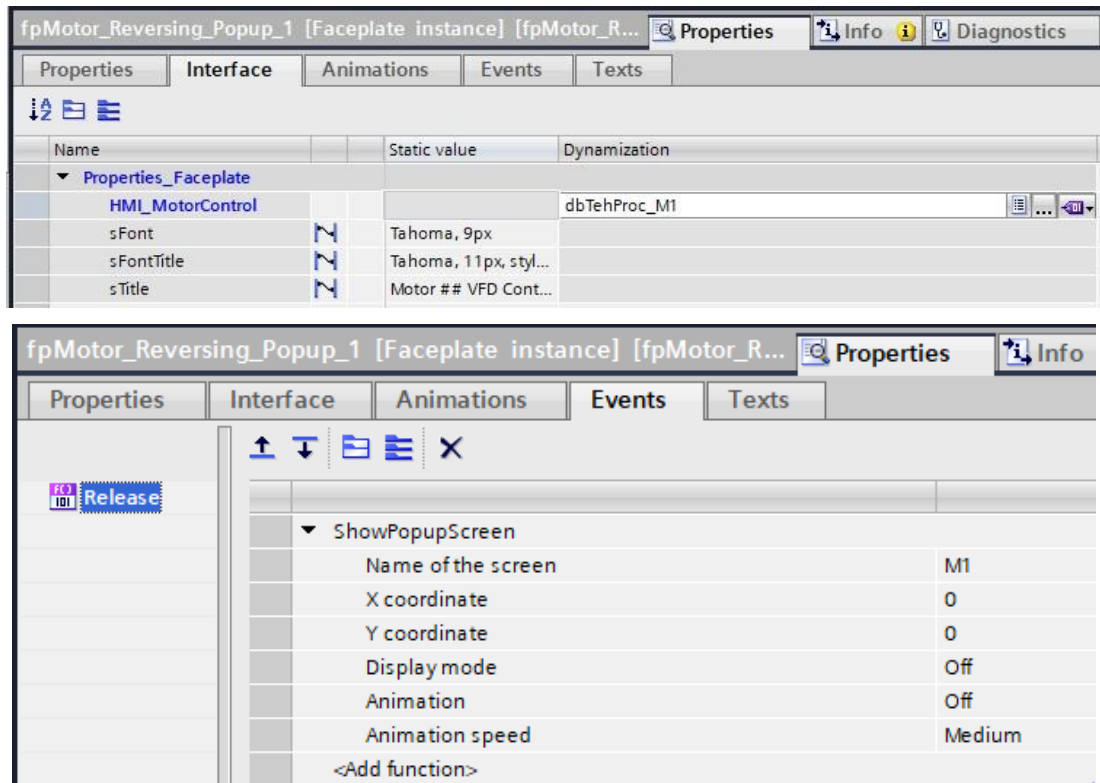


Рис. 7.7 Приклад визначення параметрів впливаючого вікна

Основний екран «Схема установки» містить схематичне зображення системи сушіння чаю з нанесеними на нього елементами відображення і управління. Зображення створено в графічному редакторі TIA Portal з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і управління дозволять оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи. Для цього на проекцію екрану переносимо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання.

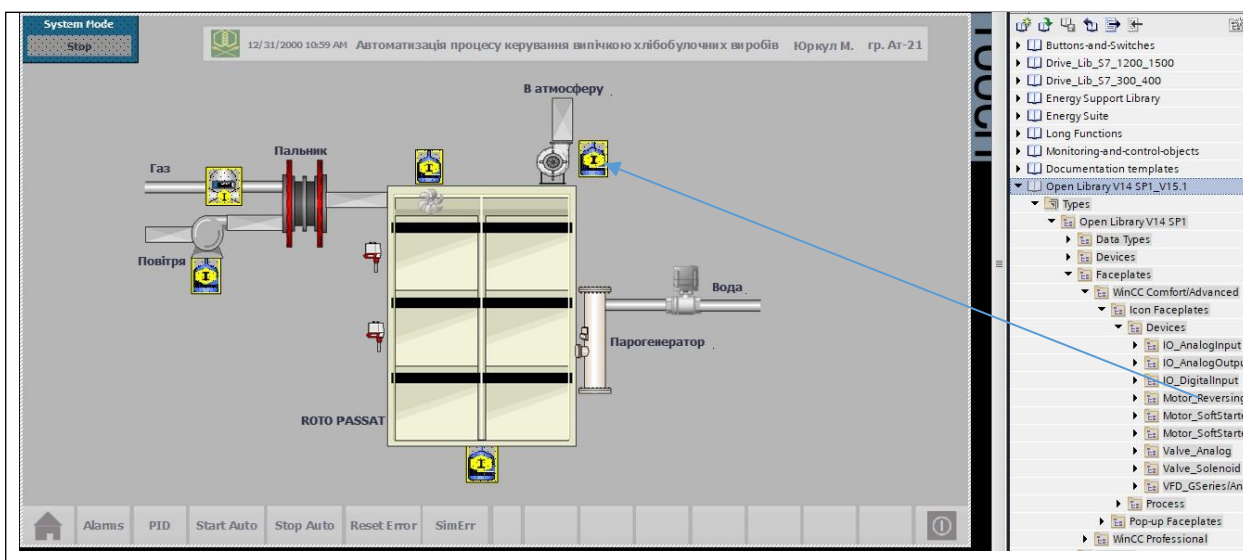


Рис. 7.8 Екран схеми установки

Кожний піктограму (Faceplate instance) пов'язуємо із відповідним тегом та спливаючим вікном.

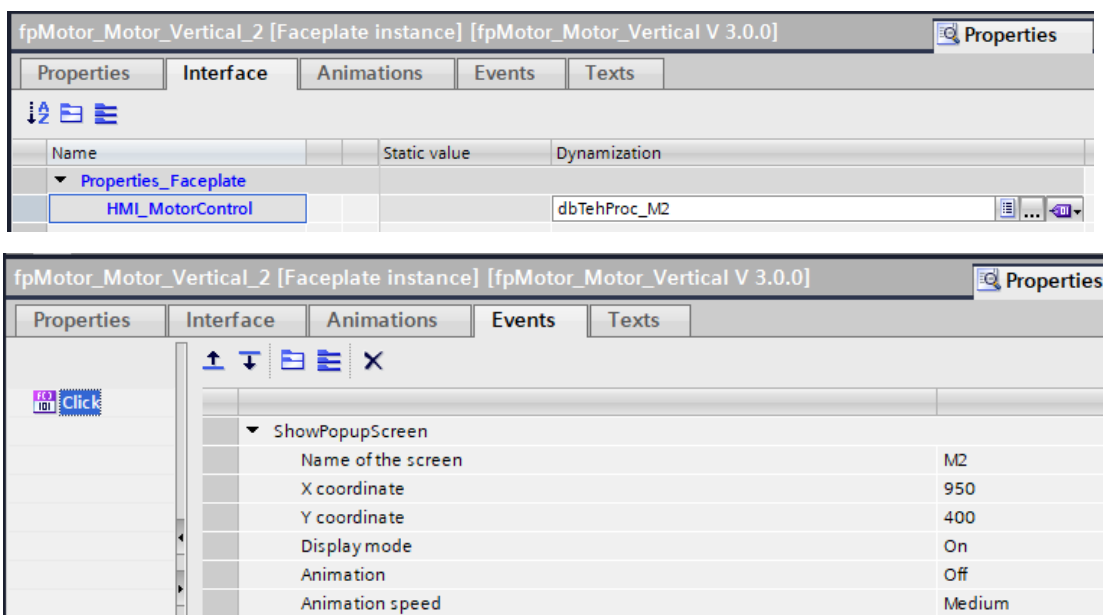


Рис. 7.9 Приклад налаштування піктограми електроприводу

Натискання на зображення піктограми забезпечить відкриття зображення відповідного спливаючого вікна конкретної одиниці обладнання, оскільки у властивості Events піктограми вписано виконання системної функції ShowPopupScreen.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів та налаштування параметрів ПІД-регуляторів в проекті передбачений екран PID (рис. 7.10).

Для побудови графіків зміни вологості чаю на виході із сушарки використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.11.

Виклик спливаючого вікна налаштування параметрів ПІД-регулятора здійснюється натисканням кнопки Control parametrs на екрані.

Змінити задане значення контуру регулювання можна за допомогою вікна вводу/виводу PID SP.

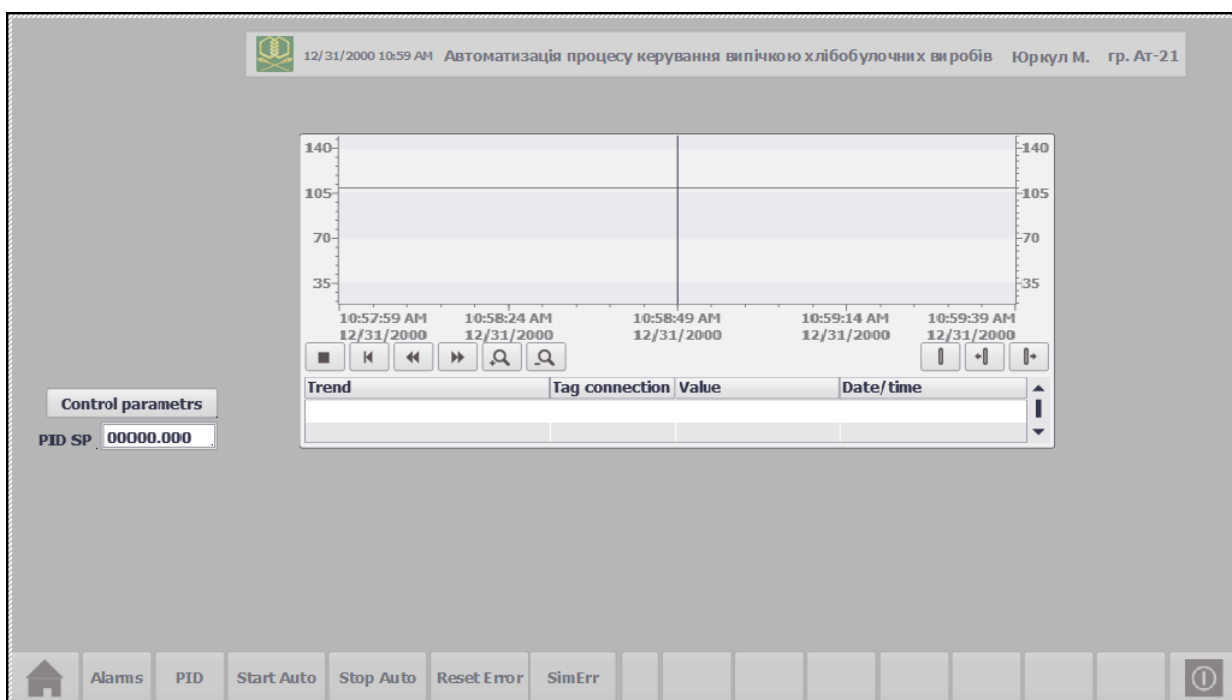


Рис. 7.10 Екран графіків

Налаштування цих елементів відображення показано на рис. 7.12.

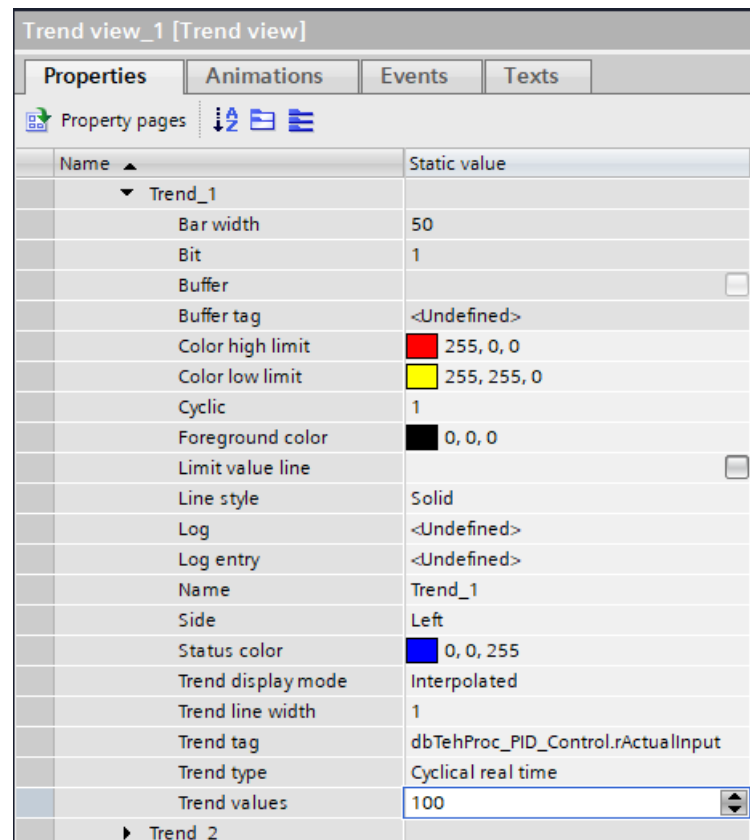


Рис. 7.11 Вікно налаштування елементу Trend

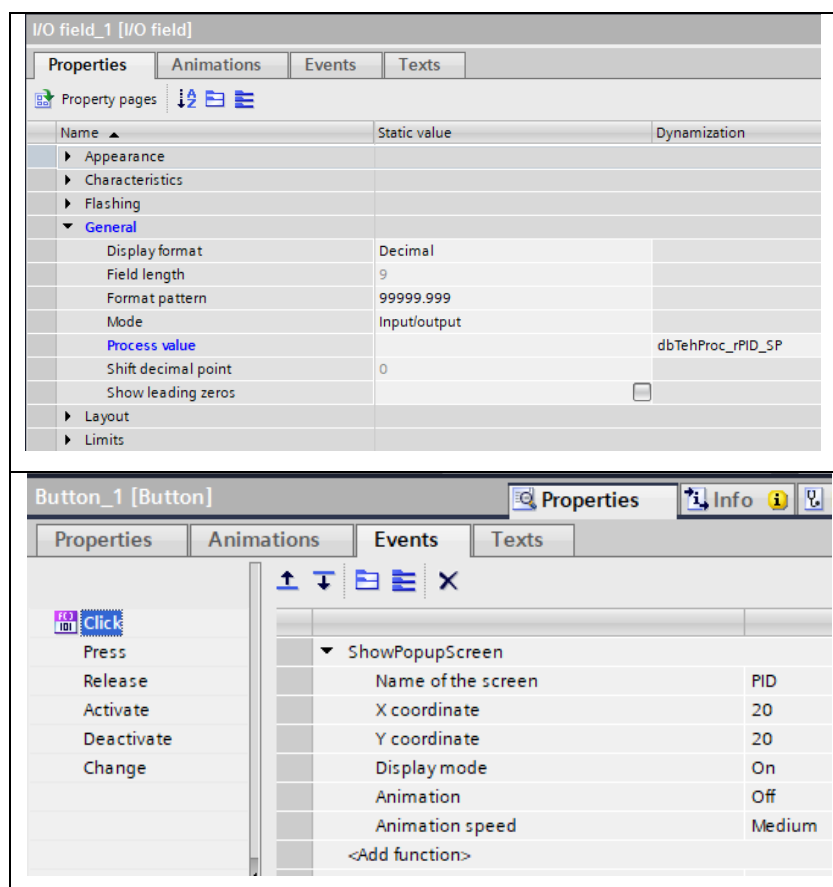


Рис. 7.12 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і виникнення подій (Alarm) з обладнанням установки в проекті створена система повідомлень. Вона включає повідомлення від програми користувача і системні повідомлення ОС ПЛК. Повідомлення від програми, розділяються на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стани та заносяться в архів.

В програмі користувача в ПЛК функціональні блоки, які обслуговують одиницю обладнання, формують інформацію про події в 16-бітному слові (тип Word). Кожному виду несправності відповідає певний біт. Ці слова потім збираються в програмі ПЛК в окремий блок даних dbErrors.

Далі теги з цього блоку даних пов'язуємо з 16-бітними тегами НМІ.

The screenshot displays the SIMATIC Manager interface. On the left, the 'Devices' tree shows the project structure, including 'PLC_1 [CPU 1516-3 PN/DP]' and data blocks 'dbErrors [DB2]' and 'dbTehProc [DB1]'. The 'Details view' shows a list of error tags with their offsets and data types.

Name	Offset	Data type	Access...
Er_Valve_Analog	0.0	*udtError_AnalogValve*	True
Er_M1	2.0	*udtError_Motor*	True
Er_M2	4.0	*udtError_Motor*	True
Er_M3	6.0	*udtError_Motor*	True
Er_M4	8.0	*udtError_Motor*	True
Er_PID	10.0	*udtError_PID_Compact*	True
Er_Temper	12.0	*udtError_AnalogInput*	True

The 'Alarm tag table' shows the mapping of PLC data to HMI connections:

Name	Data...	Connection	PLC name	Address
ErM1	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW2
ErM2	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW4
ErM3	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW6
ErM4	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW8
ErPID	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW10
ErTemper	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW12
ErValveAnalog	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	%DB2.DBW0

The 'Discrete alarms' table shows the resulting alarm messages:

ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Trigge...
3	Discrete_alarm_3	InvalidFeedback	Errors	ErValveAnalog	8
4	Discrete_alarm_4	NoSignalForward	Errors	ErM1	11
5	Discrete_alarm_5	NoSignalReverse	Errors	ErM1	12
6	Discrete_alarm_6	LowLowAlarm	Errors	ErTemper	8
7	Discrete_alarm_7	HighHighAlarm	Errors	ErTemper	9
8	Discrete_alarm_8	InputPERInvalid	Errors	ErPID	9

Рис. 7.13 Приклад прив'язки тегів dbErrors з НМІ-тегами

Кожний біт НМІ-тега з Alarm tag table сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.13). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text).

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms.

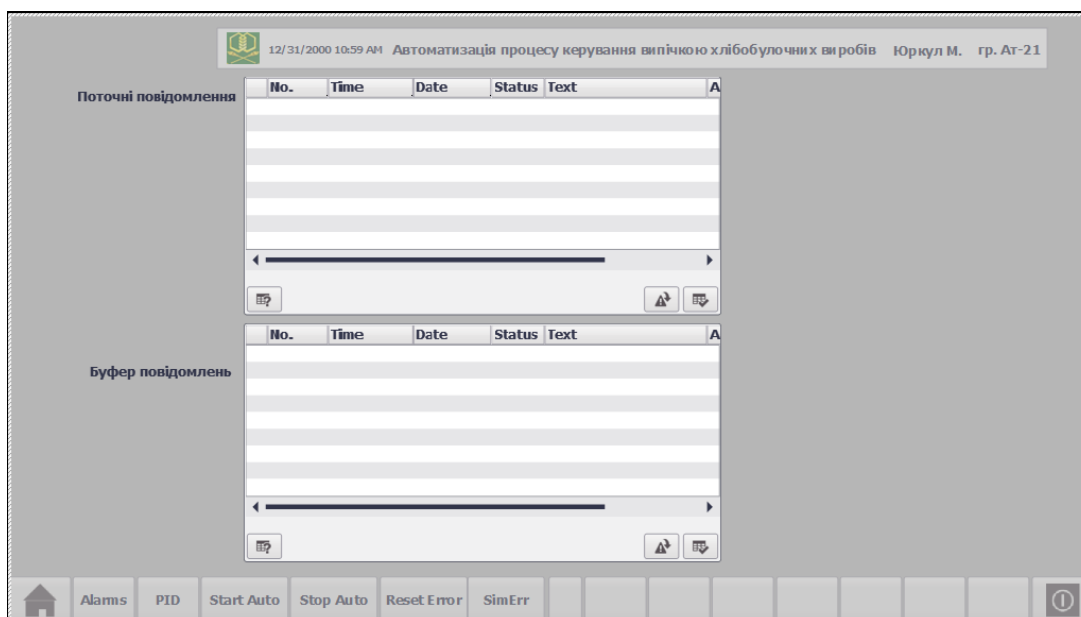


Рис. 7.14 Екран Alarms повідомлень про несправності

Вивід повідомлень на екран виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень.

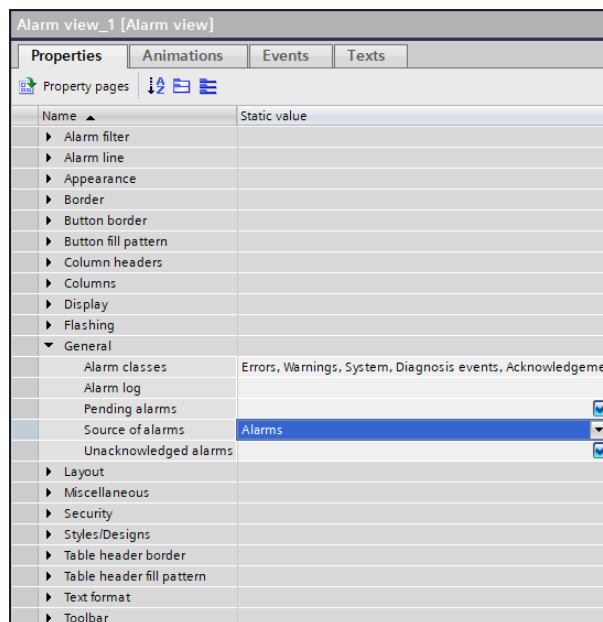


Рис. 7.15 Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.5 Тестування системи керування.

Тестування проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовище якої завантажуюємо проект ПЛК після його компіляції.

Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі WinCC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюємо проект HMI.

В залежності від вимог виробництва оператор має змогу налаштувати систему на режими: стоп, ручний, автоматичний, індивідуальний.



Рис. 7.16 Схема установки в ручному режимі

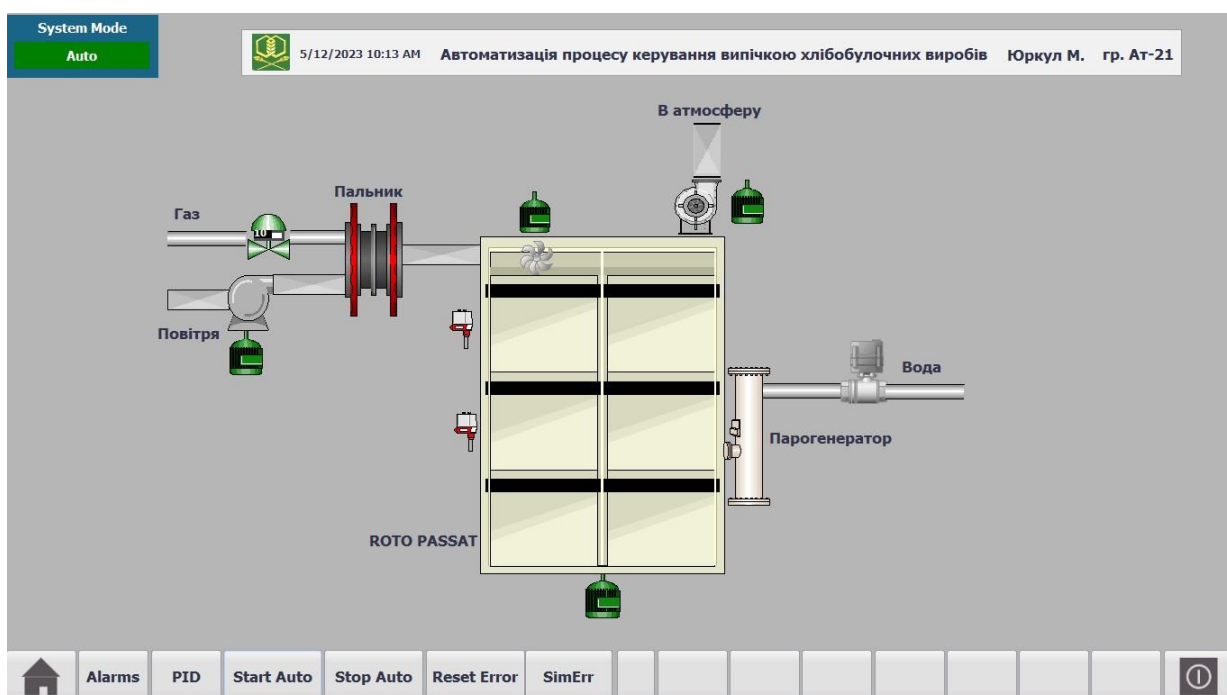


Рис. 7.17 Схема установки в автоматичному режимі

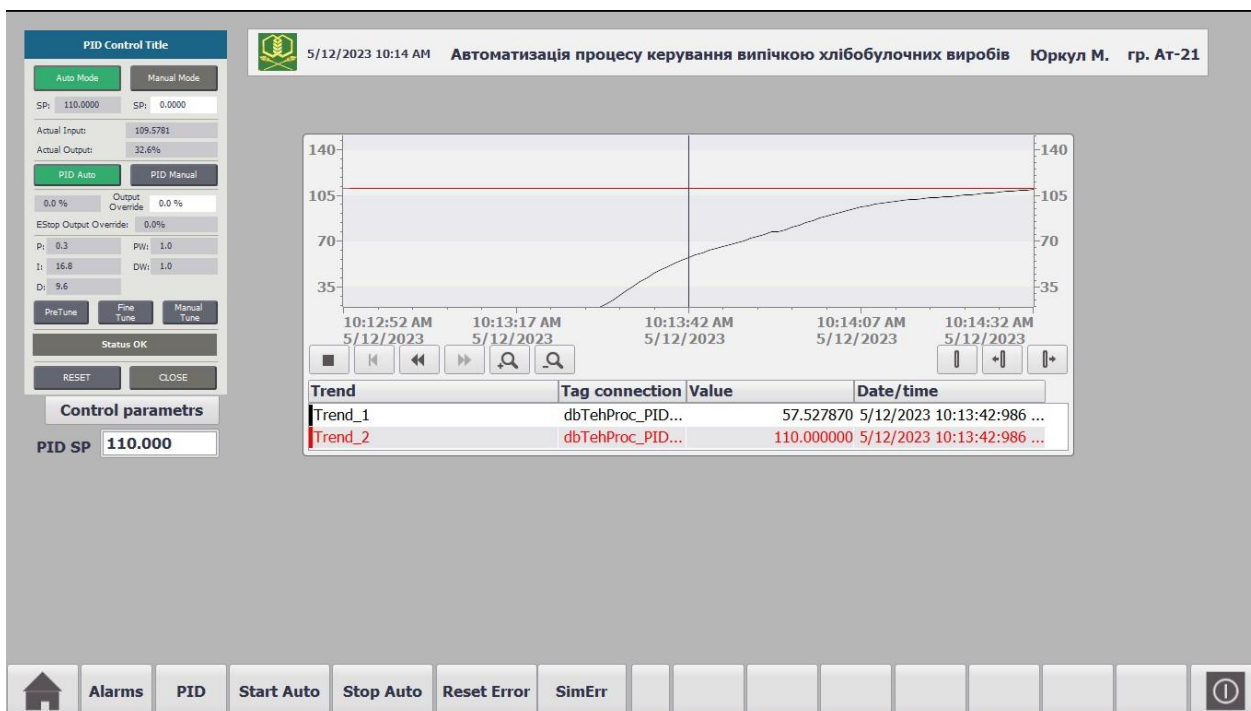


Рис. 7.18 Екран PID в тестовому режимі

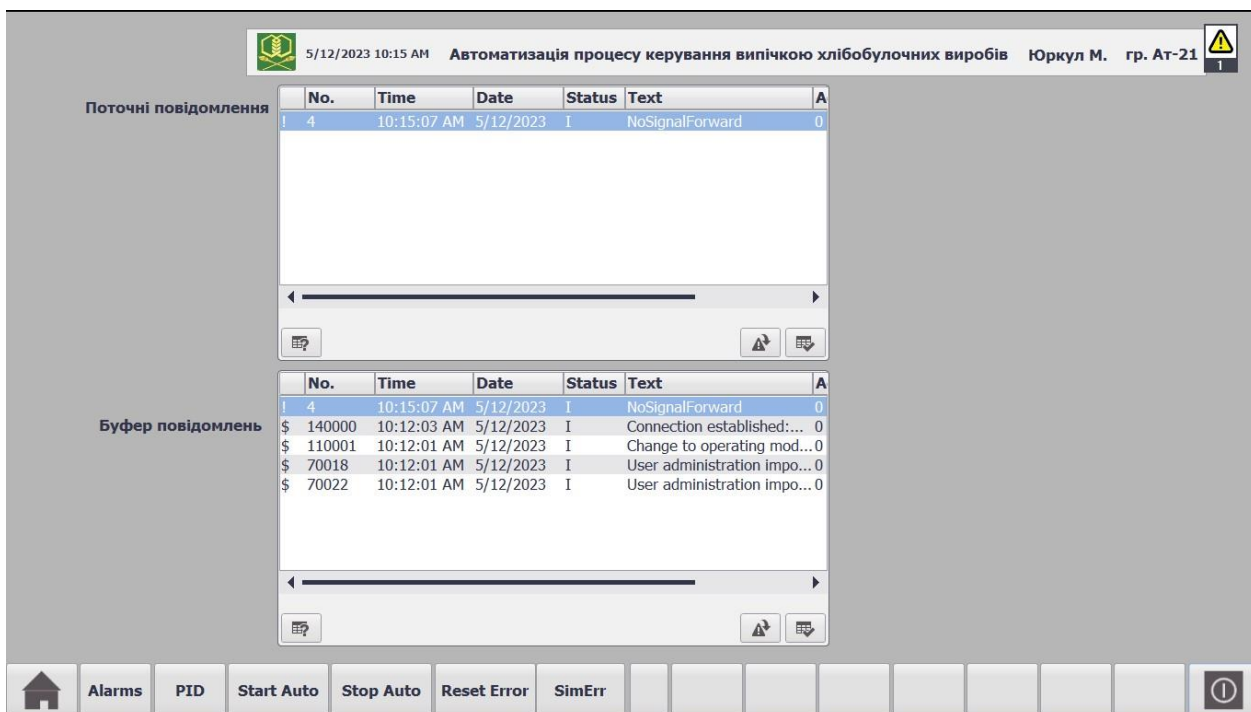


Рис. 7.18 Екран Alarms в тестовому режимі

при імітації несправності

7.4. Висновок: у цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом випічкою хліба в ротаційній печі. Створені екран для відображення схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

Тестування системи в цілому продемонструвало її роботоспроможність у всіх режимах роботи.

РОЗДІЛ 8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1. Характеристики технологічного об'єкта управління та опис основних технічних рішень. Основні технічні рішення

За результатами вибору КТС й відповідно до складеної технічної структури, розроблений комплект проектної документації на систему управління згідно до [7,16]. Комплект включає графічні та текстові документи: графічні:

1 – схему автоматизації;

2 – принципову електричну схему контролю й управління;

3 – принципову електричну схему живлення;

Текстові;

– попереднього переліка обладнань до всіх графічних документів;

– пояснювальна записка до проекту.

Особливістю принципової електричної схеми контролю й управління, є те, що відповідно до Керівних матеріалів ВНДПКІ „Харчопромавтоматика”, вона будується як сполучена схема контролю, керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера [10, 11]. Щит оператора встановлюється поблизу від ділянки ВВУ, у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішніх площинах щита оператора встановлюють електричні прилади, апаратуру, трансформатори, блоки живлення, а на фасадній панелі прилади, що показують, кнопкові станції, ключі вибору режиму й задатчики. Виходячи з того, що випічка хлібу не є вибухонебезпечним процесом, використані електроприводи у звичайному виконанні, для виконання завдань з регулювання параметрів процесу використані електроприводні виконавчі механізми (ВМ) типу Belimo (аналогове управління).

Контролер, що реалізує основні функції контролю та регулювання лінії SIEMENS, обраний з програмованих моделей SIMATIC S7-1500, оснащений інтерфейсом MATBUS RTU.

Вони використовуються для підтримки регламентних значень, передачу даних на робочу станцію на базі IBM PC сумісного комп'ютера, встановленого також в ОП. Контролери даної фірми серії SIMATICS7-1500 призначені для організації взаємодії між обчислювальною системою (ПК), що реалізують функції відображення та архівації інформації й датчиками безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми. Модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по каналу RS 485;
- введення й нормалізацію аналогових сигналів (струм, напруга);
- опитування стану дискретних входів;
- фільтрацію аналогових і дискретних вхідних сигналів;
- виводи аналогових сигналів управління;
- виводи дискретних сигналів, через релейні виходи.

Взаємодія контролера й комп'ютера здійснюється за допомогою модуля інтерфейсного зв'язку (модуль SIMATICS7-1500), що перетворює сигнали стандарту RS 485 в стандарт USB.

Для керування ділянкою ВБУ застосовується IBM PC сумісний комп'ютер на якому встановлена SCADA-система, що призначена для оперативного контролю, сигналізації, реєстрації параметрів. Також є можливість передачі даних на комп'ютери, що встановлені за межами ОП, за допомогою локальної мережі.

8.2. Розробка та опис схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 (заміна ГОСТ 21.404 – 85) "Система проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах". Особливістю розробленої схеми є те, що всі функції системи розподілені між контролерами (МПК і регулятор МІК112) та комп'ютером (ПК). Функції

автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує комплект контролерів сумісно з ПК, розташований в операторському пункті ВВУ. Всі використані датчики обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20мА), вихідні аналогові сигнали також 4...20 мА. Розглянемо перелік контурів контролю й керування наведений на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

- 1, 2, 3 – керування та контроль стану приводів вентилятора та диску;
- 4 – контроль (адреса лінії зв'язку – 4) та стабілізація (адреса лінії зв'язку – 5) температури в печі та стан контура ;
- 5 – контроль (6) та стабілізація (7) вологості в печі та положення ВМ (8);
- 6 – контроль гранично-припустимого тиску пари, що гріє (адреса лінії зв'язку – (9));
- 7 – контроль стану дверей в печі (адреса лінії зв'язку – 10);
- 8 – керування засувкою, що блокує двері (адреса лінії зв'язку – 11);
- 9 – Світлова сигналізація закінчення 2-го етапу випікання (адреса лінії зв'язку – 12);
- 10 – Світлова сигналізація закінчення циклу випікання (адреса лінії зв'язку – 13);
- 11 – передпускова звукова сигналізація;
- 12 – автоматичний ПУСК-СТОП лінії;
- 13 – перетворювач інтерфейсів.

У контурах керування приводами (1, 2, 3) встановлені для кожного ланцюга управління на щиті ключі вибору режиму керування ("автомат-дистанція"), кнопки "ПУСК", "СТОП", а також світлосигнальна арматура (світлодіод), що показує стан роботи двигунів; по місцю встановлений пристрій відключення двигунів (кнопка "СТОП").

У контурах (4,5) управління виконавчими механізмами аналогової дії, для кожного контуру на щиті встановлено багатофункціональний прилад типу БРУ-7.

Розглянемо дію контуру 4. Від датчика температури 4а з уніфікованим перетворювачем сигнал струму (4-20мА) подається на БРУ-7 (4б), через який подається на вхід АІ (SM 331-7KF02-0AB0) МПК. Вихідний сигнал (4-20мА) (регулювання) з МПК (АО SM332-5NB01-0AB0) подається на БРУ-7 (4б), звідки в автоматичному режимі БРУ сигнал подається на реле твердотільне універсальне (трифазне) типу SSR-3DA60A з радіатором РТР-360 (4в).

Розглянемо дію контуру 5. Від датчика вологості з уніфікованим перетворювачем 5а сигнал струму (4-20мА) подається на БРУ-7 (5б), через який подається на вхід АІ (SM 331-7KF02-0AB0) МПК. Вихідний сигнал з МПК (АО SM332-5NB01-0AB0) подається на БРУ-7 (5б), звідки в автоматичному режимі роботи БРУ сигнали подаються на ВМ [Belimo AVK24A-3-TPC](#) в комплекті з регулюючим клапаном пари Ду150 (5в).

В ручному (дистанційному) режимі сигнали на на ВМ [Belimo AVK24A-3-TPC](#) (5в) подаються оператором з БРУ-7.

Схема автоматизації ротаційної печі (рис. А) та попередній перелік обладнань до неї (табл. А) наведені в додатку А.

8.3. Розробка та опис принципових електричних схем

На принциповій електричній схемі (2 листи в додатку) показані елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені на частині [7, 16]. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи електричних приладів й елементів для досягнення поставлених функціональних завдань. Схема складена відповідно до вимог Держстандартів (ГОСТ) :

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.701. ЕСКД. Схеми. Види й типи. Загальні вимоги до виконання

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702. ЕСКД. Правила виконання електричних схем;

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.709. ЕСКД. Система маркування ланцюгів в електричних схемах.

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.710. ЕСКД. Позначення умовні, буквено-цифрові, які вжиті на електричних схемах.

Особливістю принципової електричної схеми контролю й керування, є те, що відповідно до Керівних матеріалів ВНДПКІ "Харчопромавтоматика", вона будується як сполучена схема контролю, керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера.

При необхідності пуску електродвигуна (контур 1) в дистанційному режимі при включеному $I-QF$, ключ $I-SA$ переводять у положення 1, після чого натисканням кнопки «Пуск» (закриваючої) $I-SB3$ забезпечують подачу живильної напруги (220 В фаза – нейтральний провід) на котушку контактора $I-KM$, що замикає головні контакти $I-KM$ і двигун починає обертатися. Додатковий контакт $I-KM$ (закриваючий), який шунтує кнопку $I-SB3$, також замикається в момент подачі напруги на котушку, що забезпечує так назване «самопідхоплення» роботи електродвигуна і дозволяє операторові відпустити пускову кнопку, через 1-3 секунди після натискання. Факт роботи електродвигуна перевіряється при наявності світлової сигналізації по зміні світіння індикатора.

Подібне рішення, є захистом від провалля і повторної подачі напруги (захист від мінімальної напруги), тому що виключає можливість пуску електродвигуна, неконтрольованого оператором.

При необхідності зупинити електродвигун, натискають кнопку «Стоп» (що розмикає) $I-SB2$, розташовану на щиті оператора або аналогічну кнопку $I-SB1$, розташовану по місцю (поблизу електропривода). При знеструмленні контактора $I-KM$, його головні контакти розмикаються, і двигун зупиняється.

При роботі в автоматичному режимі ключ вибору $I-SA$ переводять у положення 3, при цьому при спрацьовуванні контакту K автоматичного пристрою (реле) котушка $I-KM$ магнітного пускача одержує живлення (220 В), у результаті чого спрацьовують головні контакти пускача і двигун починає обертатися. Зупинка двигуна відбувається при розмиканні контакту K , а також, при необхідності, оператор має можливість самостійно його зупинити використовуючи кнопку «Стоп» та ключ $I-SA$ – перевод в положення 2.

Для полегшення читання таких схем на них приводять діаграму роботи ключа вибору режиму.

Для захисту від перевантаження електропривода по моменту, що крутить, у схемі використовується контакт муфти граничного *моменту* 1-SQ, а для захисту по токовому навантаженню контакти теплового *реле* 1-KK.

Так само треба робити з електродвигунами в контурах 2 і 3.

Розглянемо роботу контуру 4 стабілізації температури (від датчика 4а). При реалізації введення аналогового сигналу використаний принцип струмової петлі, тобто "+" від датчика 4а (дріт 4-21) підключений до клеми "1" (+AI) БРУ-7 для відображення поточного значення на цифровому міліамперметрі, який вбудований в БРУ7, із клеми 2 (-AI) дротом 4-22 сигнал подається на аналоговий вхід (кл. 02) модуля SM 331-7KF02-0AB0 (8AI), а замикається петля з'єднанням кл. 03 модуля SM 331-7KF02-0AB0 з "-" джерела живлення дротом 902.

Сигнал керування від модуля аналогового виводу модуля SM 332 (кл. 03) дротом 4-26 через кл. 16, 15 БРУ7 (4б) в автоматичному режимі подається дротом 4-24 на вхід «+» твердотілого реле (4в), при цьому кл. «-» підключена дротом 902 до кл. 06 модулю 332 та «-»джерела живлення. Живлення трифазного ТЕНу здійснюється від силового щита, через автоматичний вимикач 4-QF та реле, що дозволяє змінювати потужність (струм) ТЕНу, що включений за схемоб «трикутник». Крім цього, подання «+» (903) через клеми 11, 12 в дистанційному режимі дротом 4-25 до входу кл.02 модуля SM332-5NB01-0AB0, надає в систему інформацію о режимі, в якому знаходиться контур.

Розглянемо роботу контуру 5 стабілізації вологості (від датчика 5а). При реалізації введення аналогового сигналу використаний принцип струмової петлі, тобто "+" від датчика 5а (дріт 5-21) підключений до клеми "1" (+AI) БРУ-7 (5б) для відображення поточного значення на цифровому міліамперметрі, який вбудований в БРУ7, із клеми 2 (-AI) дротом 5-22 сигнал подається на аналоговий вхід (кл. 04) модуля SM 331-7KF02-0AB0 (8AI), а замикається

петля з'єднанням кл. 05 модуля SM 331-7KF02-0AB0 з "-" джерела живлення дротом 902.

Сигнал керування від модуля аналогового виводу модуля SM 332 (кл. 07) дротом 5-26 через кл. 16, 15 БРУ7 (56) в автоматичному режимі подається 5-24 на вхід «03» ВМ [Belimo AVK24A-3-TPC](#) (5в), при цьому кл. «1» та «4» підключені дротом 902 до кл. 10 модулю 332 та «-»джерела живлення. Завдяки встановлення опіру 5R здійснюється перетворення струмового сигналу 4-20мА в сигнал напруги 0-10В, що сприймає ВМ, як сигнал керування. Сигнал зворотнього зв'язку з ВМ 5в (кл.5) про ступень відкриття РО, подається на кл.06 модуля аналогового входу 331.

Сигнали про стан двигунів М1, М2, М3 та від сигналізаторів тиску 6а та положення двері 7а подаються на контролер через модуль SM332-5NB01-0AB0 (8 DI /8 DO) відповідно кл. 03,04, 05, 05 07, а також сигнали ПУСК-СТОПу кнопками 12SB1, 12SB2 до кл. 08, 09.

Також на ПЕС рис.Б1 показано керування блокуванням двері та реалізація звукової сигналізації, а на ПЕС рис. Б2 – світлова сигналізація закінчення етапів випікання та циклу та схема підключення МПК до ПК.

Принципови електричні схеми (рис. Б1 та Б2) та попередній перелік обладнань до неї (табл. Б) наведені в додатку Б.

8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення

Схема електрична принципова живлення розробляється з урахуванням необхідності безперебійного живлення найбільш відповідальних споживачів системи автоматизації електроенергією, зокрема контролера МПК й ПК. Крім того, для живлення ПК, МПК, через джерело безперебійного живлення, доцільно виконати індивідуальну лінію заземлення. Це є вкрай важливим і відповідальним, тому що від цього буде залежати надійна робота програмного забезпечення системи контролю й управління, що реалізована на них. На схемі представлено електроживлення приладів, перетворювачів, ПК і контролера. Уведення живлення здійснюється від розподільного пункту живлення (існуючого силового щита). У системі зроблений вузол для зручності та

безпеки виконання ремонтних робіт (розетки з живленням 36 В) та освітлення, які живляться напругою від головного автоматичного вимикача *SF1*. У щиті передбачена установка вхідного автомата *SF1*, лампи освітлювальної *EL* та розетки для електроінструмента (36В). В ланцюгах лампи, трансформатору *TV* (220/36В) установлені вимикачі *SA1*, *SA2* та для *TV* запобіжники з плавкими вставками *FU1*, *FU2*.

Живлення контролера здійснюється від блоку живлення *PS307* через ДБЖ (*G2 – UPS*), а ВМ й датчиків, розташованих по місцю здійснюється від блоку стабілізованого живлення «ОВЕН» БП 60-Д4-24 через різні за побігачі, через велику різницю їхньої потужності. Живлення щитових приладів типу БРУ-7 здійснюється напругою 220 В через *SA5 FU6*. Для запобігання з'єднання лінії індивідуального заземлення із заземленням корпусів електрообладнання необхідно забезпечити ізолювання корпусів джерел живлення *G1*, *G2*.

Живлення комплекту ПК здійснюється напругою 220 В від *UPS*. Всі ланцюги живлення (220В) приладів захищені автоматичними вимикачами, установленими в щиті оператора *SF1*, *SF3*, *SF4*, *SF5* а ланцюги живлення (24В) приладів вимикачами *SA3*, *SA4* та запобіжниками з плавкими вставками *FU3*,... ,*FU5*.

У схемі передбачений принцип маркування проводів (по рекомендаціях "ВНДПКІ" "Харчопромавтоматика"), що передбачає: дроти зі змінною напругою 220В, 36В маркірувати номерами 8XX, а дроти з постійною напругою 24В, 36В маркірувати номерами 9XX.

Принципова електрична схема живлення (рис. В) та попередній перелік обладнань до неї (табл. В) наведені в додатку В.

8.5. Охорона праці.

Так як розробляється САК установки, мета якої забезпечити високі показники керування процесом випічки хліба , то необхідно ідентифікувати потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, які можуть виникнути при експлуатації цієї установки. Наведемо їх граничнодопустимі концентрації

з посиланням на нормативні акти, в яких вони встановленні, та зазначимо наслідки від їх впливу. Зведемо дані у таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1	2	3	4
1.	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	25-35 °С	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2.	Підвищена або знижена рухливість повітря	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання, перегрів організму

Таблиця 8.1 (продовження)

3.	Підвищена або знижена вологість повітря	65-75%	Ревматичні, алергічні, захворювання
4.	Недостатня освітленість робочої зони	КПО -1,2%,Е – 200 лк.	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
5.	Підвищений рівень шуму на робочому місці	80 дБА	Захворювання органів слуху

1	2	3	4
6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 ⁻² /112 дБ (локальна вібрація)	Захворювання нервової системи
7.	Статичні перевантаження	-	Стан втоми
8.	Прямий і відбитий відблиск монітора	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
9.	Знижена контрастність	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
10.	Підвищений рівень електромагніт-ного випромінювання	10 Вт/м ²	Біохімічні зміни в організмі
11.	Підвищений рівень іонізації повітря	n+: 1500-3000 одиниць/см ³ ; n-: 3000-5000 одиниць/см ³	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання

Таблиця 8.1 (продовження)

13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
14.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
15.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

Визначимо категорії приміщень. Об'єкт автоматизації представляє собою ділянку випічки хлібу, яка розташована в виробничому приміщенні. Автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора розташовано у спеціальному приміщенні – операторському пункті (ОП), біля об'єкту автоматизації.

Будівля, де розташовується АРМ оператора, з пожежовибухонебезпеки відноситься до приміщень категорії В. За класом пожежі вона відноситься до А та Е. З безпеки ураження електричним струмом вона відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

8.6.1. Вимоги безпеки до організації та експлуатації АРМ оператора
АРМ оператора передбачає роботу з комп'ютерною станцією за допомогою якої, оператора спостерігає за роботою установки, також, має можливість керувати установкою в ручному режимі. Всі прилади установки, мають свої умовні позначення та мають можливість змінювати колір, при зміні стану приладів. При появі аварії чи блокуванні в установці, оператор має можливість побачити місце в якому з'явилася аварія, та усунути її.

Так як автоматизоване робоче місце розташоване у приміщенні ОП, забезпечується відповідність усіх елементів робочого місця:

- площа на одне робоче місце становить, 10,0 м², а об'єм - 25,0 м³;
норма: площа – 6,0 м², об'єм - 20,0 м³.
- оператор сидить за стандартним столом на м'якому кріслі;
- ЖК монітор відображає всю необхідну інформацію;

- трудові операції виконуються виключно на робочому місці;
- на робочому місці добре освітлення, вікно знаходиться з правого боку, на столі знаходиться світильник.

8.6.2. Електробезпека

В установці працюють прилади з напругою 220 В, тому застосовується ізоляція струмопровідних частин. При великих токах, спрацьовують автоматичні вимикачі, які захищають обладнання та обслуговуючий персонал від ураження током. Там де знаходиться висока напруга, приклеєні написи з номіналом цієї напруги. Всі прилади, напруга в яких більше 120 В заземлюються.

Захист працюючих від ураження електроструму при монтажі експлуатації та обслуговуванні АРМ, забезпечується наступними організаційними та технічними заходами і засобами.

- Атестацію оператора АРМ за III групою з електробезпеки;
- Проходження оператора АРМ навчань та інструктажів з питань, безпечної експлуатації електроустановок, а також первинні і періодичний медичне обстеження;
- Подвійна ізоляція проводів;
- Прокладка електропотоків в підлозі;
- Кольорове маркування струмопроводів;
- Наявність електрозахисних засобів (показники напруги, діелектричні рукавички, і т.д.);
- Наявність розробленої інструкції з охорони праці.

8.6.3. Виділення та нормування чинників, які впливають на комфортні та безпечні умови праці.

Визначення і нормування показників мікроклімату і чистоти повітря робочої зони.

Визначимо категорію робіт за ступенем важкості. Оператор АРМ виконує роботу в положенні сидячі, що пов'язане з постійним спостереженням (таблиця 8.2).

Таблиця 8.2 – Виробниче приміщення, період року, категорія роботи, що виконується, температура, відносна вологість, швидкість руху повітря

№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
1	Операторський пункт	Теплий	Легка 1а	22-24	40-60	0,1
2	Операторський пункт	Холодний	Легка 1а	23-25	40-60	0,1

8.6.4 Виділення і нормування показників освітлення робочої зони

Зорову роботу, яку на АРМ виконує оператор, відповідає наступним розрядам: Б-2 (робота з дисплеєм), А-2 (робота з документами). Забезпечення нормованих значень КПО та освітлення на АРМ оператор досягається за рахунок:

- бокового одностороннього розташування вікон;
- фарбування стелі та стін приміщення у світлі кольори;
- планове очищення скла віконних проїомів;
- застосування систем комбінованого освітлення.

Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення наведені у таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення

№	Виробниче приміщення	Вид освітлення	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд та підрозряд зорової роботи	КПО, %	Освітленість, лк
1	Операторський пункт	Бокове одностороннє та комбіноване освітлення	0,30-0,5	Б-2	1	400

8.6.5. Пожежовибухобезпека на АРМ оператора

Так як, приміщення відноситься до категорії В, та до класу пожеж А. То пожежобезпека в приміщенні забезпечується за рахунок:

- наявністю порошкового та вуглекислого вогнегасника з масою зарядів 8 кг та 3.5 відповідно;
- встановлення димових та теплових автоматичних сповіщувачів, установка проти димного захисту;
- наявність у будівлі внутрішньої системи протипожежного постачання;
- монтаж автоматичних вимикачів, при наявності великого струму, вимикається електропостачання;
- проходження оператором АРМ вступного, первинного, повторного, позапланового інструктажу, навчань та перевірки знань.

8.6.6. Загальні вимоги до шляхів евакуації

Під час виникнення НС оператор АРМ відповідно до затвердженого плану евакуації, повинен залишити приміщення через передбачений прохід

між виробничими меблями та обладнанням, та рухатися до сходової клітки через коридор і далі по сходах до дверей евакуаційного виходу.

За нормативами НАПБ А.01.001-2004 та ДБН В.22-28-2010, безпека працюючих під час евакуації, забезпечується наявністю:

- план евакуації (графічна та письмова форма);
- звукове обладнання трансляції мовлення;
- проходи в приміщенні не менше 1м, проходи коридору не менше 1,8м.
- світлове сповіщення “Вихід”;
- всі маршрути евакуації повинні мати освітлення не менше 400 лк.

8.7. Висновки за розділом.

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічного забезпечення САК на базі контролера фірми Siemens – SIMATIC S7-1500. Виконаний комплект технічної документації включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації управління випічкою хліба в ротаційній пічці. В результаті виконання отримані навички з розробки проектної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК та сучасних пристроїв автоматизації. Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов’язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом випічки хліба.

**РОЗДІЛ 9. ПОПЕРЕДНЄ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ
ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ.**

9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації за її обраним варіантом.

В даному розділі буде розглянута доцільність впровадження обраного варіанту розробленої системи автоматизації, з економічної точки зору.

Із залученням нових контролерів, та нового технічного обладнання, виконується модернізація автоматизованого процесу випічки хлібобулочних виробів. Якщо брати до уваги деякі чинники модернізації, то ми отримаємо ряд переваг нової модернізованої системи над старою, а саме:

- **Економія енергетичних ресурсів.**
- **Підвищення стабільності системи;**
- **Зниження розходу води та газу;**

Найменування	Тип, марка	К- сть	Оптова ціна з ПДВ, грн	
			За од.	Сума
Контролер програмований	SIMATIC S7-1500, CPU313C-2DP	1	16700	16700
Модуль аналогового вводу	4xU/I/ 6ES7 534-7QE00- 0AB0	1	17800	17800
Модуль аналогового вводу	16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10- 0AA0	1	10000	10000
Модуль дискретного вводу- виводу	16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10- 0AA0	1	8000	8000
Блок ручного управління	Бру-7	2	10 667,85	21335.7

Датчик температури	ТЕРА (ТСМ 100П)	1	850	850
Перетворювач ПСТ	ПСТ (0/150)	1	540	540
Датчик тиску пари	Kobold sen 3376	1	1990	1990
Перетворювач відносної вологості	У 2-01	1	4500	4500
Частотний перетворювач	Elettronica Santerno	1	37900	37900
Клапан с електроприводом	NVD24-SR	1	10000	10000
Блок живлення	PS 60W 24/48/60VDC	1	27200	27200
Персональний комп'ютер	HP	-	30000	30000
Модуль перетворювач інтерфейсів USB- RS485	ADAM 4561	1	4700	4700
Магнітний пускач з тепловим реле	ПМА 3221	4	3000	12000
Кнопки	ELFIN 22	3	140	420
Резистор змінний високоточний	СП5	2	40	80
Резистор	C2-23-500	1	15	15
Дзвоник електричний	UWE	1	70	70
Запобіжник із плавкою вставкою	ВПТ	5	40	200
Перемикач	ELFIN 22	6	80	480
Світлосигнальна арматура у сборі	ELFIN 22	8	25	200
Вимикач автоматичний	3RT2017-1AP1-0CC0	4	90	360
Патрон косий настінний	E27 ФнП-03	1	35	35
Трансформатор	ТСБ3-220/36В	1	1500	1500
Розетка	РШ-0-2-	2	90	180

Розетка	РШ-0-3-	2	270	540
Джерело безперебійного живлення	PowerWalker VFI 1000	1	7500	7500
Щит	SCHROFF600x600x420мм	1	33211,62	33211,62
Клемна колодка	conta-conect SRK	2	130	260
DIN- рейка		3м	40	120
Проф.шина		0,5 м	800	800
Короб монтажний		9м	10	90
Дріт монтажний	ПВЗ*05	87 м	3.45	300
Кабель контрольний мідний	КВВГ4х185	10 м	25,12	251.2
Кабель контрольний мідний	КВВГ4х1,0	10 м	12.43	124.3
Дріт з'єднувальний	ПВСн 2*1	110м	13	1430
Дріт з'єднувальний	ПРТО 1*4	130м	15.39	2000.7
Труба стальна водогазопровідна	MP20x2,5	420м	17	7140
Всього :				248306.7

Табл. 9.1 Оціночна грошова вартість придбання засобів автоматизації.

9.2. Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості.

Як результат, після модернізації САК ротаційної печі, очікується зниження розходу води у процесі виробництва приблизно на 11,3%. А також, зменшення витрат на газ, приблизно на 7,3%.

-Вартість 1 м³ води = 17.916 грн;

-Вартість 1 куб газу = 7.9 грн

-Продажна вартість САР –248306.7 грн.

-Річний об'єм виробництва – 20 000 т.

1. Визначимо величину початкових інвестицій в нову, розроблену САР.

Первинна вартість придбання нової техніки розраховується за формулою:

$$IC_{САР} = (\frac{C_{прсар} + C_{прсар} \cdot K_M + C_{прсар} \cdot H_T/100 + C_{прсар} \cdot H_{тр}/100}{1 + (C_{прсар} + C_{прсар} \cdot H_T/100 + C_{прсар} \cdot H_{тр}/100) \cdot H_{зс}/100}) \cdot C_{прсар} \cdot 1,165 = 248306.7 \cdot 1,165 = 289277.3055 \text{ грн}$$

де K_M – коефіцієнт монтажних робіт, ($K_M=0,1$);

H_T – нормативні відрахування на тару та упаковку, ($H_T=0,25\%$);

$H_{тр}$ – транспортні расходи, ($H_{тр}=5\%$);

$H_{зс}$ – нормативні відрахування на заготівельно-складські затрати, ($H_{зс}=1,2\%$);

2. Визначимо величину зміни витрат на експлуатацію та підтримку роботи обладнання:

$$\Delta B_{асар} = IC_{САР} \cdot H_{рау} = 289277.3055 \cdot 0,5 = 144638.65275 \text{ грн}$$

$H_{рау}$ - норма річних амортизаційних відрахувань для засобів автоматизації, яка дорівнює 50%;

3. Визначимо витрати на воду до впровадження модернізації:

$$Z_{\text{вод1}} = \text{ОВ}_Г * N_{\text{р.вод1}} * Ц_{\text{од.вод}} = 20000 * 0,04 * 17.916 = 14332.8 \text{ грн}$$

4. Визначимо витрати на пар після впровадження модернізації:

$$Z_{\text{вод2}} = \text{ОВ}_Г * N_{\text{р.вод2}} * Ц_{\text{од.вод}} = 20000 * 0,035 * 1654 = 12541.2 \text{ грн}$$

5. Визначимо зміну витрат на воду:

$$\Delta Z_{\text{вод}} = \Delta Z_{\text{вод2}} - \Delta Z_{\text{вод1}} = 12541.2 - 14332.8 = -1791.6 \text{ грн}$$

6. Визначимо витрати на газ до модернізації:

$$Z_{\text{газ.1}} = \text{ОВ}_Г * N_{\text{р.газ.1}} * Ц_{\text{од.газ.}} = 20000 * 2.65 * 7.9 = 418700 \text{ грн}$$

7. Визначимо витрати на електроенергію після модернізації:

$$Z_{\text{газ.2}} = \text{ОВ}_Г * N_{\text{р.газ.2}} * Ц_{\text{од.газ.}} = 20000 * 2.45 * 7.9 = 387100 \text{ грн}$$

8. Визначимо зміну затрат на газопостачання:

$$\Delta Z_{\text{газ.}} = \Delta Z_{\text{газ.2}} - \Delta Z_{\text{газ.1}} = 387100 - 418700 = -31600 \text{ грн}$$

9. Визначимо зміну повної собівартості продукції за рахунок впровадження САР:

$$\Delta \text{СП} = \Delta Z_{\text{газ.}} + \Delta Z_{\text{вод}} + \Delta \text{Васар} = -31600 - (-1791.6) + 144638.6 = 114830.2 \text{ грн}$$

10. Визначимо приріст прибутку підприємства за рахунок модернізації:

$$\Delta \text{П} = -\Delta \text{СП} = -114830.2 \text{ грн}$$

11. Визначимо приріст чистого прибутку підприємства:

$$\Delta\text{ЧП} = (\Delta\text{П} - \Delta\text{Васар}) \cdot (1 - \text{Пп}) = (-114830 - 144638.6) \cdot (1 - 0,18) = -24443\text{грн}$$

Пп - податок на прибуток, який дорівнює на 01.01.2018 р. - 18%.

12. Визначимо розмір чистого грошового потоку:

$$\text{ЧГП} = \Delta\text{ЧП} + \Delta\text{Васар} - 24443 + 144638.65275 = 120195.65275\text{грн}$$

9.3 Висновок за розділом:

Отже, чистий грошовий потік за період реалізації данного проекту є більшим за нуль, а саме: 120195.65275грн. Однак, даний проект є ризиковим, адже виходячи з розрахунків, ми бачимо що його чистий прибуток є меншим за 0, а саме: -24443грн грн. Це означає, що вибрані нами варіації технічних засобів є інвестиційно привабливими, однак ризиковими і дозволять нам провести модернізацію, результатом якої став отриманий прибутковий чистий грошовий потік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі бакалавра ми зробили структурну схему базової САР та САР підвищеної динамічної точності з передаточними функціями регуляторів, ОК, коригуючих зв'язків та ФФ. Потім ми зробили ФЛС ротаційної печі та перевірили його в MatLab Simulink. В 5 розділі роботи ми підібрали до печі технічні засоби автоматизації. В 6 У середовищі TIA Portal створюємо проект і додаємо до його складу обрані контролер та панель оператора TP1900 Comfort. , тобто запрограмували контролер. Також ми розробили SCADA систему . В 8 розділі ми проектували системи автоматизації, а в 9-обґрунтували економічну доцільність реалізації проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маклюков И.И, Маклюков В.И. Промышленные печи хлебопекарного и кондитерского производства – М.: Легкая и пищевая промышленность , 1983. – 272 с.
2. Сигал М.Н. и др.Поточно-механизированные и автоматизированные линии в хлебопекарной промышленности ,1988.-176с.-Библиогр.
- 3.Хобін В.А. – Конспект лекцій з курсу Ідентифікація та моделювання об'єктів автоматизації– Одеса ОНАХТ 2016. – 96 с.
4. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів напряму підготовки 6.050202 денної та заочної форм навчання. Укл. В.А. Хобін. – Одеса: ОНАХТ, 2020. – Ч. 1. – 110 с.
5. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів напряму підготовки 6.050202 денної та заочної форм навчання. Авт. В.А. Хобін. – Одеса: ОНАХТ, 2020. – Ч. 2. – 76 с.
6. Методические указания к выполнению индивидуальной самостоятельной работы по курсу «Микропроцессорные и программные средства автоматизации» для студентов, профессионального направления 6.050202 дневной и заочной форм обучения / Составители:М.Т.Степанов. – Одесса: ОНАПТ,2013,16 с.
7. Методичні вказівки до виконання індивідуальної самостійної роботи за дисципліною "Проектування систем автоматизації" для студентів напряму підготовки бакалаврів 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»,денної та заочної форм навчання/ Укладач Ю. М. Скаковський. – Одеса: ОНАХТ, 2017. – 74 с.
8. Скаковський Ю.М. Методичні вказівки до виконання індивідуальної самостійної роботи за дисципліною "Автоматизація технологічних процесів та виробництв" для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання/Ю.М. Скаковський - Одеса: ОНАХТ, 2019, -33 с. (електр. версія).

9. Денисенко В.В. Комп'ютерне управління технологічним процесом , експериментом , обладнанням . - М .: Гаряча лінія - Телеком , 2009. - 608 с.
10. SIMATIC HMI . WinCC flexible 2005. Керівництво користувача 6AV6691- 1AB01-0AB0 . Редакція 06. - Siemens AG , 2005. - 394 с .
11. Загальногалузеві керівні методичні матеріали по створенню і застосуванню АСУТП у галузях промисловості (ОРММ-3). – Москва, 1986.
12. ДСТУ Б А.2.4-4-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.101-93, МНТКС). Основні вимоги до робочої документації.
13. ДСТУ Б А.2.4-3-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.408-93, МНТКС). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
14. ДСТУ Б А.2.4-10-95. ДКУ Мбіа,1996 (ГОСТ 21.110-93, МНТКС). Правила виконання специфікацій устаткування, виробів і матеріалів.
15. ДБН А.2.2-3-97. ДКУ Мбіа, 1997. Державні будівельні норми України. Проектування Склад. Порядок розробки, узгодження і твердження проектної документації для будівництва.
16. ДСТУ Б А.2.4-16:2008 Системи проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах.
17. Трегуб В.Г., Ладанюк А.П., Плужников Л.Я. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматизации пищевых производств. – М.: Агропомиздат, 1991. –352с.