

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Тема: «Автоматизація керування гідрогенізацією жирів»»

Розробив	В.В. Дуров
Керівник к.т.н., доцент	О.Є. Гончаренко
Зав. кафедри АТПіРС д.т.н., професор	В.А. Хобін
<i>«e-версія роботи ідентична оригіналу»</i>	В.В. Дуров
<i>«e-версію роботи прийнято»</i>	
Депозитор кафедри АТПіРС	Т.В. Волик

Одеса-2023

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

«24» грудня 2021 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

1. Студент **Дуров Володимир Володимирович**
2. Тема кваліфікаційної роботи «**Автоматизація керування гідрогенізацією жирів**»
3. Керівник кваліфікаційної роботи **Гончаренко Олександр Євгенович, к.т.н., доцент**
П.п. 2 і 3 затверджені наказом ОНТУ від 11 листопада 2021 року № 945-03.
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 гідрогенізацією жирів, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом.
 - 2) Конкретизація задачі дотримання регламентів управління гідрогенізацією жирів, 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 гідрогенізацією жирів.
 - 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.

7. Консультанти розділів кваліфікаційної 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	Жигайло А.М., доц. каф. АТПіРС		
Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	Жигайло А.М., доц. каф. АТПіРС		
Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САУ	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Вибір ТЗА та розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження проекту	Дроздова В.А., доц. каф. МіЛ		

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 гідрогенізацією жирів, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом	29.03.23 р.	Виконано
2	Конкретизація задачі дотримання регламентів управління гідрогенізацією жирів, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	10.04.23 р.	Виконано
3	Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	24.04.23 р.	Виконано
4	Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування гідрогенізацією жирів	25.04.23 р.	Виконано
5	Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів	28.04.23 р.	Виконано
6	Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК	05.05.23 р.	Виконано
7	Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	19.05.23 р.	Виконано
8	Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці	26.05.23 р.	Виконано
9	Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи	02.06.23 р.	Виконано

Студент

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра

Дуров В.В.

Гончаренко О.О.

Анотація

Кваліфікаційна випускна робота бакалавра на тему: «Автоматизація керування гідрогенізацією жирів» викладена на 221 сторінках звіту, складається із вступу, дев'яти розділів і висновків, включає в себе 162 ілюстрації, 29 таблиць, та 18 джерел за переліком посилань.

Об'єктом керування, розглянутим в кваліфікаційній випускній роботі, є процес гідрогенізації жирів у реакторах, в яких проходить реакція з'єднання молекул харчової олії та молекул водню, результатом якої є пастободібна субстанція (саломас). В якості технологічного агрегату для гідрогенізації, було застосовано реактори фірми «Ekato» моделі НТС-60. Для оснащення якісною системою автоматичного регулювання температури у реакторі та в'язкості саломасу, у данній дипломній роботі побудована математична модель процесу гідрогенізації жирів експериментальним методом. Математична модель включає у себе моделі динаміки та статички каналів перетворення координатних дій: каналів керування та контрольованих збурень, а також модель збурень як стохастичних (випадкових) процесів. Отримані моделі реалізовані у середовищі імітаційного моделювання Matlab Simulink, підтверджена їх відповідність властивостям технологічного агрегату як об'єкта керування. Розроблена САР базової структури з замкненим принципом керування, а підвищеної динамічної точності - двомірна автономна САР, з міжрегуляторними корегуючими зв'язками. Для реалізації алгоритмів логічного керування і регулювання розроблена контролерно-комп'ютерна система і відповідне програмне забезпечення. Створено графічний інтерфейс для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК та фрагменти документації проекту системи автоматизації. Було проведено економічне обґрунтування щодо впровадження розробленої комплексної САК.

Ключові слова: гідрогенізація, жири, саломас, харчова олія, реактор, каталізатор, автоматизація, система автоматичного керування, система автоматичного регулювання, підвищена динамічна точність, автоматизоване робоче місце.

ЗМІСТ

Стор.

Вступ.....	18
1. Характеристика управління гідрогенізацією жирів, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом.	20
1.1 Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого агрегатом, цілей і умов його ведення.....	20
1.1.1 Складання схеми та опис суті технологічного процесу, реалізованого технологічним агрегатом, як цілеспрямованого перетворення матеріальних і енергетичних потоків.....	20
1.1.2 Опис конструкції технологічного агрегату та особливостей його експлуатації.....	21
1.1.3 Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо й доцільно реалізувати розглянутий технологічний процес.....	22
1.1.4 Гідрогенізація схеми технологічного процесу і загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.....	22
1.2 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення	24
1.2.1 Виявлення нормативів ведення технологічного процесу і роботи технологічного агрегату.....	24
1.2.2 Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски.....	24
1.2.3 Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.....	25

1.2.4 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.....	26
1.3 Розробка структурної (координатної) схеми об'єкта керування.....	27
1.3.1 Конкретизація мети і завдань керування об'єктом, виявлення регульованих координат.....	27
1.3.2 Вибір керуючих дій об'єкту керування.....	28
1.3.3 Виділення та класифікація збурень об'єкта керування.....	28
1.3.4 Складання структурної (координатної) схеми об'єкту регулювання.....	28
2 Конкретизація задачі дотримання регламентів управління гідрогенізацією жирів, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	30
2.1 Апріорний аналіз статичних і динамічних властивостей об'єкту керування	30
2.1.1 Апріорний аналіз і вибір структури моделей динамічних властивостей каналів керування та контрольованих збурень на основі знання фізичних закономірностей технологічного процесу.....	30
2.1.2 Апріорний аналіз і прийняття рішення 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.....	30
2.1.3 Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів управління об'єкта регулювання в околиці його робочих режимів.....	31
2.1.4 Короткий порівняльний аналіз і вибір доцільних вхідних дій для експериментального дослідження з метою отримання необхідної	

інформації про властивості каналів об'єкту для випадку, коли вхідні змінні каналів доступні для цілеспрямованої зміни.....	31
2.1.5 Планування активного експерименту на об'єкті для обраних вхідних дій і отримання реакцій на них у ході натурного та (або) уявного експериментів.....	31
2.1.6 Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, обґрунтування та вибір структури моделей каналів (структурна ідентифікація моделей).....	32
2.1.7 Вибір методик і проведення параметричної ідентифікації моделей першого та другого порядків.....	33
2.1.8 Ідентифікація моделей статички каналів управління об'єкту регулювання з істотно нелінійними властивостями	39
2.1.9 Вибір і опис доцільного методу експериментальних досліджень властивостей каналів з метою отримання необхідної інформації.....	39
2.1.10 Планування активного експерименту на об'єкті для реалізації обраного методу та відображення результатів натурного або уявного експериментів у вигляді оцінок статичних характеристик.....	40
2.1.11 Аналіз отриманої в ході експерименту інформації, ітераційний підбір структури моделі з їх параметричною ідентифікацією, порівняльний аналіз моделей різної структури за статистичними критеріями, прийняття рішення з вибору моделі для опису нелінійних властивостей каналів керування.....	44
2.2. Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування.....	46
2.2.1 Аналіз фізичної суті, можливих діапазонів зміни та частотних властивостей вхідних дій і їх наслідків.....	46

2.2.2 Аналіз можливостей ідентифікації моделей координатних і параметричних збурень різного рівню деталізації і вибір загальної структури моделей.....	47
2.2.3 Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових координатних збурювань	48
2.2.4 Планування пасивного експерименту для збору інформації про координатні збурення, подання реалізацій записаних у ході експерименту змінних.....	48
2.2.5 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 прихованої періодичної складової.....	49
2.2.6 Параметрична ідентифікація моделей імовірнісних властивостей випадкової складової, результати ідентифікації.....	51
2.2.7 Обґрунтований вибір структури моделі детермінованої складової координатних збурень і її параметрична ідентифікація.....	53
2.3 Реалізації моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.....	55
2.3.1 Реалізація у середовищі імітаційного моделювання моделей каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.....	55
2.3.2 Розробка схем моделювання динаміки каналів перетворення дій, отримання перехідних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними перехідними характеристиками.....	55

2.3.3 Розробка схем моделювання каналів статички, отримання статичних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними статичними характеристиками.....	57
2.3.4 Розробка схем моделювання каналів статички, отримання статичних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними статичними характеристиками.....	59
2.3.5 Реалізація в середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту управління та підтвердження її адекватності.....	61
2.3.6 Реалізація у середовищі імітаційного моделювання моделей вхідних дій і підтвердження їх адекватності.....	64
2.3.7 Подання моделей випадкових складових збурень у вигляді послідовно включених базового генератора білого шуму і формуючого фільтра, вибір кроку генерації, розрахунок параметрів фільтрів.....	64
2.3.8 Розробка схем моделювання, генерація випадкових складових моделей вхідних дій, параметрична ідентифікація їх імовірнісних характеристик і підтвердження адекватності моделей.....	66
2.3.9 Розробка повної схеми моделювання об'єкту.....	70
2.3.10 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.....	70
3. Формулювання задач керування, вимог до їх розв'язку і вибір основних принципів побудови автоматичних систем	72
3.1 Формулювання задач керування технологічним агрегатом.....	72

3.1.1	Декомпозиція загальної задачі керування технологічним агрегатом і формулювання окремих задач.....	72
3.1.2	Обґрунтування необхідності і доцільності автоматизації кожної з окремих завдань управління.....	72
3.1.3	Формалізація вимог до гранично-припустимих статичних і динамічних відхилень регульованих змінних від відповідних заданих значень перехідних і динамічно сталих процесів і подання їх у формі регламентних зон регульованих змінних. (за каналом $u_1 - T_p$; та за каналом $u_2 - V_C$).....	73
3.1.4	Формалізація інтегральних вимог до перехідних та динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегральних критеріїв оптимальності САР.....	74
3.1.5	Формалізація інтегральних вимог до перехідних та динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегральних критеріїв оптимальності САР.....	75
3.1.6	Вибір, обґрунтування та подання у вигляді узагальненої структурної схеми принципу побудови системи автоматичного регулювання.....	75
3.2	Синтез і аналіз системи автоматичного регулювання базової структури.....	77
3.2.1	Конкретизація структури САР і алгоритмів регулювання.....	77
3.2.2	Розробка на основі обраного загального принципу побудови САР, її базової конкретної структури.....	77
3.2.3	Вибір альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання, запис їх рівнянь і передаточних функцій.....	78

3.2.4 Розробка структурної схеми цифрового імітаційного моделювання САР при детермінованих та стохастичних вхідних діях.....	78
3.2.5 Параметричний синтез САР з різними варіантами типових алгоритмів регулювання і їх порівняльний аналіз для детермінованих вхідних дій	80
3.2.6 Вибір початкових наближень настроювальних параметрів алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР.....	80
3.2.7 Параметричний оптимальний синтез САР з альтернативними алгоритмами регулювання для детермінованих (ступінчастих) вхідних діях.....	81
3.2.8 Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.....	84
3.2.9 Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК.....	86
3.2.10 Вибір параметрів ОК, по який доцільно оцінити грубість САР, значень їх варіацій і планування машинного експерименту з оцінки грубості.....	86
3.2.11 Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлено гранично-припустимі значення.....	88
3.2.12 Вибір з розглянутих сполучень параметрів ОР найбільш «несприятливих» і «сприятливих» для керування.....	89
3.2.13 Аналіз сталих процесів у САР при стохастичних вхідних діях.....	93
3.2.14 Оцінка отриманих статистично стійких результатів.....	93

3.2.15 Порівняльний аналіз сталих процесів для сполучень параметрів ОР, що відповідають номінальним, «несприятливим» і «сприятливим» властивостям ОР за інтегральним показником і показникам, для яких встановлено гранично-припустимі значення.....	95
3.2.16 Висновки за розділом.....	96
3.3 Синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності.....	99
3.3.1 Структурний синтез САР підвищеної динамічної точності.....	99
3.3.2 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.....	99
3.3.3 Розробка на основі вибраних способів підвищення динамічної точності САР її структурної схеми і формулювання (в аналітичній формі) умов, що забезпечують необхідні властивості САР.....	99
3.3.4 Виведення передаточних функцій коригуючих 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.....	101
3.3.5 Спрощення коригуючих зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації і параметричний синтез САР при детермінованих вхідних діях.....	104
3.3.6 Аналіз складності технічної реалізації коригувальних зв'язків проводиться з урахуванням доцільності такої реалізації та можливостей технічних засобів. За результатами такого аналізу роблять висновок про спрощення ПФКЗ за рахунок зниження їх розмірності, апроксимації запізнення дрібно-раціональними передаточними функціями і т.п. зі збереженням загальних властивостей зв'язків.....	104

- 3.3.7 Вибір початкових наближень параметрів спрощених корегуючих зв'язків, який здійснюється з умов близькості перехідних характеристик корегуючих зв'язків до і після їх спрощення, де можливо застосувати будь-який метод як оптимізаційного, так і звичайного.....105
- 3.3.8 Розробка структурної схеми цифрового імітаційного моделювання і параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності для детермінованих вхідних дій.....107
- 3.3.9 Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об'єкту регулювання.....108
- 3.3.10 Вибір параметрів ОУ, за яким доцільно оцінити грубість САР значень їх варіацій та планування машинного експерименту з оцінки грубості.....109
- 3.3.11 Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності і показникам, для яких встановлено гранично-припустимі значення.....109
- 3.3.12 Вибір з розглянутих сполучень параметрів ОР найбільше «несприятливих» і «сприятливих» для керування.....109
- 3.3.13 Аналіз сталих процесів у САР при стохастичних вхідних діях.....112
- 3.3.14 Оцінка отримання статистично стійких результатів.....112
- 3.3.15 Порівняльний аналіз процесів для поєднань параметрів ОУ, що відповідають номінальним, «несприятливим» і «сприятливим» властивостям ОУ за інтегральним показником і показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.....113
- 3.3.16 Порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимальних САР за величинами критеріїв та показників, на які встановлені гранично-допустимі значення.....113

3.3.17 Порівняльний аналіз встановлених процесів параметрично оптимальних (або детермінованих вхідних впливів) САР за інтегральними показниками і показниками, на які встановлені гранично-допустимі значення.....	115
3.3.18 Порівняльний аналіз грубості параметрично оптимальних САР.....	117
3.3.19 Висновки по розділу.....	117
4 Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом гідрогенізації жирів.....	119
4.1 Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом гідрогенізації жирів	119
4.2 Розробка алгоритмів автоматичного логічного керування за пуском, зупинкою та аварійною зупинкою (циклом роботи) технологічного агрегату	123
4.3 Розробка функціонально логічної схеми (ФЛС) керування процесом гідрогенізації жирів	128
4.4 Висновки за розділом	130
5 Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів.....	131
5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення.....	131
5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання	137

5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу	146
5.4 Висновки за розділом	151
6 Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК	152
6.1 Формування списку параметрів які повинні вводитись і виводитись з контролера.....	152
6.2 Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування	155
6.3 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК	161
6.4 Програмна реалізація алгоритмів логічного керування	166
6.5 Розробка підсистеми взаємодії автоматизованого робочого місця та мережі контролерів за допомогою OPC-сервера.....	169
6.6 Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування на базі контролера S7-300.....	173
6.7 Висновки за розділом	181
7 Розробк SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	182
7.1 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога.....	182
7.2 Розробка екранів АРМ оператора – технолога Шаблон екранів.....	183
7.2.1 Технологічна схема.....	184

7.2.. Допомога.....	187
7.2.3 Графіки.....	188
7.2.4. Повідомлення.....	189
7.3 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САК.....	191
7.4 Розробка екранів АРМ наладчика САК.....	192
7.4.1 Налаштування регуляторів.....	192
7.4.2 Список користувачів.....	192
7.5 Висновок за розділом	193
8 Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці.....	194
8.1 Характеристика технологічного об'єкта керування.....	194
8.2 Основні технічні рішення.....	194
8.2.1 Опис схеми автоматизації.....	196
8.2.2 Опис принципової електричної схеми.....	199
8.2.3 Розробка принципових електричних схем живлення.....	202
8.3 Охорона праці.....	203
8.3.1 Загальні положення.....	203
8.3.2 Заходи безпеки за ремонтом та експлуатацією.....	204
8.3.3 Перелік потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	204
8.4 Висновки за розділом	210

9 Обґрунтування економічної доцільності впровадження проекту.....	211
9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації.....	211
9.2 Розрахунок показника економічного ефекту від модернізації.....	215
9.3 Висновки за розділом	218
Висновки.....	220
Перелік використаних джерел	223
Додатки.....	225

ВСТУП

Гідрування широко застосовується для отримання органічних речовин як у лабораторії, так і в промисловому масштабі, Воно також використовується в деяких процесах очищення, наприклад

Жири, що містять переважно ненасичені кислоти, здатні за певних умов у присутності каталізатора приєднувати водень. Цей процес називається гідрогенізацією. Гідрування (гідрогенізація) - хімічна реакція, що включає приєднання водню до органічної речовини. У ході цієї реакції молекула водню приєднується до подвійного чи потрійного зв'язку молекули. У харчовій промисловості процеси гідрогенізації проводяться з метою перетворення рідких жирів у тверді, що використовуються при виробництві маргарину, мила, стеарину та ін.

Процес проводиться зазвичай в реакторах чи автоклавах і як об'єкт керування є особливо складним. Тому у зв'язку з агресивністю і часто вибухонебезпечністю середовищ, що надходять у хімічні реактори для отримання напівпродуктів і готової продукції, вимагає виконання ряду особливих умов, які пред'являються до обладнання, трубопроводів, арматури, а отже, і до засобів систем автоматизації.

В якості технологічного агрегату для гідрогенізації, в потоці застосовують, зокрема, автоклави (реактори). Для реалізації процесу використаємо реактор фірми «Ekato» моделі НТС-60. Для оснащення автоклава якісною системою автоматичного регулювання температури у реакторі та в'язкості саломасу слід побудувати математичну модель процесу гідрогенізації жирів експериментальним методом. У цьому випадку інформація про властивості ОУ «отримується» у ході спеціально організованих експериментів на технологічних агрегатах використовуючи експериментальні данні. Ця математична модель повинна включати моделі динаміки та статички каналів перетворення координатних дій: каналів керування та контрольованих збурень, а також моделі збурень як стохастичних (випадкових) процесів.

Сучасні автоматизовані системи управління технологічним процесом являють собою автоматизовані робочі місця АРМ операторів-технологів

ділянок або технічних керівників і відрізняються від застарілих локальних систем автоматизації ЛСА тим, що вони забезпечують більш повну інформацію про ОК. Склад програмного забезпечення сучасних АСУТП визначається його виробником та обраної структурою АС. У АСУТП харчових виробництв найбільшого поширення набула трирівнева структура, в якій використовуються різні типи комплекси ЕОМ. На нижньому рівні здійснюється управління окремими пристроями та агрегатами (технологічними лініями). Другий рівень базується на комплексі з використанням мікроконтролерів. На третьому (верхньому рівні) використовуються ЕОМ

Тому для підвищення якості керування найбільш доцільно використовувати автоматизовані системи управління, з використанням сучасних засобів автоматизації.

Необхідно реалізувати моделі у середовищі імітаційного моделювання Matlab Simulink, підтвердити властивості технологічного агрегату. Розробити САР базової структури з замкненим принципом керування. Створити графічний інтерфейс для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК. Підібрати необхідні засоби автоматизації провести інструктаж щодо охорони праці, як на підприємстві так і з персоналом. Провести економічне обґрунтування щодо впровадження розробленої комплексної САК.

\

1. Характеристика управління гідрогенізацією жирів, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом

1.1 Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого агрегатом, цілей і умов його ведення.

1.1.1 Складання схеми та опис суті технологічного процесу, реалізованого технологічним агрегатом, як цілеспрямованого перетворення матеріальних і енергетичних потоків.

Суть технологічного процесу – це цілеспрямоване перетворення продуктових і енергетичних потоків у спеціальному технологічному устаткуванні (ТУ) (машинах, апаратах, агрегатах). Суть технологічного процесу гідрогенізації, в перетворенні рідких жирів на тверді під впливом гріючої пари, водню та суспензії. Технологічний процес реалізується в реакторі. Технологічна схема процесу наведена на рис. 1.1.

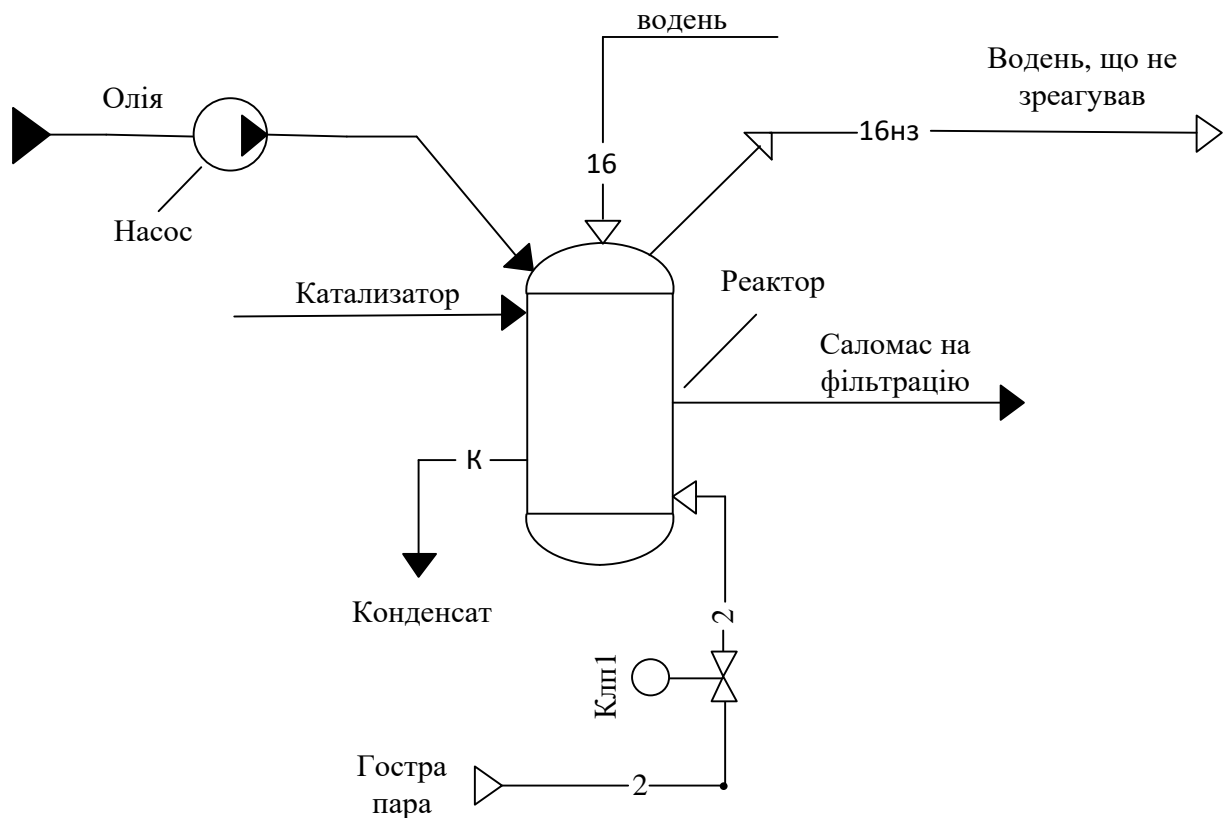


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу гідрогенізації жирів та масел

Олія з температурою $15...20^{\circ}\text{C}$ і витратами $6-10 \text{ м}^3/\text{г}$ подається в перший реактор насосом. У реактор через регулюючий клапан подається гостра пара під тиском $0,...0,5\text{МПа}$, каталізатор і водень у кількості $100-400 \text{ м}^3/\text{г}$. У реакторі олія повинна нагріватися до температури $200\pm 5^{\circ}\text{C}$.

1.1.2 Опис конструкції технологічного агрегату та особливостей його експлуатації.

Реактор фірми «Ekato» (рис. 1.2) являє собою унікальну систему газообміну, потужною системою охолодження, підвищений масоперенос для покращення якості продукту.

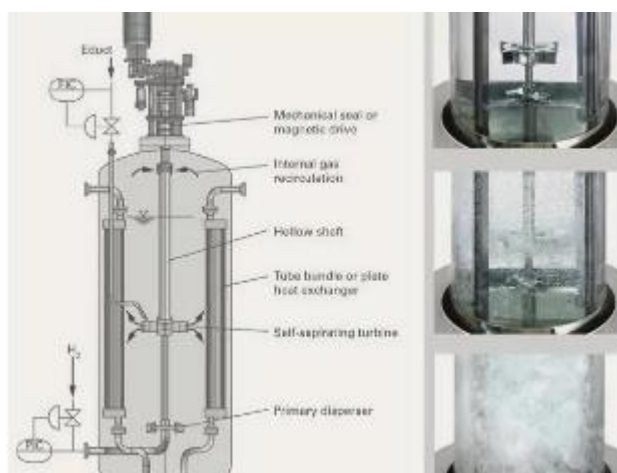


Рис. 1.2 – Конструкція реактора фірми «Ekato»

При цьому корисний об'єм: $5 \text{ літрів} - 200 \text{ м}^3$; Розрахунковий тиск: до 200 bar ; Розрахункова температура: $150 - 400^{\circ}\text{C}$; Майже всі металеві матеріали (вуглецева сталь, нержавіюча сталь, титан і т.д.); Стінка теплообмінника: подвійна оболонка або напівтрубні змійовики; Теплообмін всередині: змійовики, трубчасті теплообмінники, пластинчасті теплообмінники; Зручний дизайн; Опції: контрольно-вимірювальні прилади, нижній випускний клапан, нижні мішалки.

1.1.3 Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо й доцільно реалізувати розглянутий технологічний процес.

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

Технологічний процес гідрогенізації доцільно реалізовувати, якщо:

- тиск пари в паропроводі повинне бути не меншим 0,2МПа;
- тиск водню з компресора повинен бути не менше 100-400 м³/ч ;
- є достатній запас олії на 1 годину роботи, тобто, якщо буде запас олії не менш чим 6 м³/ч;
- слід мати місце для відвантаження готового продукту.

1.1.4 Гідрогенізація схеми технологічного процесу і загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.

Технологічний процес гідрогенізації є тепловим процесом, пов'язаним з передачею тепла від пари шляхом його конденсації через стінки трубок до олії. Важливою умовою нормального функціонування технологічного процесу є заповнення реактора продуктом. Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.3.

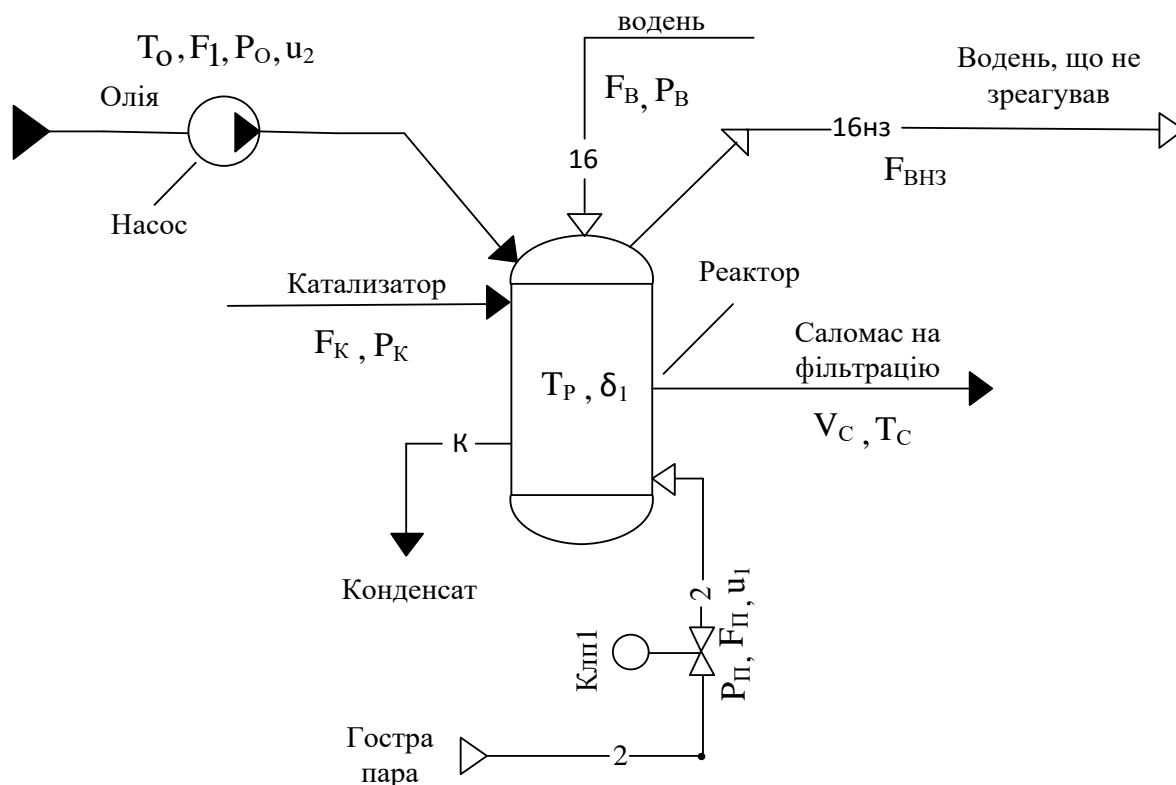


Рис. 1.3 – Параметризована технологічна схема процесу гідрогенізації

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

T_O – температура олії;

F_1 – витрата олії;

P_O – тиск олії;

u_2 – швидкість обертання насоса подачі олії;

$P_П$ – тиск пари в паропроводі;

$F_П$ – витрати пари у реакторі;

u_1 – положення регулювального органа подачі пари;

V_C – в'язкість саломаса;

T_C – температура саломаса;

T_P – температура у реакторі;

F_K – витрата катализатора;

P_K – тиск катализатора;

F_B – витрати водню;

P_B – тиск водню;

F_{BH3} – витрати водню, що не зреагував;

δ_1 – конструктивні особливості реактора.

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

1.2.1 Виявлення нормативів ведення технологічного процесу і роботи технологічного агрегату.

Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу гідрогенізації таким параметром є в'язкість саломаса V_C і температура у реакторі T_P

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для реактора таким параметром є температура саломаса T_C . (Рівень сировини у реакторі)

Техніко-економічний і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних та гранично-припустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести витрата пари у реакторі F_P , витрати водню у реакторі F_B , водню, що не зреагував $F_{BНЗ}$, витрати каталізатора F_K , витрати водню, що не зреагував $F_{BНЗ}$, та витрата олії F_1 .

1.2.2 Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски.

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, що викликані зміною параметрів, характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному керуванні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски.

Відхилення температури у реакторі нижче гранично припустимих значень може призвести до отримання поганої якості саломаса та незатвердіння

жирів, а перевищення температури верхнього гранично припустимого значення може призвести до погіршення якості гідрованих жирів. В обох випадках порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту і навіть до збільшення виходу браку.

Відхилення тиску продукту від регламентних допусків у меншу сторону може привести до закипання продукту в трубках теплообмінника та до швидкості затвердіння продукту. Перевищення тиском гранично припустимого значення приведе до сповільнення руху продукту в теплообміннику, що приведе до порушення тривалості теплового впливу на продукт і погіршення його якості.

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

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

Назва параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Номінальне значення параметру або ф-ція зміни номінального значення	Припустимі відхилення від номіналу			
				Тривалі ($t \rightarrow \infty$)		Короточасні ($0 < t \ll \infty$)	
				величина	величина	час, сек	
1	2	3	4	5	6	7	
Температура реактора	T_p	$^{\circ}\text{C}$	200	± 3	± 15	100	
В'язкість саломаса	V_C	$\text{Па}\cdot\text{с}$	280	± 4	± 20	100	

1.2.3 Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.

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

ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри температура олії T_0 , і тиск олії P_0 .

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо тиск пари в паропроводі $P_{\text{п}}$, тиск водню $P_{\text{в}}$, та тиск каталізатора $P_{\text{к}}$.

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо конструктивні особливості першого реактора (δ_1), а також положення регулюючого органу, що дроселює подачу олії (u_1), – швидкість обертання насоса подачі олії (u_2).

1.2.4 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.

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

Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами – причинно-наслідковий. У рамках даної схеми ці зв'язки задаються тільки на якісному рівні, згодом деякими зв'язками можна буде знехтувати, деякі представити опосередковано.

Параметрична схема процесу гідрогенізації наведена на рис. 1.4.

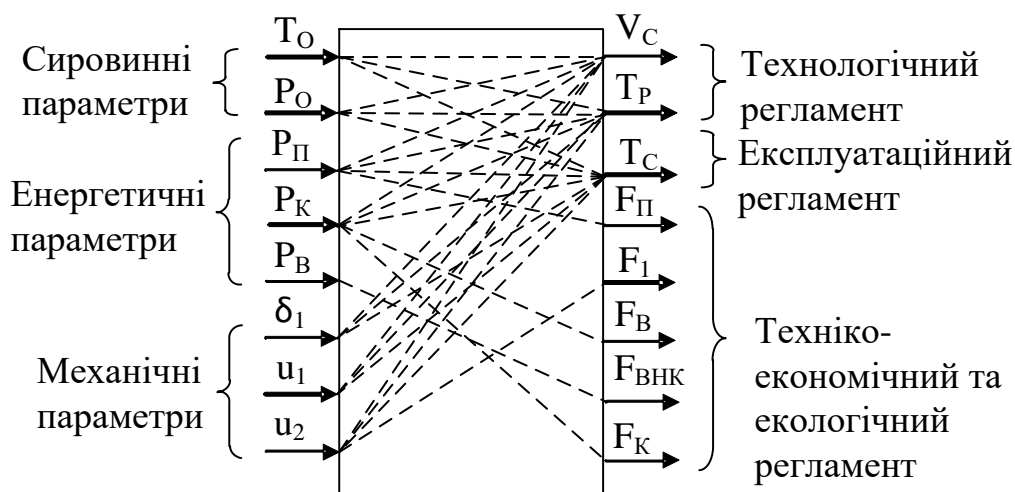


Рис. 1.4 – Параметрична схема процесу гідрогенізації у реакторі

1.3 Розробка структурної (координатної) схеми об'єкта керування.

1.3.1 Конкретизація мети і завдань керування об'єктом, виявлення регульованих координат.

Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань щодо номенклатури та обсягу продукції, а також отримання при цьому певного економічного ефекту.

Декомпозиція загальної мети функціонування підприємства для більш низьких рівнів виробничої ієрархії приводить до наступних цілей:

- а) на рівні окремого технологічного процесу – координація роботи технологічного обладнання, на якому реалізується процес;
- б) на рівні окремих одиниць технологічного обладнання – виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання.

Звідси задачу керування можна розділити на:

- а) задачу регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту;
- б) завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються задачі оптимізації процесу.

Для процесу гідрогенізації в якості регульованої координати доцільно обрати температуру температура у першому реакторі T_{P1} та витрата олії F_1

1.3.2 Вибір керуючих дій об'єкту керування.

Необхідною умовою вирішення задач керування є наявність керуючих дій, що повинні бути вхідними змінними (координатами) ОК. Для задач регулювання, такими управляючими діями, насамперед, є дії, що цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме – положення регульовальних органів. Кількість керуючих дій повинно бути рівним кількості регульованих змінних.

Для процесу гідрогенізації до керуючих дій доцільно віднести положення регульовального органа подачі пари на теплообмінник (u_1), та швидкість обертання насоса подачі олії.

1.3.3 Виділення та класифікація збурень об'єкта керування.

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

Для процесу гідрогенізації до контрольованих збурень доцільно віднести тиск пари в паропроводі P_{II} . Всі інші вхідні дії, крім управляючої дії і контрольованого збурення f , віднесемо до неконтрольованих збурень. Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до керуючих дій, а стохастичну складову – до регульованої координати.

1.3.4 Складання структурної (координатної) схеми об'єкту регулювання.

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК. Розробка схеми проводиться на основі результатів досліджень, викладених у п.п. 1.3.1 – 1.3.3.

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

Структурна схема процесу гідрогенізації у реакторі наведена на рис. 1.5.

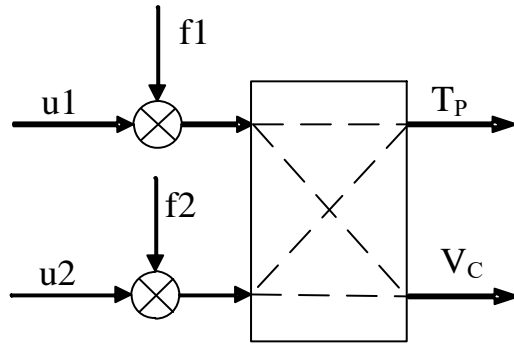


Рис. 1.5 – Структурна схема процесу гідрогенізації олії в реакторі як об'єкту регулювання

2. Конкретизація задачі дотримання регламентів управління гідрогенізацією жирів, 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 каналів керування та контрольованих збурень на основі знання фізичних закономірностей технологічного процесу.

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

Для технологічного процесу гідрогенізація як за каналом управління, так і за каналом контрольованого збурення ОК має властивість самовирівнювання, тому що технологічний процес є тепловим. Збільшення управляючої дії або тиску пари в паропроводі (контрольованого збурення) приведе до збільшення температури у реакторі (регульованої координати).

2.1.2 Априорний аналіз і прийняття рішення 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.

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

2.1.3 Ідентифікація лінеаризованих моделей динаміки каналів управління об'єкта регулювання в околиці його робочих режимів.

2.1.4 Короткий порівняльний аналіз і вибір доцільних вхідних дій для експериментального дослідження з метою отримання необхідної інформації про властивості каналів об'єкту для випадку, коли вхідні змінні каналів доступні для цілеспрямованої зміни.

Активні експерименти можуть проводитися тільки з каналами, вхідні змінні яким доступні для цілеспрямованої зміни. Ними, насамперед, є керуючі дії. При цьому експериментатор може обирати вхідну дію будь-якої форми (ступінчасту, лінійно зростаючу, імпульсну, гармонічну, випадкову). Однак, з розуміння простоти організації цих дій, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів, доцільно використовувати ступінчасті дії.

2.1.5 Планування активного експерименту на об'єкті для обраних вхідних дій і отримання реакцій на них у ході натурного та (або) уявного експериментів.

План активного експерименту

1. За допомогою зміни керуючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенням $u_1 = 60 \% \text{х.р.о.}$ та $u_2 = 60 \% \text{х.р.о.}$ будуть відповідати значення регульованих координат $T_p = 200^\circ\text{C}$, $V_c = 280 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

2. Чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів, при яких вихідні змінні перестануть змінюватися.

3. Змінимо керуючу дію u_1 ступінчастим чином на $10\% \text{х.р.о.}$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

5. Повертаємо u_1 у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів.

6. Змінимо керуючу дію u_2 ступінчастим чином на $10\% \text{х.р.о.}$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

7. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.1.

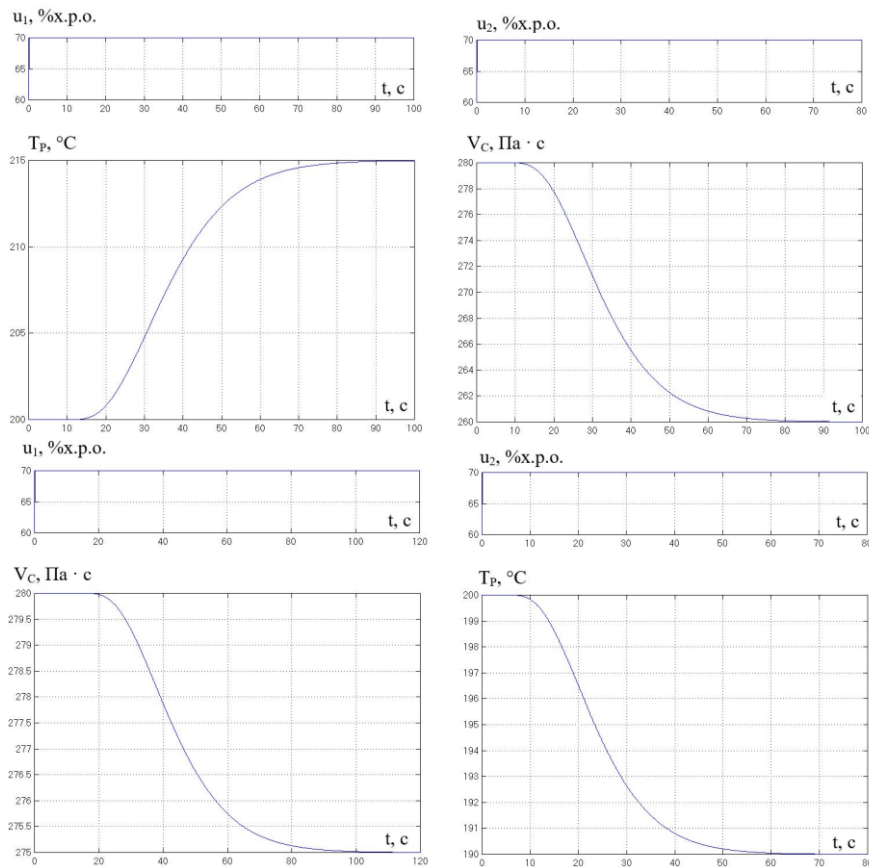


Рис. 2.1 – Результати активного експерименту

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

За результатами активного експерименту (рис. 2.1) можна зробити висновок, що канал управління нашого ОК має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями: першого та другого порядку (2.1):

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2}. \quad (2.1)$$

2.1.7 Вибір методик і проведення параметричної ідентифікації моделей першого та другого порядків.

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

Коефіцієнт передачі ОК (за каналом $u_1 - T_P$) визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta T_P}{\Delta u_1} = \frac{215 - 200}{70 - 60} = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{ x.p.o.} \quad (2.2)$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

Для моделі 1-го порядку

$$\square T_{P 1,0} = 215 - 200 = 15^\circ\text{C};$$

$$T_{P 0,33} = 0,33 \cdot 15 + 200 = 204,95^\circ\text{C};$$

$$T_{P 0,7} = 0,7 \cdot 15 + 200 = 210,5^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.2.), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 30,3\text{c};$$

$$t_{0,7} = 43,5\text{c}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 30,3 - 43,5) = 23,7\text{c}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (43,5 - 23,7) / 1,2 = 16,5\text{c}$$

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

$$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-23,7p}}{16,5p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$T_{P 0,19} = 0,19 \cdot 15 + 200 = 202,85^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.2), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 26,4\text{c}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 26,4 - 43,5) = 17,85c$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (43,5 - 17,85) / 2,4 = 10,68c$$

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

$$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-17,85p}}{(10,68p + 1)^2}$$

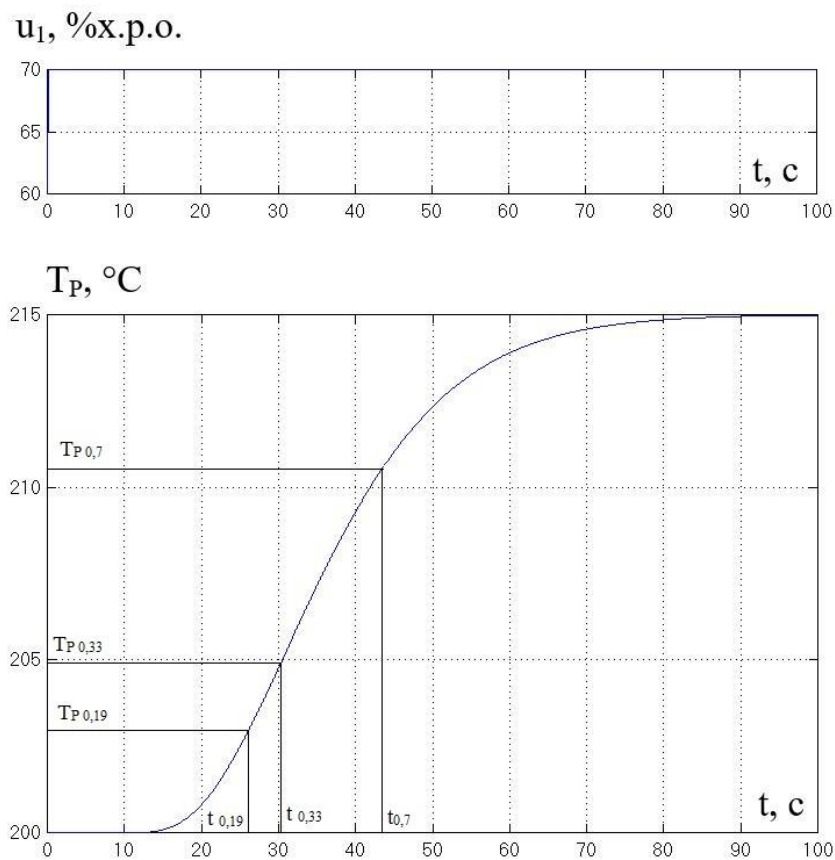


Рис. 2.2 – Параметрична ідентифікація моделі ОК (за каналом $u_1 - T_p$)

Коефіцієнт передачі ОК (за каналом $u_1 - V_C$) визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta V_C}{\Delta u_1} = \frac{275 - 280}{70 - 60} = -0,5 \text{ Па}^*c / \%x.p.o.$$

(2.3)

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

Для моделі 1-го порядку

$$\square V_{C1,0} = 275 - 280 = -5 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$V_{C0,33} = 0,33 \cdot (-5) + 280 = 278,35 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$V_{C0,7} = 0,7 \cdot (-5) + 280 = 276,5 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 38,8\text{с};$$

$$t_{0,7} = 52,2\text{с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 38,8 - 52,2) = 32,1\text{с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (52,2 - 32,1) / 1,2 = 16,75\text{с}$$

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

$$W_0(p) = \frac{-0,5 \cdot e^{-32,1p}}{16,75p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$T_{P0,19} = 0,19 \cdot (-5) + 280 = 279,05 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 33,4\text{с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 33,4 - 52,2) = 24\text{с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (52,2 - 24) / 2,4 = 11,75\text{с}$$

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

$$W_0(p) = \frac{-0,5 \cdot e^{-24p}}{(11,75p + 1)^2}$$

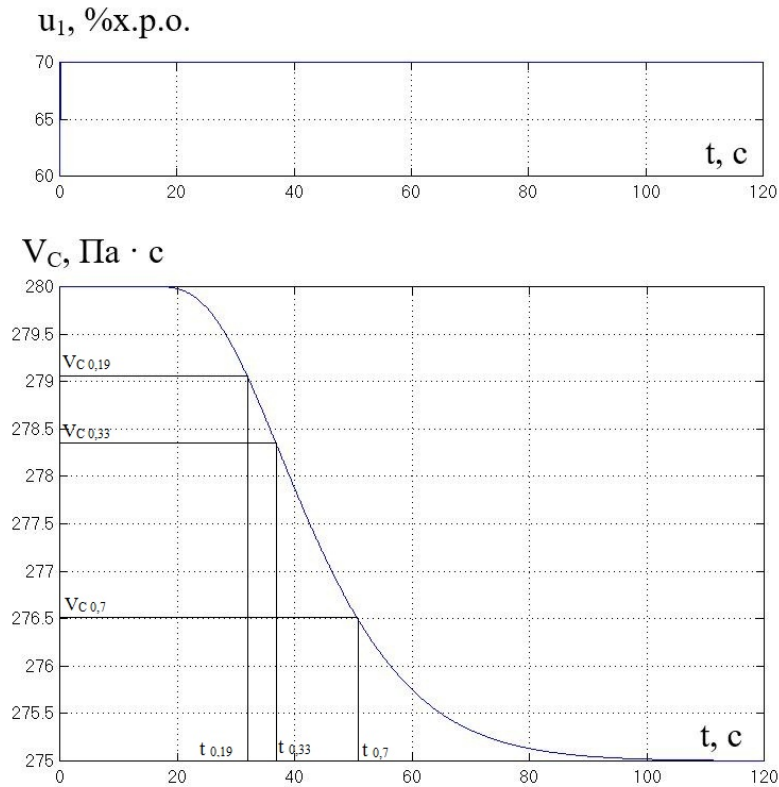


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК (за каналом $u_1 - V_C$)

Коефіцієнт передачі ОК (за каналом $u_2 - T_P$) визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta T_P}{\Delta u_2} = \frac{190 - 200}{70 - 60} = -1 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{ x.p.o.} \quad (2.4)$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

Для моделі 1-го порядку

$$\square T_{P1,0} = 190 - 200 = -10^\circ\text{C};$$

$$T_{P0,33} = 0,33 \cdot (-10) + 200 = 196,7^\circ\text{C};$$

$$T_{P0,7} = 0,7 \cdot (-10) + 200 = 193^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.4), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 20\text{c};$$

$$t_{0,7} = 29,3\text{c}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 20 - 29,3) = 15,35c$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (29,3 - 15,35) / 1,2 = 11,62c$$

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

$$W_0(p) = \frac{-1 \cdot e^{-15,35p}}{11,62p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$T_{P0,19} = 0,19 \cdot (-10) + 200 = 198,1^{\circ}\text{C};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.4), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 16,3c.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 16,3 - 29,3) = 9,8c$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (29,3 - 9,8) / 2,4 = 8,12c$$

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

$$W_0(p) = \frac{-1 \cdot e^{-9,8p}}{(8,12p + 1)^2}$$

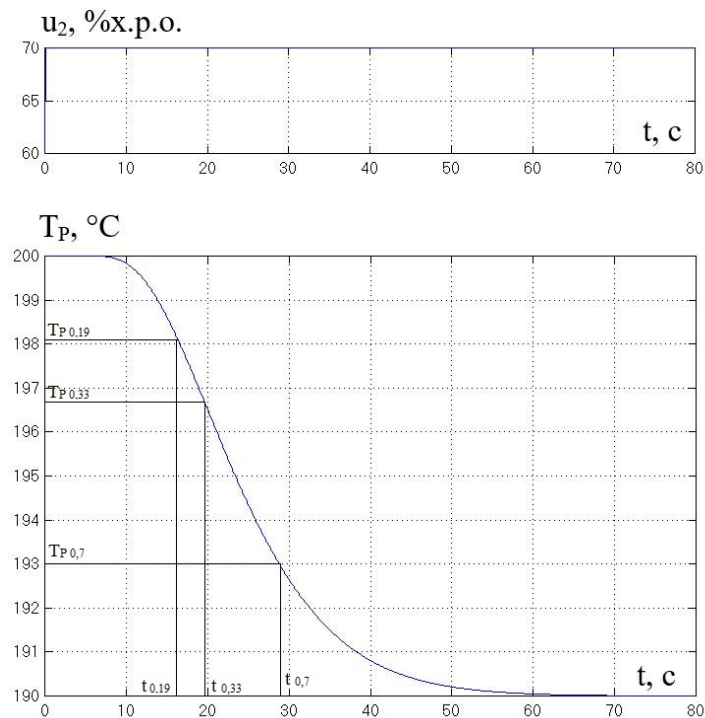


Рис. 2.4 – Параметрична ідентифікація моделі ОК (за каналом $u_2 - T_P$)

Коефіцієнт передачі ОК (за каналом $u_2 - V_C$) визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta V_C}{\Delta u_2} = \frac{260 - 280}{70 - 60} = -2 \text{ Па} \cdot \text{с} / \% \text{ x.p.o.} \quad (2.5)$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

Для моделі 1-го порядку

$$\square V_{C1,0} = 260 - 280 = -20 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$V_{C0,33} = 0,33 \cdot (-20) + 280 = 273,4 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$V_{C0,7} = 0,7 \cdot (-20) + 280 = 266 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 27,6 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 39,6 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 27,6 - 39,6) = 21,6 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (39,6 - 21,6) / 1,2 = 15 \text{ с}$$

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

$$W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-21,6p}}{15p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$T_{P0,19} = 0,19 \cdot (-20) + 280 = 276,2 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 22,8 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 22,8 - 39,6) = 14,4 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (39,6 - 14,4) / 2,4 = 10,5 \text{ с}$$

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

$$W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-14,4p}}{(10,5p + 1)^2}$$

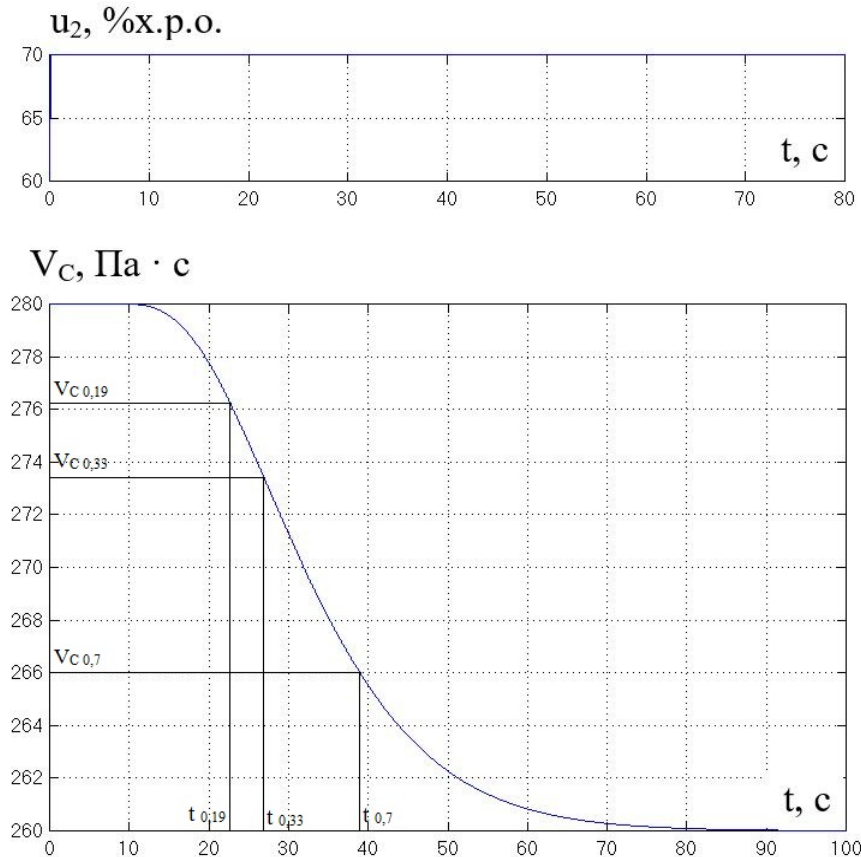


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК (за каналом $u_2 - V_C$)

2.1.8 Ідентифікація моделей статички каналів управління об'єкту регулювання з істотно нелінійними властивостями.

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

Кінцевим результатом ідентифікації математичної моделі статички є установлення функціональної залежності виду $y = \Phi(\bar{x})$ на основі експериментальних даних, де $\bar{x} \in \{ \bar{u}, \bar{f} \}$ – вхідні змінні ОУ.

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

У теорії експерименту вхідні змінні ОК називають факторами, а регульовані координати – відгуком. Відповідно до цієї термінології експеримент, проведений для ідентифікації моделі, де функція залежить від однієї змінної, називають однофакторним, а функція багатьох змінних – багатофакторним.

Експерименти для отримання математичних моделей статички можуть бути пасивному або активними (як і при отриманні моделей динаміки). Для отримання моделей статички у нашому випадку будемо використовувати активний експеримент.

2.1.10 Планування активного експерименту на об'єкті для реалізації обраного методу та відображення результатів натурального або уявного експериментів у вигляді 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.

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

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1. на рис.: 2.6; 2.7; 2.8; 2.9.

Таблиця 2.1
Результати експерименту для визначення
статичної характеристики ОК

№ експерименту	u_1 , %х.р.о.	u_2 , %х.р.о.	T_p , °C	V_c , Па·с
1	60	60	170	290
2	70	60	185	285
3	80	60	200	280
4	50	60	215	275
5	40	60	230	270
1	60	70	170	290
2	60	80	185	285
3	60	50	200	280
4	60	40	215	275

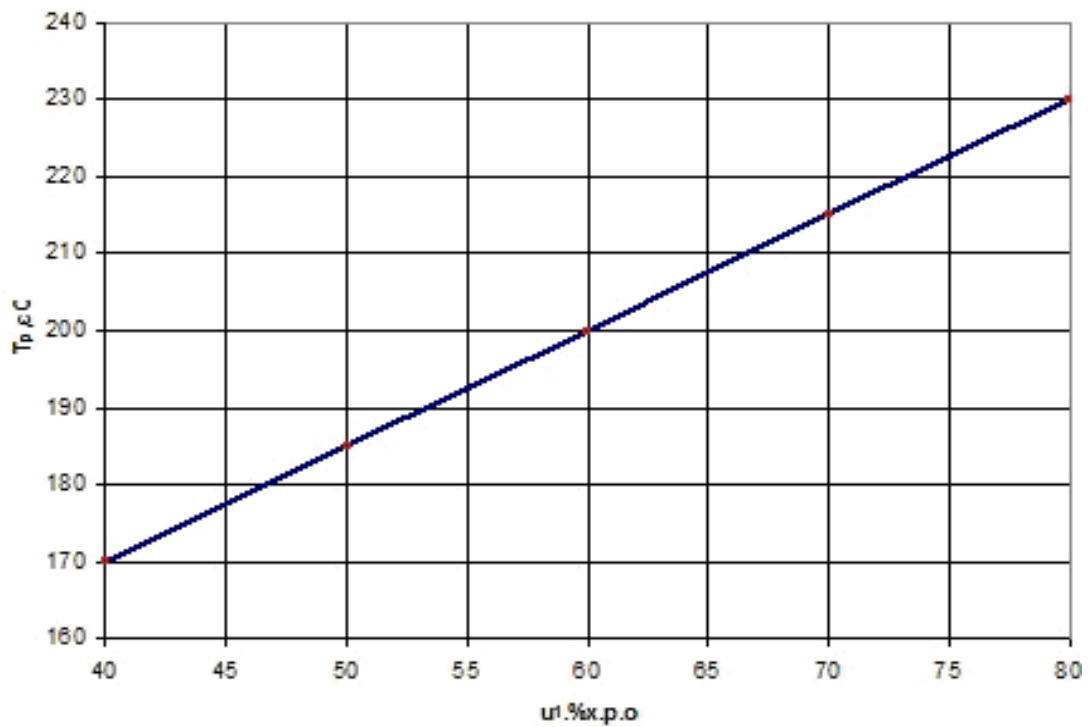


Рис. 2.6 – Результати експерименту для визначення статичної
характеристики ОК (u_1 , %х.р.о; T_p , °C)

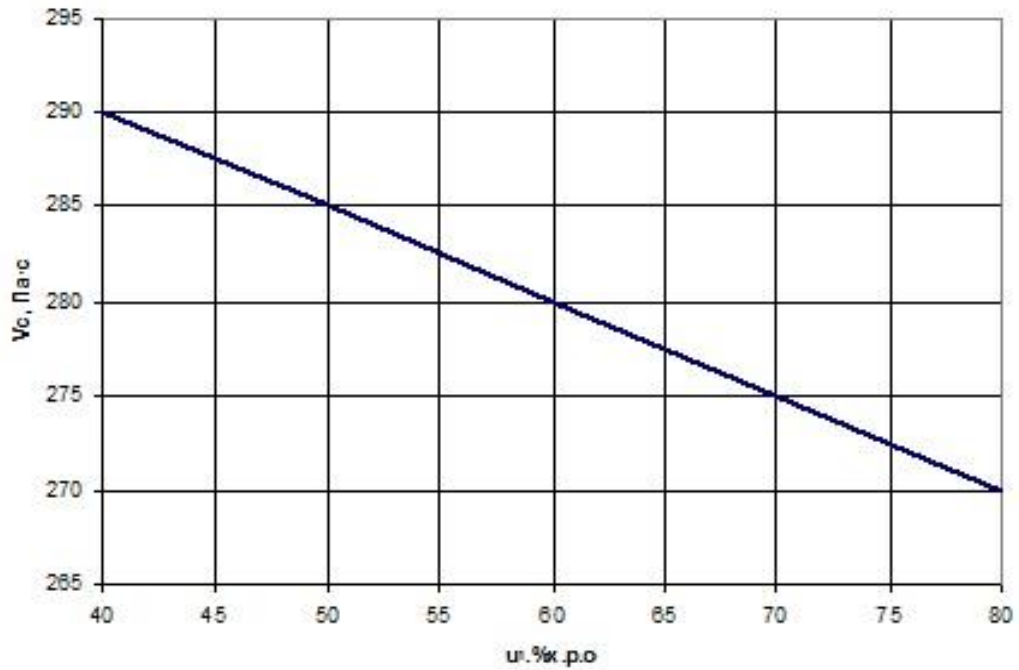


Рис. 2.7 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК ($u_1, \%x.p.o$; $V_c, Pa \cdot s$)

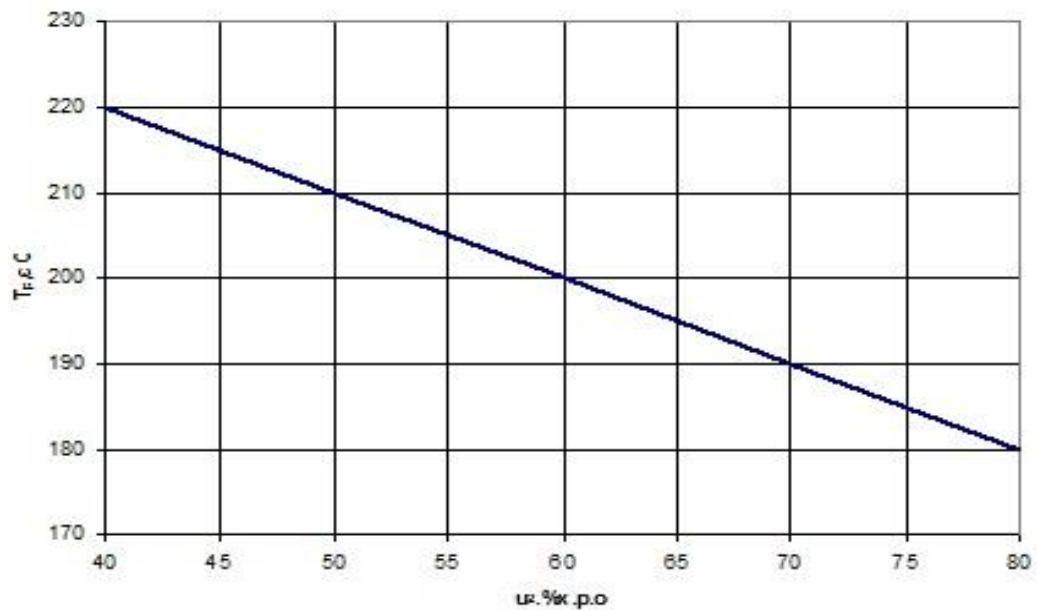


Рис. 2.8 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК ($u_2, \%x.p.o$; $T_r, ^\circ C$)

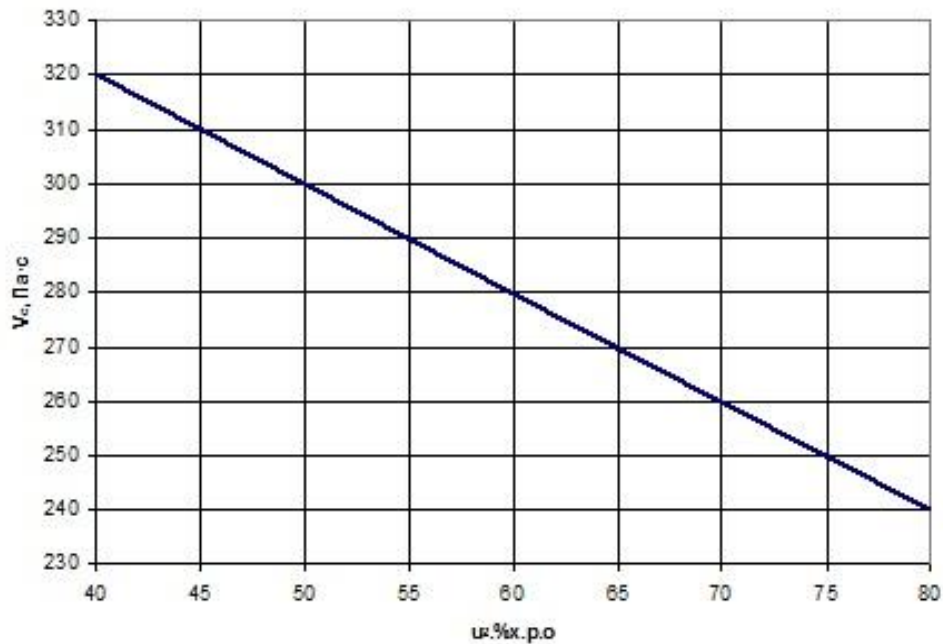


Рис. 2.9 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК ($u_2, \% \text{х.р.о.}$; $V_c, \text{Па} \cdot \text{с}$)

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

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(\bar{x})$. Структурна ідентифікація є вихідним пунктом загального завдання ідентифікації моделей статички. Але, як показує практика, вибрати вид моделі відразу, як правило, не вдається. Причому недоліки вибраної моделі стають очевидними тільки після етапу її параметричної ідентифікації. Усунення недоліків моделі вимагає повернення до процедури структурної ідентифікації. Таких поверів може бути кілька, тобто процедура ідентифікації носить ітераційний характер.

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів. Суть методу полягає в пошуку такого вектора параметрів \bar{a}^* вибраної моделі, що забезпечував би мінімальну суму квадратів розходження між значеннями вихідної змінної об'єкта y ,

отриманих у результаті експерименту y_i , $i = \overline{1, n}$ при значеннях вхідних змінних \bar{x}_i , і вихідної змінної моделі об'єкту y_m , обчисленої при тих же значеннях \bar{x} , тобто

$$\bar{a}^* = \arg \min \left\{ I(\bar{a}) = \sum_{i=1}^n \left(y_i(\bar{x}_i) - y^i(\bar{a}, \bar{x}_i) \right)^2 \right\}. \quad (2.6)$$

Для досліджуваного ОК, як видно з рис. : 2.28; 2.29, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$T_p = a_1 \cdot u_1 + a_2 \cdot u_2 + a_0$$

Параметри a_1 і a_2 були нами визначені в процесі ідентифікації в підрозділах 2.2 і 2.3. При цьому $a_1 = K_0 = 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{x.p.o.}$, а $a_2 = -1 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$

Параметр a_0 можна визначити із залежності:

$$a_0 = T_p - a_1 \cdot u_1 - a_2 \cdot u_2 = 200 - 1.5 \cdot 60 + 1 \cdot 60 = 200 - 90 + 60 = 170 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$T_p = 1.5 \cdot u_1 - u_2 + 170$$

Для досліджуваного ОК, як видно з рис. : 2.30; 2.31, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$V_C = b_1 \cdot u_1 + b_2 \cdot u_2 + b_0$$

Параметри a_1 і a_2 були нами визначені в процесі ідентифікації в підрозділах 2.2 і 2.3. При цьому $b_1 = K_0 = 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{x.p.o.}$, а $b_2 = -0.5 \text{ Па}\cdot\text{с} / \% \text{x.p.o.}$

Параметр b_0 можна визначити із залежності:

$$b_0 = V_{C1} - b_1 \cdot u_1 - b_2 \cdot u_2 = 280 + 0.5 \cdot 60 + 2 \cdot 60 = 280 + 30 + 120 = 430$$

Па·с

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$V_C = -0.5 \cdot u_1 - 2 \cdot u_2 + 430$$

2.2 Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування

2.2.1 Аналіз фізичної суті, можливих діапазонів зміни та 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 $(10...15) \cdot K_0$ (якщо неконтрольовані збурення прикладені до регульованої координати).

Контрольовані збурювання – це конкретні фізичні параметри, які мають власну розмірність. Діапазон їх зміни можна визначити, виходячи з технологічних і виробничих інструкцій.

В інженерній практиці стохастические моделі вхідних дій звичайно представляють у формі випадкового процесу з декількома адитивними складовими, наприклад

$$f(t) = \bar{f}(t) + \tilde{f}^{\text{II}}(t) + \tilde{f}^{\text{C}}(t) + \tilde{f}^{\text{III}}(t),$$

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

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

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

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

Варто враховувати, що складові $\bar{f}(t)$, $\tilde{f}^{\text{II}}(t)$, $\tilde{f}^{\text{C}}(t)$ і їх сума є відносно низькочастотними діями, несприятливі наслідки яких САК повинна і може компенсувати. Складова $\tilde{f}^{\text{III}}(t)$ 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 $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$.

Початок ідентифікації пов'язаний з тим, що відповідно до обраної моделі $f(t)$ прийнято рішення про віднесення складових реального сигналу до тієї або іншої складової моделі.

Для того, щоб зробити це відносно надійно, необхідно мати апріорну інформацію про властивості об'єкту за каналами керування. Якщо представити їх моделлю першого порядку із запізненням τ_0 , то за співвідношенням середніх періодів $T_{\text{п}}$ цих складових і τ_0 , можна провести поділ сигналу:

- якщо для складової $T_{\text{п}} < 4\tau_0$, то її доцільно віднести до $\tilde{f}^{\text{ш}}(t)$;
- якщо для складової $4\tau_0 > T_{\text{п}} > 4\tau_0$, то її доцільно віднести до

$$\tilde{f}^{\text{с}}(t) + \tilde{f}^{\text{п}}(t)$$
- якщо для складової $T_{\text{п}} > 40\tau_0$, то її доцільно віднести до $\bar{f}(t)$.

2.2.2 Аналіз можливостей ідентифікації моделей координатних і параметричних збурень різного рівню 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 регульованої координати (див. рис. 2.10).

Модель контрольованого збурення за аналогією з моделлю неконтрольованих збурень може бути представлена чотирма складовими, які будуть прикладені до входу каналу контрольованих збурень.

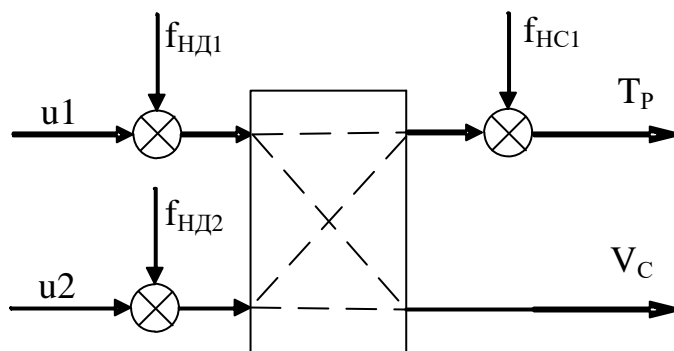


Рис. 2.10 – Структурна схема додавання координатних збурень

2.2.3 Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових координатних збурювань.

2.2.4 Планування пасивного експерименту для збору інформації про координатні збурення, подання реалізацій записаних у ході експерименту змінних.

Оскільки можливості отримати реальні експериментальні дані немає, то з навчальною метою можна скористатися генератором даних. Для генерації результатів пасивного експеримента з метою дослідження неконтрольованих збурень треба бути готовими до відповіді на наступні питання.

1. Яким є мінімальне і задане значення регульованої координати? Для досліджуваного ОК $T_p^{мін} = 90^{\circ}C$; $T_p^{зд} = 200^{\circ}C$;

2. Яким є значення і розмірність часу запізнення в каналі управління для досліджуваної регульованої координати? Для досліджуваного ОК $\tau_o = 23,7$.

Генерацію результатів пасивного експерименту буде забезпечувати програма rgen у середовищі Матлаб. Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованих збурень досліджуваного ОК наведені на рис. 2.11.

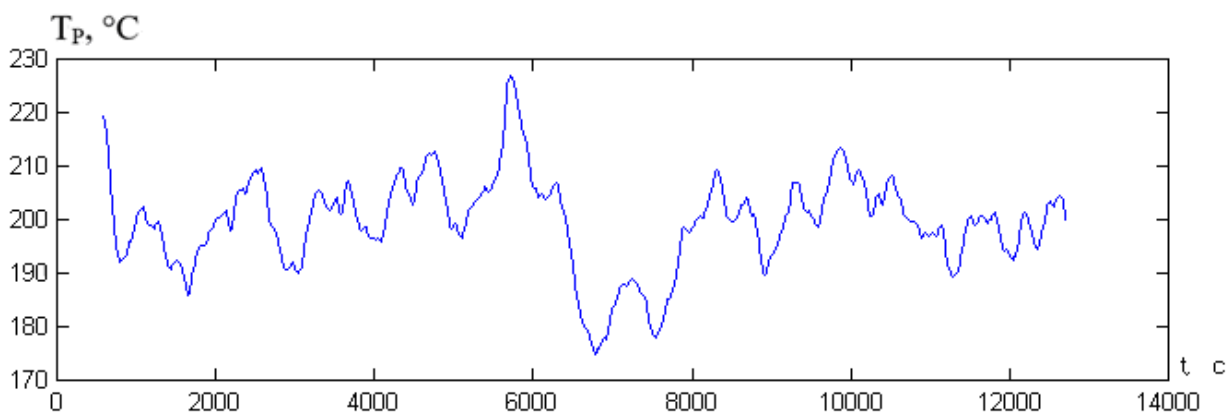


Рис. 2.11 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

2.2.5 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 прихованої періодичної складової.

Для ідентифікації моделей контрольованих і неконтрольованих координатних збурень можна використовувати програму IdSoft середовища Матлаб.

Першим етапом ідентифікації моделі контрольованих і 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, наведені на рис. 2.12.

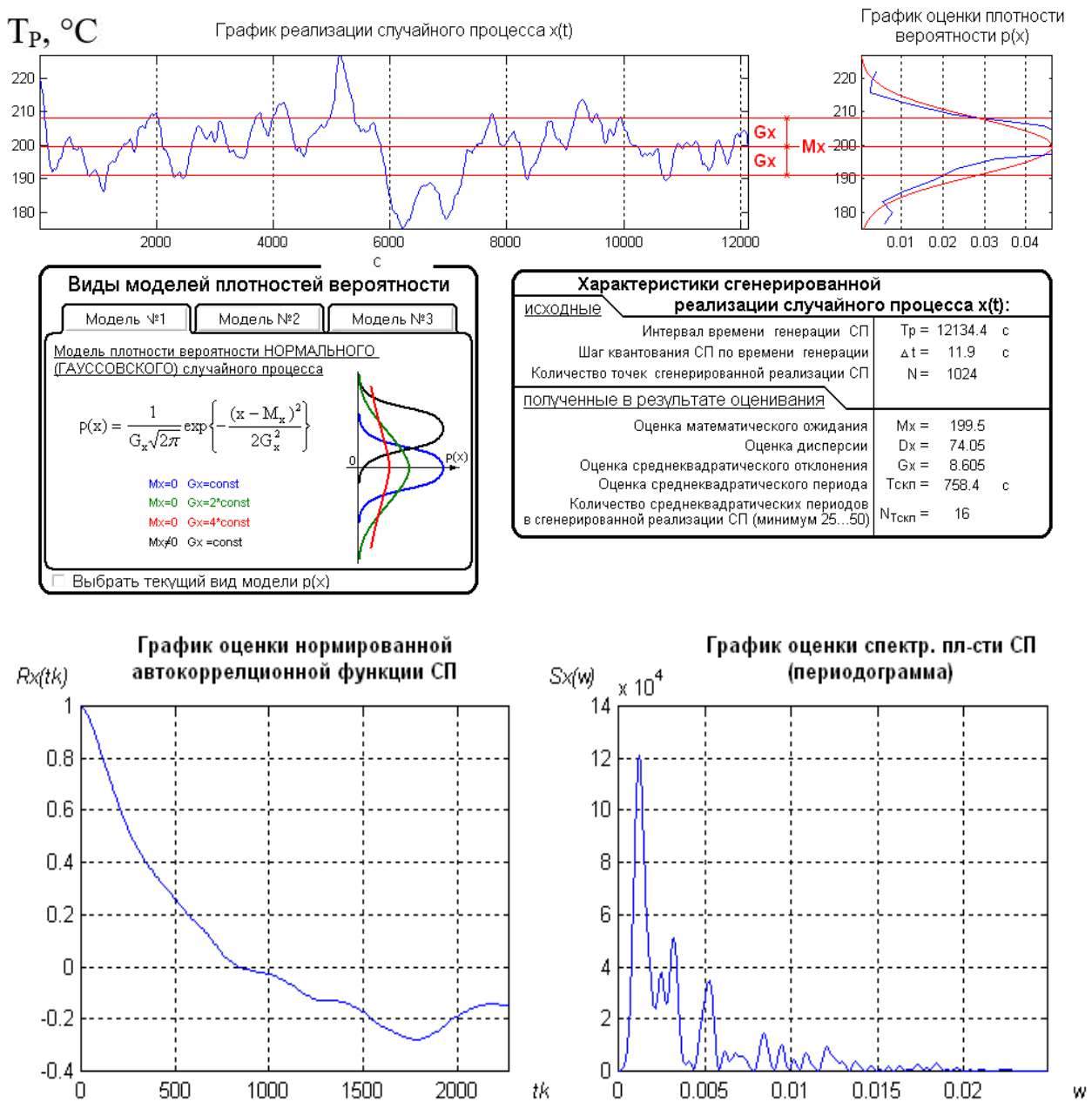


Рис. 2.12 – Результаты оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

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

$$p(f) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(f - m_f)^2}{2\sigma_f^2}} \tag{2.7}$$

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

Модель №1

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|}$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f 2\alpha}{(\omega^2 + \alpha^2)}$$

Модель №2

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} (1 - \alpha|\tau_k|)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha\omega^2}{(\omega^2 + \alpha^2)^2}$$

2.2.6 Параметрична ідентифікація моделей імовірнісних властивостей випадкової складової, оцінка результатів ідентифікації.

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

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

$$\bar{a}^* = \arg \min \left[\left(\hat{R}_{\bar{f}}(\tau_k) - R_{\bar{f}}^M(\tau_k) \right)^2 \right], \quad \bar{a} = \{\alpha, \beta\}^T. \quad (2.8)$$

Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.13, моделі №6 – на рис. 2.14, а підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.15.

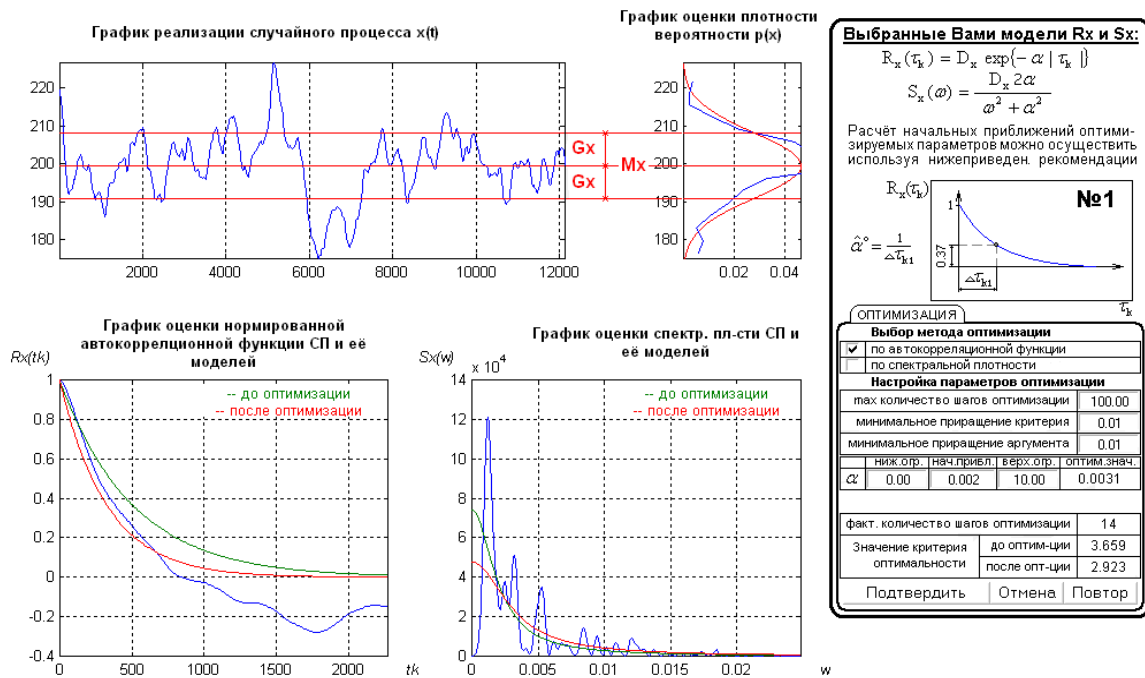


Рис. 2.13 – Результати параметричної ідентифікації моделі №1 неконтрольованих збурень

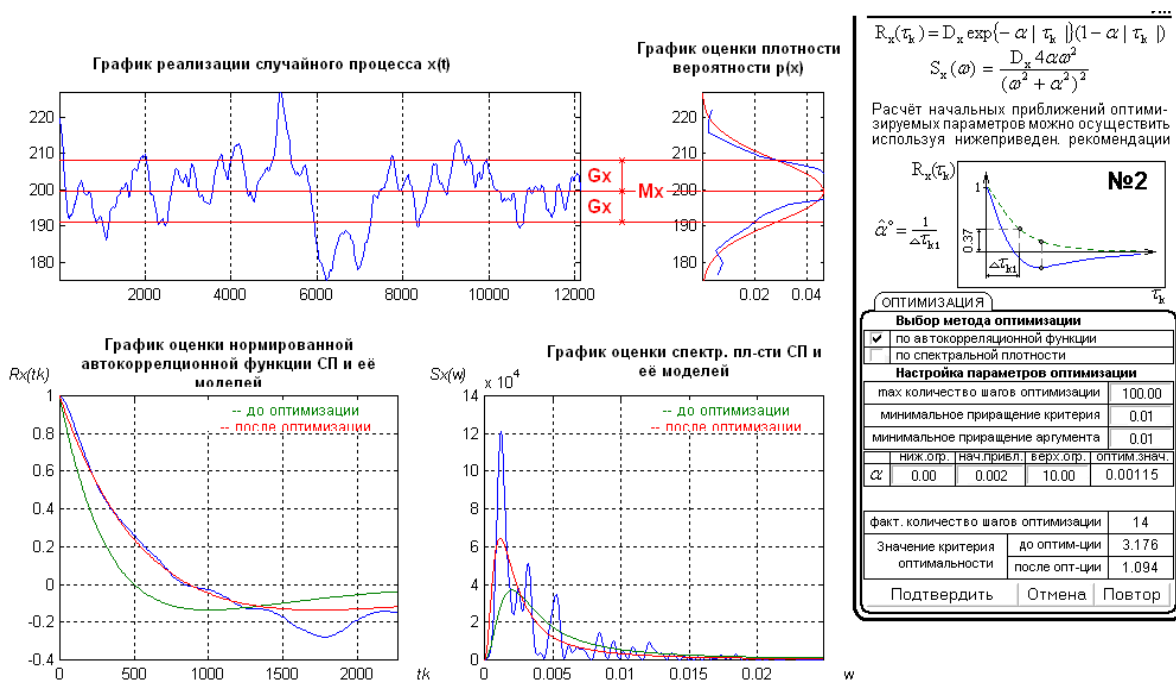


Рис. 2.14 – Результати параметричної ідентифікації моделі №2 неконтрольованих збурень

Таблица результатов идентификации						
Номер модели	α	β	A	C	γ	Значение критерия оптимизации
✓ 2	0.00115	-	-	-	-	1.1972
✓ 1	0.0031	-	-	-	-	8.5428

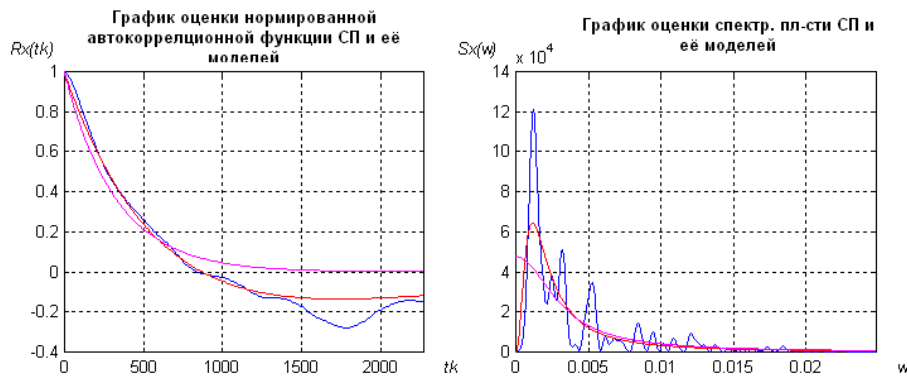


Рис. 2.15 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 2.15), кращою є модель №2, тому що для цієї моделі меншим є середньоквадратичне відхилення моделі від оцінки кореляційної функції.

2.2.7 Обґрунтований вибір структури моделі детермінованої складової координатних збурень і її параметрична ідентифікація.

Процедура ідентифікації детермінованих складових неконтрольованих координатних збурень f .

Перша частина процедури відповідає процедурі ідентифікації неконтрольованих стохастичних збурень, тільки замість моделі $f_{НС}^M(\bar{a}_{Tp}; t)$ маємо наявності моделі зміни $\bar{T}_{Pf}(\bar{a}_T, t)$ та $\bar{V}_{Cf}(\bar{a}_v, t)$. Інакше кажучи, будемо шукати модель зміни керованої (регульованої) змінної, котра викликається сукупною дією неконтрольованих збурень (управляючі дії на інтервалі запису $T_P(t)$ та $V_C(t)$ не повинні змінюватися).

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

Якщо в якості точки додавання неконтрольованого збурення обрано вхід ОК, то модель неконтрольованого збурення може бути отримана за допомогою методу структурних перетворень:

На практиці дуже часто прагнуть використовувати найбільш прості моделі детермінованих складових. У таких умовах в якості моделі $f^M(\bar{a}_f, t)$ приймають модель ступінчастої дії,

$$f^M(a_{fn}, t) = \begin{cases} a_f = \Delta f, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}, \text{ прикладеного до входу ОУ.}$$

Ступінчасте збурення є одним з найбільш несприятливих з обмежених по величині дій на ОК (з погляду виникаючих у САК динамічних відхилень і тривалості виникаючих перехідних процесів).

Наближена ідентифікація $\square f$ для ступінчастого збурення може бути проведена у такий спосіб:

1. Визначають (приблизно) середнє значення управляючої дії $u(t) = \bar{u}^n(t)$, якому відповідає номінальне значення регульованої координати.

2. Задають значення $\square f \square 0,2 u^n(t)$.

Для досліджуваного ОК в якості моделі детермінованої складової неконтрольованих збурень за каналом $u_1 - T_p$ приймемо ступінчасту вхідну дію величиною 12%х.р.о.; а за каналом $u_2 - V_C = 12\% \text{х.р.о.}$

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

2.3.1 Реалізація у середовищі імітаційного моделювання моделей каналів перетворення дій і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.

2.3.2 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 каналу « $u_1 - T_p$ »; « $u_2 - V_C$ » ОК розробляється схема моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК за каналом $u_1 - T_p$ має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-23,7p}}{16,5p + 1} \quad (2.9)$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-17,85p}}{(10,68p + 1)^2} \quad (2.10)$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК за каналом $u_2 - V_C$ має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-21,6p}}{15p + 1} \quad (2.11)$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК має вигляд:

$$W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-14,4p}}{(10,5p + 1)^2} \quad (2.12)$$

Моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх

у компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного ОК експериментальні дані зведено в таблицю 2.2 для $u_1 - T_P$, а в таблиці 2.3 для $u_2 - V_C$. Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.16 для $u_1 - T_P$, а на рис. 2.18 для $u_2 - V_C$. Результати моделювання наведені на рис. 2.17 для $u_1 - T_P$, а на рис. 2.19 для $u_2 - V_C$.

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані

t, c	$T_P, ^\circ\text{C}$
0	200
10	200
20	200,8
30	204,73
40	209,2
50	212,23
60	213,76
70	214,43
80	214,7
90	215
100	215

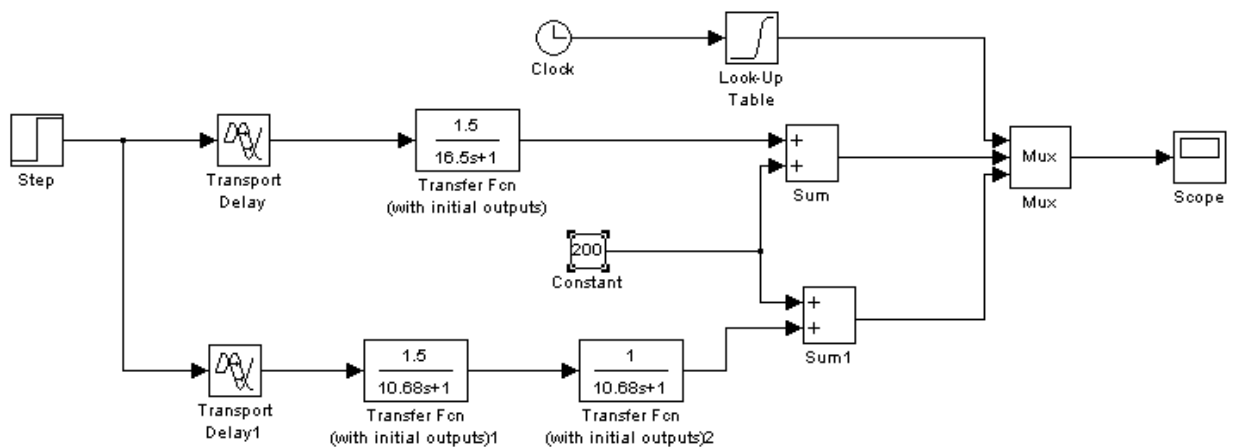


Рис. 2.16 – Схема моделювання каналу управління ОК

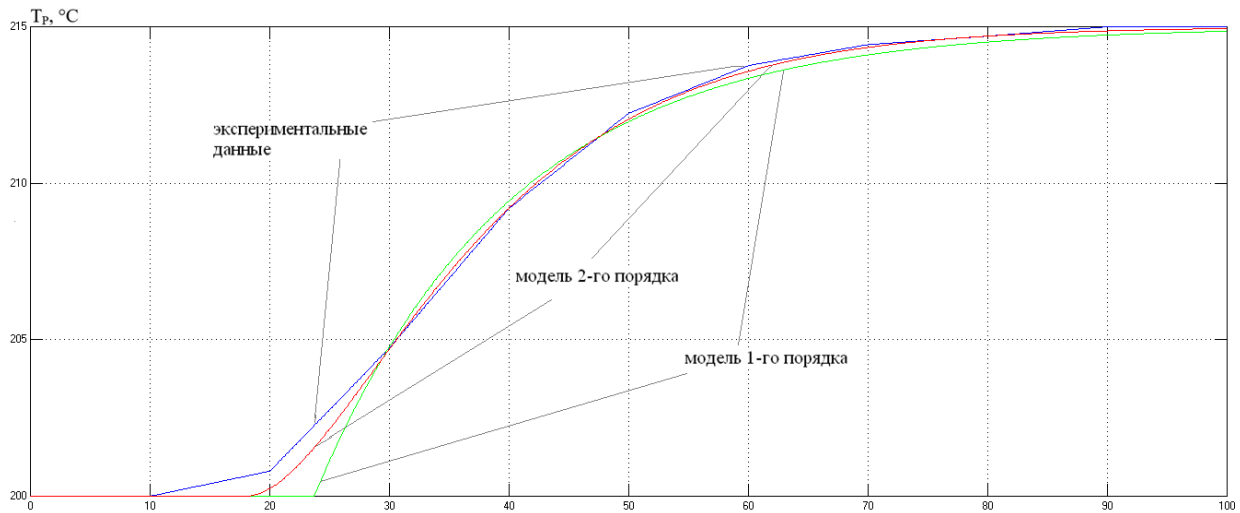


Рис. 2.17 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_1 - T_p$ »

Як видно з рис. 2.17, моделі ОК як 1-го, так і 2-го порядків досить точно описують експериментальні дані, але модель 2-го порядку точніша.

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

Модель статичної характеристики:

$$T_p = 1.5 \cdot u_1 - u_2 + 170$$

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані

t, c	V_C , Па*c
0	280
10	280
20	277,75
30	271,5
40	265,7
50	262,65
60	261,1
70	260,6
80	260,45
90	260,4
100	260

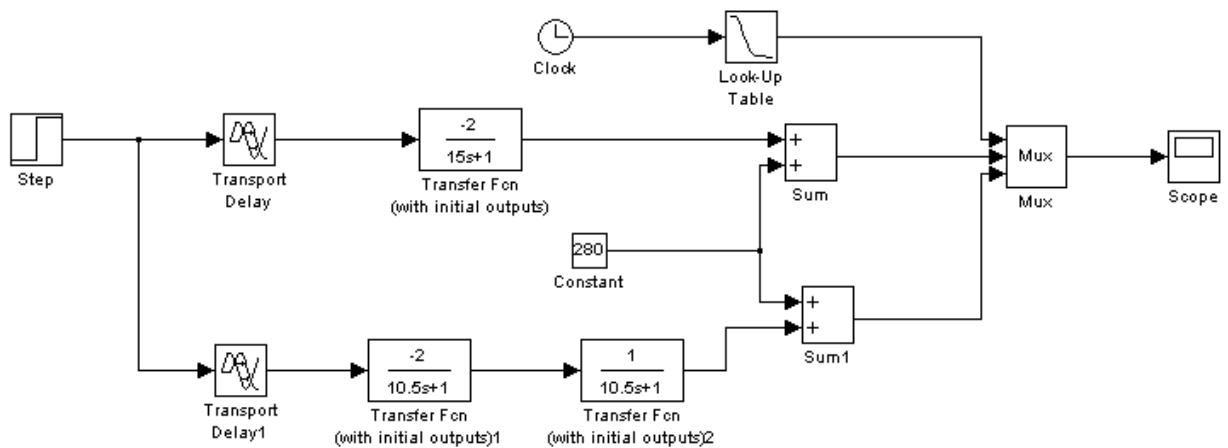


Рис. 2.18 – Схема моделювання каналу управління ОК

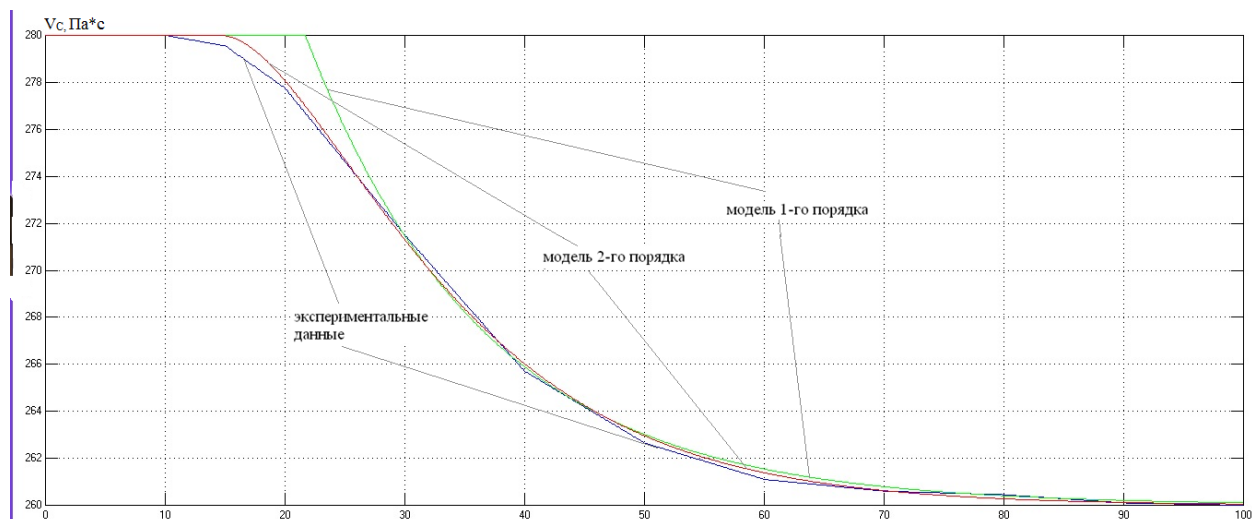


Рис. 2.19 – Результати моделювання ОК по каналу « $u_2 - V_C$ »

Як видно з рис. 2.19, моделі ОК як 1-го, так і 2-го порядків досить точно описують експериментальні дані, але модель 2-го порядку точніша.

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

Модель статичної характеристики:

$$V_C = -0.5 \cdot u_1 - 2 \cdot u_2 + 430$$

Для виконання цього розділу роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel. Експериментальні дані для перевірки моделі статички наведені в таблиці 2.4, результати розрахунків зведені в таблицю 2.5, а також представлені у вигляді графіків на рис. 2.20; 2.21.

Таблиця 2.4

Результати розрахунків моделі статичної характеристики

№ експерименту	u_1 , %х.р.о.	u_2 , %х.р.о.	$T_p, ^\circ\text{C}$	V_c , Па·с
1	60	60	170	290
2	70	60	185	285
3	80	60	200	280
4	50	60	215	275
5	40	60	230	270
1	60	70	170	290
2	60	80	185	285
3	60	50	200	280
4	60	40	215	275

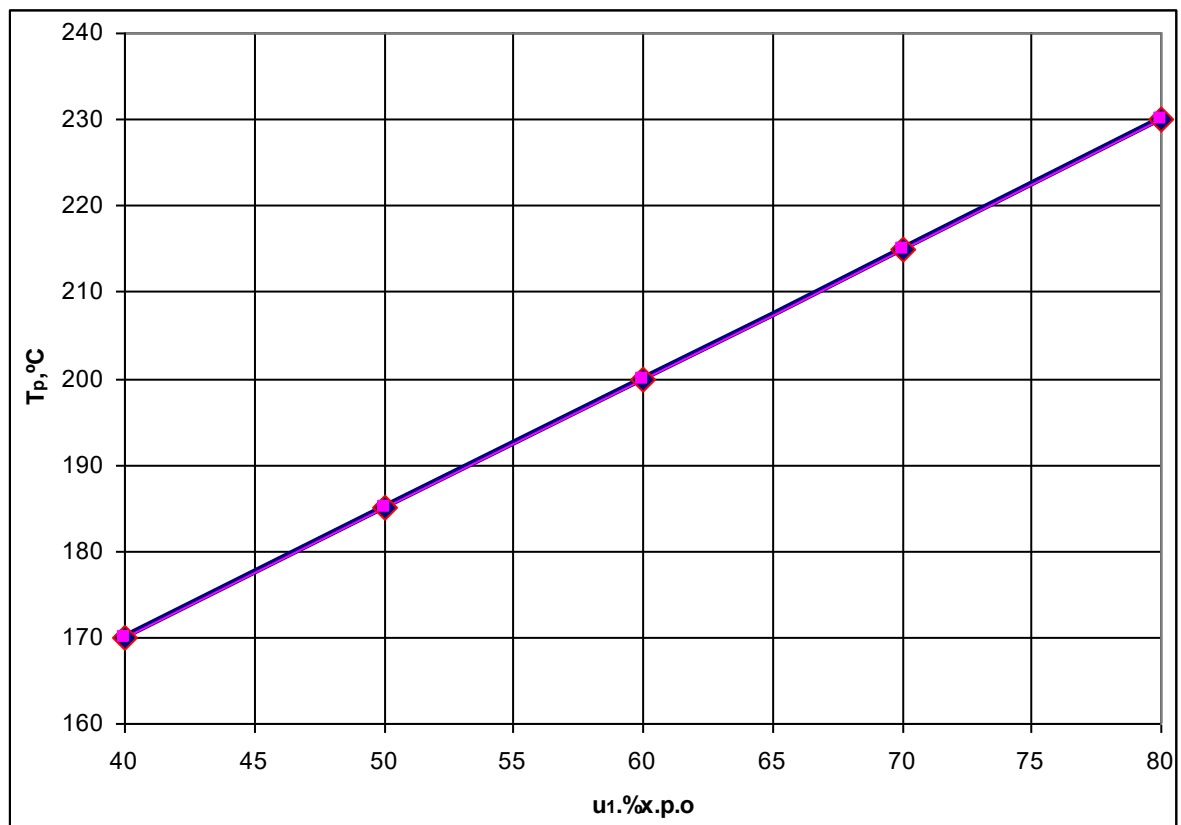


Рис. 2.20 – Результати моделювання статичної характеристики ОК

(для каналу $u_1 - T_p$)

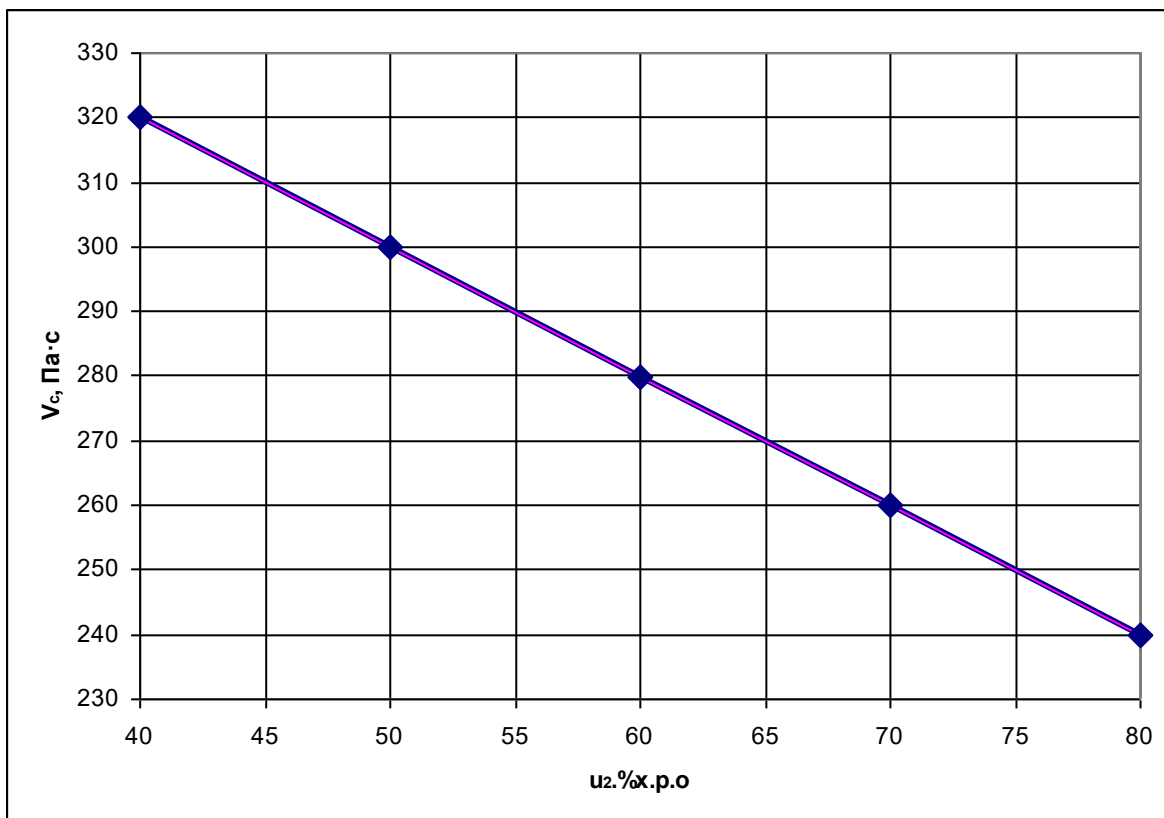


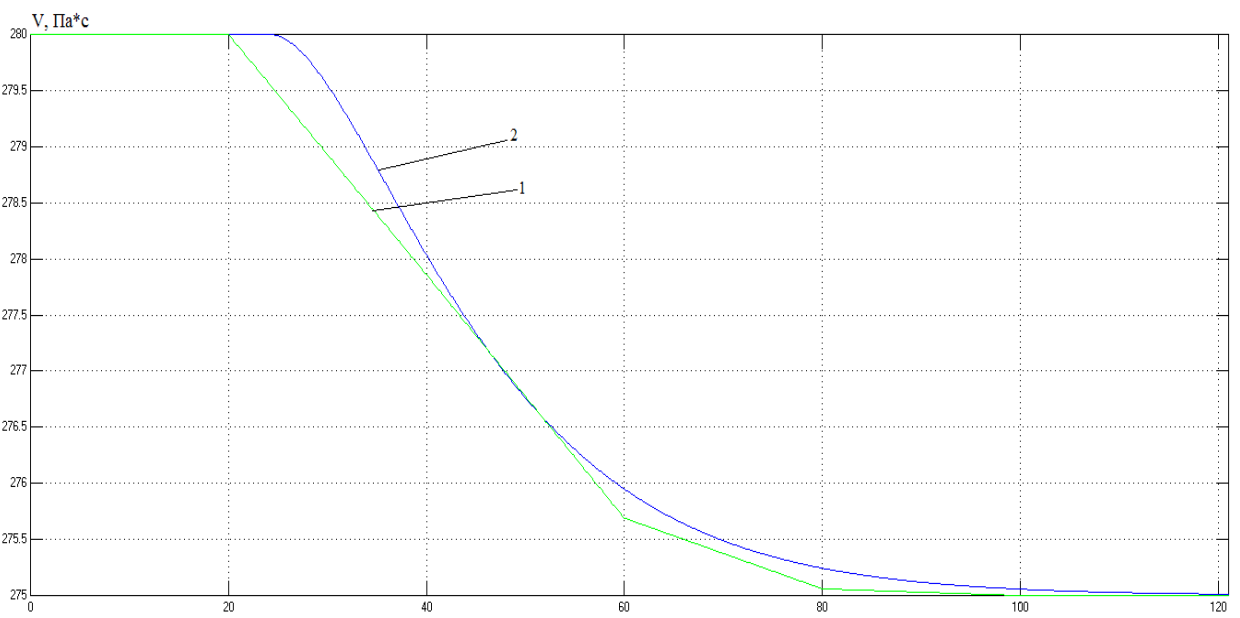
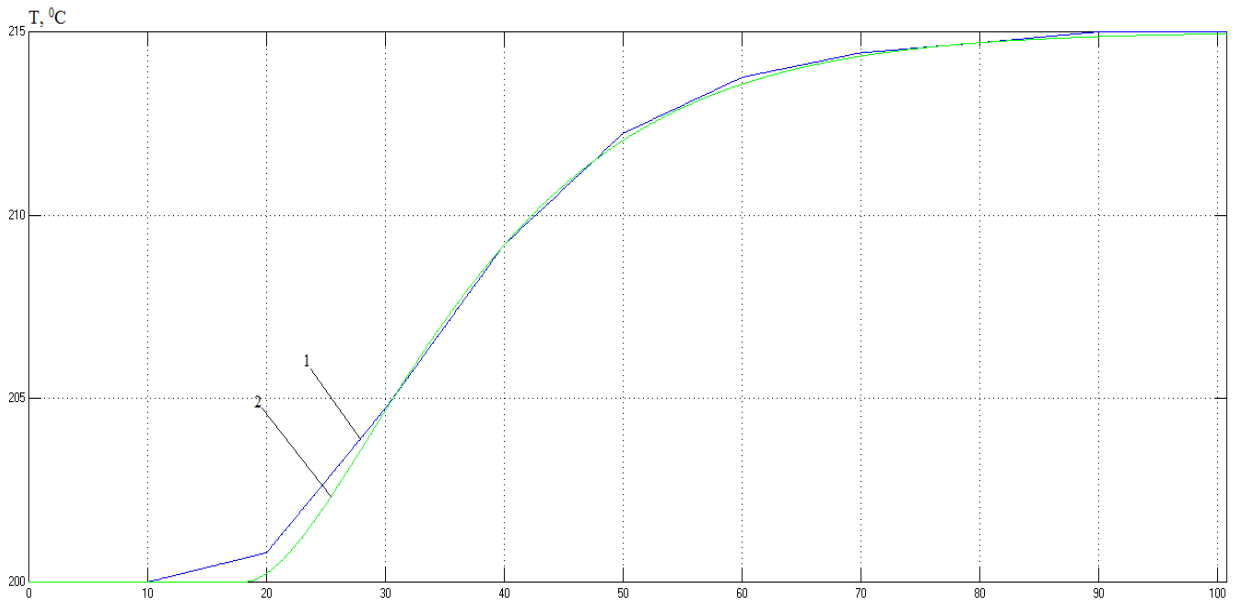
Рис. 2.21 – Результати моделювання статичної характеристики ОК
(для каналу $u_2 - V_C$)

Як видно із графіка (рис. 2.21), модель статичної характеристики точно описує експериментальні дані.

2.3.5 Реалізація в середовищі імітаційного моделювання повної моделі об'єкту управління та підтвердження її адекватності.

Для реалізації повної моделі ОК об'єднаємо моделі динаміки і статички каналів ОК. Результати моделювання моделі ОК в середовищі Матлаб зображено на рис. 2.22 (1 - $u_1 - T_P$; 2 - $u_1 - V_C$; 3 - $u_2 - T_P$; 4 - $u_2 - V_C$), а схема моделі ОК - на рис. 2.23.

Як видно з результатів моделювання, модель ОК достатньо точно відображує експериментальні дані. Це означає, що отримана модель ОК є адекватною.



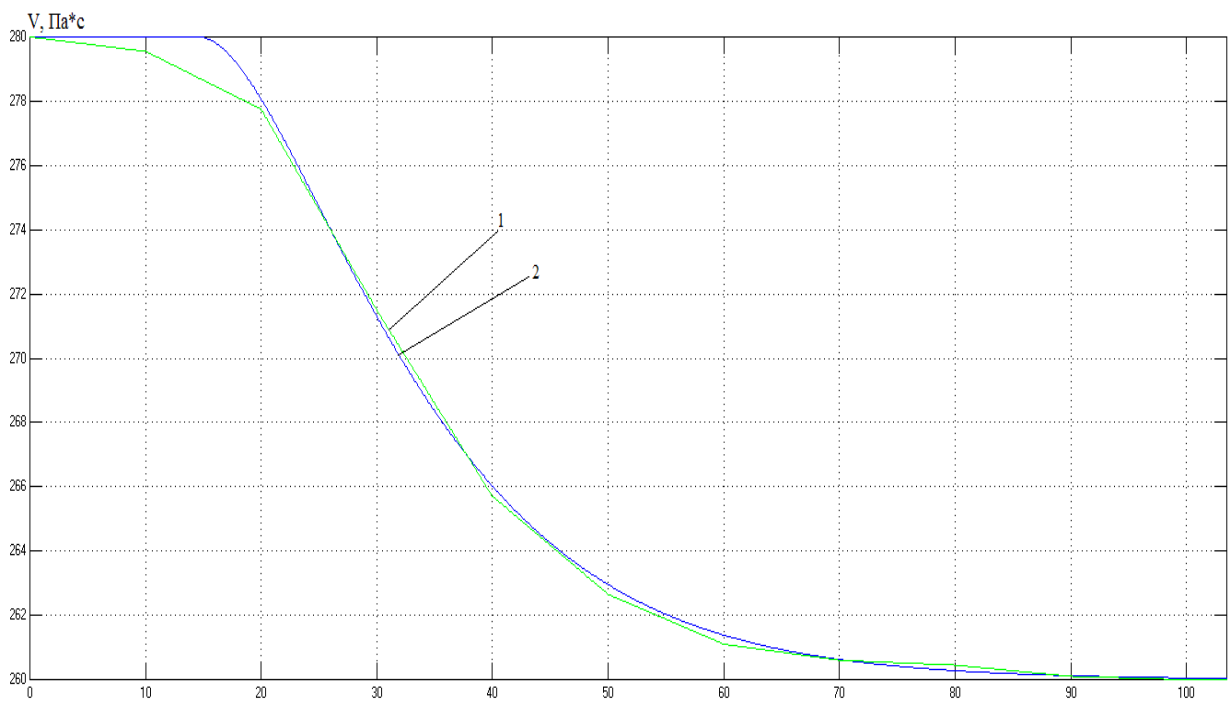
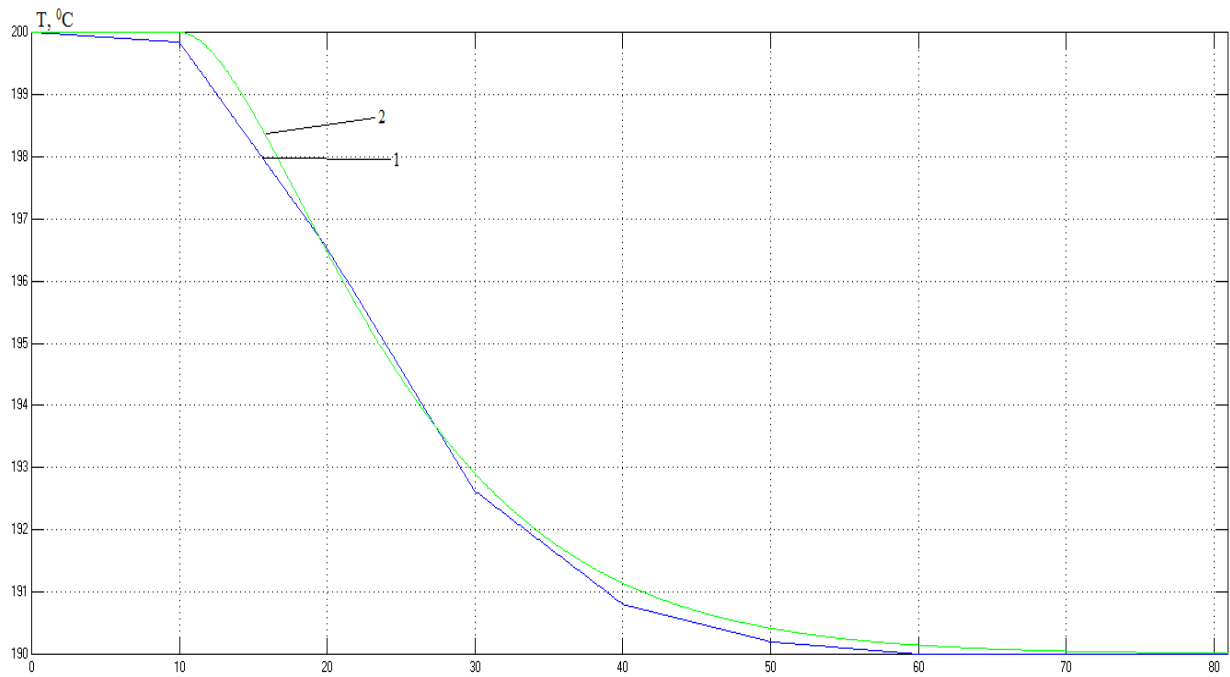


Рис. 2.22– Результати реалізації повної моделі ОК в середовищі Матлаб
(1 – експериментальні данні; 2 – математична модель)

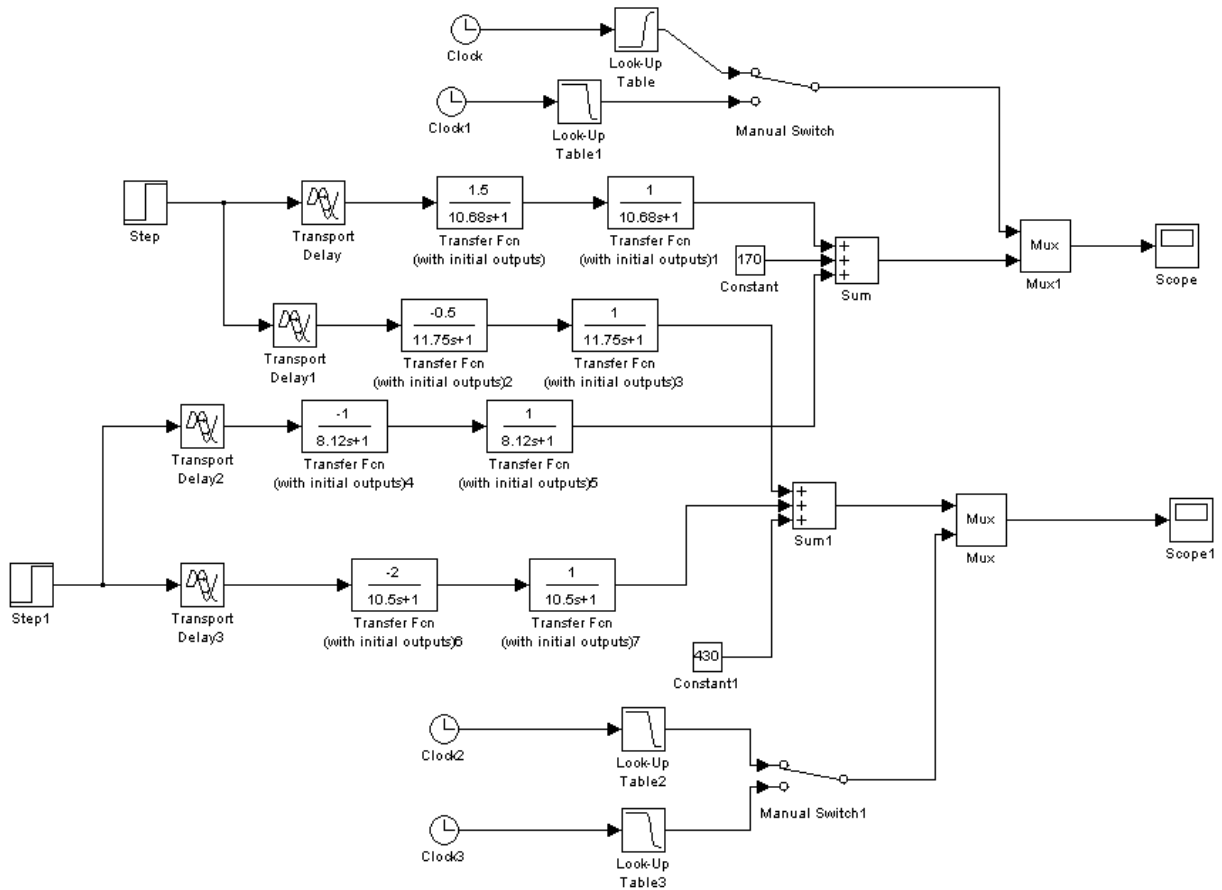


Рис. 2.23 – Схема моделювання повної моделі ОК

2.3.6 Реалізація у середовищі імітаційного моделювання моделей вхідних дій і підтвердження їх адекватності.

2.3.7 Подання моделей випадкових складових збурень у вигляді послідовно включених базового генератора білого шуму і формуючого фільтра, вибір кроку генерації, розрахунок параметрів фільтрів.

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

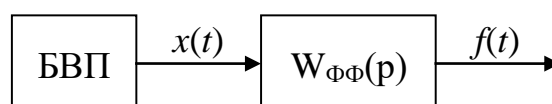


Рис. 2.24 – Структурна схема моделі СП

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

$$|W_{\phi\phi}(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\phi\phi}(j\omega) \cdot W_{\phi\phi}(-j\omega) \quad (2.13)$$

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

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_2}{3} \quad (2.14)$$

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

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

Для моделі №2

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} (1 - \alpha|\tau_k|);$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha\omega^2}{(\omega^2 + \alpha^2)^2}.$$

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

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

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

$$\text{Тоді } W_{\text{фб}}(p) = \frac{kp}{(Tp+1)^2},$$

$$\text{де } k = \frac{2\sqrt{D_f\alpha}}{\alpha^2}, \quad T = \frac{1}{a}.$$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання:

$$\alpha = 0,00115;$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{8,605}{2} = 4,302$$

$$\Delta t_T = \frac{1}{(2...3) \cdot \alpha} = \frac{1}{(2...3) \cdot 0,00115} = 434,8...290 \text{ с}$$

Виберемо крок генерації, рівним 300 (50).

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_z}{3} = 4,302^2 \cdot \frac{2 \cdot 50}{3} = 616,9$$

$$k = \frac{2\sqrt{D_f\alpha}}{\alpha^2 * a} = \frac{2\sqrt{74,05 \cdot 0,00115}}{0,00115^2 * 616,9} = 715,37$$

$$T = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,00115} = 869,6$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра

$$W_{\text{фб}}(p) = \frac{715,37p}{(869,6p+1)^2}$$

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

Сигнал неконтрольованих збурень

Повинен відповідати таким статистичним параметрам:

$$M_f = 199,5$$

$$\sigma_f = 8,605$$

$$\alpha = 0,00115$$

Схема моделювання буде мати вигляд, наведений на рис. 2.25.

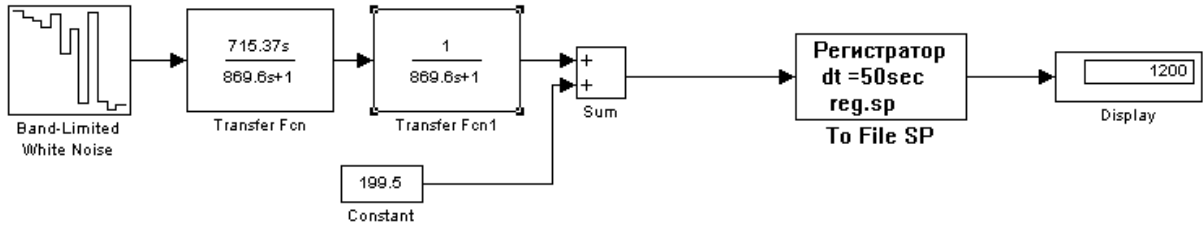


Рис. 2.25 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

$$\text{Noise power} = S_x(\omega) = 616,9;$$

$$\text{Sample time} = \Delta t = 50;$$

$$\text{Seed} = 1.$$

Результати моделювання наведені на рис. 2.26.

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|199,5 - 199,5|}{199,5} \cdot 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,3469 - 8,605|}{0,3469} \cdot 100\% = 2380\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,000925 - 0,00115|}{0,000925} \cdot 100\% = 24\%$$

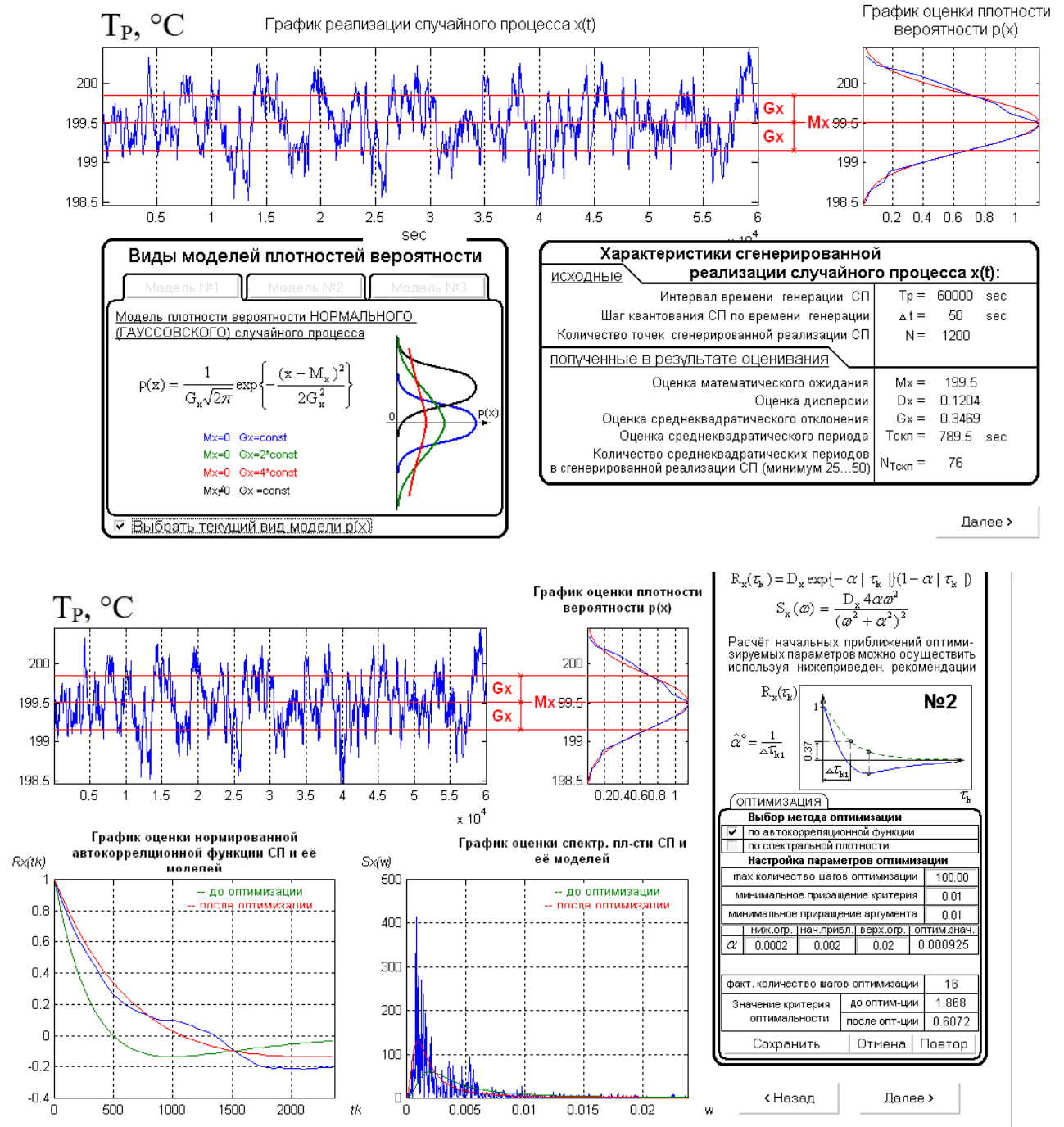


Рис. 2.26 – Результаты моделирования неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Похибка відтворення σ_f і α більша від 5%, а значить необхідно провести коректування параметрів формуючого фільтра. Після коректування були отримані наступні параметри формуючого фільтра: $k = 15058,8$; $T = 775,6$ с. Схема моделювання остаточного формуючого фільтра наведена на рис. 2.27, а результати моделювання наведені на рис. 2.28.

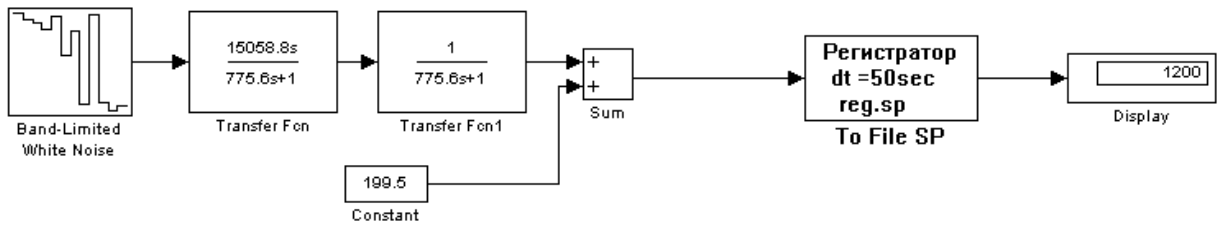


Рис. 2.27 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має скоректовані параметри

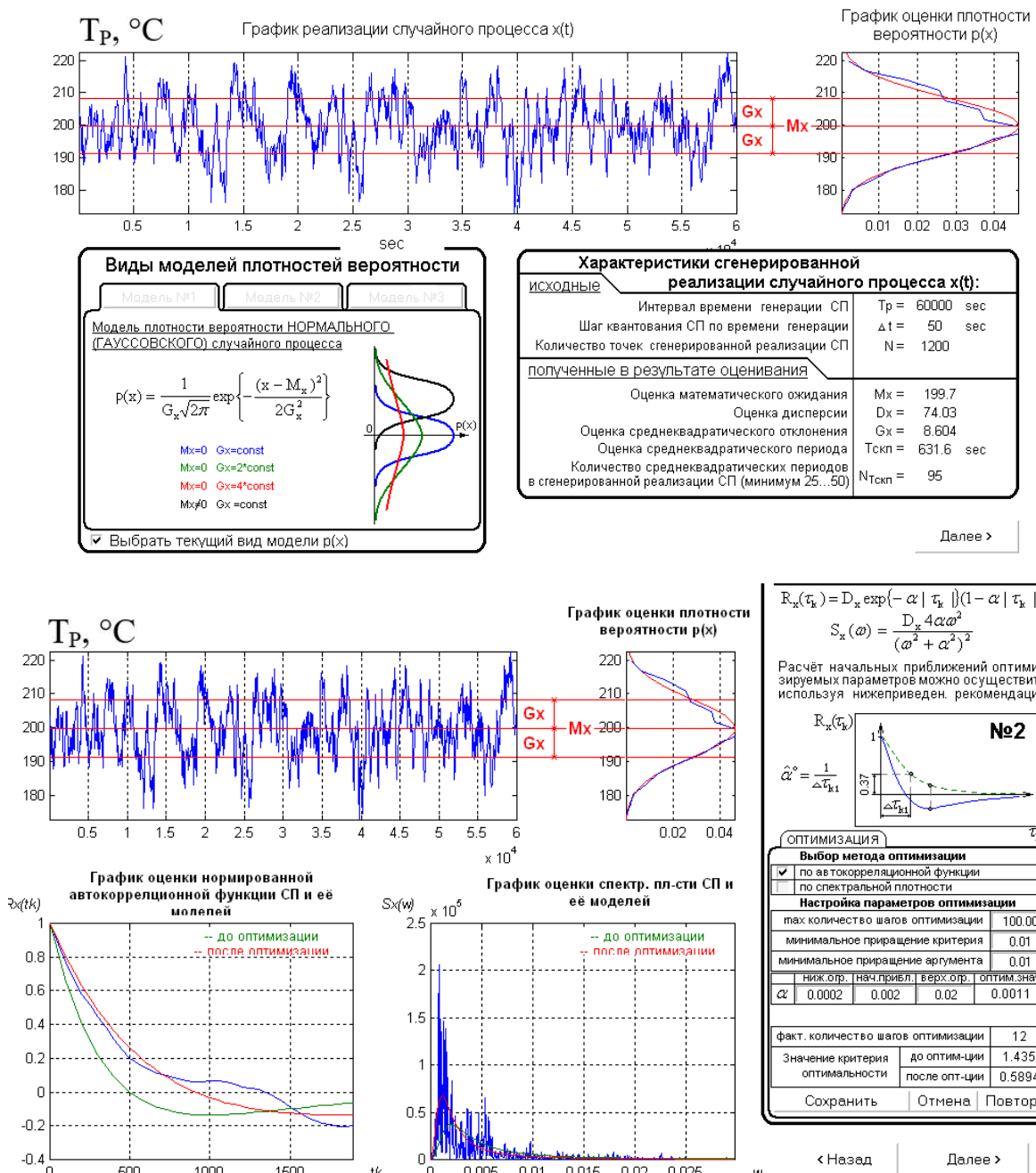


Рис. 2.28 - Результаты моделирования неконтрольованих збурювань із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|199,7 - 199,5|}{199,7} \cdot 100\% = 0,1\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|8,604 - 8,605|}{8,604} \cdot 100\% = 0,01\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,0011 - 0,00115|}{0,0011} \cdot 100\% = 4,5\%$$

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

2.3.9 Розробка повної схеми моделювання об'єкту.

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель входних дій. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.29.

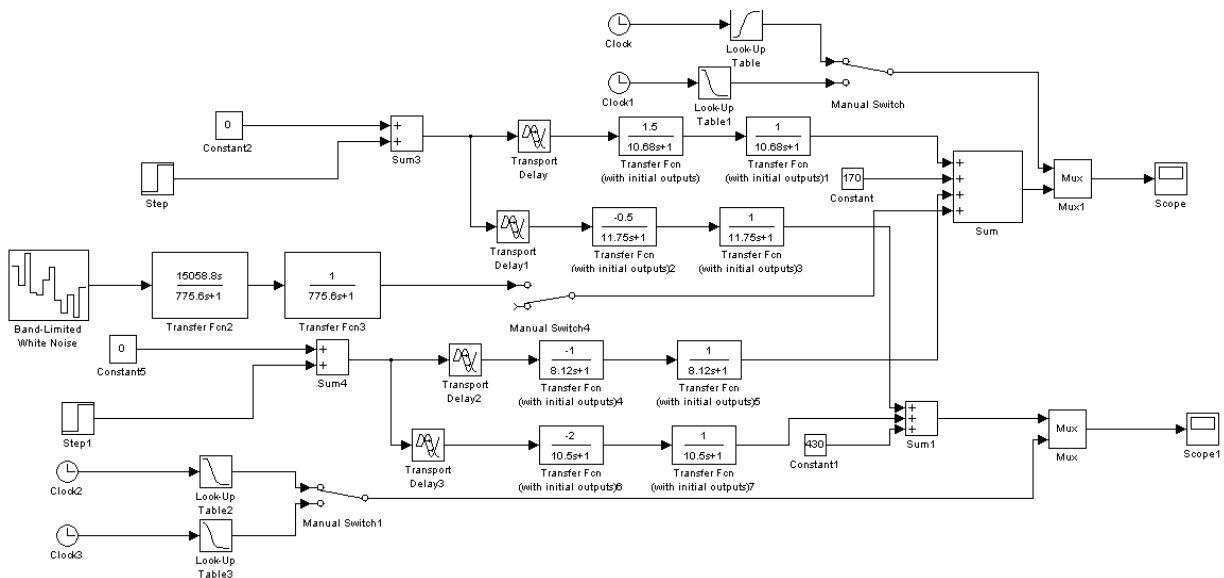


Рис. 2.29 – Схема моделювання повної моделі ОК

2.3.10 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 збурень тільки детермінованого характеру наведені на рис. 2.30, в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень – на рис. 2.31.

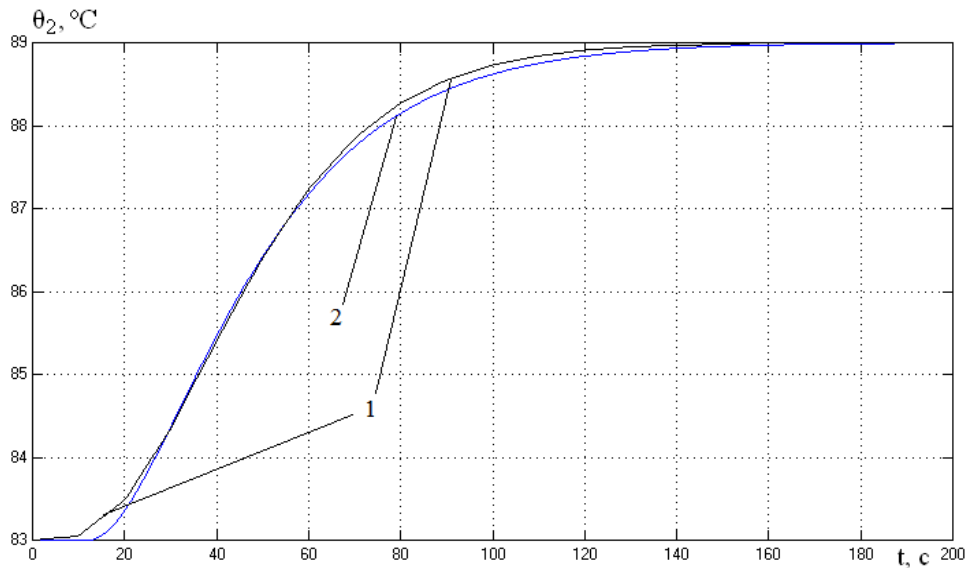


Рис 2.30– Результати експерименту в результаті дії збурень тільки детермінованого характеру: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

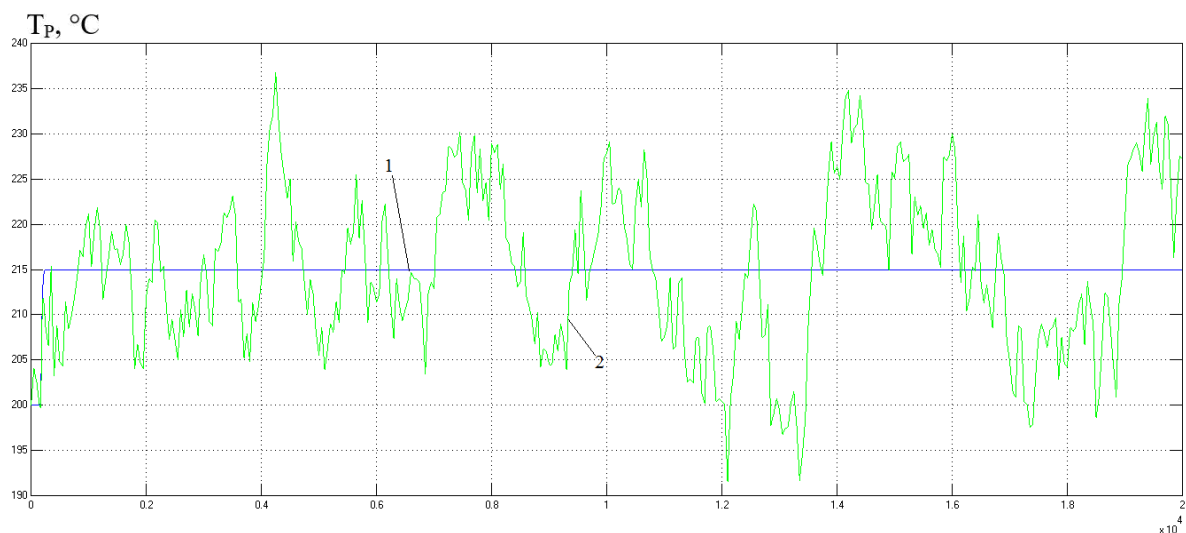


Рис. 2.31 – Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

Як показують результати експериментів, модель ОК в достатній мірі відтворює результати експериментальних досліджень.

3. Формулювання задач керування, вимог до їх розв'язку і вибір основних принципів побудови автоматичних систем

3.1 Формулювання задач керування технологічним агрегатом.

3.1.1 Декомпозиція загальної задачі керування технологічним агрегатом і формулювання окремих задач.

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

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання вихідної змінної об'єкту керування (T_p) на її заданому значенні ($T_p^{ЗДН}$) - задача регулювання.
- пристосування в процесі роботи об'єкту управління до його змінних властивостей - задача адаптації;
- забезпечення ефективних режимів роботи об'єкту керування - задача оптимізації;
- забезпечити ввімкнення і вимкнення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - завдання логічного керування.

3.1.2 Обґрунтування необхідності і доцільності автоматизації кожної з окремих завдань управління.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожну із завдань управління.

Для завдання регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної і економічно доцільною реалізації технологічного процесу гідрогенізації в трубчастому теплообміннику необхідно регулювати температуру реактора T_p .

Для завдання адаптації необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта управління до його змінних властивостей, заданим. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно

впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу змінюються мало. Цю задачу можна вирішити, змінюючи (коригуючи) настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак готової продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу гідрогенізації цю задачу можна вирішити, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження витрат пара на реалізацію технологічного процесу.

Процес гідрогенізації олії в реакторі є об'єктом неперервної дії. Для нього є характерним тривалий робочий режим, на який об'єкт виводять в дистанційному режимі. Режими пуску і зупинки є неекономічними режимами роботи установки. Підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах пуску і зупинки можна досягти, автоматизувавши ці завдання. Тому для даного технологічного процесу актуальна автоматизація задачі логічного керування.

3.1.3 Формалізація вимог до гранично-припустимих статичних і динамічних відхилень регульованих змінних від відповідних заданих значень перехідних і динамічно сталих процесів і подання їх у формі регламентних зон регульованих змінних. (за каналом $u_1 - T_p$; та за каналом $u_2 - V_C$).

Відповідно до нормативів ведення (за каналом $u_1 - T_p$) технологічних процесів (див. табл. 3.1) температура у реакторі T_p має підтримуватися на рівні 200°C з точністю $\pm 3^{\circ}\text{C}$. За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до $\pm 15^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 100 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.1.

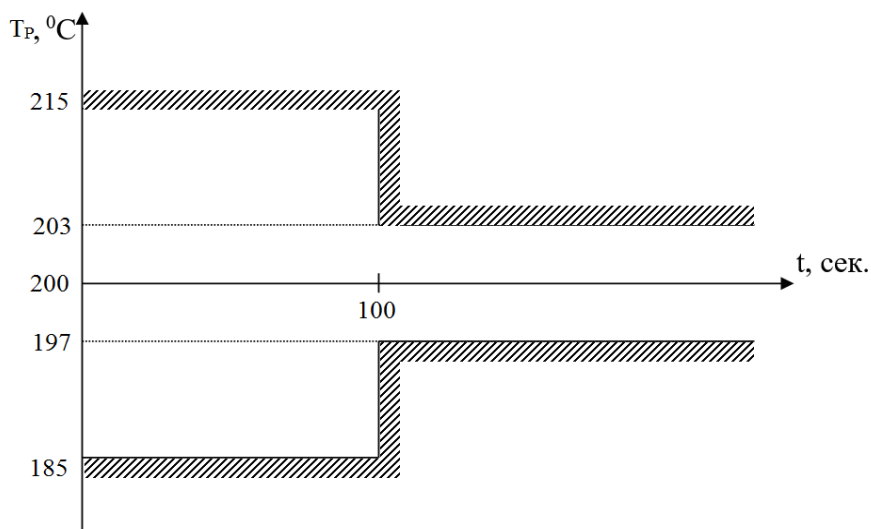


Рис. 3.1 – Регламентна зона для температури у реакторі T_p

3.1.4 Формалізація інтегральних вимог до перехідних та динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегральних критеріїв оптимальності САР.

Як видно з регламентів на функціонування САР для процесу гідрогенізації олії висуваються жорсткі вимоги до тривалих відхилень, тому в якості критерію доцільно обирати інтегральний модульний критерій, що сильно штрафує незначні відхилення і мало штрафує короткочасні відхилення. Тому ефективність роботи САР температури і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

Відповідно до нормативів ведення (за каналом $u_2 - V_C$) технологічних процесів (див. табл. 2.1) в'язкості саломаса V_C має підтримуватися на рівні $280 \text{ Па}\cdot\text{с}$ з точністю $\pm 4 \text{ Па}\cdot\text{с}$. За цим параметром припустимі короткочасні відхилення до $\pm 20 \text{ Па}\cdot\text{с}$ протягом часу не більше 100 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.2.

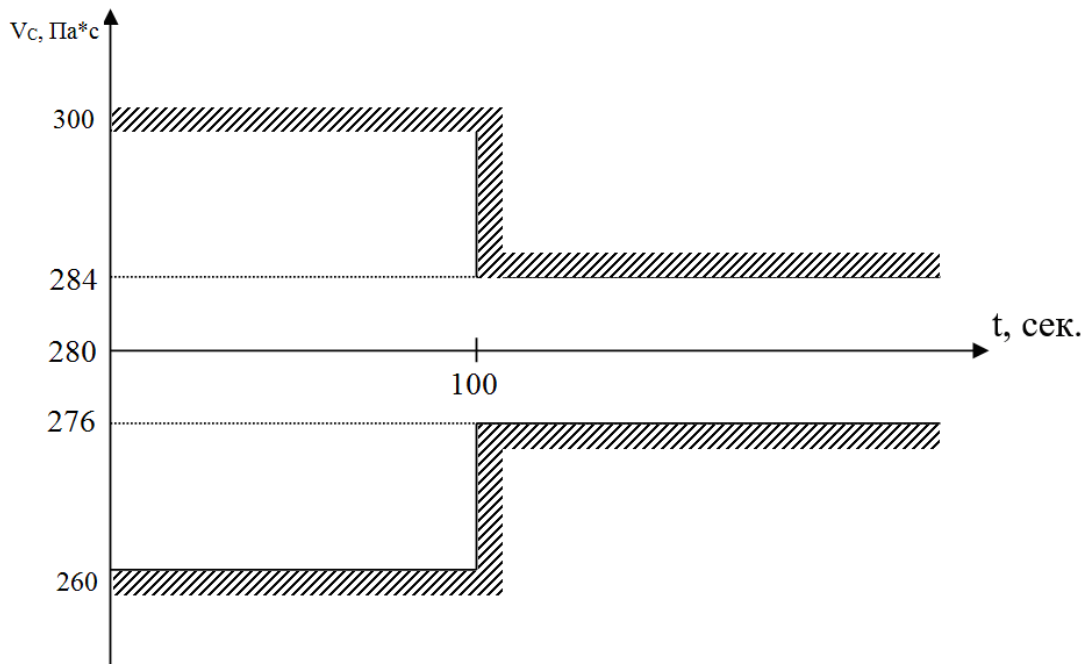


Рис. 3.2 – Регламентна зона для в'язкості саломаса V_C

3.1.5 Формалізація інтегральних вимог до перехідних та динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегральних критеріїв оптимальності САР.

Як видно з регламентів на функціонування САР для процесу гідрогенізації олії висуваються жорсткі вимоги до тривалих відхилень, тому в якості критерію доцільно обирати інтегральний модульний критерій, що сильно штрафує незначні відхилення і мало штрафує короткочасні відхилення. Тому ефективність роботи САР температури і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J_2 = \int_0^{t_M} \left[\frac{|\Delta T_P(t)|}{15} + \frac{|\Delta V_C(t)|}{20} \right] \cdot dt \quad (3.1)$$

де t_M – час моделювання;

$\Delta V_C(t)$ – помилка регулювання в'язкості саломаса від заданого значення.

$\Delta T_P(t)$ – помилка регулювання у реакторі від заданого значення.

3.1.6 Вибір, обґрунтування та подання у вигляді узагальненої структурної схеми принципу побудови системи автоматичного регулювання.

Оснoву керування становить інформація про мету керування або про бажаний стан ОУ \bar{y}^* , про поточний стан ОУ \bar{y} та про збуреннях \bar{f} . Залежно від обсягу використовуваної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОУ виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкнутого твердого (програмного) керування; принцип розімкнутого керування по збурюванню; принцип замкнутого керування по стані ОУ або керування зі зворотним зв'язком; комбінований принцип керування.

Для системи керування процесу гідрогенізації у реакторі доступною, крім інформації про бажаний стан ОК ($T_P^{ЗДН}$ і $V_C^{ЗДН}$), є інформація про поточний стан ОК (T_P і V_C). Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу (u) достатній для реалізації замкненого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР температури реактора базової структури. Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 3.3.

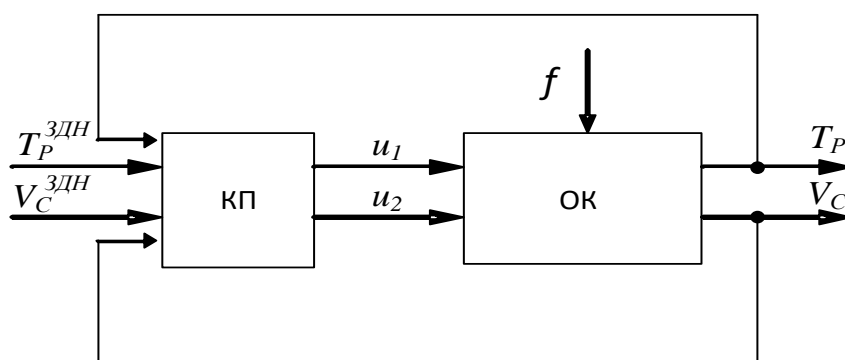


Рис. 3.3 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкненому принципу керування

3.2 Синтез і аналіз системи автоматичного регулювання базової структури

3.2.1 Конкретизація структури САР і алгоритмів регулювання.

3.2.2 Розробка на основі обраного загального принципу побудови САР, її базової конкретної структури.

Координатна схема процесу гідрогенізації олії в реакторі наведена на рис. 1.5. Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 3.3), структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.4.

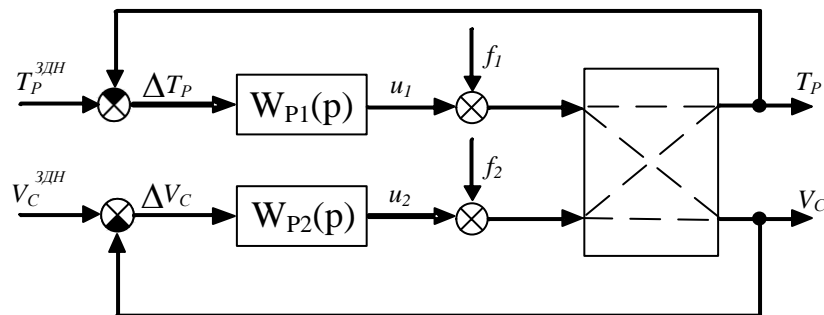


Рис. 3.4– Структурна схема САР температури у реакторі та в'язкості саломасу базової структури

На рисунку:

u_1 – положення регулювального органа подачі пари;

u_2 – швидкість обертання насоса подачі олії;

T_P – температура у реакторі;

V_C – в'язкість саломаса;

f_1, f_2 – вектор неконтрольованих збурень;

$W_{P1}(p)$ – передаточна функція регулятора температури у реакторі;

$W_{P2}(p)$ – передаточна функція регулятора в'язкості саломасу;

$T_P^{здн}$ – задане значення регульованої координати;

$V_C^{здн}$ – задане значення регульованої координати;

ΔT_P – помилка регулювання;

ΔV_C – помилка регулювання;

3.2.3 Вибір альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання, запис їх рівнянь і передаточних функцій.

Процес гідрогенізації олії в реакторі за всіма каналами має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

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

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Рівняння руху ПІД-регулятора

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

Передаточна функція ПІД-регулятора

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

3.2.4 Розробка структурної схеми цифрового імітаційного моделювання САР при детермінованих та стохастичних вхідних діях.

В результаті виконання 4 розділу курсової роботи була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу гідрогенізації олії в реакторі. Результати ідентифікації зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 –Результати ідентифікації каналів перетворення координатних дій ОК

Канал ОК	Модель динаміки	
	1-го порядку	2-го порядку
«u ₁ - T _p »	$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-23,7p}}{16,5p + 1}$	$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-17,85p}}{(10,68p + 1)^2}$
«u ₁ - V _C »	$W_0(p) = \frac{-0,5 \cdot e^{-32,1p}}{16,75p + 1}$	$W_0(p) = \frac{-0,5 \cdot e^{-24p}}{(11,75p + 1)^2}$
«u ₂ - T _p »	$W_0(p) = \frac{-1 \cdot e^{-15,35p}}{11,62p + 1}$	$W_0(p) = \frac{-1 \cdot e^{-9,8p}}{(8,12p + 1)^2}$
«u ₂ - V _C »	$W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-21,6p}}{15p + 1}$	$W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-14,4p}}{(10,5p + 1)^2}$

Структурна схема моделювання САР с ПІ-регулятором наведена на рис. 3.5, а с ПД-регулятором - на рис. 3.6. Структурна схема моделювання ОК наведена на рис. 3.7.

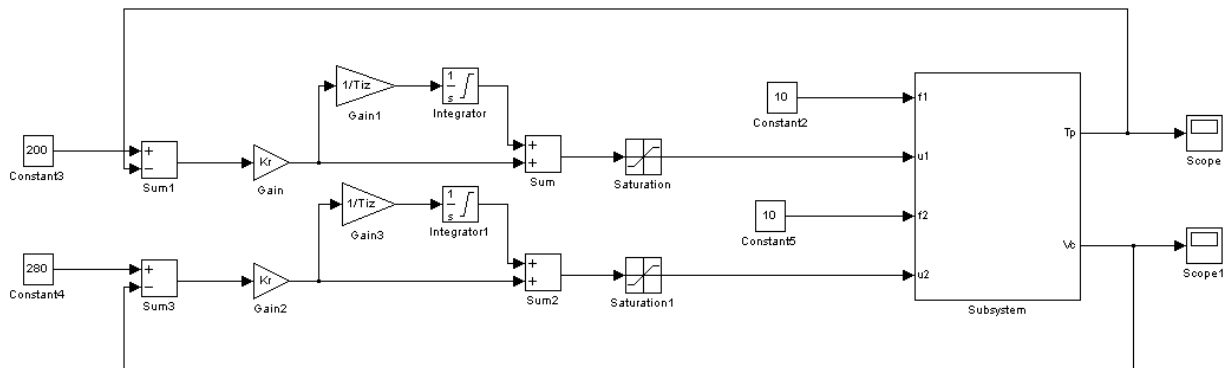


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

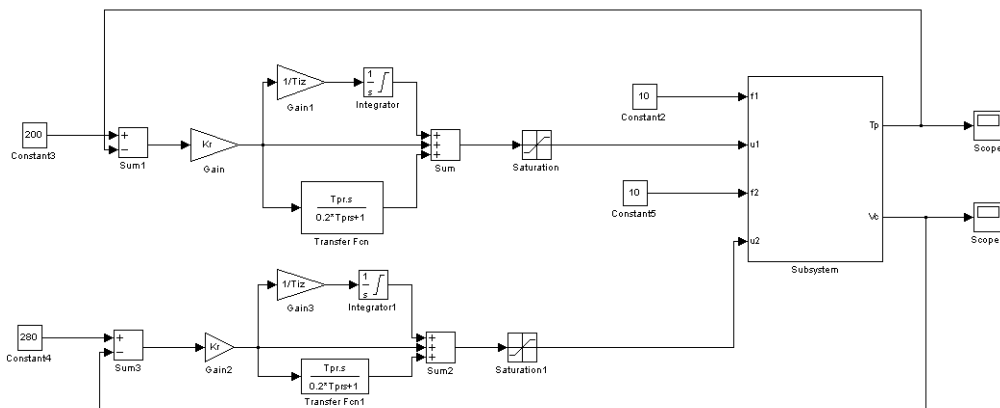


Рис. 3.6 – Структурна схема моделювання САР з ПД-регулятором

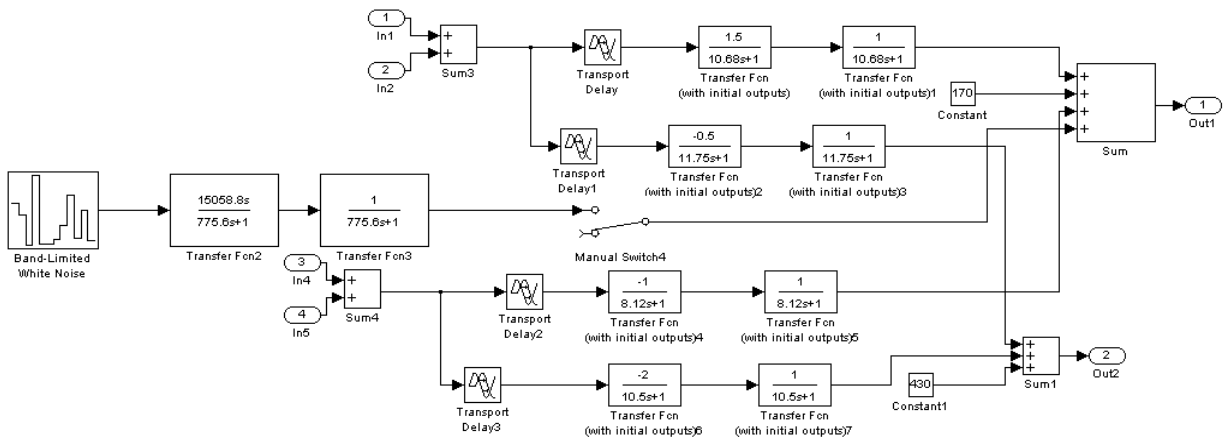


Рис. 3.7 – Структурна схема моделювання ОК

3.2.5 Параметричний синтез САР з різними варіантами типових алгоритмів регулювання і їх порівняльний аналіз для детермінованих вхідних дій.

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

Передаточна функція ($u_1 - T_p$) моделі 1-го порядку ОК:

$$W_0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-23,7p}}{16,5p + 1} \quad (3.2)$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = \frac{0,8 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{0,8 \cdot 16,5}{1,5 \cdot 23,7} = 0,37 \frac{\%x.p.o.}{^{\circ}C} \quad T_{ИЗ} = 2,5 \cdot \tau_o = 2,5 \cdot 23,7 = 59,25c$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_p = \frac{1 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1 \cdot 16,5}{1,5 \cdot 23,7} = 0,46 \frac{\%x.p.o.}{^{\circ}C}$$

$$T_{ИЗ} = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 23,7 = 47,4c$$

$$T_{ИП} = \frac{\tau_o}{2} = 11,85c$$

Передаточна функція ($u_2 - V_C$) моделі 1-го порядку ОК:

$$W_0(p) = \frac{-2 \cdot e^{-21,6p}}{15p + 1} \quad (3.3)$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = \frac{0,8 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{0,8 \cdot 15}{-2 \cdot 21,6} = -0,27 \frac{\%x.p.o.}{^{\circ}C} \quad T_{IB} = 2,5 \cdot \tau_o = 2,5 \cdot 21,6 = 54c$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_p = \frac{1 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1 \cdot 15}{-2 \cdot 21,6} = -0,34 \frac{\%x.p.o.}{^{\circ}C}$$

$$T_{IB} = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 21,6 = 43,2c$$

$$T_{IP} = \frac{\tau_o}{2} = 10,8c$$

3.2.7 Параметричний оптимальний синтез САР з альтернативними алгоритмами регулювання для детермінованих (ступінчастих) вхідних діях.

Для оптимального параметричного синтезу САР температури олії у реакторі з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.8. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.9.

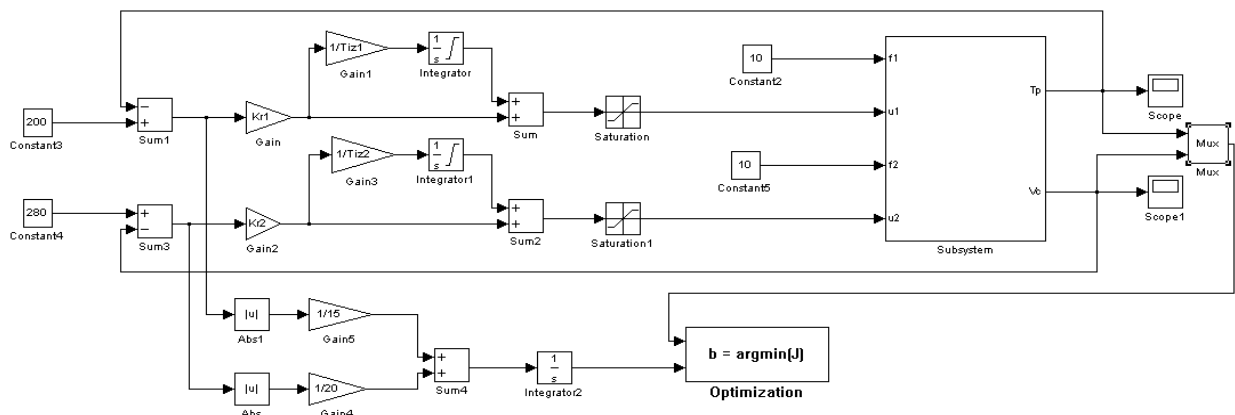
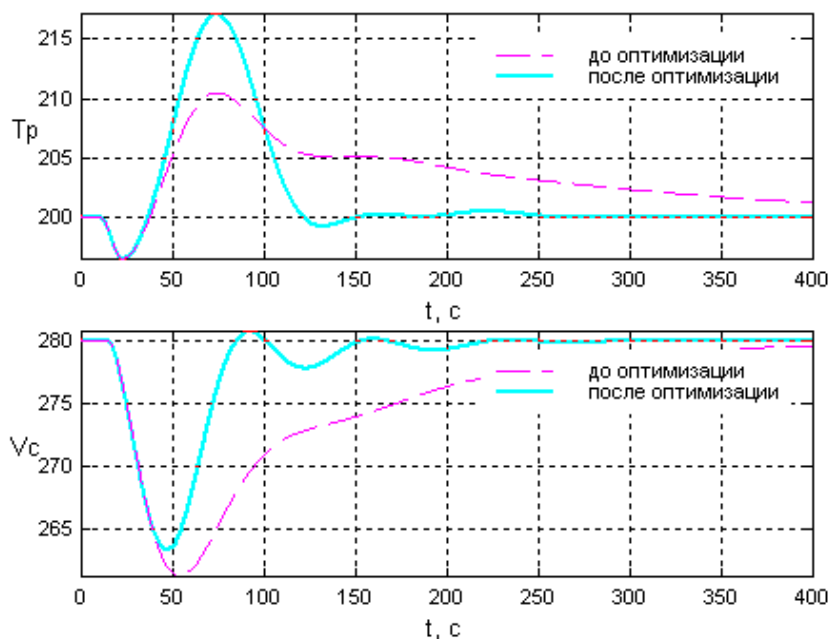


Рис. 3.8 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ-регулятора



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности: до - 202.7789 после - 95.8252 оптимизации.
Kr1	0.25594	0	0.37	10	
Tiz1	19.1006	0.5	59.25	200	Количество шагов процедуры оптимизации: максимальное - 1500 фактическое - 313
Kr2	-0.59405	-10	-0.27	0	
Tiz2	42.3146	0.5	54	200	

Рис. 3.9 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результатів порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_p^{\text{МАКС}}$	$\Delta V_c^{\text{МАКС}}$	T_p Тпш, с	V_c Тпш, с	
до оптимізації	10.48	18.9	256.5	192.3	187.7
після оптимізації	17.25	16.7	110.34	73.3	95.84

Для оптимального параметричного синтезу САР температури пастеризації соку з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.10. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 3.11.

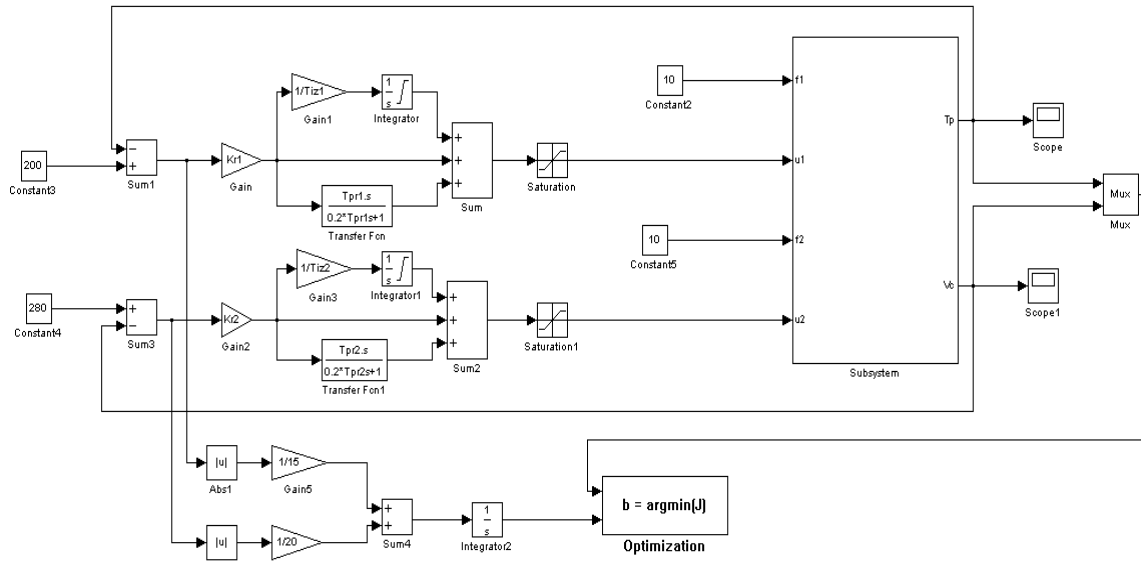
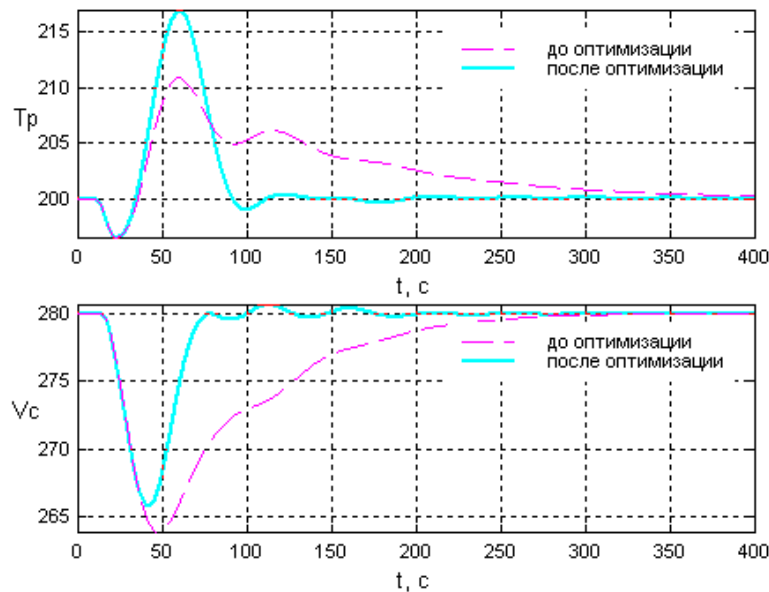


Рис. 3.10 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПД-регулятора



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	0.51952	0	0.46	10	до - 139.1484
Tiz1	24.0977	0.5	47.4	200	после - 64.3454
Trp1	7.9384	0	11.85	20	оптимизации.
Kr2	-0.69368	-10	-0.34	0	Количество шагов
Tiz2	28.9675	0.5	43.2	200	процедуры оптимизации:
Trp2	8.9388	0	10.8	20	максимальное - 1500
					фактическое - 782

Рис. 3.11 – Результати оптимізації налаштувань ПД-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведемо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати порівняння САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_P^{\text{МАКС}}$	$\Delta V_C^{\text{МАКС}}$	T_P Тпп, с	V_C Тпп, с	
до оптимізації	10.88	16.21	186.3	136.8	136
після оптимізації	16.98	14.23	83.9	61.8	64.31

3.2.8 Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.12. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.13, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 3.14. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.15 (для V_C) та 3.16 (для T_P) і в таблиці 3.4.

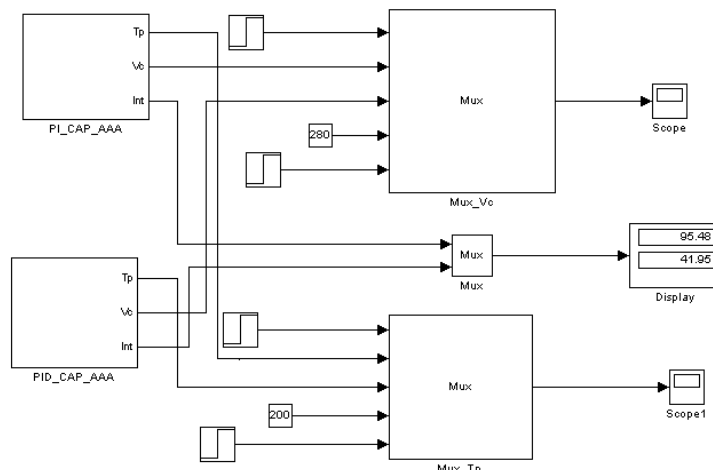


Рис. 3.12 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

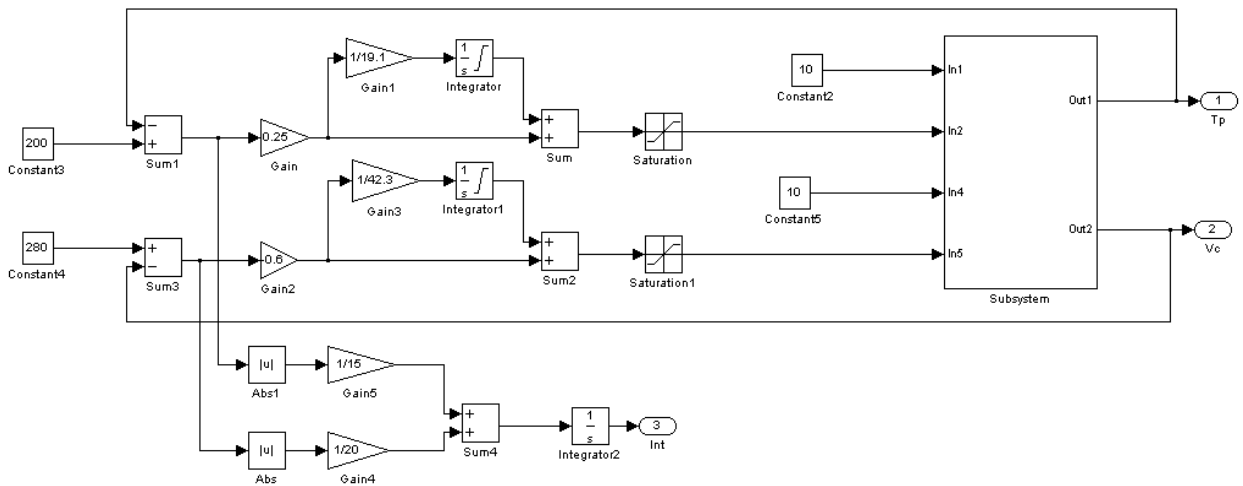


Рис. 3.13 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

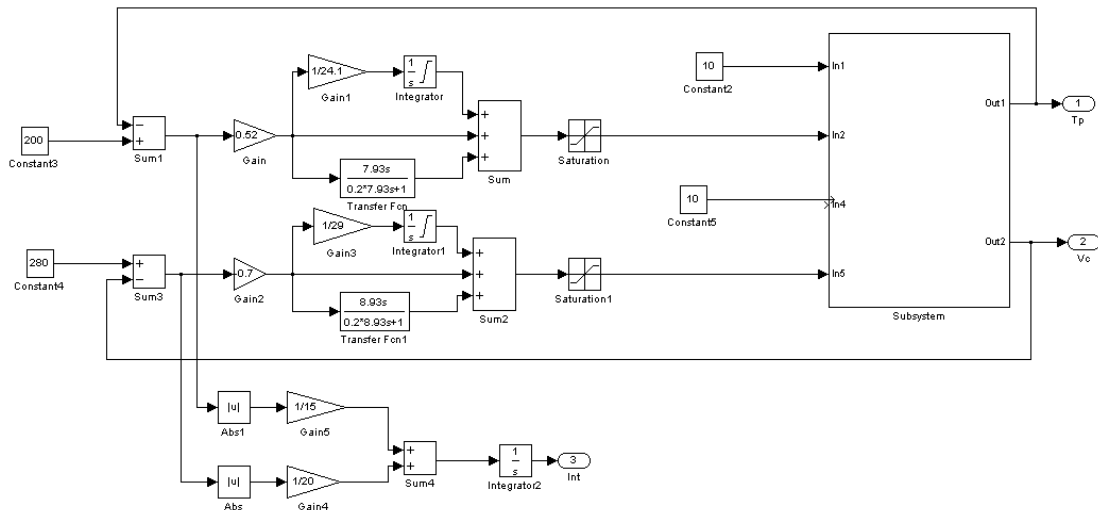


Рис. 3.14 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

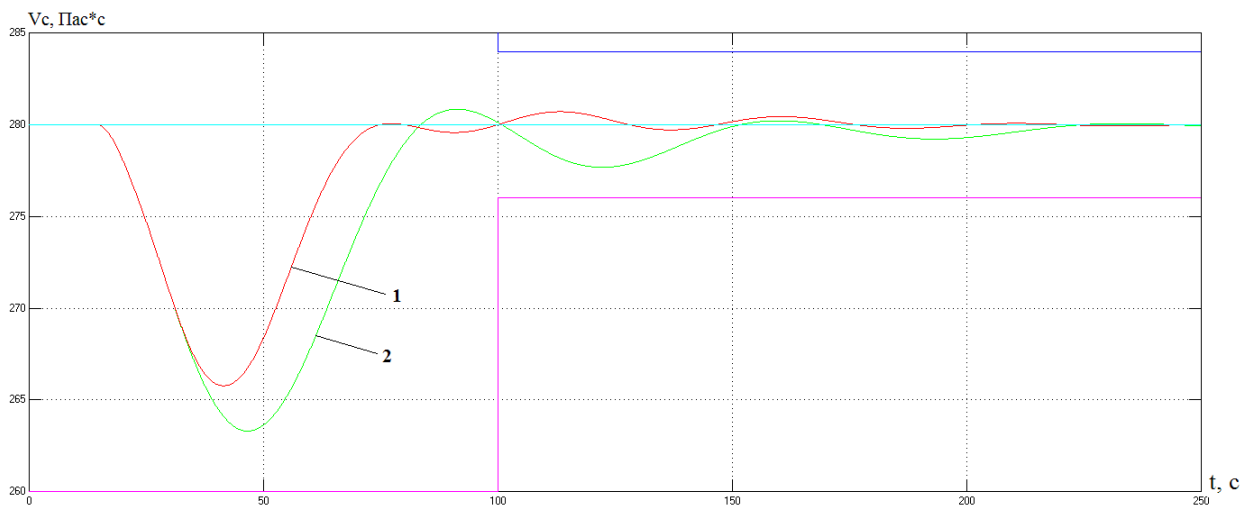


Рис. 3.15 – Результати порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

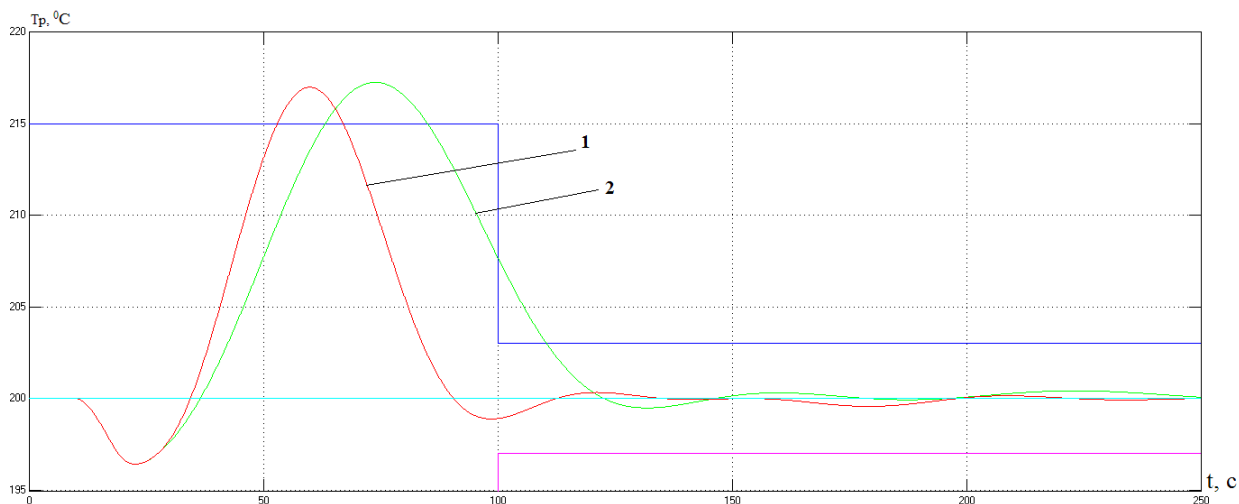


Рис. 3.16 – Результати порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

Таблиця 3.4 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_P^{\text{МАКС}}$	$\Delta V_C^{\text{МАКС}}$	T_P $T_{\text{пп}}$, с	V_C $T_{\text{пп}}$, с	
ПІ	17.25	16.7	110.34	73.3	95.84
ПІД	16.98	14.23	83.9	61.8	64.31

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

3.2.9 Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК.

3.2.10 Вибір параметрів ОК, по який доцільно оцінити грубість САР, значень їх варіацій і планування машинного експерименту з оцінки грубості.

В процесі роботи реактора може змінюватися час запізнення в каналах ОК. Слід відзначити, що внаслідок нелінійності, параметри каналів можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень $10\% \text{х.р.о.}$. Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.17, 3.18 и 3.19.

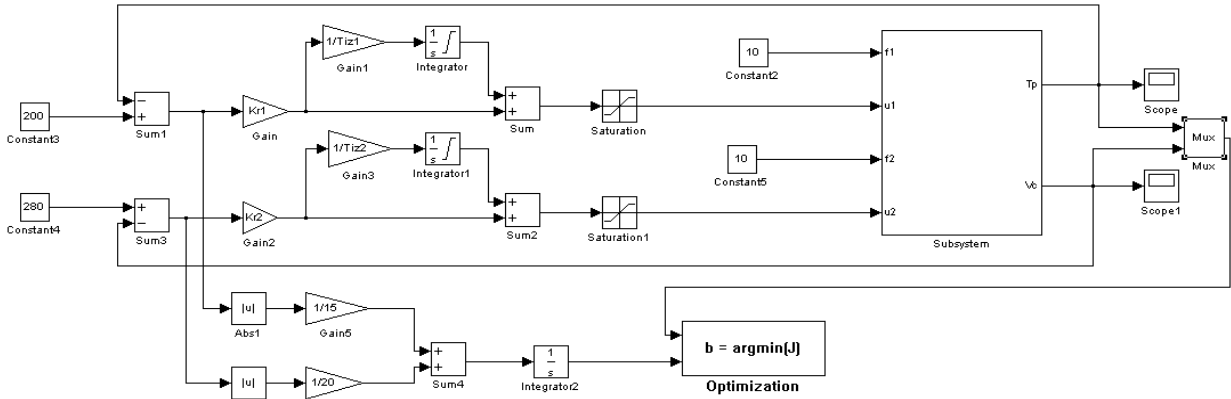


Рис. 3.17 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІ-регулятором на грубість

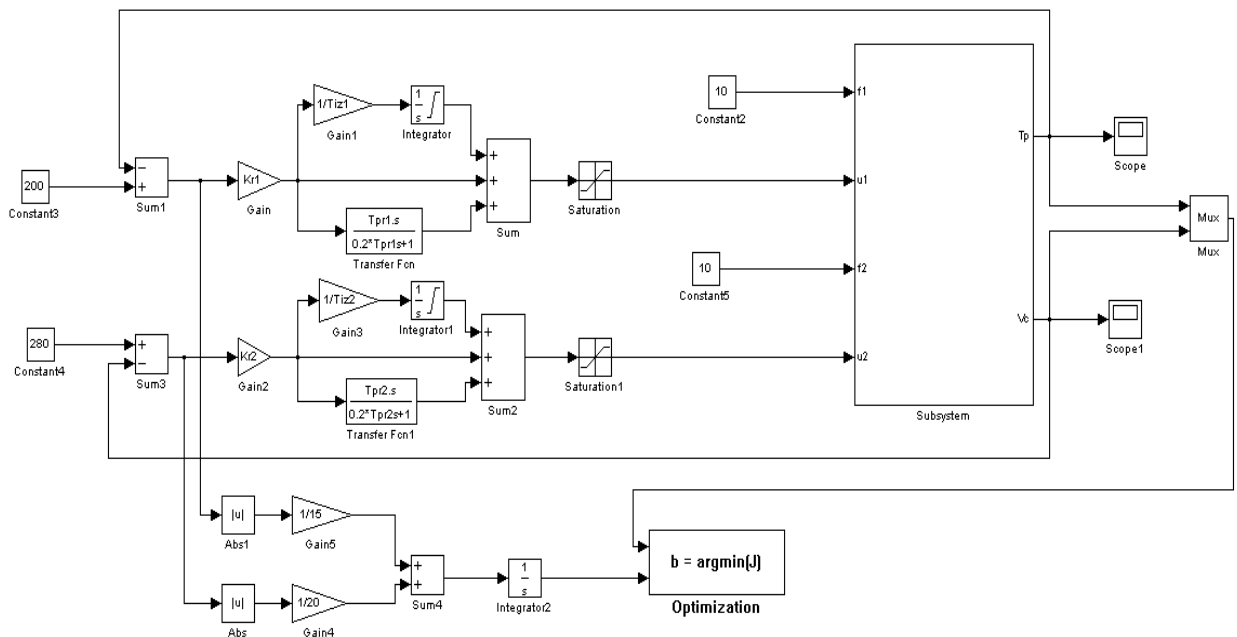


Рис. 3.18 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІД-регулятором на грубість

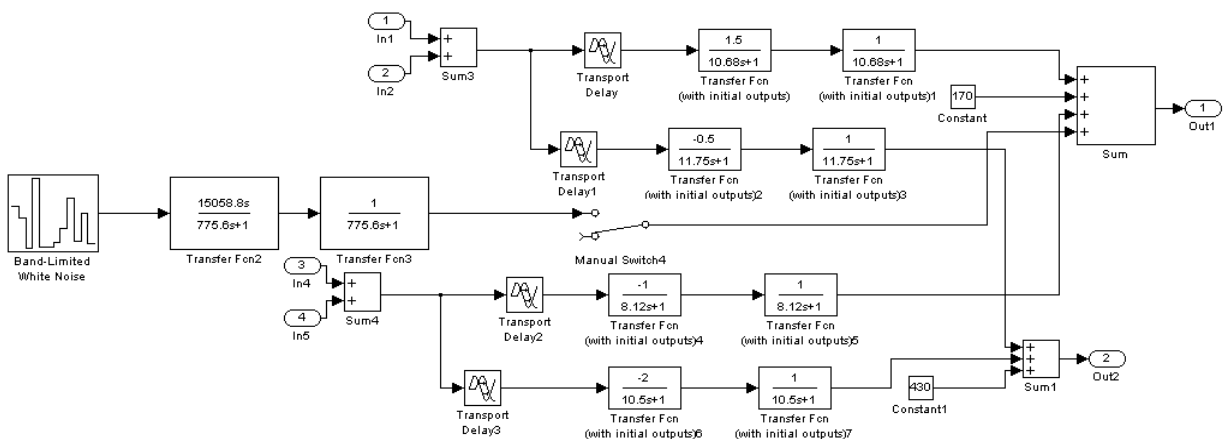


Рис. 3.19 - Структурна схема моделювання ОК для аналізу САР на грубість

3.2.11 Порівняльний аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності та показниками, для яких встановлено гранично-припустимі значення.

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.20, а САР з ПІД-регулятором – на рис. 3.21. Як видно з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПІД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться. Але також в умовах дії збурень детермінованого характеру перехідні процеси в САР виходять за рамки регламентних зон.

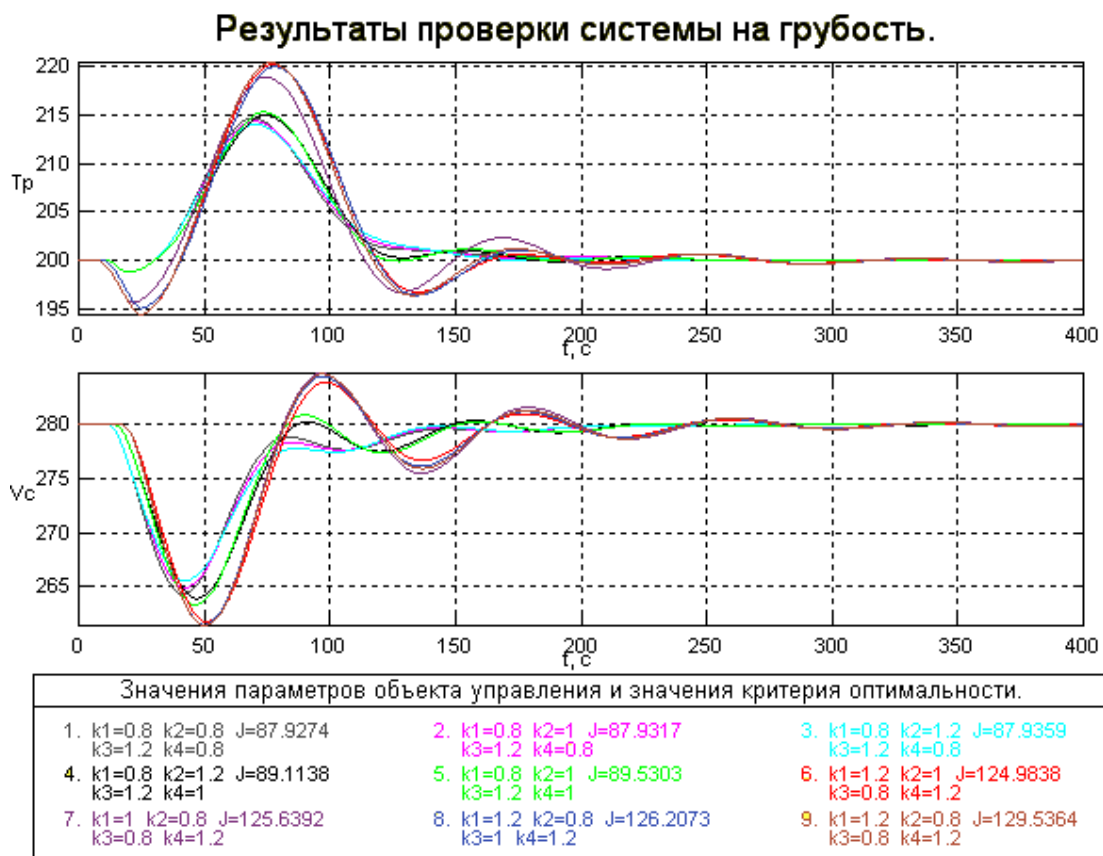


Рис. 3.20 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором в умовах дії детермінованих неконтрольованих збурень

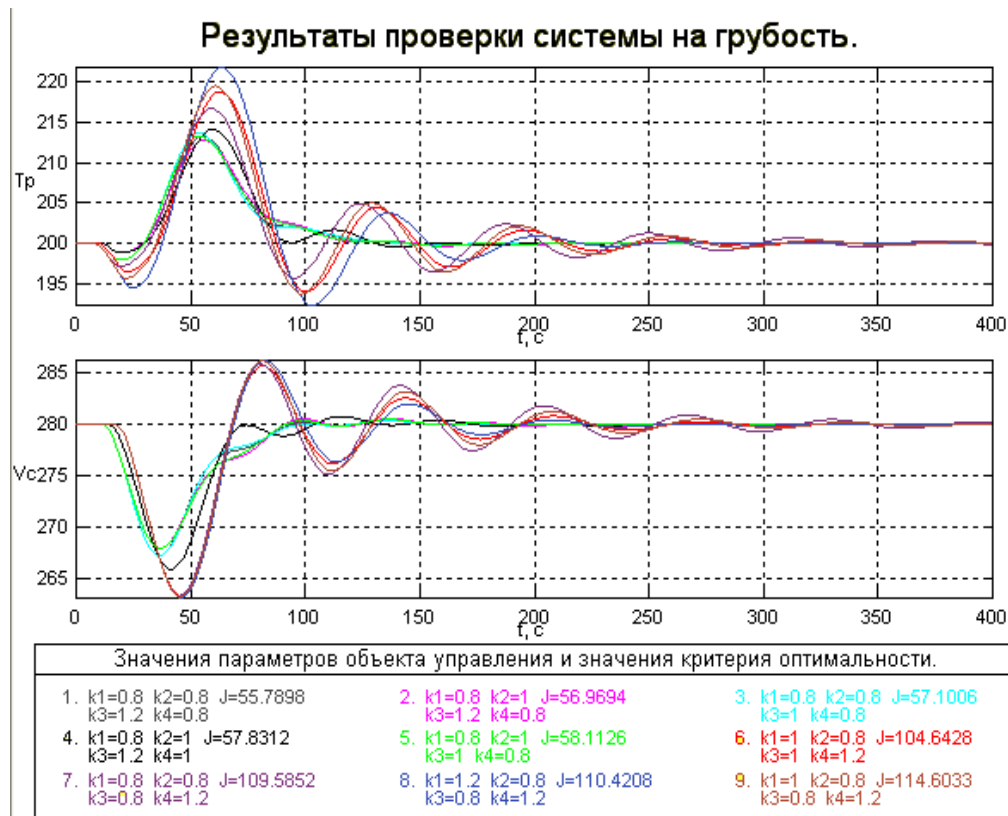


Рис. 3.21 - Аналіз на грубість САР з ПД-регулятором в умовах дії детермінованих неконтрольованих збурень

3.2.12 Вибір з розглянутих сполучень параметрів ОР найбільш «несприятливих» і «сприятливих» для керування.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найсприятливішим" для керування сполученням параметрів ОК є більший на 20% час запізнення ОК для k_3 та менший на 20% для k_1 ; k_2 ; k_4 , а "найнесприятливішим" керування сполученням - на 20% для k_4 більший, а для k_2 і k_3 менший час запізнення. (k_1 за каналом $u_1 - T_p$; k_2 за каналом $u_1 - V_C$; k_3 за каналом $u_2 - T_p$; k_4 за каналом $u_2 - V_C$)

Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведено на рис. 3.22. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.23 (для V_C) та 3.24(для T_p) і зведено в таблицю 3.5.

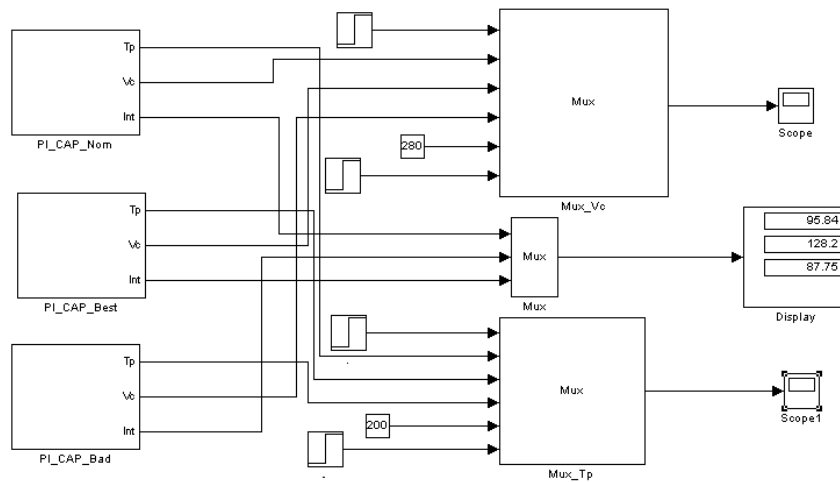


Рис. 3.22 – Схема моделювання CAP базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

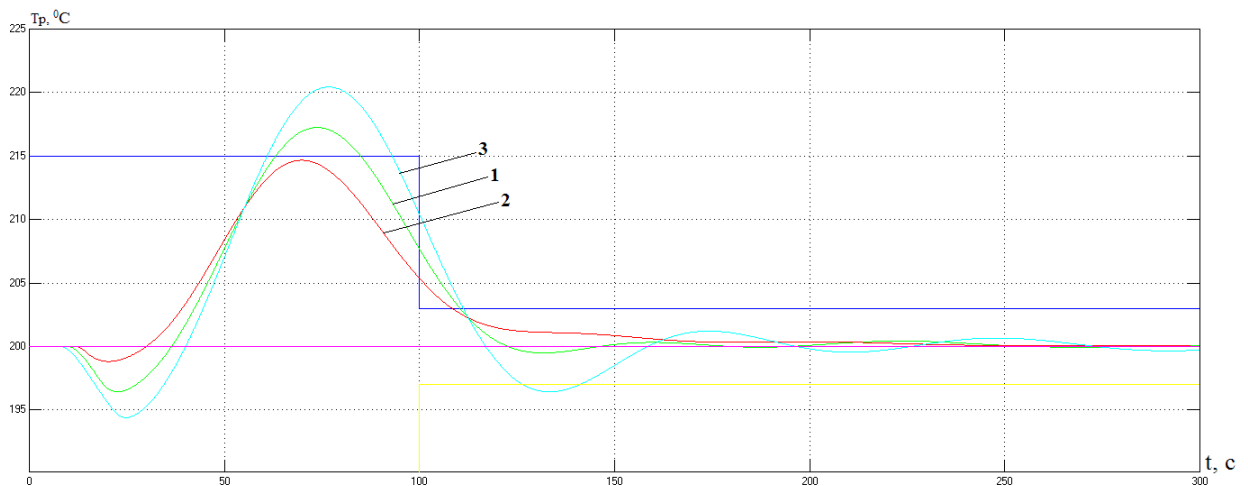


Рис. 3.23 – Результати порівняння варіантів CAP базової структури з ПІ-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

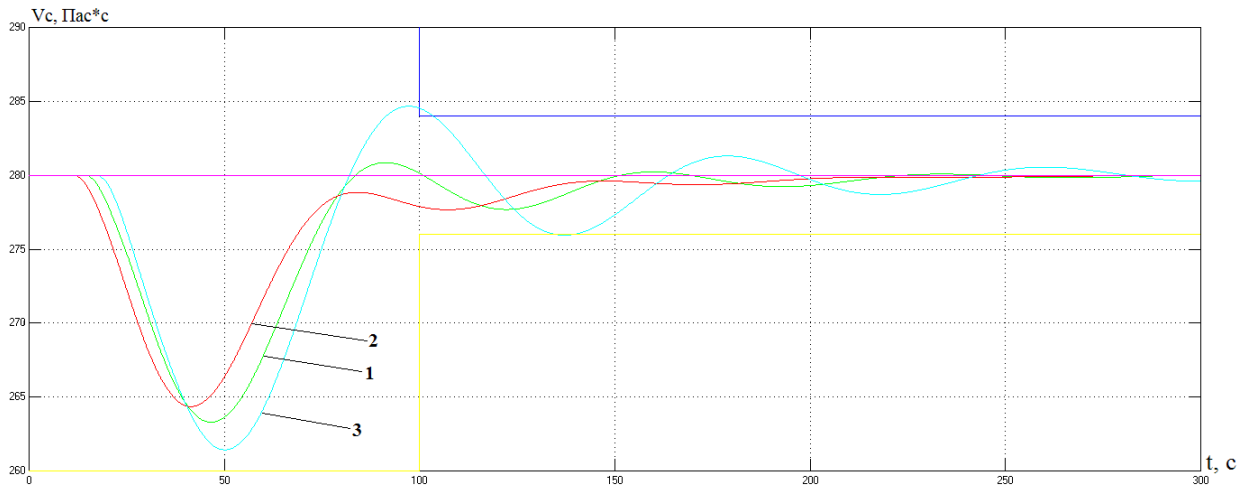


Рис. 3.24 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.5 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_p^{\text{МАКС}}$	$\Delta V_C^{\text{МАКС}}$	T_p Тпп, с	V_C Тпп, с	
Номінальні	17.25	16.7	110.34	73.3	95.84
"Найсприятливіші"	14.67	15.65	108.41	68.7	87.75
"Найнесприятливіші"	20.44	18.57	141.12	139.5	128.2

Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведено на рис. 3.25. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.26 (для V_C) та 3.27(для T_p) і зведено в таблицю 3.6.

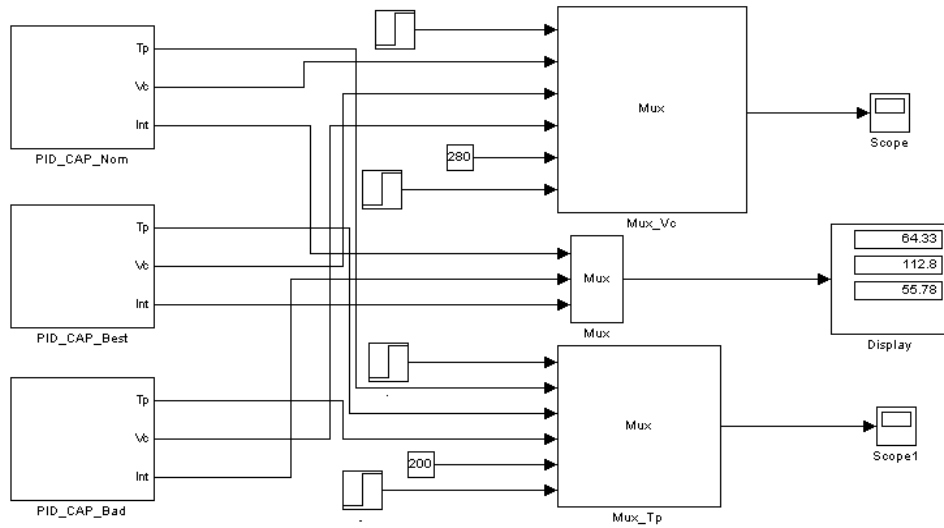


Рис. 3.25 – Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

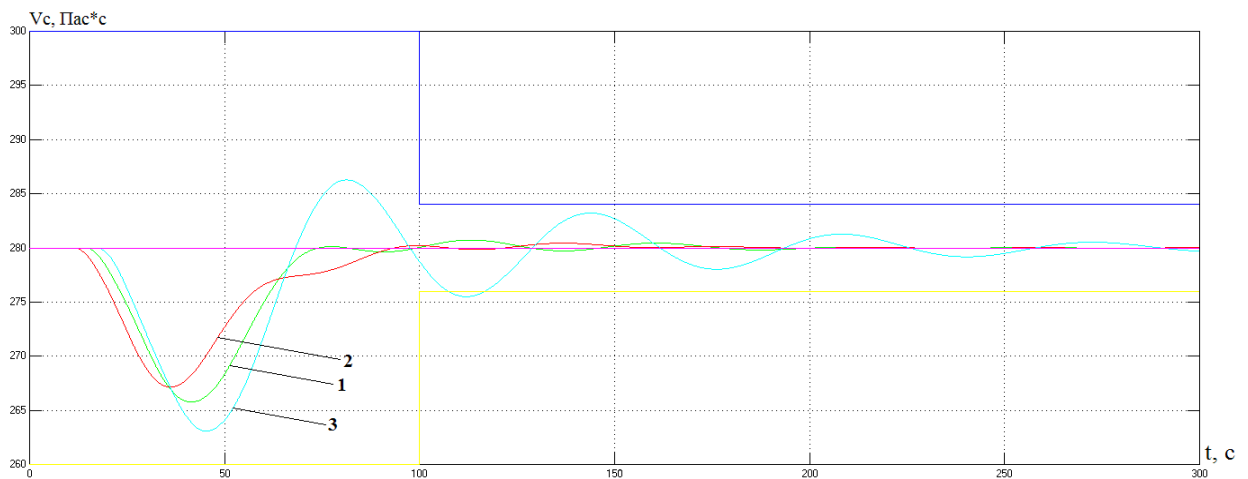


Рис. 3.26 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК. (для V_c)

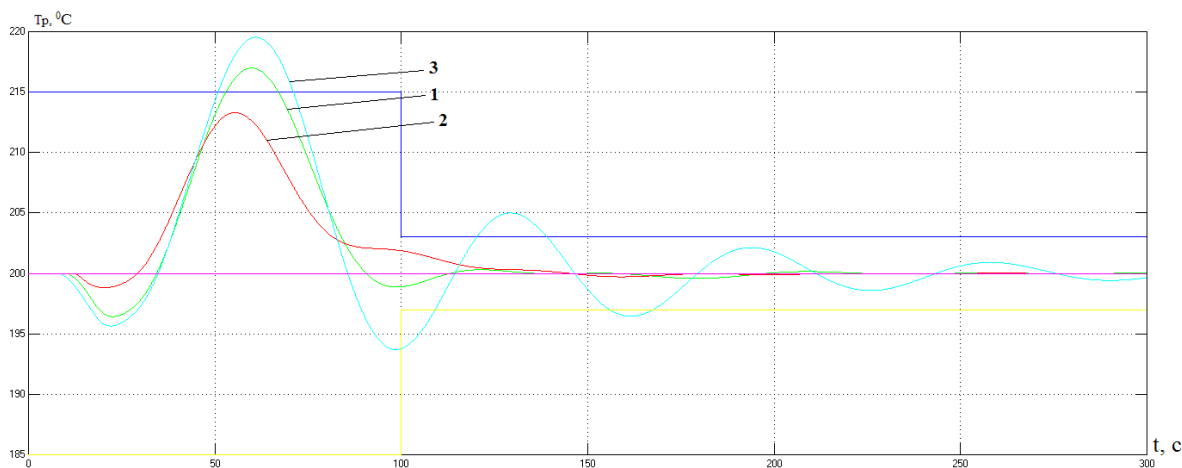


Рис. 3.27 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК. (для T_p)

Таблиця 3.6 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регулятором

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_p^{\text{МАКС}}$	$\Delta V_C^{\text{МАКС}}$	T_p Тпш, с	V_C Тпш, с	
"Номінальні"	16.98	14.23	83.9	61.8	64.31
"Найсприятливіші"	13.3	12.85	81.7	57.7	55.78
"Найнесприятливіші"	19.54	16.91	167.5	116.8	112.8

3.2.13 Аналіз сталих процесів у САР при стохастичних вхідних діях.

3.2.14 Оцінка отриманих статистично стійких результатів.

Для оцінки САР на грубість у сталому режимі будемо використовувати схеми моделювання, наведені на рис. 3.28, 3.28, 3.29. Результати моделювання САР з ПІ-регулятором наведені на рис. 6.30, а з ПІД-регулятором - на рис. 6.31.

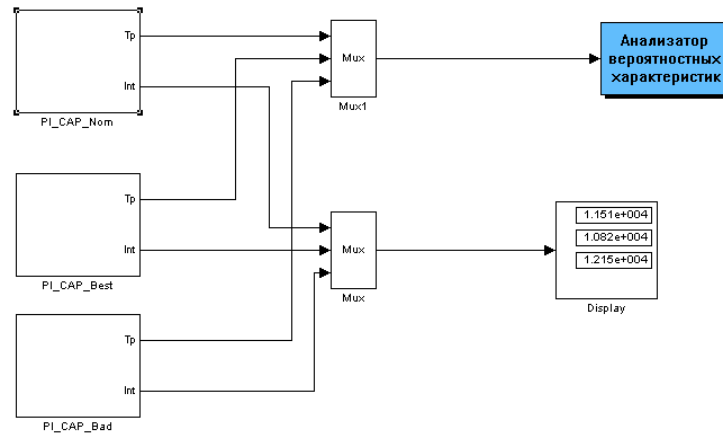


Рис. 3.28 - Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором для оцінки
грубості у сталих режимах

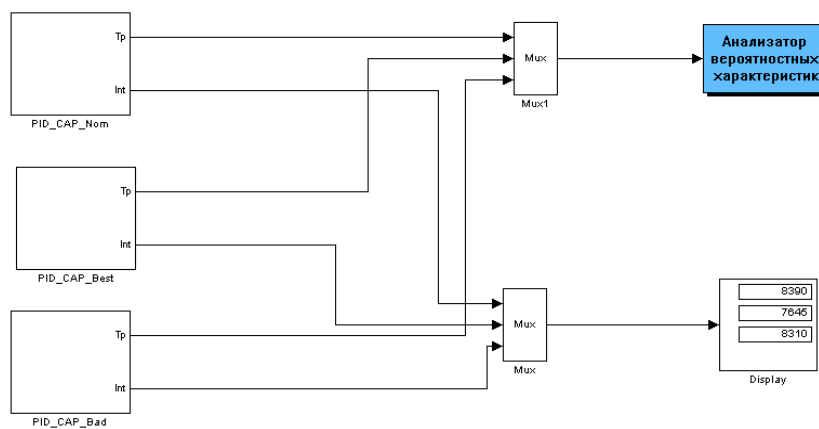


Рис. 3.29 - Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором для оцінки
грубості у сталих режимах

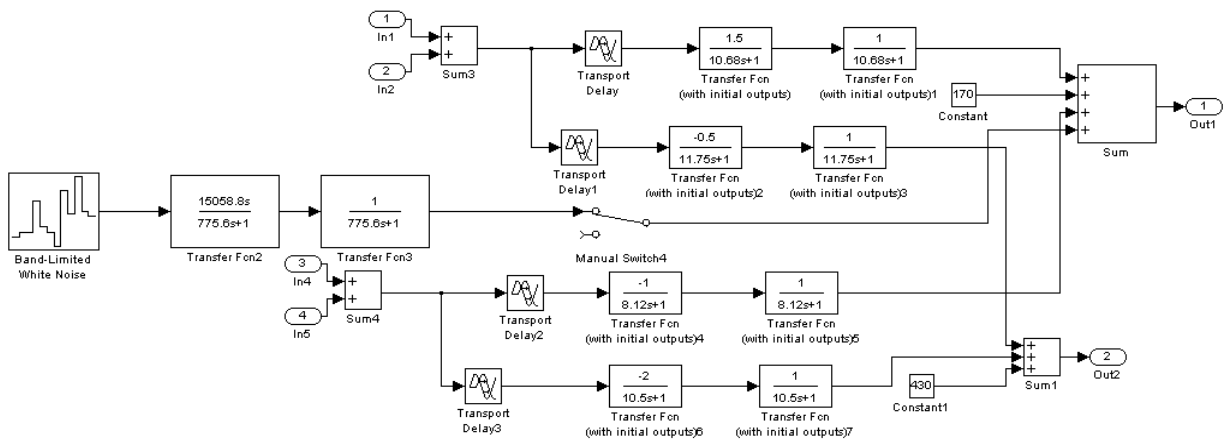


Рис. 3.30 - Структурна схема моделювання ОК для оцінки грубості САР у
сталих режимах

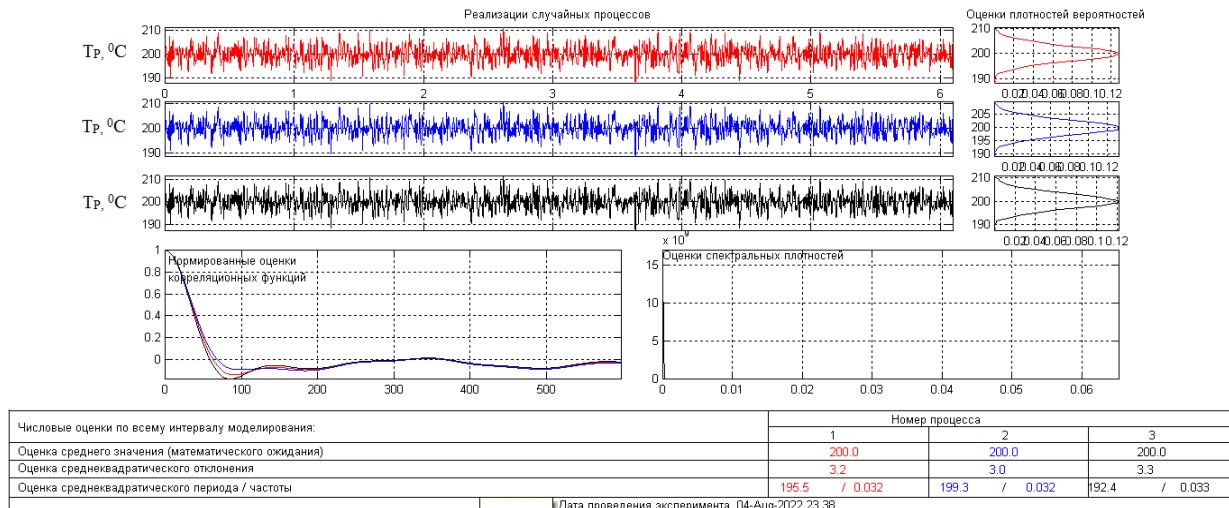


Рис. 3.31 – Результати моделювання САР з ПІ-регулятором

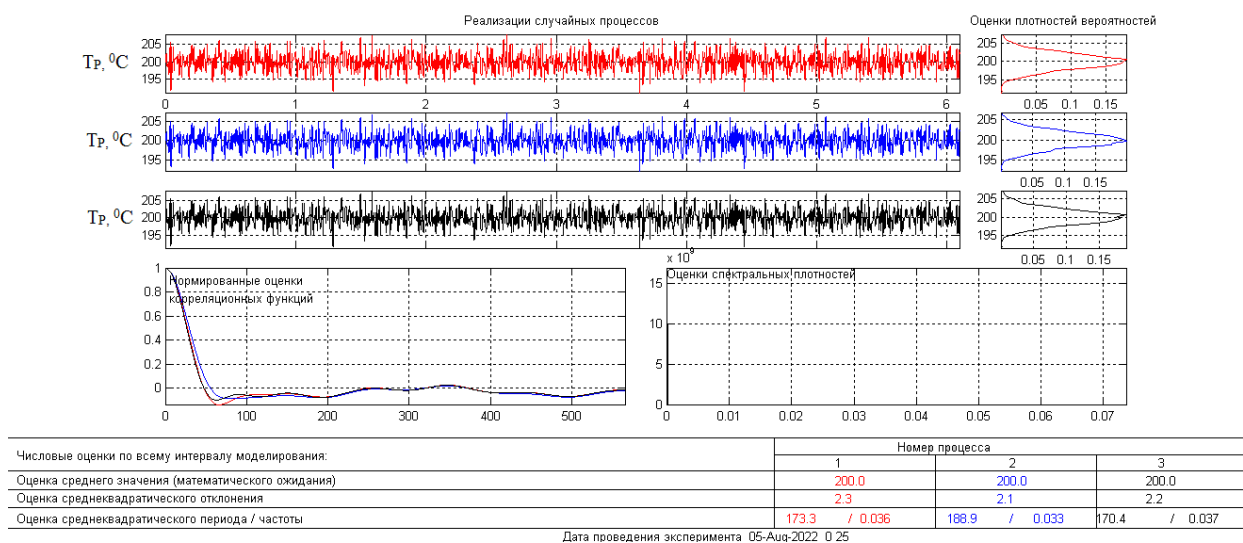


Рис. 3.32 – Результати моделювання САР з ПД-регулятором

3.2.15 Порівняльний аналіз сталих процесів для сполучень параметрів ОР, що відповідають номінальним, «несприятливим» і «сприятливим» властивостям ОР за інтегральним показником і показником, для яких встановлено гранично-припустимі значення.

Порівняння результатів моделювання проведемо за математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, середньоквадратичним періодом та інтегральним критерієм. Порівняльні результати оцінки САР на грубість з ПІ-регулятором зведено в таблицю 3.7, а САР з ПД-регулятором - в таблицю 3.8.

Таблиця 3.7 – Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	200	200	200
Середньоквадратичне відхилення	3,2	3,0	3,3
Середньоквадратичний період	195,5	199,3	192,4
Інтегральний критерій	11510	10820	12150

Таблиця 3.8 – Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	200	200	200
Середньоквадратичне відхилення	2,3	2,1	2,2
Середньоквадратичний період	173,3	188,9	170,4
Інтегральний критерій	8390	7645	8310

3.2.16 Висновки за розділом.

САР з ПІД-регулятором в перехідних режимах задовольняє гранично припустимим вимогам, а САР з ПІ-регулятором не задовольняє цим вимогам за максимальним динамічним відхиленням. САР базової структури в сталих режимах не виходить за рамки зони незначних відхилень.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПІ-регулятора (для Тр) коефіцієнт передачі зменшився на 19%, час ізодрому зменшився на 68%, інтегральний критерій зменшився на 49%, максимальне динамічне відхилення збільшилось на 40%, час перехідного процесу зменшився на 57%.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПІ-регулятора (для Vc) коефіцієнт передачі зменшився на 122%, час ізодрому зменшився на 22%,

інтегральний критерій зменшився на 49%, максимальне динамічне відхилення зменшилося на 12%, час перехідного процесу зменшився на 62%.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПІД-регулятора (для T_r) коефіцієнт передачі збільшився на 3%, час ізодрома зменшився на 50%, час упередження зменшився на 32%, інтегральний критерій зменшився на 53%, максимальне динамічне відхилення збільшилося на 56%, час перехідного процесу зменшився на 55 %.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПІД-регулятора (для V_c) коефіцієнт передачі зменшився на 106%, час ізодрома зменшився на 33%, час упередження зменшився на 18%, інтегральний критерій зменшився на 53%, максимальне динамічне відхилення зменшилося на 12%, час перехідного процесу зменшився на 55 %.

Введення до алгоритму регулювання Д-складової призводить до зменшення інтегрального критерію на 33%, зменшення максимального динамічного відхилення на 2% (для T_r) та 15% (для V_c) до зменшення тривалості перехідного процесу на 24% (для T_r) та 16% (для V_c).

І САР з ПІ-регулятором, і САР з ПІД-регулятором є грубими. Відносна різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з ПІ-регулятором (для T_r) становить за критерієм 46%, за максимальним динамічним відхиленням - 39%, а за часом перехідного процесу - 30%.

Відносна різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з ПІ-регулятором (для V_c) становить за критерієм 46%, за максимальним динамічним відхиленням - 19%, а за часом перехідного процесу - 103%.

Різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з ПІД-регулятором (для T_r) становить за критерієм 102%, за максимальним динамічним відхиленням - 47%, а за часом перехідного процесу - 105%.

Різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з ПІД-регулятором (для V_c) становить за

критерієм 102%, за максимальним динамічним відхиленням - 32%, а за часом перехідного процесу - 102%.

За більшістю показників відносна різниця показників якості перехідних процесів при "найсприятливіших" і "найнесприятливіших" для керування параметрах ОК більша для САР з ПД-регулятором. Це може означати, що САР з П-регулятором "грубіша", тобто менш чутлива до варіації параметрів ОК.

Як вже було зазначено вище, в результаті параметричної оптимізації параметри регуляторів змінилися наступним чином:

Параметри П-регулятора (для T_r): коефіцієнт передачі зменшився на 19%, час ізодрому зменшився на 68%.

Параметри П-регулятора (для V_c): коефіцієнт передачі зменшився на 122%, час ізодрому зменшився на 22%.

Параметри ПД-регулятора (для T_r): коефіцієнт передачі збільшився на 3%, час ізодрому зменшився на 50%, час упередження зменшився на 32%.

Параметри ПД-регулятора (для V_c): коефіцієнт передачі зменшився на 106%, час ізодрому зменшився на 33%, час упередження зменшився на 18%.

В принципі, параметри регуляторів в результаті параметричної оптимізації змінюються досить суттєво, але і налаштування регуляторів, отримані за інженерними методиками, дають нам стійкі перехідні процеси в САР. Тому можна зробити висновок, що інженерні методики розрахунку параметрів регулятора на практиці можуть застосуватися, хоча існує значний запас підвищення динамічної точності САР.

З усього вище сказаного можна зробити висновок, що за більшістю показників якості САР з ПД-регулятором є кращою, ніж САР з П-регулятором. Тому в подальших дослідженнях в якості базового алгоритму регулювання будемо застосовувати ПД-регулятор.

3.3 Синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності

3.3.1 Структурний синтез САР підвищеної динамічної точності

3.3.2 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_0 , взаємний вплив каналів в багатовимірної САР).

У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності САР є дія перехресних зв'язків. Основним шляхом підвищення динамічної точності саме розглянутої САР є побудова автономної САР.

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

В основу підвищення динамічної точності САР буде покладено принцип двоканальності Петрова, сутність якого у введенні додаткових каналів впливу через коригувальну зв'язок. Відповідно до принципу інваріантності Петрова структурна схема автономної САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.33.

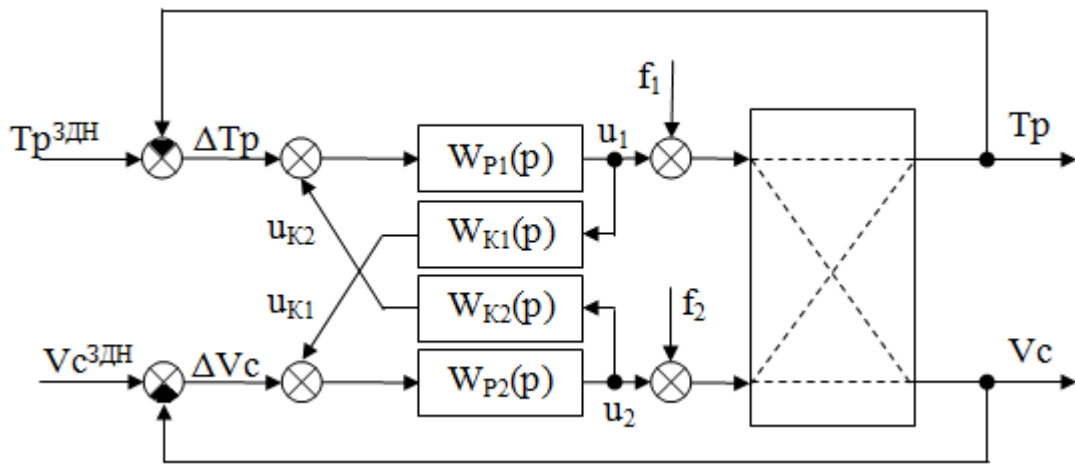


Рис. 3.33 – Структурная схема двомірної автономної САР, з міжрегуляторними корегуючими зв'язками

На схемі:

u_1 – положення регулюючого органа подачі пари;

u_2 – швидкість обертання насоса подачі олії;

u_{K1} – коригуюче завдання органа подачі пари;

u_{K2} – коригуюче завдання насоса подачі олії;

T_p – температура у реакторі;

V_c – в'язкість саломасу;

f_1, f_2 – вектор неконтрольованих збурень;

$W_{P1}(p)$ – передаточна функція регулятора температури у реакторі;

$W_{P2}(p)$ – передаточна функція регулятора в'язкості саломасу;

$W_{K1}(p)$ – передаточна функція коригуючого зв'язку температури у реакторі;

$W_{K2}(p)$ – передаточна функція коригуючого зв'язку в'язкості саломасу;

T_p^{3DH} – задане значення регульованої координати;

V_c^{3DH} – задане значення регульованої координати;

ΔT_p – помилка регулювання;

ΔV_c – помилка регулювання;

Необхідною умовою реалізації САР є фізична можливість організації додаткового каналу впливу. Достатньою умовою реалізації САР є фізична реалізація передаточної функції коригуючого зв'язку

3.3.4 Виведення передаточних функцій коригуючих зв'язків, аналіз їх структури з умов фізичної реалізованості, приведення до фізично реалізуемого виду, уявлення у формі з'єднання типових динамічних ланок та отримання перехідних характеристик.

Знайдемо передаточну функцію коригуючого зв'язку $W_{K_{12}}(p)$, що забезпечує автономність контуру регулювання V_C відносно контуру регулювання T_P . В якості вхідного параметра системи регулювання приймемо керуючу дію u_1 . Запишемо рівняння, яке буде відповідати умові автономності:

$$T_P = W_{u_1 V_C}^c(p) \cdot u_1 \Big|_{u_1 \neq 0} = 0 \quad (3.4)$$

Умова автономності виконується, якщо $W_{u_1 V_C}^c(p) = 0$; . Для забезпечення автономності при записі передаточної функції системи за означеним каналом замкненими контурами САР можна знехтувати. Звідси передаточна функція коригуючого зв'язку:

$$W_{12}^k(p) = - \frac{W_{12}^o(p)}{W_2^p(p) \cdot W_{22}^o(p)} \quad (3.5)$$

Для коригуючого зв'язку $W_{K_{21}}(p)$, що забезпечує автономність контуру регулювання T_P відносно контуру регулювання V_C . В якості вхідного параметра системи регулювання приймемо керуючу дію u_2 . Запишемо рівняння, яке буде відповідати умові автономності:

$$V_C = W_{u_2 T_P}^c(p) \cdot u_2 \Big|_{u_2 \neq 0} = 0 \quad (3.6)$$

Умова автономності виконається, якщо $W_{u_2 T_p}^c(p) = 0$. Звідси передаточна функція коригуючого зв'язку:

$$W_{21}^{\kappa}(p) = -\frac{W_{21}^o(p)}{W_1^p(p) \cdot W_{11}^o(p)} \quad (3.7)$$

Якщо

$$W_{11}^o(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-23,7p}}{16,5p + 1}$$

$$W_{12}^o(p) = \frac{-0,5 \cdot e^{-32,1p}}{16,75p + 1}$$

$$W_{21}^o(p) = \frac{-1 \cdot e^{-15,35p}}{11,62p + 1}$$

$$W_{22}^o(p) = \frac{-2 \cdot e^{-21,6p}}{15p + 1}$$

$$W_{p1}(p) = 0,52 \cdot \left(1 + \frac{1}{24,1p} + 8p \right)$$

$$W_{p2}(p) = -0,7 \cdot \left(1 + \frac{1}{28,9p} + 8,9p \right)$$

Тоді

$$\begin{aligned} W_{K_1}(p) &= -\frac{W_{12}^o(p)}{W_2^p(p) \cdot W_{22}^o(p)} = -\frac{\frac{-0,5 \cdot e^{-32,1p}}{16,75p + 1}}{-0,7 \cdot \left(1 + \frac{1}{28,9p} + 8,9p \right) \cdot \frac{-2 \cdot e^{-21,6p}}{15p + 1}} = \\ &= \frac{0,5}{1,4} \cdot e^{(-32,1p + 21,6p)} \cdot \frac{28,9 \cdot 15 \cdot p^2 + 28,9p}{(16,75p + 1) \cdot (28,9 \cdot 8,9 \cdot p^2 + 28,9p + 1)} = \\ &= 0,35 \cdot e^{-10,5p} \cdot \frac{28,9p \cdot (15p + 1)}{(16,75p + 1) \cdot (257,2p^2 + 28,9p + 1)} \end{aligned}$$

Отримана передаточна функція корегуючого зв'язку є фізично реалізуємым, оскільки містить ланку чистого запізнення.

$$\begin{aligned}
 W_{K_2}(p) &= -\frac{W_{21}^o(p)}{W_1^p(p) \cdot W_{11}^o(p)} = -\frac{-1 \cdot e^{-15,35p}}{11,62p+1} = \\
 &= \frac{1}{0,8} \cdot e^{(-15,35p+23,7p)} \cdot \frac{24,1 \cdot 16,5 \cdot p^2 + 24,1p}{(11,62p+1) \cdot (24,1 \cdot 8 \cdot p^2 + 24,1p+1)} = \\
 &= 1,3 \cdot e^{8,35p} \cdot \frac{24,1p \cdot (16,5p+1)}{(11,62p+1) \cdot (192,8p^2 + 24,1p+1)}
 \end{aligned}$$

Отримана передаточна функція корегуючого зв'язку є фізично нереалізуємым, оскільки містить ланку чистого випередження. Для забезпечення фізичної реалізації передаточної функції проведемо заміну:

$$e^{8,35p} = 1 + \frac{8,35p}{0,8p+1}$$

Тоді передаточна функція фізично реалізуємого корегуючого зв'язку буде мати вигляд:

$$W_{K_2}(p) = 1,3 \cdot \left(1 + \frac{8,35p}{0,8p+1}\right) \cdot \frac{24,1p \cdot (16,5p+1)}{(11,62p+1) \cdot (192,8p^2 + 24,1p+1)}$$

Структурні схеми моделювання передатних функцій корегуючих зв'язків наведені на рис. 3.34, а перехідні характеристики - на рис. 3.35 та 3.36

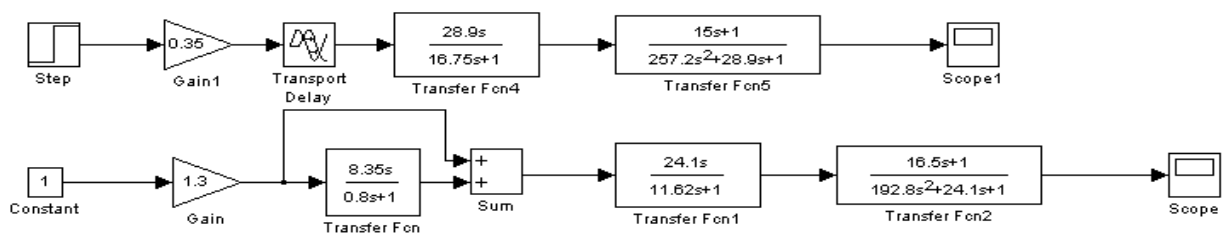


Рис. 3.34 – Структурні схеми моделювання передатних функцій корегуючих зв'язків

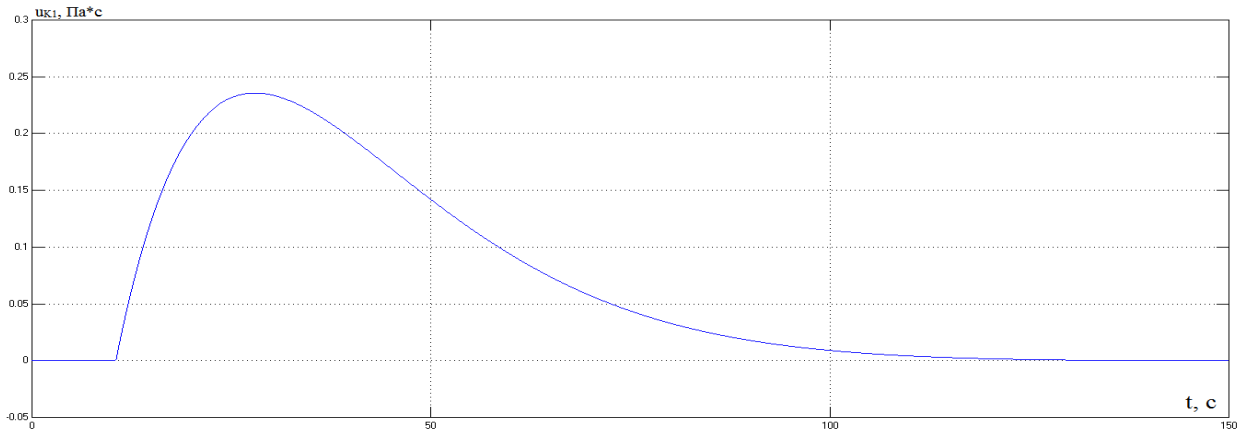


Рис. 3.35 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку ($W_{K1}(p)$)

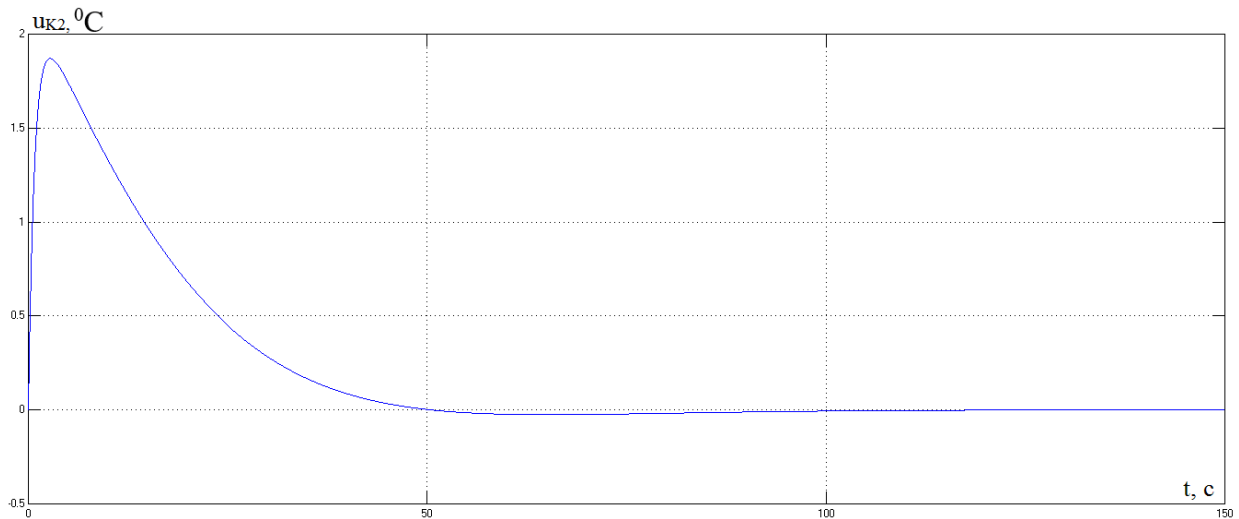


Рис. 3.36 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку ($W_{K2}(p)$)

3.3.5 Спрощення коригуючих зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації і параметричний синтез САР при детермінованих вхідних діях

3.3.6 Аналіз складності технічної реалізації коригувальних зв'язків проводиться з урахуванням доцільності такої реалізації та можливостей технічних засобів. За результатами такого аналізу роблять висновок про спрощення ПФКЗ за рахунок зниження їх розмірності, апроксимації запізнення дрібно-раціональними передаточними функціями і т.п. зі збереженням загальних властивостей зв'язків

Отримані передаточні функції корегуючих зв'язків представлені дуже складними функціями, тому їх треба спростити, при цьому зберігти їх диференціюючі властивості. Спрощені передаточні функції коригуючих зв'язків будуть мати такий вигляд:

$$W_{K1}(p) = K_K \cdot e^{-T_{K3}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{(T_{K2}p + 1)^2}; \quad W_{K2}(p) = K_K \cdot \left(1 + \frac{T_{K1}p}{0,1 \cdot T_{K1}p + 1}\right) \cdot \frac{T_{K2}p}{(T_{K3}p + 1)^2}. \quad (3.8)$$

3.3.7 Вибір початкових наближень параметрів спрощених корегуючих зв'язків, який здійснюється з умов близькості перехідних характеристик корегуючих зв'язків до і після їх спрощення, де можливо застосувати будь-який метод як оптимізаційного, так і звичайного.

Як початкові наближення параметрів коригуючого зв'язку $W_{K1}(p)$ використаєм наступні значення параметрів:

$$K_K = 0,35; T_{K1} = 28,9; T_{K2} = 15.$$

Як початкові наближення параметрів коригуючого зв'язку $W_{K2}(p)$ використаєм наступні значення параметрів:

$$K_K = 1,3; T_{K1} = 8,35; T_{K2} = 24,1; T_{K3} = 11,62.$$

Для уточнення початкових наближень параметрів корегуючих зв'язків скористаємося схемами моделювання, які наведені на рис. 3.37, 3.38. Результати розрахунків початкових наближень параметрів корегуючих зв'язків наведені на рис. 3.39, 3.40, а результати моделювання - на рис. 3.41, 3.42.

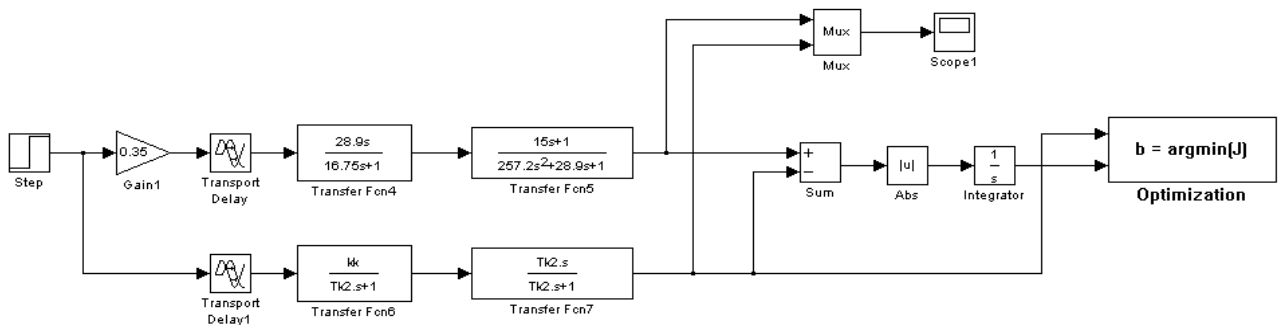


Рис. 3.37 – Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку ($W_{K1}(p)$)

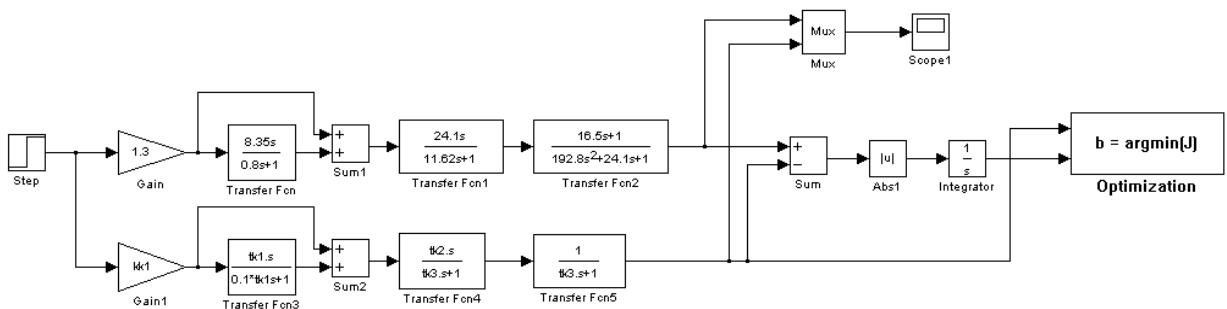
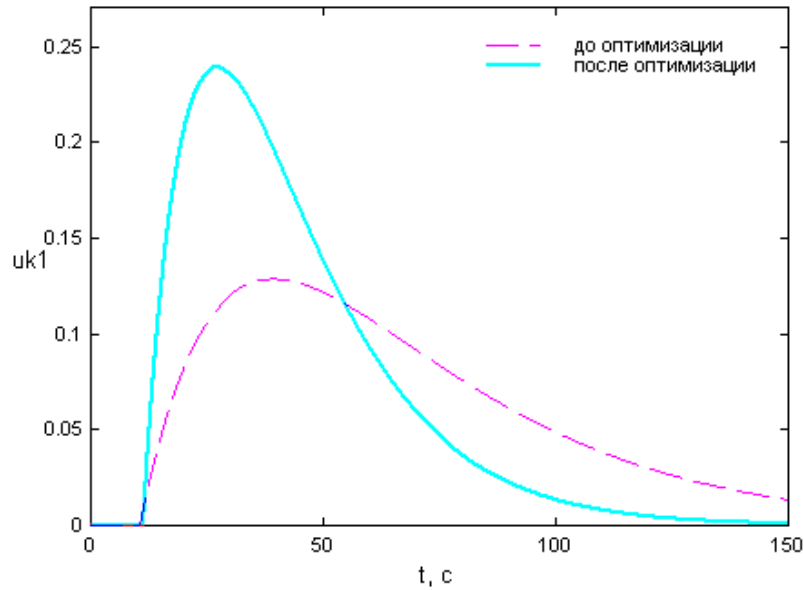
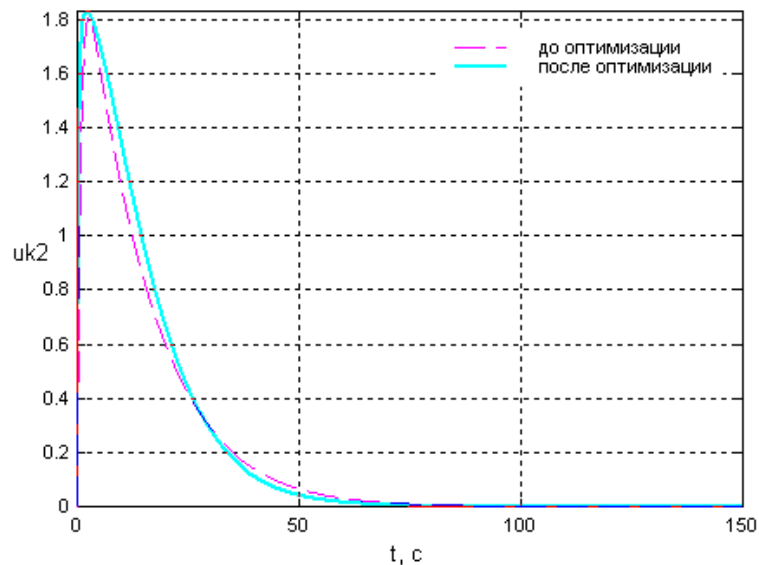


Рис. 3.38 – Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку ($W_{K2}(p)$)



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
kk	0.65046	0	0.35	10	до - 6.1669
Tk1	11.3076	0	10.5	200	после - 0.47745
Tk2	15.8362	0.5	28.9	200	оптимизации.
					Количество шагов
					процедуры оптимизации:
					максимальное - 1500
					фактическое - 114

Рис. 3.39 – Результаты розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку ($W_{k1}(p)$)



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
kk1	1.7169	0	1.3	10	до - 5.3509
tk1	3.6665	0	8.35	150	после - 2.5894
tk2	19.3727	0.5	24.1	150	оптимизации.
tk3	8.5566	0.5	11.62	150	Количество шагов
					процедуры оптимизации:
					максимальное - 1500
					фактическое - 166

Рис. 3.40 – Результаты розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку ($W_{k2}(p)$)

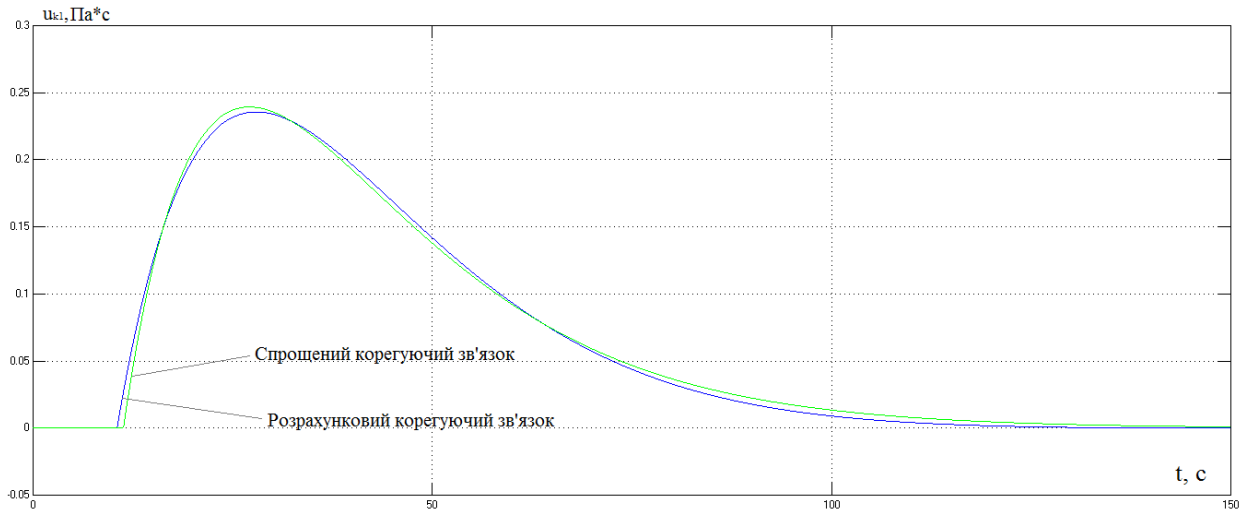


Рис. 3.41 – Перехідна характеристика розрахункового та спрощеного коригуючого зв'язку ($W_{k1}(p)$)

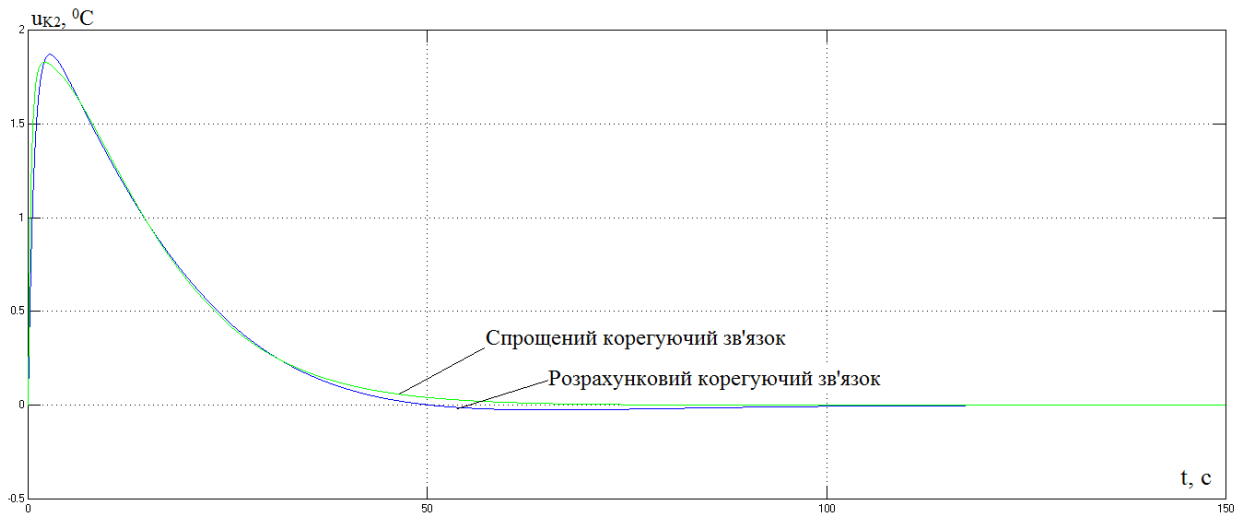


Рис. 3.42 – Перехідна характеристика розрахункового та спрощеного коригуючого зв'язку ($W_{k2}(p)$)

3.3.8 Розробка структурної схеми цифрового імітаційного моделювання і параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності для детермінованих (ступінчастих) вхідних дій.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.43, а результати оптимізації - на рис. 3.44.

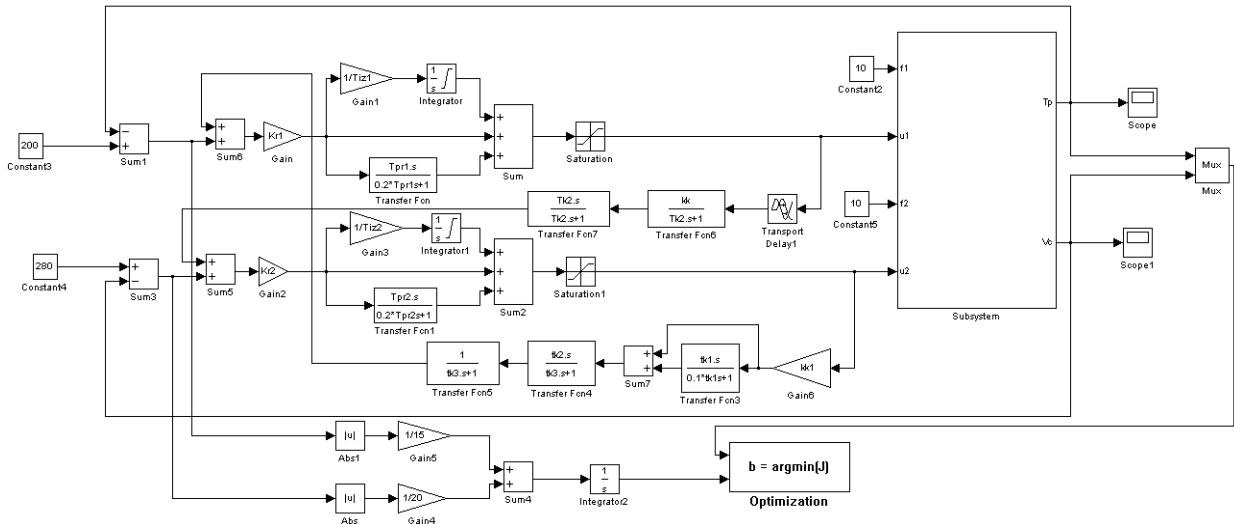
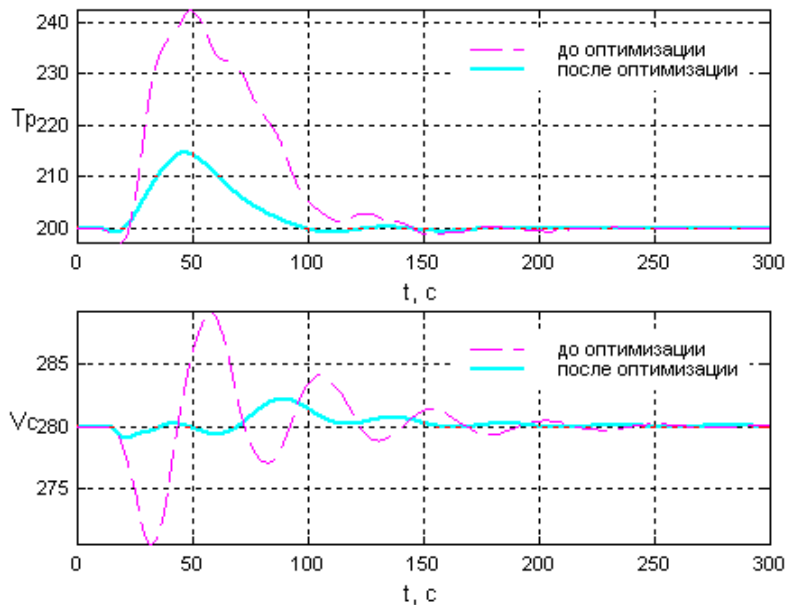


Рис. 3.43 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв’язку



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности: до - 171.4497 после - 45.8985 оптимизации.
kk	0.51373	0	0.6	10	
Tk1	0.89879	0	11.3	200	Количество шагов процедуры оптимизации: максимальное - 1500 фактическое - 443
Tk2	18.3492	0.5	15.8	200	
kk1	3.2276	0	1.7	10	
tk1	3.6932	0	3.6	150	
tk2	0.5236	0.5	19.3	150	
tk3	12.7544	0.5	8.5	150	

Рис. 3.44 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв’язку

3.3.9 Аналіз грубості САР підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об’єкту регулювання.

3.3.10 Вибір параметрів ОУ, за яким доцільно оцінити грубість САР значень їх варіацій та планування машинного експерименту з оцінки грубості.

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

3.3.11 Порівняльний. аналіз перехідних процесів за критерієм оптимальності і показникам, для яких встановлено гранично-припустимі значення.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведено на рис. 3.45. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК САР дає перехідні процеси, що сходяться, а значить, САР є грубою.

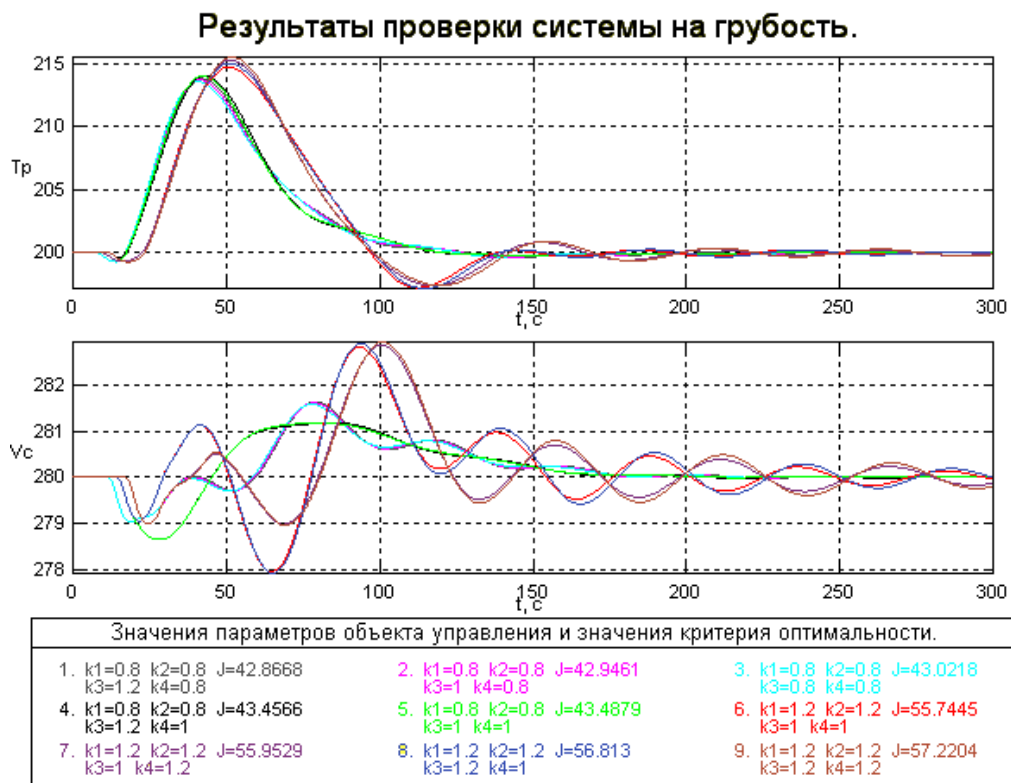


Рис. 3.45 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК

3.3.12 Вибір з розглянутих сполучень параметрів ОР найбільше «несприятливих» і «сприятливих» для керування.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, найбільш "сприятливим" для керування є номінальний час запізнення за каналом керування, і запізнення, менше на 20% за каналом контрольованого збурення. Найбільш "несприятливим" для керування є поєднання параметрів ОК, що відповідає часу запізнення по обох каналах, на 20% більшому їх номінальних значень.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК, "сприятливими" і "несприятливими" для керування наведена рис. 3.46. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.47, 3.48 і зведені у таблицю 3.9.

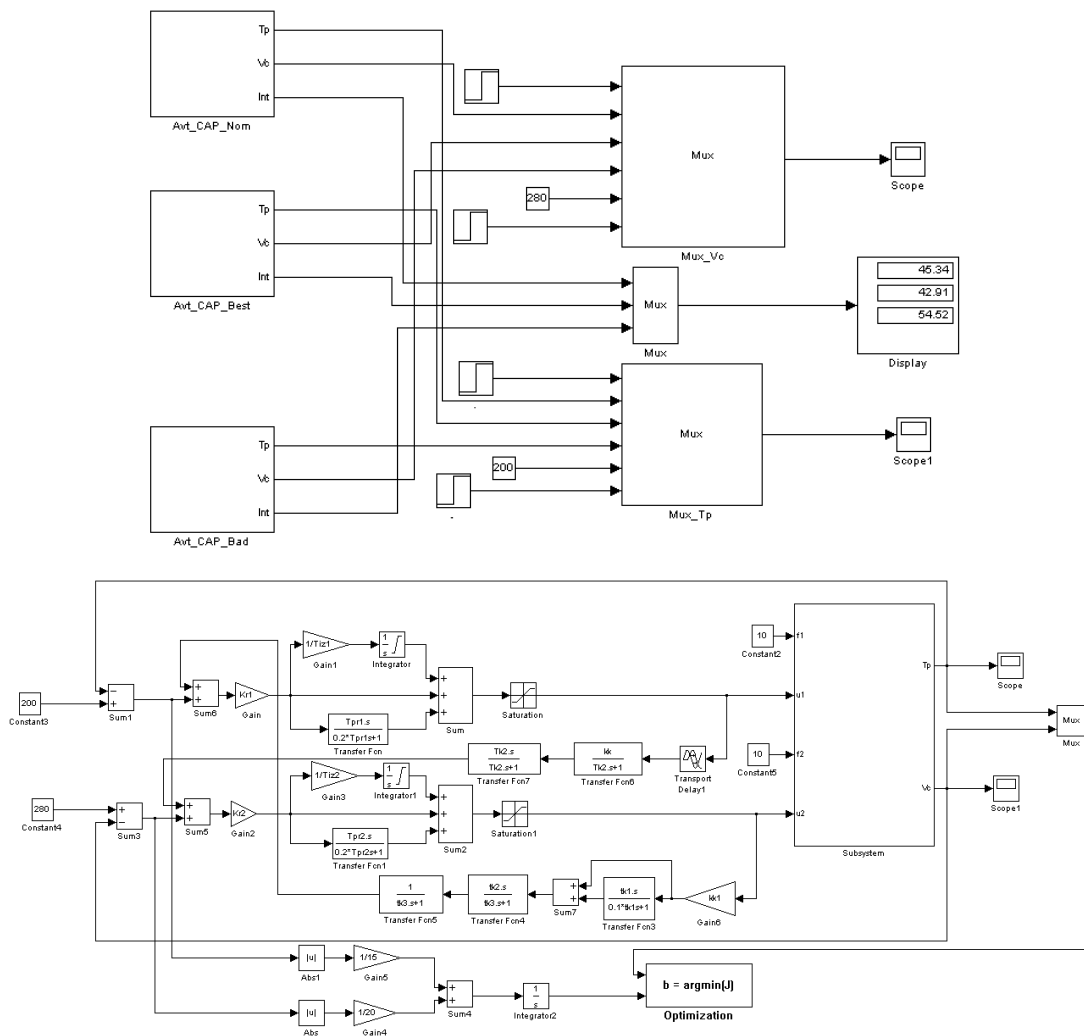


Рис. 3.46 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

Таблиця 3.9 – Результати порівняння варіантів САР підвищеної динамічної точності

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_P^{\text{МАКС}}$	$\Delta V_C^{\text{МАКС}}$	T_P Тпш, с	V_C Тпш, с	
Номінальні	12.1	1.9	82.3	0	45.34
"Найсприятливіші"	11.6	1.2	77.2	0	42.91
"Найнесприятливіші"	12.8	2.6	86.8	0	54.52

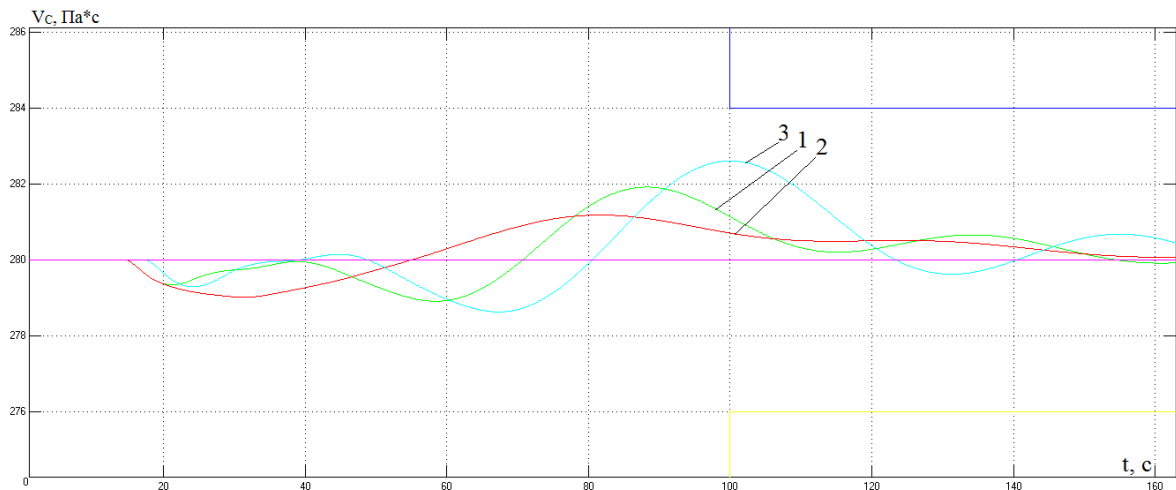


Рис. 3.47 – Результати порівняння варіантів САР підвищеної динамічної точності: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК. (для V_C)

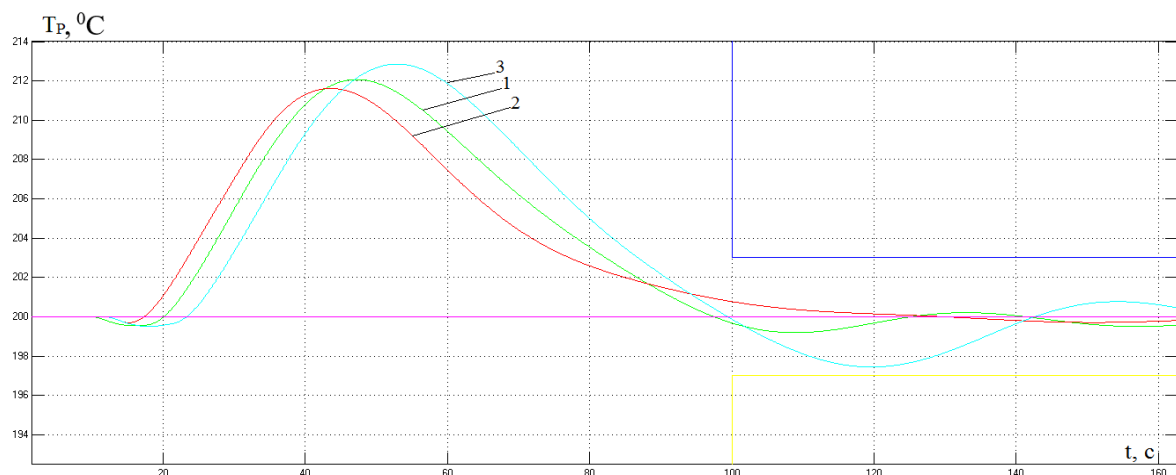


Рис. 3.48 – Результати порівняння варіантів САР підвищеної динамічної точності: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК. (для T_P)

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

3.3.13 Аналіз сталих процесів у САР при стохастичних вхідних діях.

3.3.14 Оцінка отримання статистично стійких результатів.

Для оцінки САР на грубість в сталому режимі будемо використовувати схему моделювання, наведену на рис. 3.49. Результати моделювання наведені на рис. 3.50 і в таблиці 3.10.

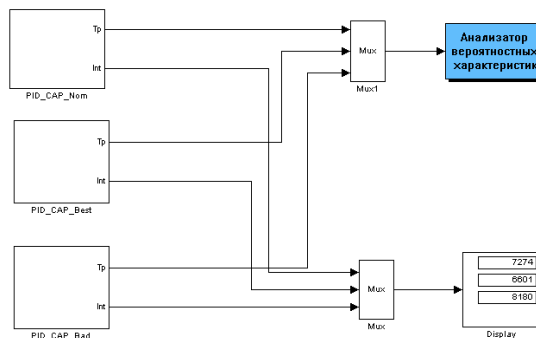


Рис. 3.49 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оцінки на грубість в сталих режимах

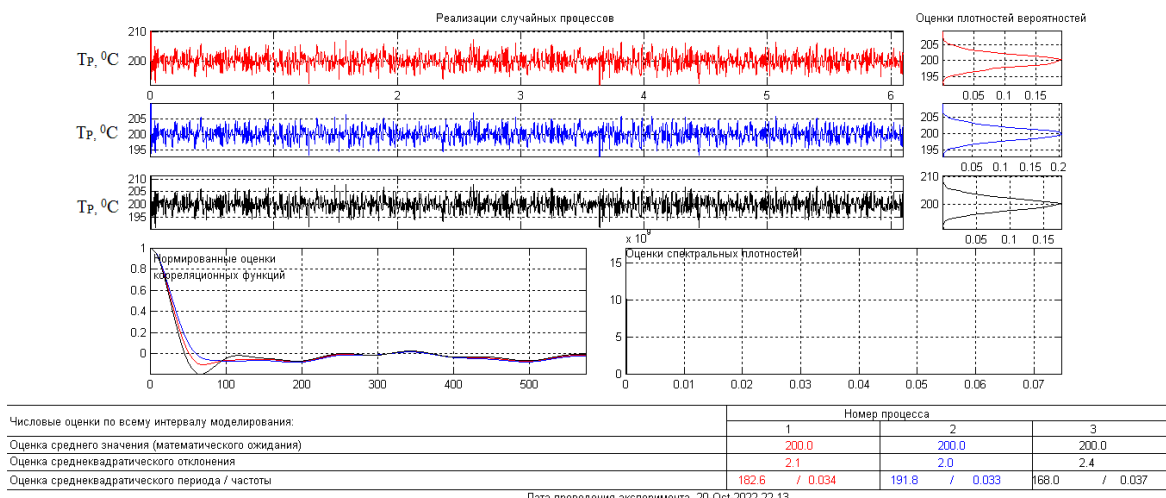


Рис. 3.50 - Результаты оцінки САР підвищеної динамічної точності на грубість в сталих режимах

Таблиця 3.10 – Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності
на грубість в сталих режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	200	200	200
Середньоквадратичне відхилення	2,1	2,0	2,4
Середньоквадратичний період	182,6	191,8	168,0
Інтегральний критерій	7274	6601	8180

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

3.3.16 Порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимальних САР за величинами критеріїв та показників, на які встановлені гранично-допустимі значення.

Для порівняння якості роботи САР базової структури та підвищеної динамічної точності розроблена структурна схема моделювання, яка наведена на рис. 3.51. Результати порівняння наведені на рис. 3.52 (для V_c), 3.53 (для T_p) і в таблиці 3.11.

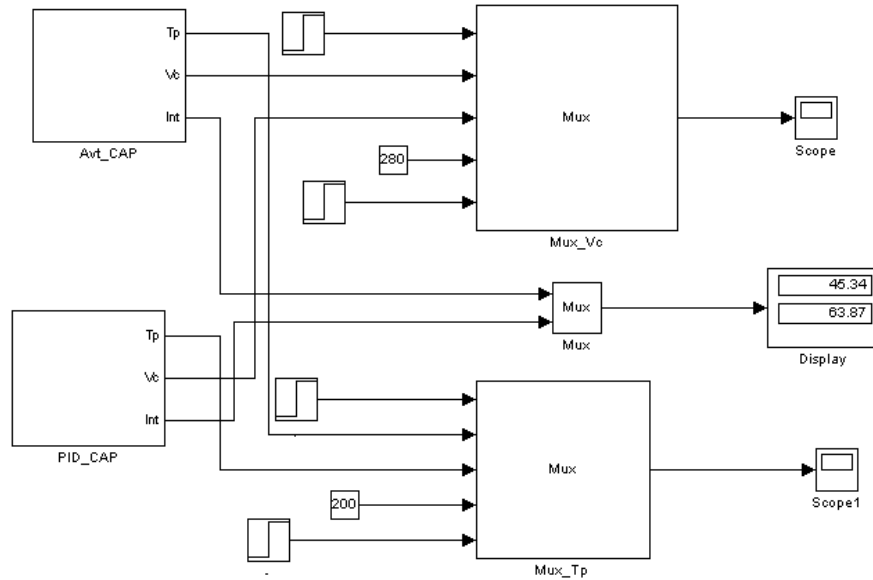


Рис. 3.51 - Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

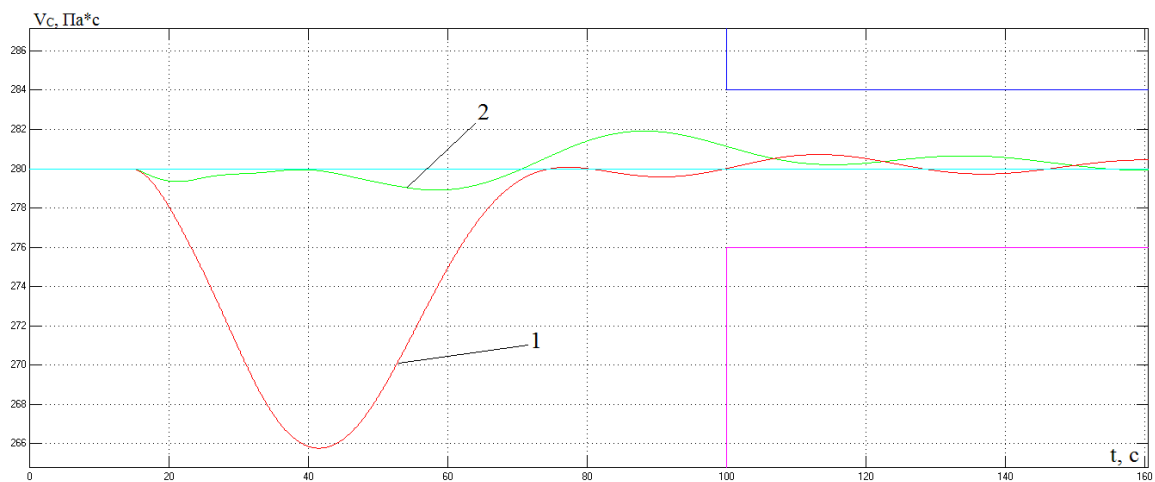


Рис. 3.52 – Перехідні процеси в 1 - САР базової структури та 2 - САР підвищеної динамічної точності.

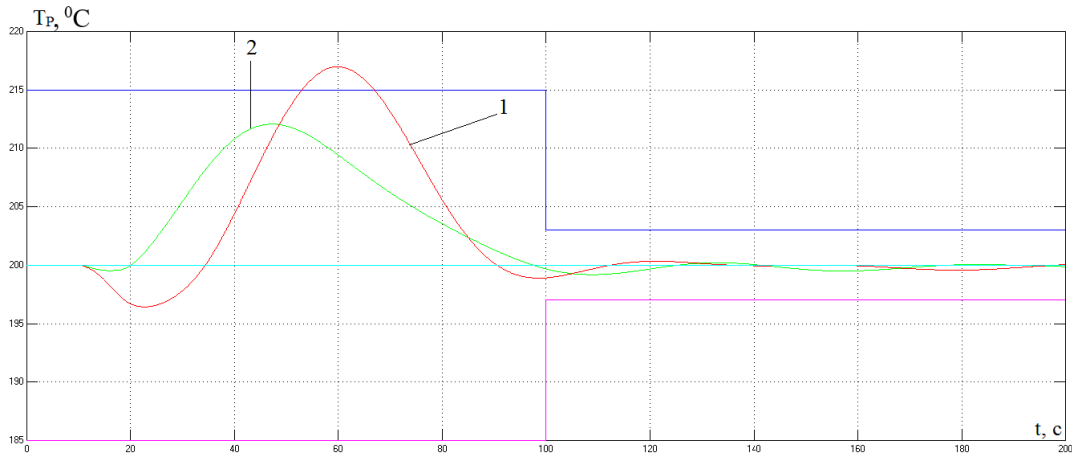


Рис. 3.53 – Перехідні процеси в 1 - САР базової структури та 2 - САР підвищеної динамічної точності.

Таблиця 3.11 – Результати порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності у перехідних режимах

Структура САР	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_p^{\text{МАКС}}$	$\Delta V_C^{\text{МАКС}}$	$T_p T_{\text{пп}}, \text{с}$	$V_C T_{\text{пп}}, \text{с}$	
Базова	16.98	14.23	83.9	61.8	63.87
Підвищеної динамічної точності	12.1	1.9	82.3	0	45.34

3.3.17 Порівняльний аналіз встановлених процесів параметрично оптимальних (або детермінованих входних впливів) САР за інтегральними показниками і показниками, на які встановлені гранично-допустимі значення.

Для порівняння якості роботи САР базової структури і підвищеної динамічної точності у встановлених режимах, розроблена структурна схема моделювання, наведена на рис. 3.54. Результати порівняння наведені на рис. 3.55 і в таблиці 3.12.

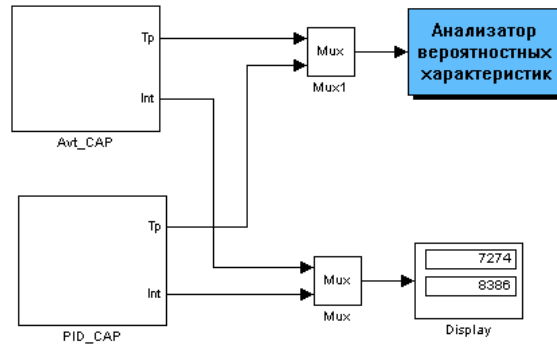


Рис. 3.54 – Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності в встановлених режимах

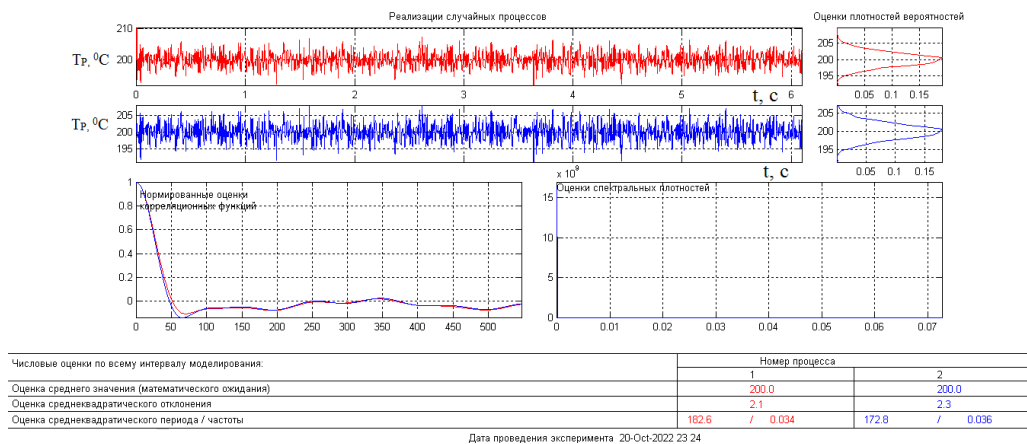


Рис. 3.55 – Результати порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності у перехідних режимах

Таблиця 3.12 – Результати порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності у перехідних режимах

Показники якості	Структура САР	
	Базова	Підвищеної динамічної точності
Математичне очікування	200	200
Середньоквадратичне відхилення	2,3	2,1
Середньоквадратичний період	172,8	182,6
Інтегральний критерій	8386	7274

3.3.18 Порівняльний аналіз грубості параметрично оптимальних САР.

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

3.3.19 Висновки по розділу.

САР підвищеної динамічної точності задовольняє гранично припустимим вимогам, а за температурою у реакторі перехідний процес не виходить за межі зони незначних відхилень.

Після підвищення динамічної точності САР інтегральний критерій зменшився на 38%, за температурою у реакторі максимальне динамічне відхилення зменшилося на 28% та час перехідного процесу зменшився на 2%, а для в'язкості саломасу максимальне динамічне відхилення зменшилося на 86% та час перехідного процесу став рівним нулю, оскільки перехідний процес перестав виходити за зону незначних відхилень.

Відносна різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з підвищеною динамічною точністю (для T_p) становить за критерієм 30%, за максимальним динамічним відхиленням - 10%, а за часом перехідного процесу - 12%.

Відносна різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з підвищеною динамічною точністю (для V_c) становить за критерієм 30%, за максимальним динамічним відхиленням - 117%, а за часом перехідного процесу він не змінився.

Різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з ПІД-регулятором (для T_p) становить за критерієм 102%, за максимальним динамічним відхиленням - 47%, а за часом перехідного процесу - 105%.

Різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з ПІД-регулятором (для V_c) становить за критерієм 102%, за максимальним динамічним відхиленням - 32%, а за часом перехідного процесу - 102%.

За більшістю показників відносна різниця показників якості перехідних процесів при "найсприятливіших" і "найнесприятливіших" для керування параметрах ОК для САР з ПД-регулятором більша ніж для автономної САР. Це може означати, що САР з автономної структури "грубіша", тобто менш чутлива до варіації параметрів ОК.

Оскільки для САР підвищення динамічної точності дає суттєве покращення показників якості регулювання у порівнянні з САР базової структури, тому САР підвищеної динамічної точності використовувати доцільно.

4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом гідрогенізації жирів

4.1 Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом гідрогенізації жирів

В якості технологічного об'єкта (ТО) модернізації системи автоматизації обрані три реактори лінії для виробництва саломаса, апаратурно-технологічна схема котрого наведена на рис.4.1.

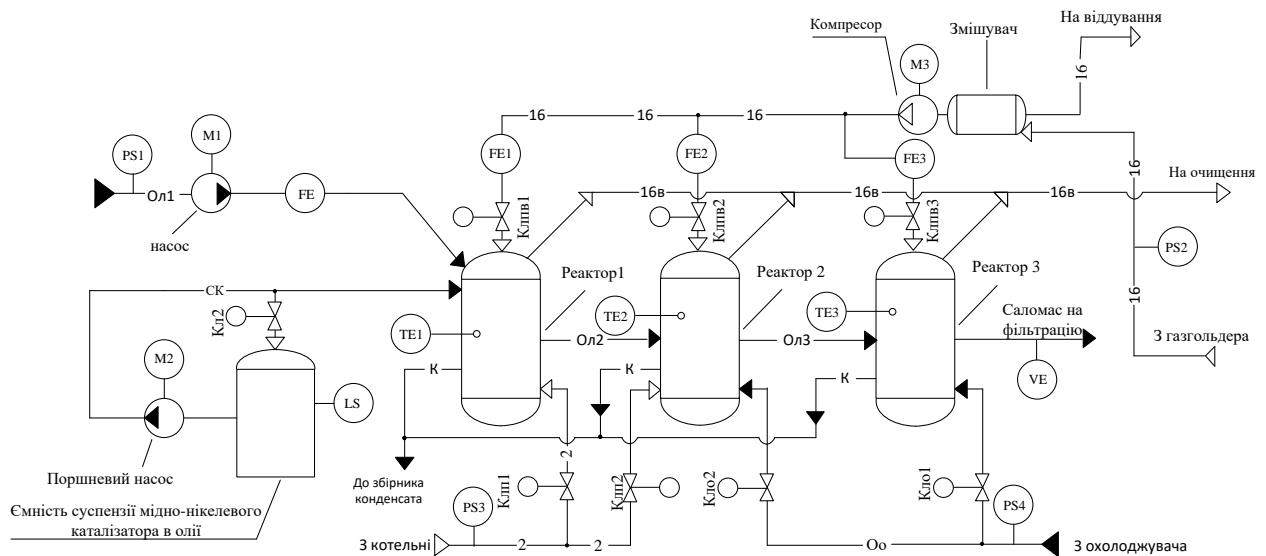


Рис. 4.1 – Апаратурно-технологічна схема гідрогенізації жирів

Гідрогенізація жирів складається з трьох реакторів. Процес гідрогенізації проходить наступним чином. У перший реактор насосом M1 подається олія; одночасно з ємності туди же подається суспензія мідно-нікелевого каталізатора завдяки поршневого насосу M2. У нижню частину реакторів 1, 2 та 3 через розподільники подається водень для поглинання при гідрогенізації, а його надлишок - для барботажа через шар олії; крім того, кожен реактор має механічну мішалку для інтенсифікації процесу. Усередині реактора біля стін розташований змішувач, в який подається пара для підігріву (зазвичай в перший та другий реактор) або олія для охолодження (другого та третього реактора).

Пройшовши часткову реакцію гідрогенізації олії з першого реактора через переливні патрубки надходить послідовно у другий та третій реактори.

На виході з третього реактора процес гідрогенізації завершується, і отриманий продукт, званий саломасом, надходить до фільтрації.

Перед початком технологічного процесу необхідно перевірити передпускові умови, тобто: наявність достатнього тиску олії, пари та охолоджувальної олії, наявність водню з газгольдера та рівень ємності каталізатора в олії. За наявністю вказаних умов необхідно сповістити персонал про наступний пуск, включивши на деякий узгоджений час звукову передпускову сигналізацію. Після припинення дії сигналізації необхідно забезпечити подачу надходження олії до першого реактора у заданому обсязі, згідно до регламенту. Далі, згідно до інструкції треба заповнити потрібний рівень ємності олії у каталізаторі. Після цього необхідно забезпечити подачу охолоджувальної олії до другого та третього реактора, і так само забезпечити подачу пара з котельні до першого та другого реактора. Наостанок, необхідно забезпечити подачу водню з газгольдера до першого, другого та третього реактор отримавши достатній тиск компресором.

На рис. 4.2. наведено блок-схему регламенту функціонування (РФ) реакторів за його пуском.

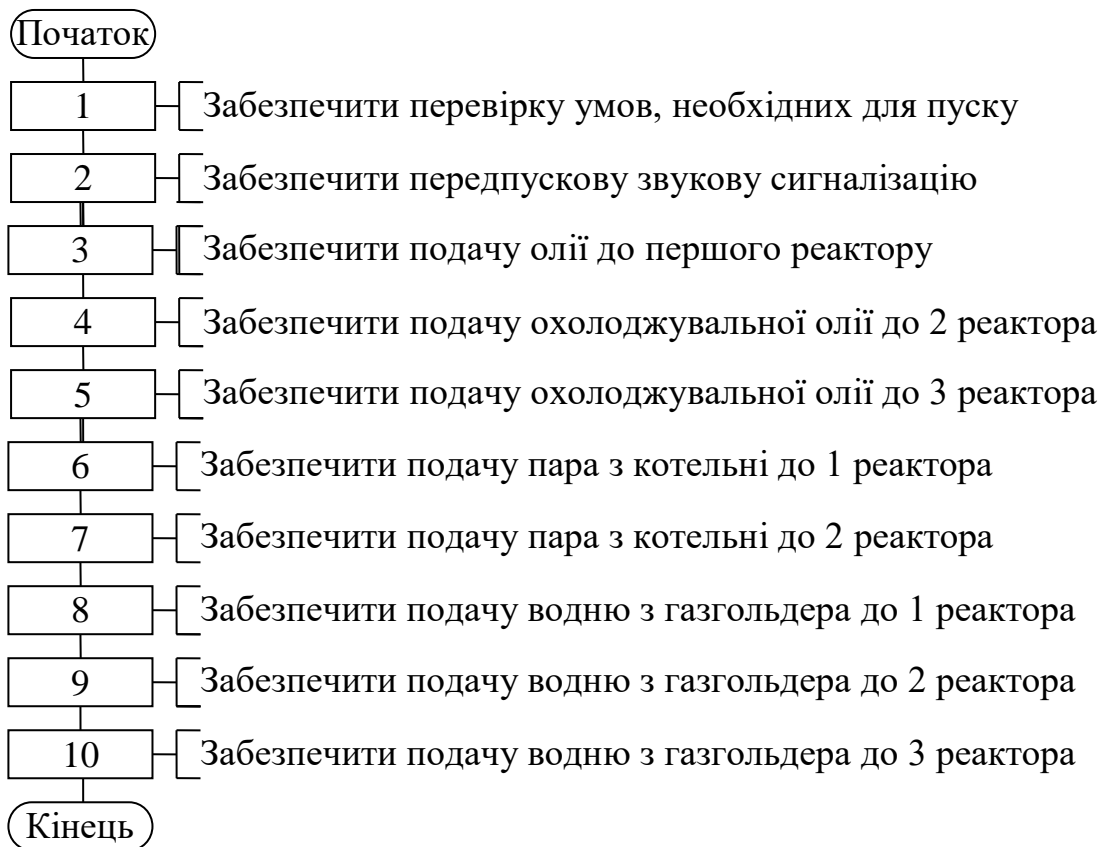


Рис. 4.2 – Блок-схема регламенту функціонування реактора за його пуском

Для зупинки реакторів спочатку необхідно припинити подавати водень з газгольдера до першого, другого та третього реактора. Наступним етапом буде припиненн подачі пари з котельні до реакторів, через деякий проміжок часу припиняється подачі олії охолоджувальної олії до реакторів. Далі, згідно до інструкції з експлуатації агрегату, треба припинити подачу суспензії каталізатора в олії. Останнім етапом потрібно припинити подача харчової олії в апарат.

На рис. 4.3. наведено блок-схему регламенту функціонування (РФ) реактора за його штатною зупинкою.

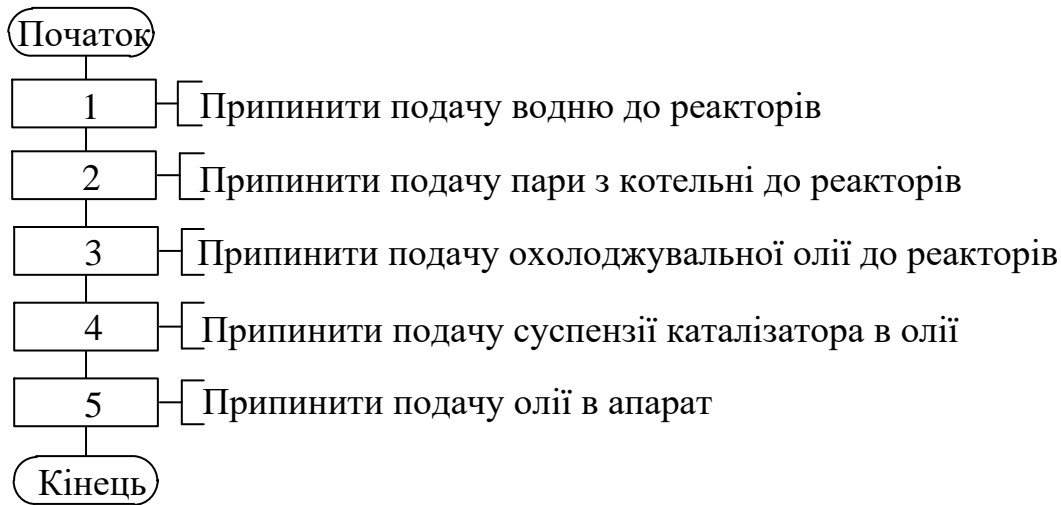


Рис. 4.3. – Блок-схема регламенту функціонування реактора за штатною зупинкою

На рис. 4.4. наведено блок-схему регламенту функціонування (РФ) реактора за його аварійною зупинкою.

Регламент функціонування реактора за аварійною зупинкою. Причиною аварійної зупинки реактора, будемо вважати аварійну зупинку приводу M1. Якщо перевірка в процесі гідрогенізації показує наявність аварії ($M1=0$), необхідно терміново припинити подачу водню до реакторів, після чого припиняється подача пари з котельні до реакторів. Далі тимчасово зупинити подачу охолоджувальної олії до реакторів. Наостанок необхідно припинити подачу суспензії каталізатора в олії, і так само подачу харчової олії в апарат.

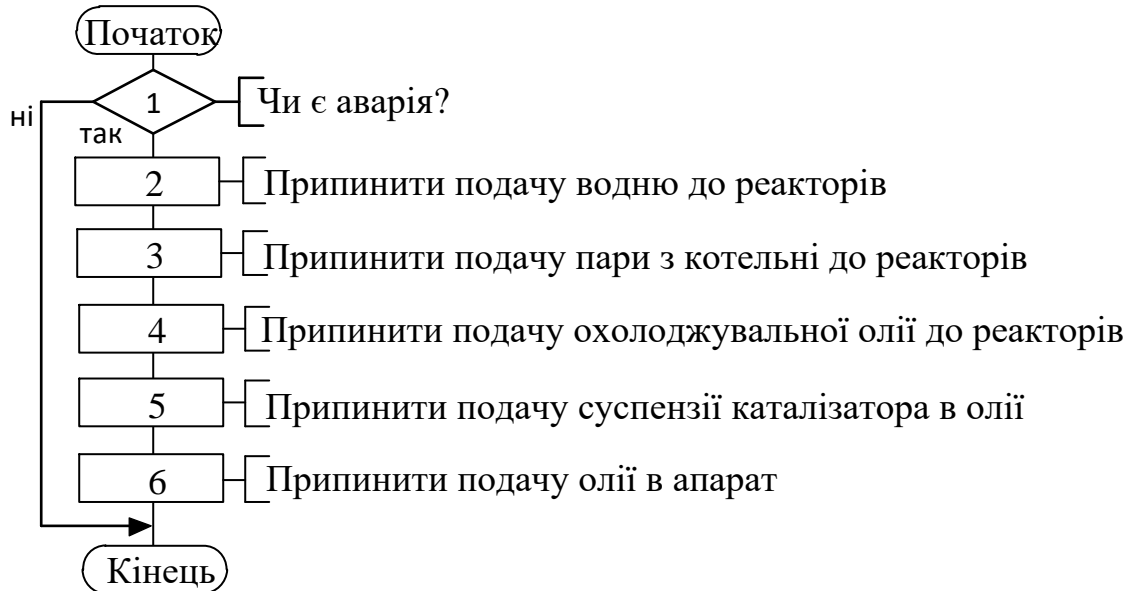


Рис. 4.4. – Блок-схема регламенту функціонування реактора за аварійною зупинкою

4.2. Розробка алгоритмів автоматичного логічного керування за пуском, зупинкою та аварійною зупинкою (циклом роботи) технологічного агрегату

На рис. 4.5, 4.6, 4.7 наведено блок-схеми алгоритмів керування пуском, штатною та аварійною зупинкою реакторів, що розроблені згідно до регламентів функціонування, та деталізують послідовність видачі керуючих дій. Таким чином, наведені блок-схеми відображають функціонування системи логічного керування (СЛК) ТО.

Перевірку умов, необхідних для пуску виконують за допомогою послідовної перевірки сигналів від датчиків – реле тиску **PS1**, **PS2**, **PS3**, **PS4** до яких відносяться наступні: тиск олії ($P_o > P_o^{\min}$, контролюється датчиком-сигналізатором **PS1**), тиск водню ($P_v > P_v^{\min}$, контролюється датчиком-сигналізатором **PS2**), тиск пара ($P_p > P_p^{\min}$, контролюється датчиком-сигналізатором **PS3**), тиск холодної олії ($P_{xo} > P_{xo}^{\min}$, контролюється датчиком-сигналізатором **PS4**). Наявність сигналів свідчить про наявність необхідних умов.



Рис. 4.5. – Блок-схема алгоритму керування за пуском реакторів

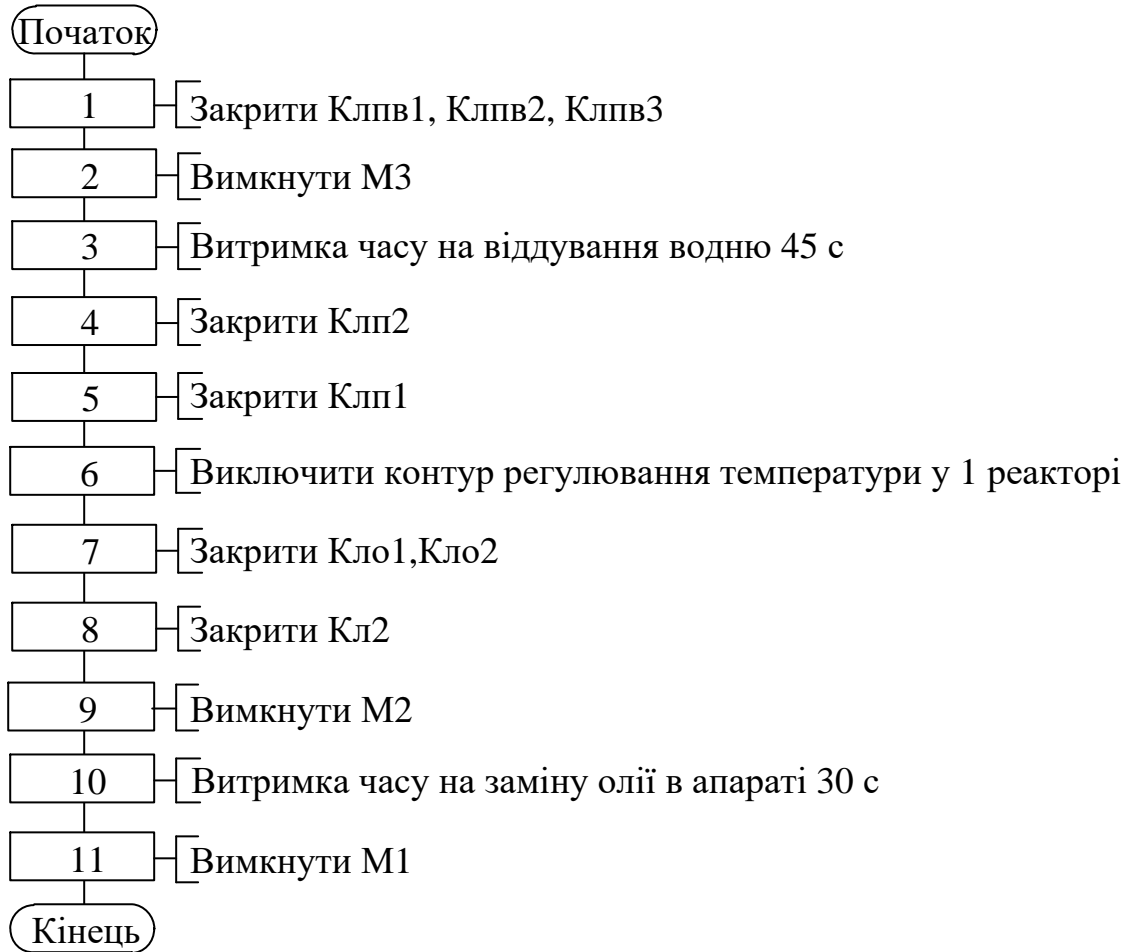


Рис. 4.6 – Блок-схема алгоритму керування за штатною зупинкою реакторів



Рис. 4.7 – Блок-схема алгоритму керування за аварійною зупинкою реакторів

За наявності вказаних умов розпочинається процедура пуску, а за відсутності будь-якої з умов процедура припиняється.

Перед початком роботи, необхідно сповістити персонал про початок ведення технологічного процесу. Для цього використовується звукова сигналізація, що включається на деякий час (у прикладі на 10 с, однак, у виробничих умовах цей час визначається інструкцією з експлуатації). Після виключення сигналізації необхідно запуснути М1 на 60% щоб регулювати швидкість подачі олії у перший реактор ($F_o > F_o^{\min}$, датчик **FE**). Після цього, необхідно починати подати суспензію каталізатора в олії, запустивши М2 та відкрити клапан Кл2. Якщо перший реактор наповнено суспензією та олією, електродвигуни М1, М2 та клапан Кл2 залишити у робочому стані, так як процес неперервний. Наступною дією, треба забезпечити заповнення охолоджувальної олії до другого та третього реактора. Для подачі у змішувач до другого та третього реакторів охолоджувальної олії, необхідно відкрити

клапани Кло1, Кло2. Далі, згідно з інструкцією, з котельні подати пар у змішувачі до першого та другого реакторів відкривши клапани Клп1 на 60% ($T_o > T_o^{\min}$, датчик **TE**), Клп2. Після перевірки виконання умов, необхідно з газгольдера подати водень до змішувача, пройшовши змішування, включити М3 та збільшити тиск, надати до першого, другого та третього реактора відкриваючи клапани: Клпв1, Клпв2, Клпв3, ($F_v > F_v^{\min}$ датчиками **FE1**, **FE2**, **FE3**). При досяганні температури у реакторах 200°C , ввімкнути контур регулювання ($T_p > T_p^{\min}$, датчики **TE1**, **TE2**, **TE3**). Якщо все працює, залишити увімкненим М3 та залишити відкритими клапани: Клпв1, Клпв2, Клпв3.

Для штатної зупинки реакторів необхідно спочатку: закрити клапани: Клпв1, Клпв2, Клпв3, та вимкнути компресор М3 це зупиняє процес подачі водня, після чого потрібна витримка часу на віддування (45 секунд). Далі потрібно закрити клапани Клп2, Клп1, таким чином припиняється подача пару, наступною дією виключається контур регулювання температури у реакторі, послідовно з цим, необхідно закрити клапани Кло1, Кло2 для зупинки подачі охолоджувальної олії. Наостанок треба закрити клапан Кл2, та зупинити поршневий насос М2 щоб припинити постачання суспензії каталізатора в олії. Після чого потрібна витримка часу на зміну харчової олії в апараті (30 секунд) та у кінці вимкнути швидкість подачі олії насосом М1. Після виконання цих дій, технологічний процес завершується.

Для аварійної зупинки реакторів необхідно спочатку: дочекатися автоматичного сигналу, який здійснює аварійне вимикання електроприводу М1.

Початковою дією потрібно перевірити наявність аварії, якщо її немає то алгоритм треба завершити. Якщо все таки процес гідрогенізації показує, що наявність аварії з'явилась ($M1=0$), негайно починається вимикання цього процесу: по-перше, закрити клапани: Клпв1, Клпв2, Клпв3, та вимкнути компресор М3, щоб припинити постачати водень, після чого необхідна витримка часу (45 секунд). По-друге, потрібно закрити клапани Клп2, Клп1, щоб припинити надавати пар у реактори, далі виключається контур регулювання температури у реакторі, послідовно з цим, закриваються клапани Кло1, Кло2 це зупинить подачі охолоджувальної олії. Щоб завершити аварійну

зупинку, треба буде закрити клапан Кл2, та вимкнути поршневий насос М2, щоб припинити подачу суспензії каталізатора в олії. Виконавши ці умови, можна вважати що аварію попереджено.

4.3. Розробка функціонально логічної схеми (ФЛС) керування процесом гідрогенізації жирів

Формування умов необхідних для *запуску* здійснюється елементом 11 за сигналами від датчиків реле тиску олії 1, водню 2 з газгольдера, тиску пари 3 з котельні і тиску охолоджувальної олії 4 з охолоджувача, а також від кнопки ПУСК 5, які приходять у схему через ДЦП 6-10. Підхоплення сигналу пуску здійснює RS-тригер 12. Після появи логічної «1» на виході RS-тригера включиться передпускова сигналізація (ППЗС). Витримку часу забезпечує таймер 13 (10 с). Формує сигнал на ППЗС елемент 14 «&» через ЦДП 15. По завершенні дії ППЗС від таймера 13 починає свою роботу програма керування процесом гідрогенізації.

Сигнали «1» з таймера 13 надходить на вхід «S» RS-тригера (елемент 16), який через задатчик 17 (60%) з перемикачем 23 сигнал через ЦАП 24 подається на М1 з ЧП, який включає на 60% продуктивність насосу подачі олії. Сигнал з датчика 18 в'язкість саломасу через АЦП 19 надходить на елемент порівняння (пороговий) 21, котрий при виконанні умови $V_C < V_C^{\min}$, через елемент «&» 22 посилає сигнал 1 на перемикач 23 який перемикає регулювання в'язкості саломасу аналоговим регулятором 20.

Також з елемента «&» 22 сигнал надходить на «S» RS-тригерів (елементи 25, 27, 29, 31) які через ЦДП (26, 28, 30, 32) відповідно вмикають приводи поршневого насосу М2, клапанів подачі суспензії Кл2, подачі охолоджувальної олії у третій реактор Кло1, подачі охолоджувальної олії у другий реактор Кло2. Так само з елемента «&» 22 логічна «1» подається на вхід «S» RS-тригера (елемент 40) на задатчик 33 (60%) з перемикачем 39 сигналом через ЦАП 41 подається на Клп1 який включає на 60% клапан подачі пари у перший реактор. Сигнал від датчика 34 в'язкість саломасу через АЦП 35 надходить на елемент порівняння (пороговий) 37, котрий при виконанні умови $T_P < T_P^{\min}$, через

елемент «&» 38 посилає сигнал *I* на перемикач 39 який перемикає регулювання температури у реакторі аналоговим регулятором 36.

Також з елемента «&» 38 сигнал надходить на «S» RS-тригер (елемент 42) який через ЦДП (43) відповідно вмикають привід клапану подачі пари у другий реактор Клп2. Також з елемента «&» 38 сигнал надходить на «S» RS-тригерів (елементи 44, 46, 48, 50) які через ЦДП (45, 47, 49, 51) відповідно вмикають приводи компресора М3, клапаів подачі водню у перший реактор Клпв1, подачі водню у другий реактор Клпв2, подачі водню у третій реактор Клпв3.

Формування умов необхідних для *зупинки* здійснюється елементом 56 «1» за сигналом помилки 53 (поломка приводу М1), а також від кнопки СТОП 52, які приходять у схему через ДЦП 54 і 55. Підхоплення сигналу зупинки здійснює RS-тригер 57.

Вихід з ДЦП 54 також подається на елемент «1» 56 звідки на вхід «R» RS-тригеру 57 а з нього на вхід«R» RS-тригеру (елементи 44, 46, 48, 50) які через ЦДП (45, 47, 49, 51) відповідно вмикають приводи компресора М3, клапаів подачі водню у перший реактор Клпв1, подачі водню у другий реактор Клпв2, подачі водню у третій реактор Клпв3.

Також логічна 1 з виходу RS-тригера 57 через таймер 60 з витримкою часу 45с подається на вхід «R» RS-тригерів (42, 40, 31, 29, 27, 25), які через ЦДП (43, 41, 32, 30, 28, 26), відповідно вмикають контур регулювання температури в першому реакторі, клапани подачі пари у другий реактор Клп2, подачі пари у перший реактор Клп1, подачі охолоджувальної олії у другий реактор Кло2, подачі охолоджувальної олії у третій реактор Кло1, подачі суспензії Кл2, поршневий насос М2.

Також логічна 1 з таймера 60 на таймер 59 з витримкою часу 30с подається на вхід «R» RS-тригера 16 тим самим вмикає контур регулювання в'язкості саломасу, насосу подачі олії М.

Також логічна 1 з виходу RS-тригера 57 через таймер 58 з витримкою часу 80с подається на вхід «R» RS-тригера 57, тис самим скидає сам себе.

Функціонально логічна схема керування процесом наведена на рис. 4.8.

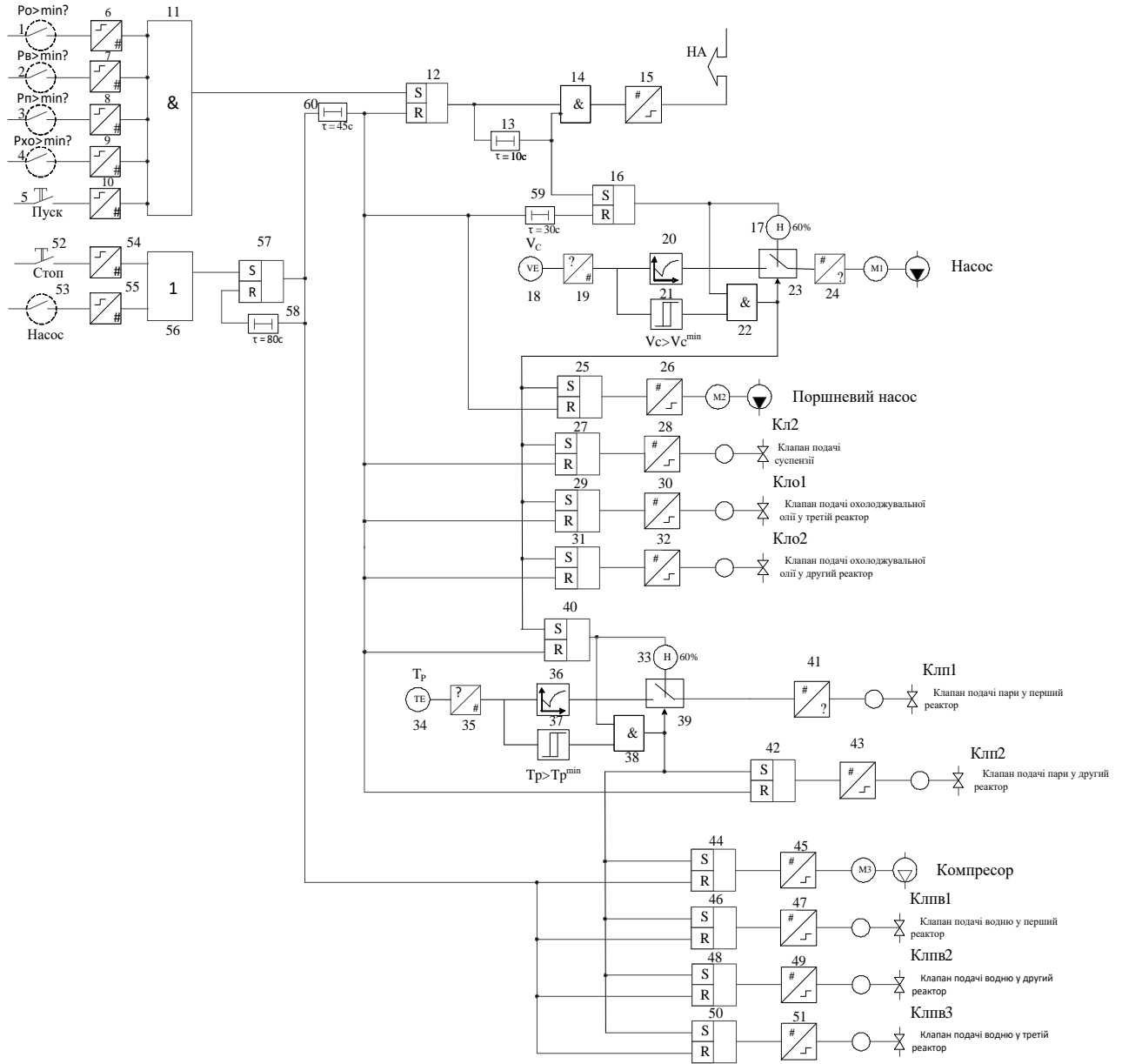


Рис. 4.8 – Функціонально логічна схема керування процесом

4.4. Висновки за розділом

В данному розділі були розроблені блок-схеми регламентів функціонування та алгоритмів керування за пуском, зупинкою та аварійною зупинкою. Побудована функціонально логічна схема керування процесом та її опис при необхідних умовах для запуску і зупинки.

5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів

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

Реактори гідрогенізації розміщується у закритому приміщенні (цеху), частина обладнання станції захищена від потрапляння дощу покрівлею. Зважаючи на можливі витіки рослинної олії та водню, операційний майданчик слід віднести до пожежо- та вибухонебезпечного.

Датчики та виконавчі механізми розміщуються безпосередньо на реакторах та трубопроводах станції. Інше технічне обладнання системи керування та АРМ оператора-технолога знаходиться в окремому приміщенні, яке не є пожежо- та вибухонебезпечним з температурою 18 - 25 °С та вологістю 60 - 80%.

Вибухонебезпечне середовище — об'єм, у якому середовище внаслідок природних або виробничих чинників може стати вибухонебезпечним.

Вибухонебезпечна суміш — суміш повітря з горючими газами, паром, туманами, горючим пилом та волокнами, у якій за нормальним атмосферних умов після запалення процес горіння (вибух) поширюється на весь об'єм суміші.

Пожежонебезпечна зона — простір у приміщенні або за його межами, у якому постійно або періодично знаходяться (зберігаються, використовуються або виділяються під час технологічного процесу) горючі речовини як при нормальному технологічному процесі, так і при його порушенні в такій кількості, яка вимагає спеціальних заходів у конструкції електрообладнання під час його монтажу та експлуатації.

«Правила улаштування електроустановок» визначають:

Закрита, або внутрішня, електроустановка

Електроустановка, розміщена всередині будівлі, що захищає її від атмосферного впливу.

Щодо небезпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

а) приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку;

б) приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з умов, що створює підвищену небезпеку:

1) вологості або струмопровідного пилю;

2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);

3) високої температури;

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 електроустановки – з іншого;

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

1) особливої вологості;

2) хімічно активного або органічного середовища;

3) одночасно двох або більше умов підвищеної небезпеки

Відповідно до введеної класифікації електрообладнання, реактори гідрогенізації слід віднести: закритої енергоустановки, 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 вибухопожежонебезпечності.

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.

Частоту виникнення і тривалість вибухонебезпечного газо-, пароповітряного середовища визначають за правилами (нормами) відповідних галузей промисловості.

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 вивільнятися шляхом витоку і формувати пилові утворення.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщується реактори гідрогенізації, слід віднести до вибухонебезпечної зони класу 1 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи.

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

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

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 Реакторів гідрогенізації слід вибрати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Вибухобезпечне електрообладнання».

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

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

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

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

Пожежонебезпечна зона класу П-III — 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 розміщується Реактори гідрогенізації, слід віднести до пожежонебезпечної зони класу П-I — простір поза приміщенням, в якому знаходяться горюча рідина, яка має температуру спалахнення понад +61° С.

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

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-I	П-II	П-Па	П-ПІ
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

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-Па	П-ПІ
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 реакторів гідрогенізації слід вибирати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP44.

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

Датчик температури ТЕРА 1-43

Для вимірювання температури реакторів в межах $+185...+215^{\circ}\text{C}$ обираємо датчик температури з вбудованим нормуючим перетворювачем ТЕРА 1-43 ТСП-У-1-43-Pt100-0,2%-3 -60-6- M20x1,5-70-АХ-Н8-200-ПР-/-50...250/-Exi-КА



Рис. 5.1 – Зовнішній вигляд термоперетворювача та нормуючого перетворювача

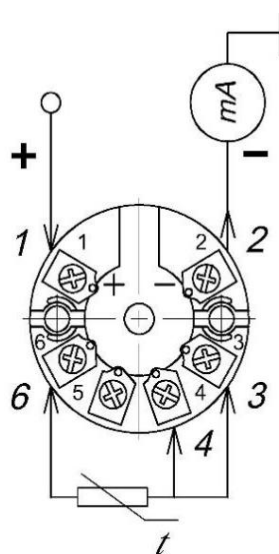


Рис. 5.2 – Підключення термодатчика та нормуючого перетворювача

Технічні характеристики термоперетворювача:

Тип моделі: Занурювальний

Види вибухозахисту Іскробезпечний електричний ланцюг “і”

Маркування вибухозахисту: II 1G Ex ia IIC T6...T1 Ga

Тип та НСХ: Pt100

Кількість ЧЕ 1

Клас допуску 0,2%

Схема з'єднання ЧЕ 3-х провідна

Кріплення - M20x1,5

Тип головки: АХ

Різьблення під кабельне введення в головці M20x1,5

Матеріал захисної арматури - н/ж сталь 12X18H10T (AISI 321)

Діапазон температури: -50...250°C

Макс.тиск: МПа 6,3

Технічні характеристики нормуючого перетворювача:

Тип та НСХ ТСПУ (Pt100)

Вихідний сигнал 4-20 мА

Діапазон перетворення: °С 0...150, -50...180 (для ТСП)

Клас точності, % 0,2

Корпус перетворювача АХ

Живлення: 12-24 В DC

Схема з'єднання з датчиком 3-х провідна

Температура довкілля: -40...70

Сертифікат з вибухозахисту

(Техрегламент для вибухонебезпечних середовищ, пост. КМУ №1055 від 28.12.2016) Exi - іскробезпечний ланцюг

Віскозиметр Hydramotion XL7-НТ

Для того щоб визначити динамічну в'язкість в діапазоні 260...300 Па*с скористаємося високотемпературним вібраційним віскозиметром Hydramotion XL7-НТ SS316-1000-C22-IP67 з використанням інтерфейсного блоку VP550.



Рис. 5.3 - Віскозиметр Hydramotion XL7-НТ та інтерфейсний блок VP550

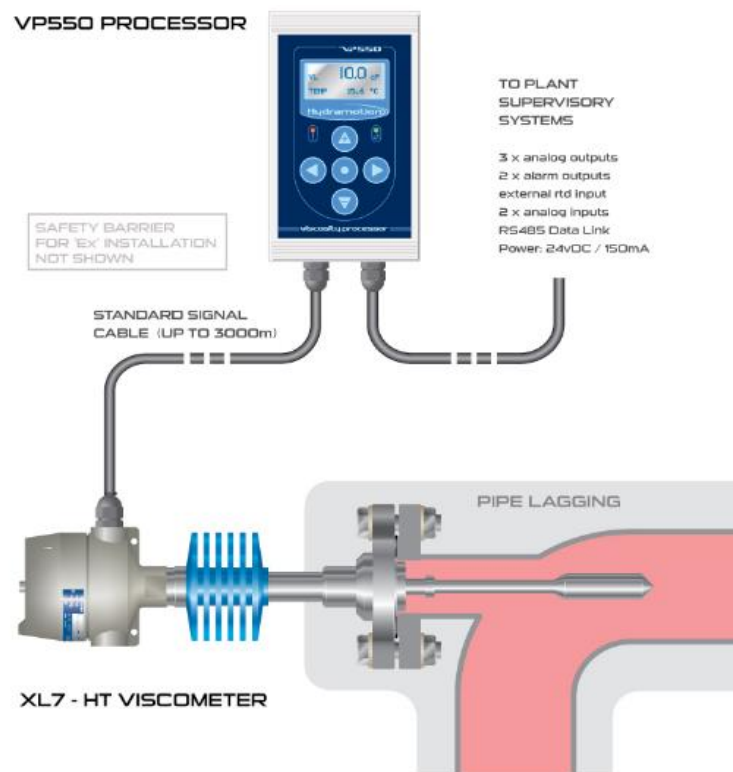


Рис. 5.4 – Встановлення віскозиметру та інтерфейсного блоку

Технічні характеристики віскозиметра:

Ефективність:

- Діапазон: 0 – 1000 Па*с
- Час вимірювання: 1 секунда
- Точність: 1% від показань або +/- 1 цифра
- Повторюваність: 0,3% від показань або +/- 1 цифра

Температура - Діапазон високих температур від -50 до 400°C

Тиск - Стандартний діапазон Для обробки фітінгів

Підключення до обладнання - Стандартний фітінг

Електричне підключення

• Довжина кабелю - За потреби – не залежить від довжини кабелю до 1000 м

- Тип кабелю - Будь-який стандартний приладовий кабель

Сертифікація безпеки

Небезпечна зона. Усі інструменти доступні для вибухонебезпечної зони, вибухонебезпечної атмосфери Ga Ex ia IIC T1...T6

Матеріали

Голова - SS316 (EN 1.4401)

Датчик - SS316 (EN 1.4401)

Варіанти датчика/установки - Сплав C22 (EN 2.4602)

Обробка поверхні - Стандарт N6 0,8 Ra

Захист від входу - Стандарт IP67

Реле тиску SCH-27

Для сигналізації зміни тиску в діапазоні 0.15...10 Бар оберемо Реле тиску SCH-27 B7 A 12 1 N

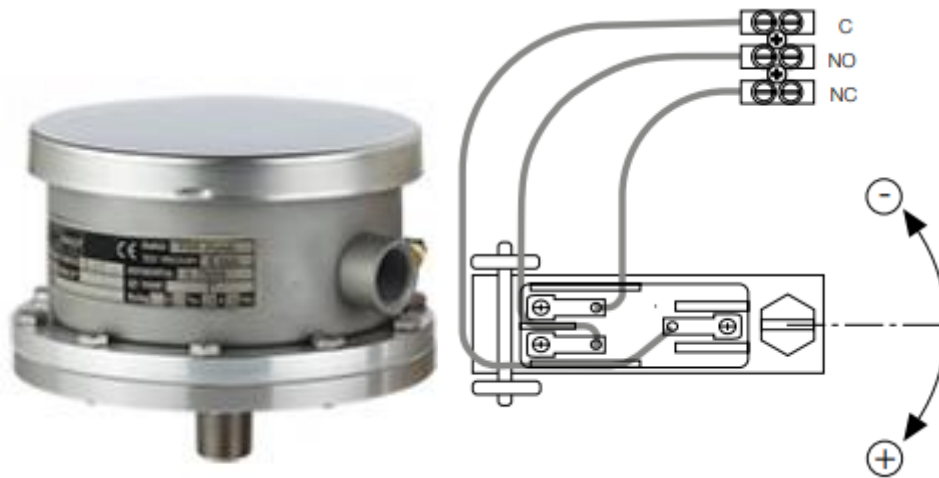


Рис. 5.5 - Реле тиску та схема його підключення SCH-27

Технічні характеристики:

мікроперемикачі 1...2 SPDT

Диференціал (мертва зона):

фіксований, регульований (мікрореле код E/F) від 10%...50% від діапазон налаштування

Повторюваність: $\leq 1\%$ від повного значення налаштування

Регулювання заданого значення: внутрішнє, мікрометричне регулювання

Захист: IP65 згідно IEC529

Електропроводка: клемна колодка

Контакт заземлення: 1 x внутрішній і 1 x зовнішній

Температура процесу: 100°C макс. (+212°F)

Температура навколишнього середовища: -25...+65°C (-13...+149°F)

Тепловий дрейф: $\leq 0,05\% / ^\circ\text{C}$ ($\leq 0,027\% / ^\circ\text{F}$)

Приєднання до процесу: нержавіюча сталь AISI 316

Пружний елемент: діафрагма з нержавіючої сталі AISI 316 для діапазонів тиску $\leq 2,5$ бар; діафрагма з вуглецевої сталі покрита з нержавіючої сталі AISI 316 для діапазона тиску 4...160 бар

Прокладка: PTFE

Корпус: нержавіюча сталь AISI 304

Кришка: нержавіюча сталь AISI 304, багнетний замок

Тег: нержавіюча сталь AISI 304, гравована Маркування вибухозахисту Exi - іскробезпечний ланцюг.

Model	Setting range	Microswitch type	Process connection (F)	Electrical connection (F1)	Options
SCH-27...	...F7 ... = 0.7...6 mbar ¹⁾ ...F8 ... = 1...16 mbar ¹⁾ ...F9 ... = 2...25 mbar ¹⁾ ...F0 ... = 5...40 mbar ¹⁾ ...F1 ... = 5...60 mbar ¹⁾ ...F2 ... = 6...100 mbar ¹⁾ ...F3 ... = 9...160 mbar ¹⁾ ...F4 ... = 9...250 mbar ¹⁾ ...F5 ... = 15...400 mbar ¹⁾ ...F6 ... = 18...600 mbar ¹⁾ ...B2 ... = 0.06...1 bar ¹⁾ ...B3 ... = 0.06...1,6 bar ¹⁾ ...B4 ... = 0.06...2.5 bar ¹⁾ ...B5 ... = 0.08...4 bar ...B6 ... = 0.09...6 bar ...B7 ... = 0.15...10 bar ...B8 ... = 0.25...16 bar ...B9 ... = 0.4...25 bar ...B0 ... = 0.6...40 bar ...C1 ... = 0.9...60 bar ...C2 ... = 6...100 bar ...C3 ... = 8...160 bar ...YY ... = vacuum and compound ranges / consult factory	...A = standard, single ...B ²⁾ = standard, double ...I ²⁾ = goldplated, single ...L ²⁾ = goldplated, double ...M ²⁾ = inert gas filled, single ...P ²⁾ = inert gas filled, double ...N ²⁾ = goldplated and inert gas filled, single ...R ²⁾ = goldplated and inert gas filled, double ...E ³⁾ = adjustable differential, single ...F ³⁾ = adjustable differential, double ...U ²⁾ = inert gas filled V _{DC} , single ...V ²⁾ = inert gas filled V _{DC} , double	I2 = ¼-18" NPT F N4 = ½-14" NPT I4 = ½-14" NPT F G4 = G ½ A	1 = R ½-ISO 7/1 2 = R ¾-ISO 7/1 3 = ½-14" NPT 4 = ¾-14" NPT A = M 20 x 1.5	N = none H = special over pressure stop P = PTFE covered diaphragm M = 2" stake's mounting bracket W = wall mounting bracket T = tropicalisation S = oxygen service Y = special (specify in clear text)

Мікрол РСУ-31-0

Для контролю рідини застосовано реле контролю рівня рідини 3-х каналне Мікрол РСУ-31-0



Рис. 5.6 – Реле контролю рівня рідини РСУ – 31-0

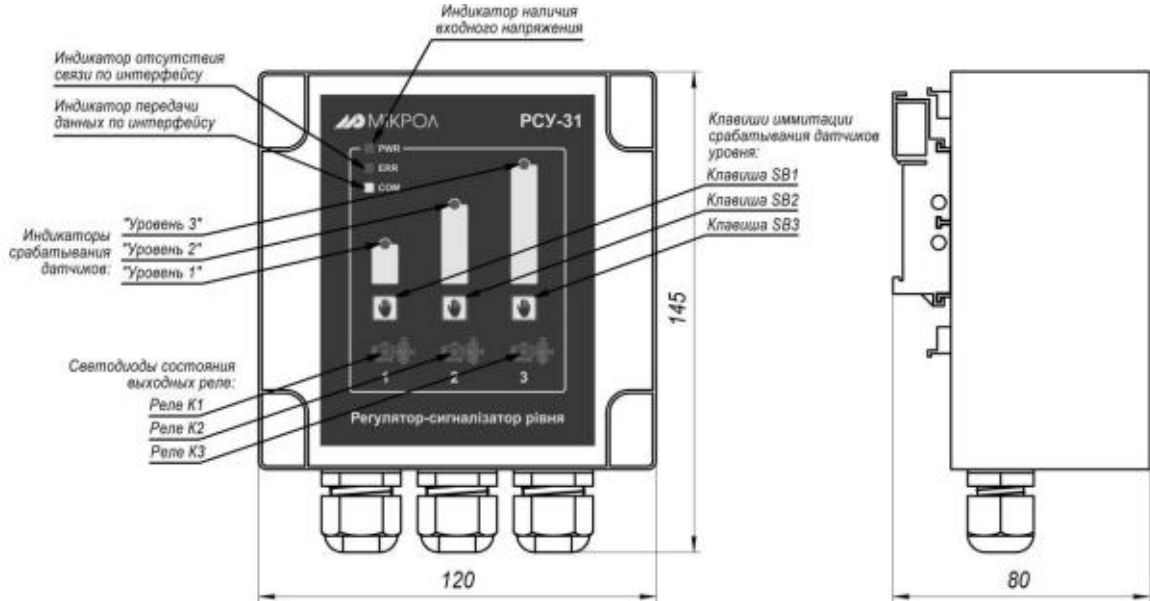


Рис. 5.7 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри РСУ-31

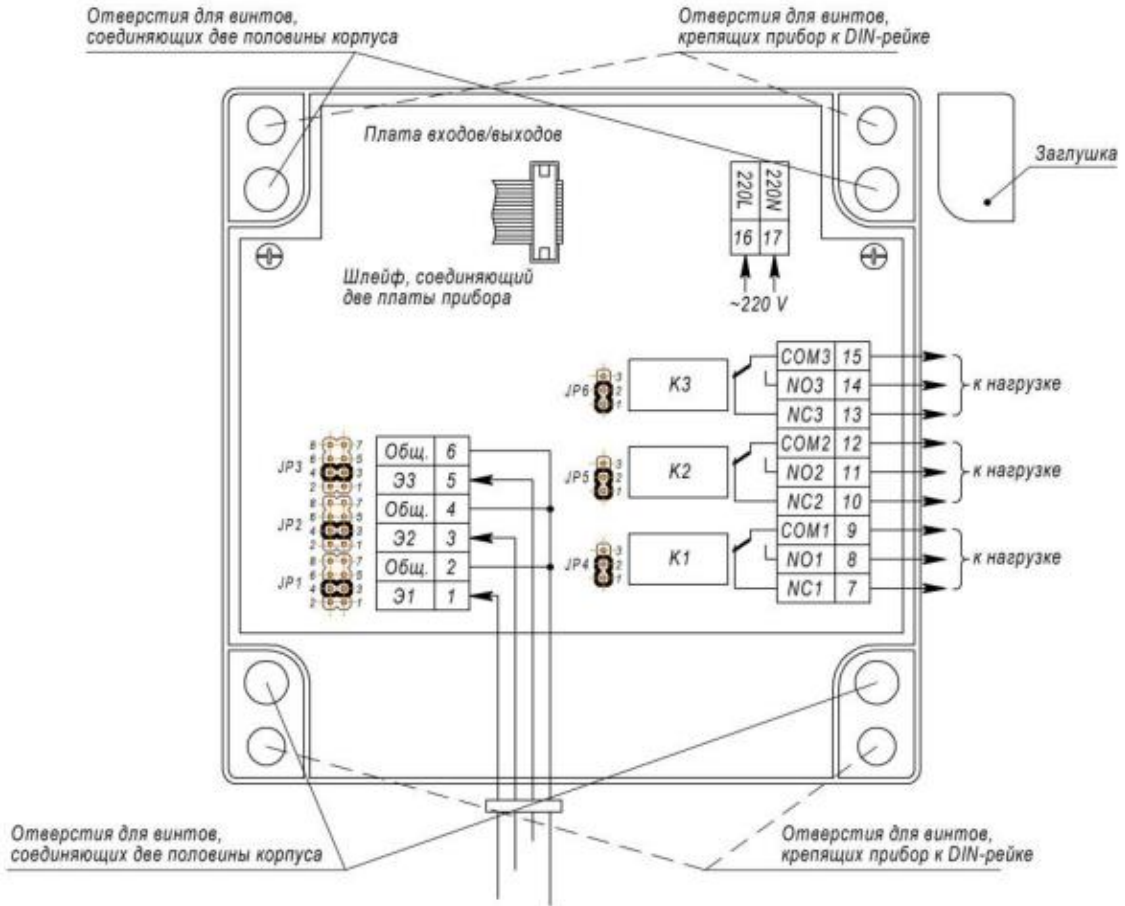


Рис. 5.8 – Схема підключення зовнішніх сигналів до плати входів/виходів РСУ-

Технічні характеристики:

Кількість каналів контролю рівня - 3

Вхідні датчики - механічні контактні пристрої

Напруга живлення датчиків рівня - 10 В (10 Гц)

Кількість вихідних реле - 3

Максимальний струм, що комутується - 16 А

Максимальна напруга комутації змінного (діюче значення) струму - 250 В

Змінний струму із частотою 50 Гц - 220 В

Потужність - 4 ВА

Розмір корпусу (ВхШхГ) - 145 x 120 x 60 мм

Маса - не більше 0,55 кг

Температура навколишнього середовища від -40 до +70 °С

Ступінь захисту - IP65

Датчик витрати «САФІР М»

Для вимірювання витрати водню (в діапазоні 100...400 м³/ч) та олії (в діапазоні 6...10 м³/ч) застосуємо датчик перепаду тиску «САФІР М» Вн-5410-03-Т3-0.25-2.5кРА-1.6-42-РГ-И. Метод змінного перепаду тиску при вимірювання витрат заснований на залежності перепаду тиску на гідравлічному опорі (звужуючому пристрої) в трубопроводі від величини об'ємних або масових витрат рідини або газу.



Рис. 5.9 – Датчик витрати «САФІР М» 5410

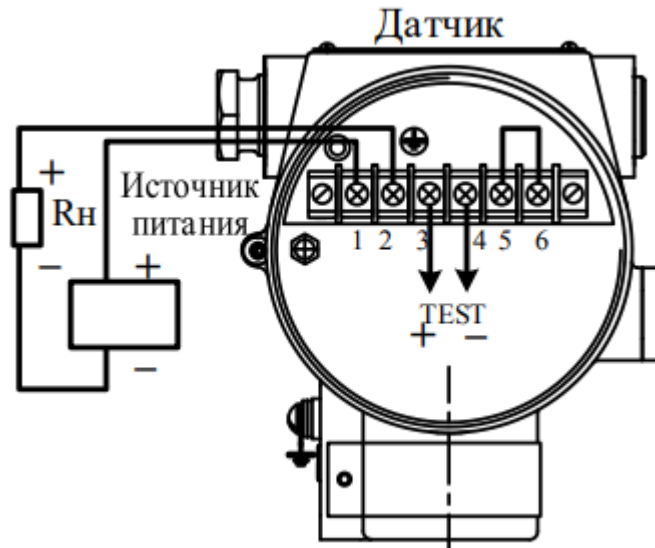


Рис. 5.10 – Датчик Підключення датчика з вихідним сигналом 4-20 (20-4) mA по двопровідній лінії зв'язку

Технічні характеристики:

Тип тиску-диференційне

Електронний модуль - мікропроцесорний

Діапазон вимірювань - від 0...0.1 кПа до 0...16 МПа

Перенастроювання - 1:25

Вихідний сигнал - 4-20 mA

Похибка - 0.1% FS

Матеріали, що контактують із середовищем - Hastelloy, Корозійно - стійка сталь 12X18H10T

Управління - локальне через меню

Індикатор - LCD

Підключення до процесу - G1/2, M20x1.5, штекерний роз'єм

Модель - 5410

5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

Регулюючий клапан ARI-STEVI 440 з електроприводом ARI-PREMIO 2,2

Для регулювання витрат пари в діапазоні 3...7 м³/ч в дроселюючому вузлі газу використаний регулюючий клапан ARI-STEVI 440 PN16-EN-JS1049-DN50 з електроприводом ARI-PREMIO 2,2.

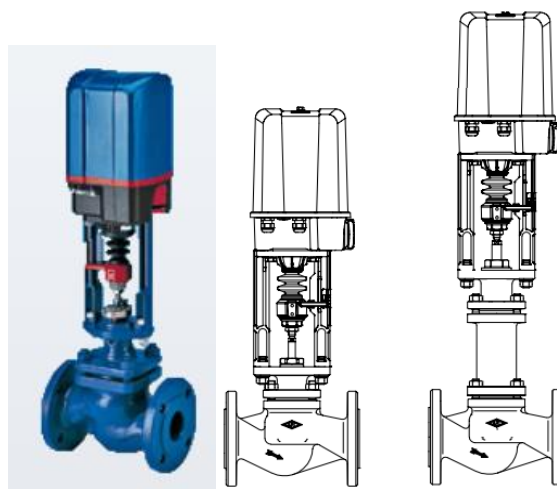


Рис. 5.11 – Регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440 та його схема

Модель клапана	Ari-Steви 440	Ari-Steви 441
Номинальные диаметры	DN 15 ... 250	
Номинальное давление, бар	PN 16, 25 ,40	
Диапазон значений kvs	2,5 ... 1000	
Уплотнение штока и рабочая температура клапана	Шевронное кольцо из PTFE: -10 ... +220 °C Сальник из PTFE: -10 ... +250 °C Кольцо EPDM: -10 ... +150 °C Чистый графит: -60 ... 450 °C	Сильфонное: -60 ... 450 °C
Исполнение затвора стандартное	DN 15 ... 150: параболический затвор (уплотнение металл по металлу) DN 200 ... 250: шлицевой затвор (уплотнение металл по металлу)	
Исполнение затвора опциональное	DN 65 ... 150: шлицевой затвор DN 15 ... 150: параболический затвор с повышенной герметичностью (класс IV-S1) DN 25 ... 150: параболический затвор разгруженный по давлению DN 15 ... 150: параболический затвор с мягким уплотнением PTFE (Tmax = 200 °C)	
Расходная характеристика	модифицированная равнопроцентная или линейная (на выбор)	
Диапазон регулирования	50 : 1 для параболического затвора 30 : 1 для шлицевого затвора	
Класс герметичности	металл / металл: класс протечки затвора IV по DIN EN 60534-4 металл / PTFE: класс протечки затвора VI по DIN EN 60534-4	
Материалы		
Корпус	арт. 12.440 / 12.441: чугун EN-JL1040 (PN16) арт. 22.440 / 22.441: чугун EN-JS1049 (PN16) арт. 23.440 / 23.441: чугун EN-JS1049 (PN25) арт. 34.440 / 34.441: сталь 1.0619+N (PN25) арт. 35.440 / 35.441: сталь 1.0619+N (PN40) арт. 54.440 / 54.441: н/ж сталь 1.4408 (PN25) арт. 55.440 / 55.441: н/ж сталь 1.4408 (PN40)	
Внутренние элементы	различные марки н/ж сталей	

Рис. 5.12 – Технічні характеристики регулюючого клапана з електроприводом ARI-STEVI 440/441

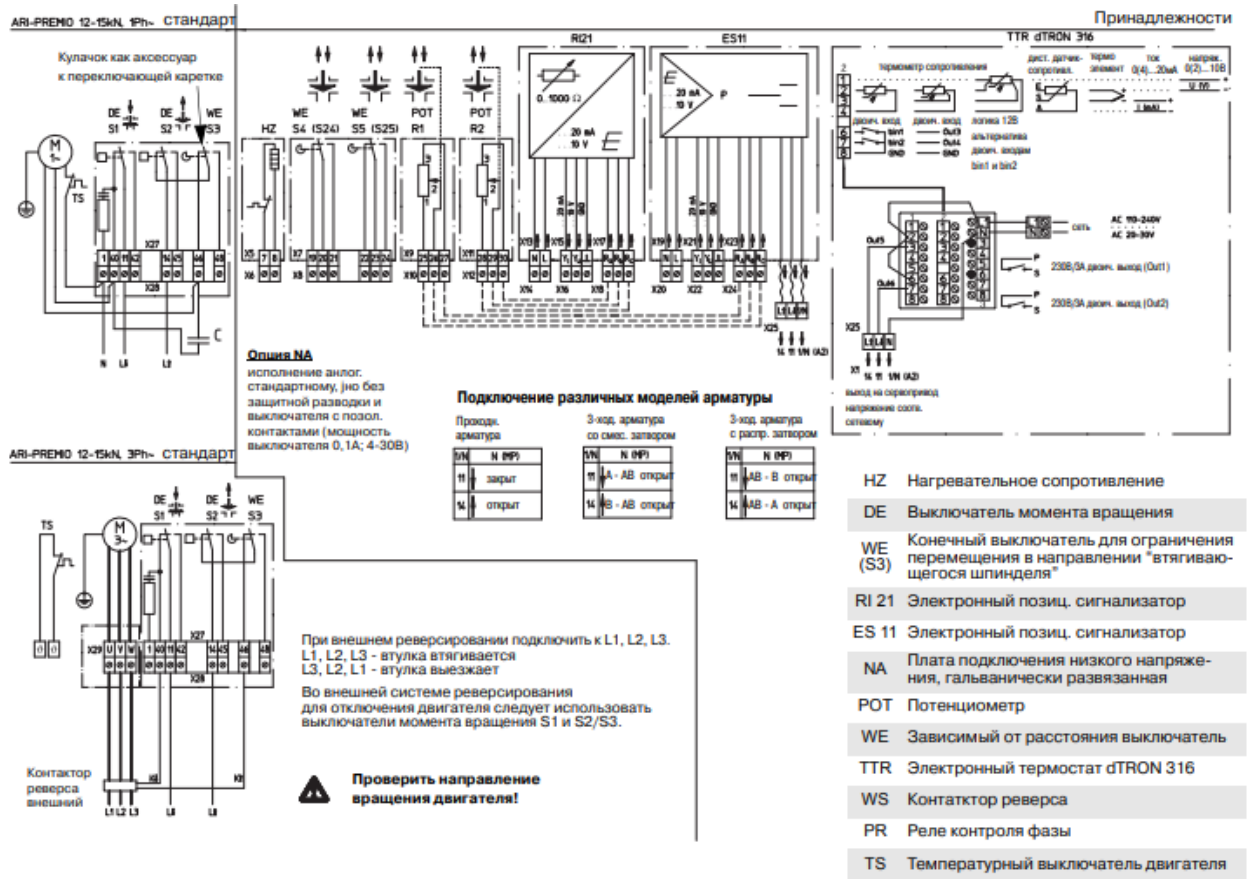


Рис. 5.13 – Схема підключення електроприводу ARI-PREMIО 2,2 клапана ARI-STEVI 440

Блок ручного управління БРУ-7

Місьцеве керування виконавчими механізмами здійснює блок ручного управління БРУ-7.

Він призначений для використання в системах промислової автоматизації виробничих процесів в якості:

- Блоку ручного задатчика аналогового сигналу
- Блоку ручного управління аналоговим виконавчим механізмом (ІМ)

Блок ручного управління для перемикання між ручним та автоматичним режимами та індикації параметру БРУ-7-3-3-0,75-220



Рис. 5.14 – Загальний вид БРУ-7-3-3-0,75-220

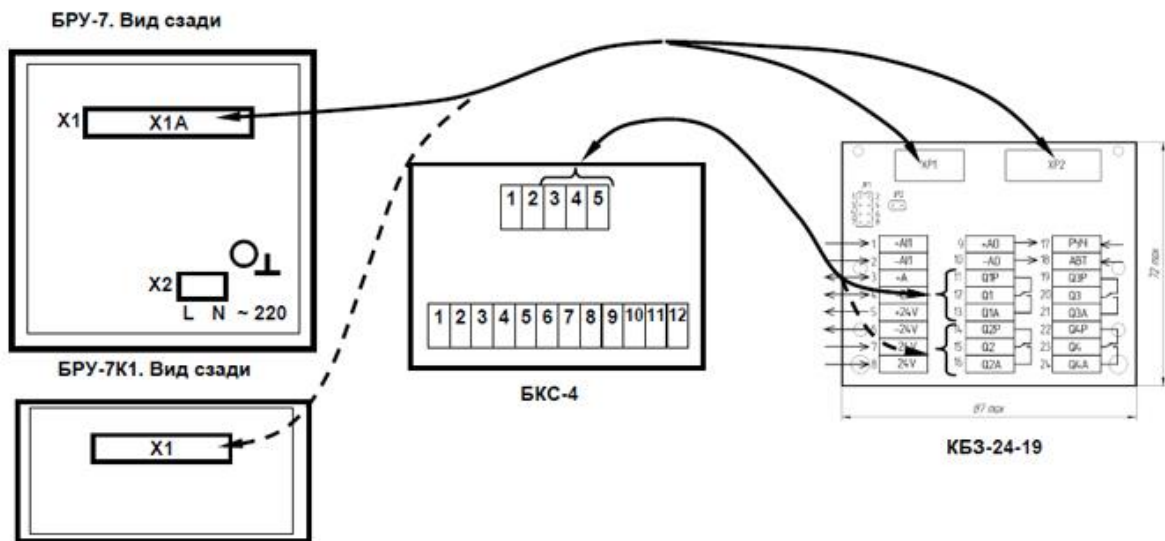


Рис. 5.15 – Схема підключення БРУ-7

Технічна характеристика:

1) Аналогові вхідні сигнали:

- Кількість аналогових входів – 1;
- Тип уніфікованого вхідного аналогового сигналу - 4-20мА ($R_{вх}=100$ Ом)
- Період вимірювання, не більше – 0,2 сек;
- Гальванічна ізоляція - Входи гальванічно ізольовані від виходів та інших ланцюгів, напруга гальванічної розв'язки не менше 500 В;
- Час індикації вимірюваного параметра одного каналу у режимі циклічної індикації - 1-10 сек (параметр конігурується);
- Основна наведена похибка перетворення - $\pm 0,2\%$;

- Довжина лінії зв'язку для термоопорів, не більше - 100 м;
- Опір лінії зв'язку, не більше - 15,0 Ом;

2) Аналогові вихідні сигнали:

- Кількість аналогових виходів – 1;
- Тип вихідного аналогового сигналу - 4-20 мА ($R_n=500$ Ом);

3) Цифрова індикація:

- Точність індикації - $\pm 0,01\%$;
- Кількість розрядів цифрового індикатора – 4;
- Висота цифр світлодіодних індикаторів – 10мм;

4) Послідовний інтерфейс RS-485:

- Тип каналу - Асинхронний напівдуплексний (прийом та передача йдуть по одній парі проводів з поділом за часом);
 - Кількість прийманів - 32 приймача на одному сегменті;
 - Максимальна довжина лінії в межах одного сегмента мережі – 1200 метрів;
 - Кількість активних передавачів - 1 (лише один активний передавач);
 - Максимальна кількість вузлів у мережі - 250 з урахуванням магістральних підсилювачів;
 - Вид кабелю - вита пара, екранована вита пара;
 - Гальванічна розв'язка - інтерфейс гальванічно ізолюваний з інших входів-виходів та інших ланцюгів (напруга гальванічної розв'язки щонайменше 500 У);
 - Протокол зв'язку - Modbus режим RTU (Remote Terminal Unit);
- #### 5) Електричні дані:
- Напруга живлення - змінного струму ~ 220 (+22, -33), (50 ± 1) Гц

- Потужність від мережі змінного струму, не більше - до 7,0 ВА;
- б) Корпус. Умови експлуатації:
 - Тип корпусу - Корпус для утопленого щитового монтажу, IP30;
 - Розміри фронтальної рамки : 96 x 96 мм;
 - Монтажна глибина : 190 мм тах;
 - Виріз на панелі: $(92^{+0,8}) \times (92^{+0,8})$ мм;
 - Маса блоку до 1,0 кг;
 - Температура навколишнього середовища - від -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$;
 - Атмосферний тиск - від 85 до 106,7 кПа;
 - Вібрація з частотою/амплітудою - до 60Гц/до 0,1мм.

Перетворювач Danfoss FC-051P3K0T4E20H3

Для частотного керування вакуумним насосом в діапазоні 0...50 Гц використаємо частотний перетворювач Danfoss FC-051P3K0T4E20H3VXCXXXSXXX

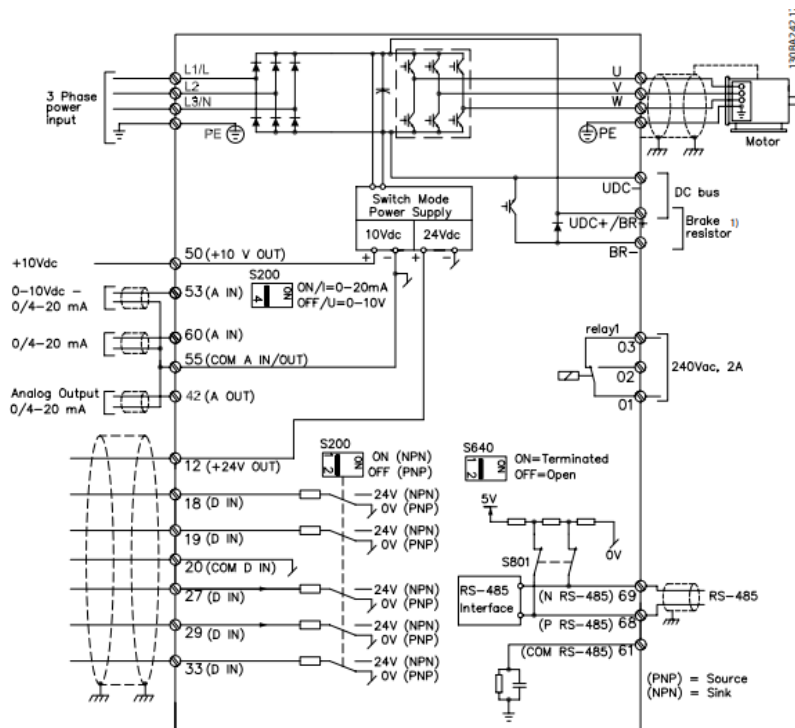


Рис. 5.16 – Клеми частотного перетворювача Danfoss FC-051P3K0T4E20H3VXCXXXSXXX

Технічні характеристики:

Серія: VLT Micro Drive FC51

Номінальна потужність, кВт 3.0

Напруга живлення, В 380-480

кількість фаз 3

Вихідна частота, Гц 400

режими управління частотне управління

Діапазон робочих температур, °С -10 - +50

Гарантія 12 місяців

Габарити 239x90x194

Номінальний струм, А: 7.2 А

Напруга на вході, В: 400В

Ступінь захисту: IP20

ЕМС фільтр: Так

5.4 Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом гідрогенізації жирів. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу.

6. Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК

6.1. Формування списку параметрів які повинні вводитись і виводитись з контролера

Виконавши аналіз технологічної схеми та функцій які повинна реалізовувати система керування складемо таблицю (табл. 6.1) зі списком параметрів які повинні вводитись і виводитись з контролера.

Таблиця 6.1. Список параметрів які вводяться і виводяться із контролера

№	Найменування	Позначення	Вид сигналу A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході/виході контролера	Позначення на схемі
1	Температура пара в першому реакторі	Tr1	A	I	4-20 мА	AI1
2	В'язкість саломасу	Vc	A	I	4-20 мА	AI2
3	Температура у другому реакторі	Tr2	A	I	4-20 мА	AI3
4	Температура у третьому реакторі	Tr3	A	I	4-20 мА	AI4
5	Витрати водню у першому реакторі	Fwtu1	A	I	4-20 мА	AI5
6	Витрати водню у другому реакторі	Fwtu2	A	I	4-20 мА	AI6
7	Витрати водню у третьому	Fwtu3	A	I	4-20 мА	AI7

	реакторі					
8	Контроль витрати олії у першому реакторі	Fwtuo	A	I	4-20 мА	AI8
9	Керуючий вплив, що змінює подачу пара в реактор	u1	A	O	4-20 мА	AO1
10	Керуючий вплив, що змінює подачу олії у реактор	u2	A	O	4-20 мА	AO2
11	Сигнал кнопки авт. пуску	SB_pusk	D	I	+ 24 В	DI1
12	Сигнал кнопки авт. зупинки	SB_stop	D	I	+ 24 В	DI2
13	Сигнал керування ЕД насосу М1	M1	D	O	+ 24 В	DO1
14	Сигнал з дод. контакту пускача ЕД насосу М1	M1_KM	D	I	+ 24 В	DI3
15	Сигнал керування ЕД поршневого насосу М2	M2	D	O	+ 24 В	DO2
16	Сигнал з дод. контакту пускача ЕД поршневого насосу М2	M2_KM	D	I	+ 24 В	DI4
17	Сигнал керування ЕД компресора М3	M3	D	O	+ 24 В	DO3
18	Сигнал з дод. контакту пускача ЕД	M3_KM	D	I	+ 24 В	DI5

	компресора МЗ					
19	Сигнал рівня МНК	МНК	D	I	+24 В	DI6
20	Сигнал контролю стану режиму регулювання температури у першому реакторі	Bry1	D	I	+24 В	DI7
21	Сигнал контролю стану режиму регулювання В'язкості саломасу	Bry2	D	I	+24 В	DI8
22	Сигнал контролю тиску	PS1	D	I	+24 В	DI9
23	Сигнал контролю тиску	PS2	D	I	+24 В	DI10
24	Сигнал контролю тиску	PS3	D	I	+24 В	DI11
25	Сигнал контролю тиску	PS4	D	I	+24 В	DI12
26	Сигнал керування клапана Кл2	Gs1	D	O	+ 24 В	DO4
27	Сигнал керування клапана Клпв1	Gs2	D	O	+ 24 В	DO5
28	Сигнал керування клапана Клп2	Gs3	D	O	+ 24 В	DO6
29	Сигнал керування клапана Кло2	Gs4	D	O	+ 24 В	DO7

30	Сигнал керування клапана Кло1	Gs5	D	O	+ 24 В	DO8
31	Сигнал керування клапана Клпв1	Gs2	D	O	+ 24 В	DO9
32	Сигнал керування клапана Клпв1	Gs2	D	O	+ 24 В	DO10
33	Сигнал керування звук. сигнал.	HA	D	O	+ 24 В	DO11

6.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

Технічну структуру системи керування розробимо на базі контролера 750-881 серії WagoI/O.

Для реалізації алгоритмів керування в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені 8 аналогових входи, 2 аналогових виходи, 12 дискретних входів і 12 дискретних виходів.

Виходячи із сформованої таблиці, для реалізації алгоритмів керування скористаємось контролером 750-881 з модулями ПЗО 750-1400, 750-1500, 750-496, 750-550, модулем вводу живлення 24 В постійного струму і модулем кінцевого навантаження шини 750-600.



Technical data	
Communication	EtherNet/IP™ Modbus (TCP, UDP) ETHERNET
ETHERNET protocols	HTTP BootP DHCP DNS SNTP FTP SNMP
Visualization	Web-Visu
CPU	32 bits
Programming languages per IEC 61131-3	Instruction List (IL) Ladder Diagram (LD) Function Block Diagram (FBD) Continuous Function Chart (CFC) Structured Text (ST) Sequential Function Chart (SFC)
Programming environment	WAGO-I/O-PRO V2.3 (based on CODESYS V2.3)
Configuration options	WAGO-I/O-CHECK Web-Based Management
Baud rate (communication/fieldbus 1)	10/100 Mbit/s
Baud rate	10/100 Mbit/s
Transmission medium (communication/fieldbus)	Twisted pair S-UTP; 100 Ω; Cat. 5; 100 m maximum cable length
Transmission performance	Class D per EN 50173
Program memory	1024 KB
Data memory	512 KB
Non-volatile software memory	32 KB
Number of modules per node (max.)	250
Number of modules without a bus extension (max.)	64
Input and output process image (fieldbus) max.	1020 words/1020 words
Indicators	LED (LINK/ACT) green: Network connection via ports 1 ... 2; LED (MS, NS) red/green: Status of node, network; LED (I/O, USR) red/green/orange: Local data bus status, status programmable by user; LED (A, B) green: System power supply status, field supply
Supply voltage (system)	24 VDC (-25 ... +30 %); via pluggable connector (CAGE CLAMP® connection)
Input current (typ.) at nominal load (24 V)	500 mA
Power supply efficiency (typ.) at nominal load (24 V)	90 %
Current consumption (5 V system supply)	450 mA
Total current (system supply)	1700 mA
Supply voltage (field)	24 VDC (-25 ... +30 %); via power jumper contacts
Current carrying capacity (power jumper contacts)	10 A
Number of outgoing power jumper contacts	3
Isolation	500 V system/field

Рис. 6.1. Загальний вигляд та характеристики контролера 750-881

Для введення аналогових сигналів у контролер будемо використовувати 8-канальний модуль аналогового введення 750-496.

Технічні характеристики 750-496:

Количество входов	8	
Типы подключения	Несимметричное	
Схема подключения	2-хпроводное подключение	
Ток сигнала (конфигурируемый)	0 ... +20 мА	
	+4 ... +20 мА	
	+3.6 ... +20 мА	
Диэлектрическая прочность (макс.)	35 В пост.тока	
Входное сопротивление	≤ 200 Ом	
Разрешение АЦП	14 бит	
Метод преобразования	SAR (Successive Approximation Register)	
	АЦП последовательного приближения	
Время преобразования _{тип.} (без фильтра)	10 мс	
	на канал	≤ 1.25 мс
	на модуль	≤ 10 мс
Разрешение измеряемого значения	12 бит + 1 знаковый бит	
Ошибка измерения (при 25 °С)	<±0,1% от величины всего измерительного диапазона	
Температурный коэффициент	<±0,01% К от величины всего измерительного диапазона	
Диагностика	Превышение нижней границы диапазона измерения	
	Превышение верхней границы диапазона измерения	
	Короткое замыкание	
	Общая ошибка	
	Обрыв провода (только для датчиков типа 3.6 ... 21 мА и 4 ... 20 мА)	
Сигнализация с диагностикой	Образ процесса	
	Статусный байт	
	СИД (LED)	

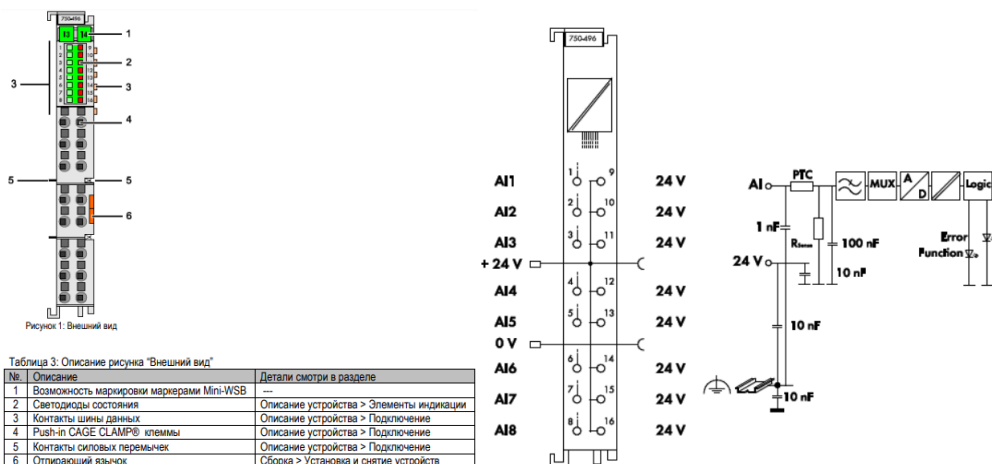


Рис. 6.2. Загальний вигляд, характеристики та схема підключення модуля ПЗО 750-496

Для виведення аналогових сигналів з контролеру (формування аналогових керуючих дій) був вибран 2-канальний модуль аналогового виводу 750-550.

Технічні характеристики 750-550:

Технические данные	
Количество выходов	2
Потребление тока (внутреннее)	65 мА
Подача напряжения	через преобразователь постоянного тока сетевого напряжения
Напряжение сигнала	0 - 10 В (750-550, 753-550) ±10 В (750-556, 753-556)
Полное сопротивление нагрузки	> 5 кОм
Линейность	±10 мВ
Разрешение	12 бит
Время преобразования	прибл. 2 мс
Время восстановления (тип.)	300 мкс
Ошибка измерения (25 °С)	< ± 0,1 % от величины всего измерительного диапазона
Температурный коэффициент	< ±0,01 % / К от величины всего измерительного диапазона
Развязка	500 В между системой и источником питания
Битовая ширина	2 x 16 бит - данные, 2 x 8 бит - управление/состояние (опция)
Проводное соединение	Соединение CAGE CLAMP
Сечения	0,08 мм ² ... 2,5 мм ² / AWG 28 ... 14
Длина участка без изоляции, серия 750/753	8 ... 9 мм / 0.33 дюйма 9 ... 10 мм / 0.37 дюйма
Ширина	12 мм
Вес	50,5 г
ЭМС СЕ - помехоустойчивость	в соотв. с EN 61000-6-2 (2005)
ЭМС СЕ - излучение помех	в соотв. с EN 61000-6-4 (2007)
ЭМС при применении в судостроении - помехоустойчивость	согласно Германскому Ллойд (2003)
ЭМС при применении в судостроении - излучение помех	согласно Германскому Ллойд (2003)

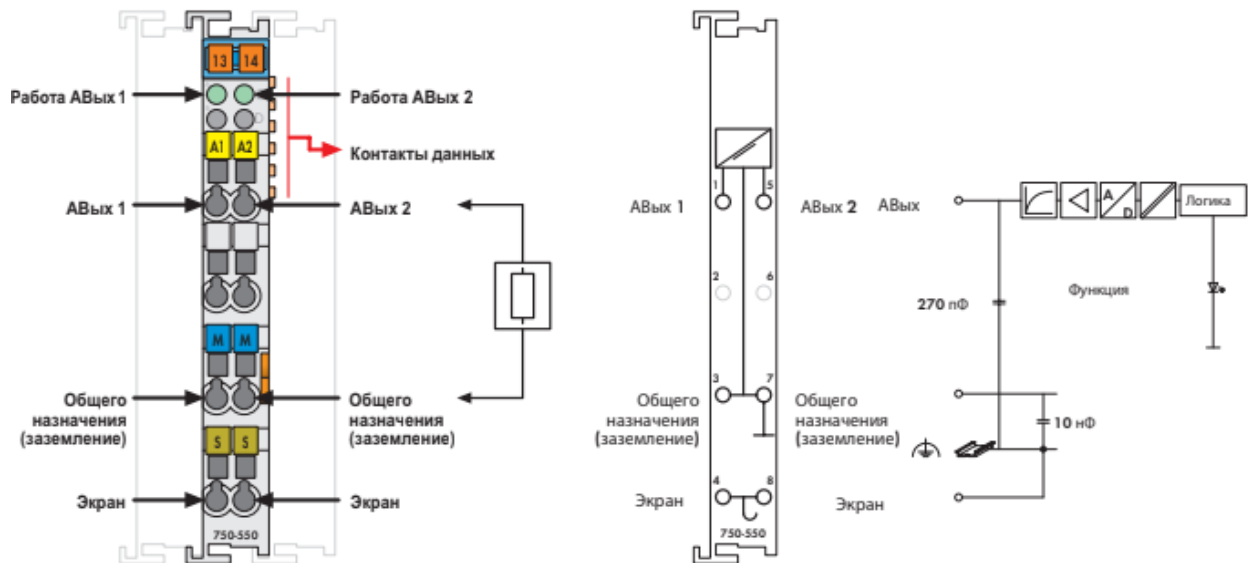


Рис. 6.3. Загальний вигляд, характеристики та схема підключення модуля ПЗО 750-550

Для вводу дискретних сигналів до контролеру був обран 16-канальний модуль дискретного вводу 750-1400.

Технічні характеристики 750-1400:

Технические данные	
Количество входов	16
Потребление тока (внутреннее)	25 мА
Подача напряжения	24 В пост. тока (-25 - +30 %)
Напряжение сигнала (0)	-3 - +5 В пост. тока
Напряжение сигнала (1)	15 - 30 В пост. тока
Входной фильтр	3,0 мс
Входной ток (тип.)	+0,6 мА (при -3 - +5 В пост. тока); +2,2 - +2,5 мА (при 15 - +32 В пост. тока)
Развязка	500 В между системой и полевым уровнем
Проводное соединение	20-полосный штекерный соединитель / CAGE CLAMP®
Сечения CAGE CLAMP®	0,08 mm ² ... 2,5 mm ² / AWG 28 ... 14
Длина участка без изоляции	8 ... 9 мм / 0.33 дюйма
Габаритные размеры (мм), Ш x В x Д	12 x 73 x 100
Вес	Высота от верхнего края рельса DIN 35 42,6 г

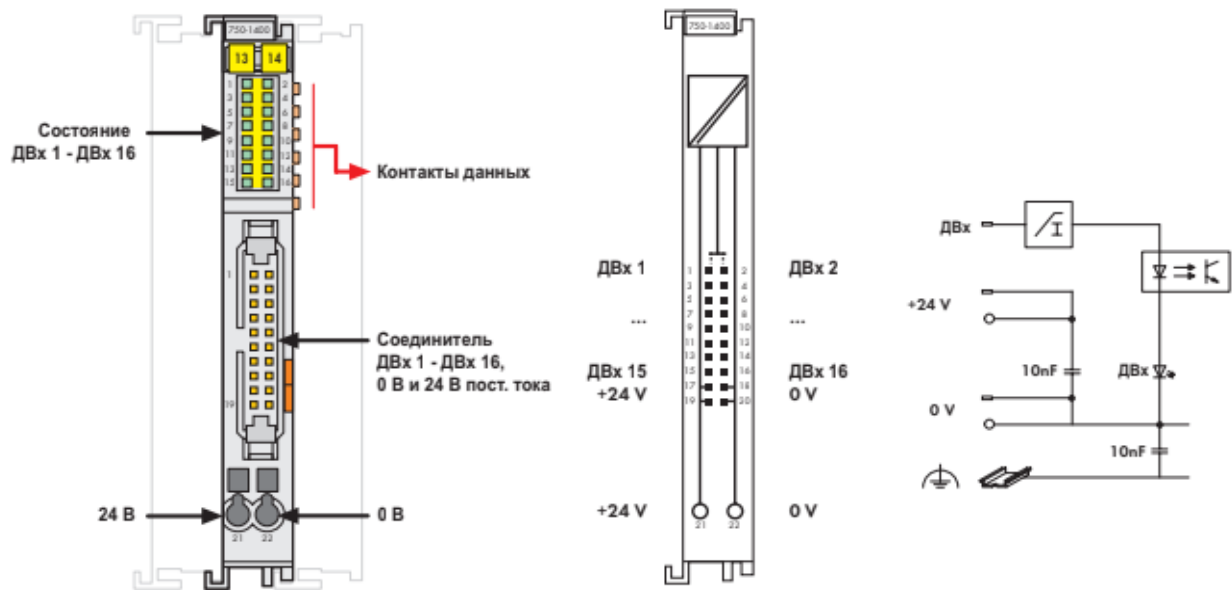


Рис. 6.4. Загальний вигляд, характеристики та схема підключення модуля ПЗО 750-1400

Для виводу дискретних сигналів з контролера, скористаємося 16-канальним модулем дискретного виводу 750-1500.

Технічні характеристики 750-1500:

Технические данные	
Количество выходов	16
Макс. потребление тока (внутреннее)	40 мА
Подача напряжения	24 В пост. тока (-25 - +30 %)
Тип нагрузки	резистивная, индуктивная, лампы
Макс. частота переключений	1 кГц
Выходной ток (макс.)	0,5 А, с защитой от короткого замыкания
Потребление тока, тип. (полевой уровень)	29 мА
Развязка	500 В между системой и полевым уровнем
Проводное соединение	20-полюсный штекерный соединитель / CAGE CLAMP®
Сечения CAGE CLAMP®	0,08 mm ² ... 2,5 mm ² / AWG 28 ... 14
Длина участка без изоляции	8 ... 9 mm / 0.33 дюйма
Габаритные размеры (мм), Ш x В x Д	12 x 73 x 100
Вес	46,1 г

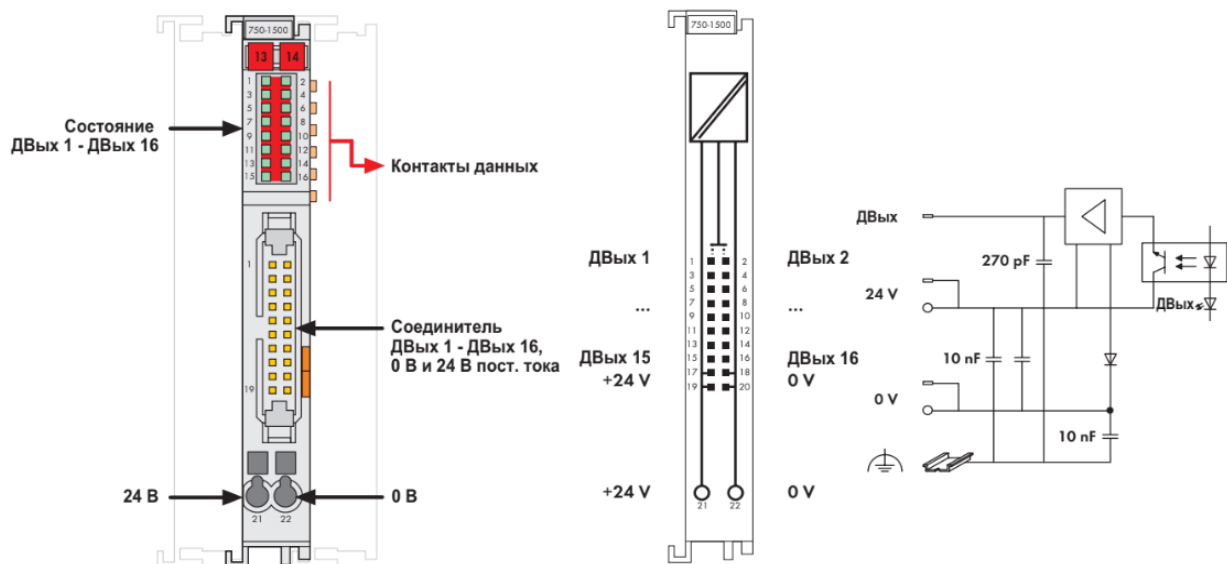


Рис. 6.5. Загальний вигляд, характеристики та схема підключення модуля ПЗО 750-1500

Зв'язок контролера з комп'ютером здійснюється завдяки інтерфейсу Ethernet.

Контролер 750-881, обрані модулі ПЗО, та список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування буде мати наступний вигляд. (рис. 6.6).

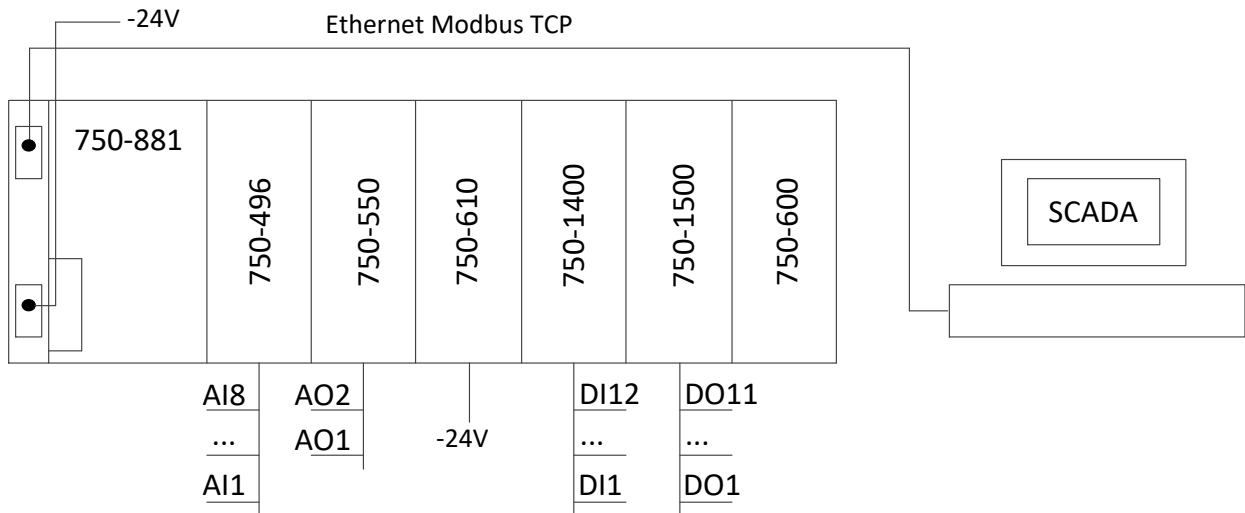


Рис. 6.6. Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування гідрогенізації жирів

6.3. Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК

Модель САР будемо розраховувати у програмному модулі POU_500ms, який обчислюється кожну 0.5 секунд. Час обчислення задається при конфігуруванні контролера у розділі «ресурси» (Конфігурація задач) (рис.6.7).

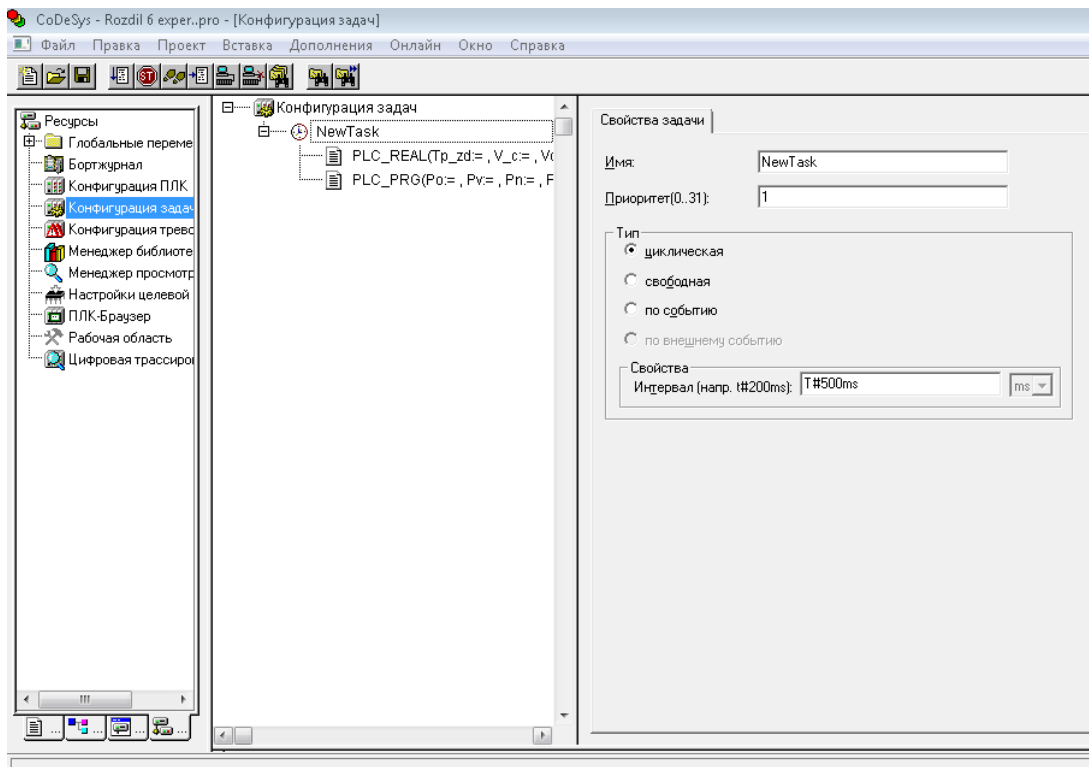


Рис.6.7. Загальний вид вікна проекту при конфігурації задач

На рис. 6.8 представлений фрагмент програми, який реалізує модель об'єкта керування та алгоритми регулювання.

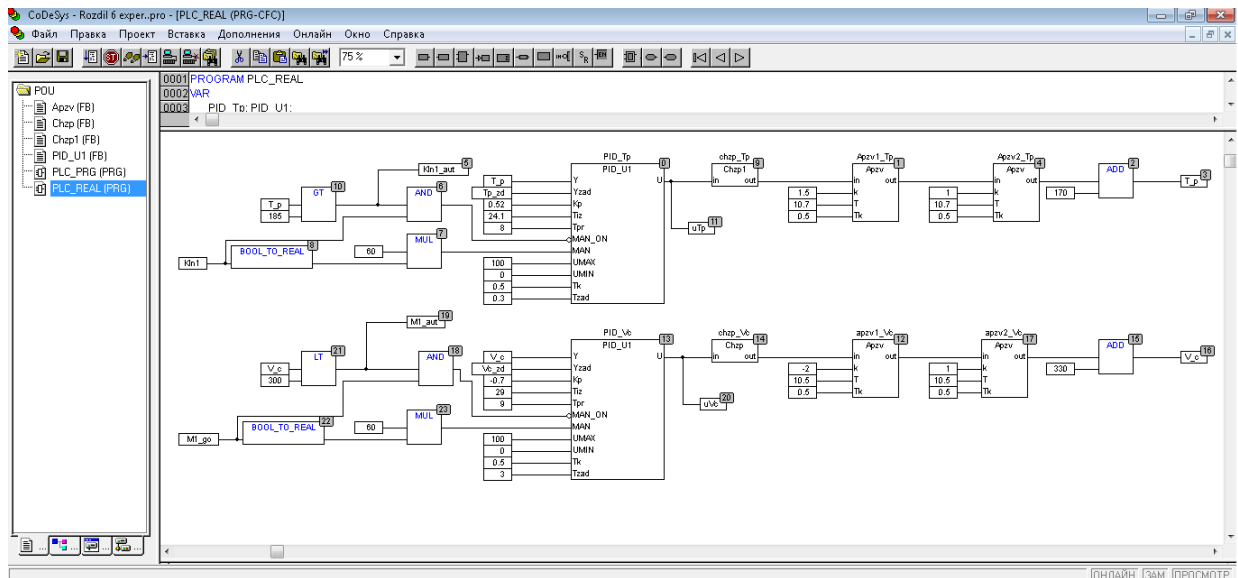


Рис. 6.8. Фрагмент програми, який реалізує модель об'єкта керування

Для реалізації моделі об'єкта керування використовувались спеціально розроблені функціональні блоки динамічних ланок: ланки запізнення та статичної аперіодичної інерційної ланки першого порядку. На рис. 6.9 – 6.11 представлені фрагменти програм реалізації цих ланок мовою ST.

Рис. 6.9. Фрагмент програми, який реалізує статичну аперіодичну інерційну ланку першого порядку

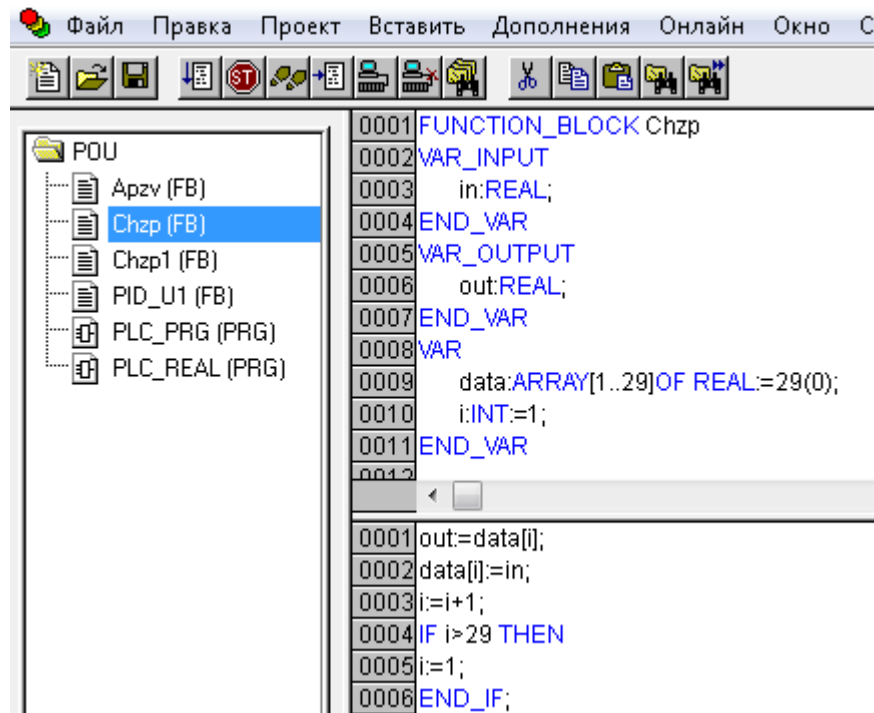


Рис. 6.10. Фрагмент програми, який реалізує ланку запізнення chzp

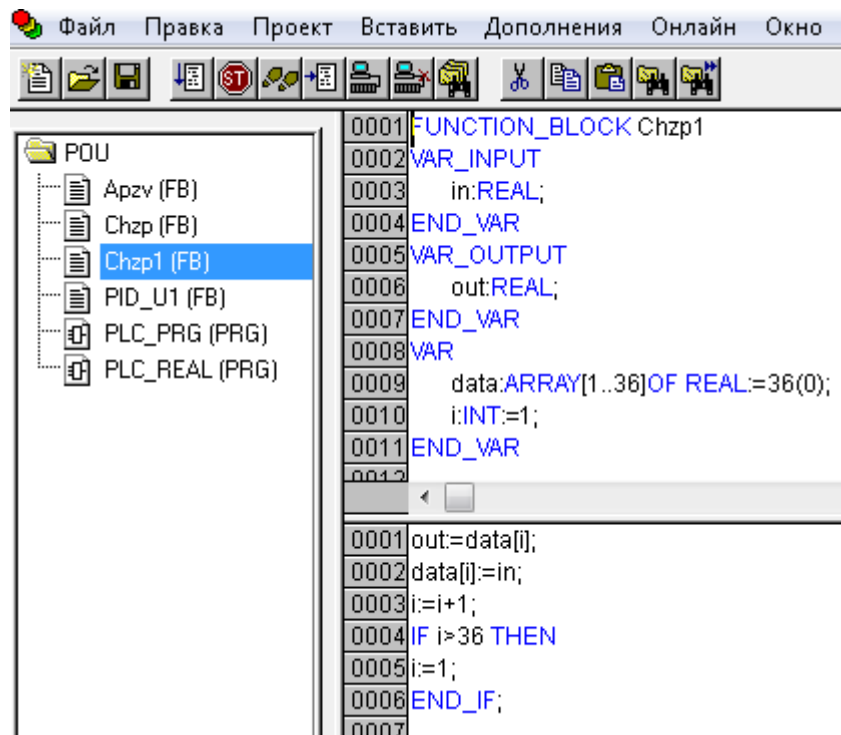


Рис. 6.11. Фрагмент програми, який реалізує ланку запізнення chzp1

Для реалізації алгоритмів регулювання використовувались спеціально розроблений функціональний блок ПІД – регулятору з інерційним задатчиком та переключенням режиму РУЧ/АВТ. Цей блок розроблений мовою ST. Внутрішня структура регулятора матиме такий вид (рис. 6.12)

```

0001 FUNCTION_BLOCK PID_U1
0002 VAR_INPUT
0003     Y: REAL; (*Регульована змінна*)
0004     Yzad: REAL; (*Задане значення*)
0005     Kp: REAL; (*Коефіцієнт передачі*)
0006     Tiz: REAL; (*Час ізодрому*)
0007     Tpr: REAL; (*Час попередження*)
0008     MAN_ON: BOOL; (*Ручний режим вкл/викл*)
0009     MAN: REAL; (*Управління впливом в ручному режимі*)
0010     UMAX: REAL; (*Максимальне значення управляючого впливу*)
0011     UMIN: REAL; (*Мінімальне значення управляючого впливу*)
0012     Tk: REAL; (*Крок квантування*)
0013     Tzad: REAL;
0014 END_VAR
0015 VAR_OUTPUT
0016     U: REAL; (*Управляючий вплив*)
0017 END_VAR
0018 VAR
0019     Ui: REAL;
0020     Yzadd: REAL;
0021     Up_1: REAL;
0022     Ud: REAL;
0023     DY: REAL;
0024     Up: REAL;
0025 END_VAR

```

```

0001 FUNCTION BLOCK PID U1
0001 (*Ручний режим управління*)
0002 IF MAN_ON = TRUE THEN
0003   U:=MAN;
0004   Ui:=U;
0005   Yzadd:=Y;
0006   Ud:=0;
0007   Up_1:=0;
0008 ELSE
0009   (** ПІД-АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ **)
0010   (*Розрахунок інерційного задатчика*)
0011   Yzadd:= (Tk*Yzad+Tzad*Yzadd)/(Tk+Tzad);
0012   (*Розрахунок похибки регулювання*)
0013   DY:= Yzadd - Y;
0014   (*Розрахунок П-складової*)
0015   Up:=Kp*DY;
0016   (*Розрахунок І-складової*)
0017   Ui:=(Tk/Tiz)*Up + Ui;
0018   (*Реалізація обмеження І-складової*)
0019   IF Ui > UMAX THEN
0020     Ui:= UMAX;
0021   ELSIF Ui < UMIN THEN
0022     Ui:=UMIN;
0023   END_IF;
0024   (*Розрахунок Д-складової*)
0025   Ud:= (Tpr*(Up-Up_1)+0.2*Tpr*Ud)/(Tk+0.2*Tpr);
0026   Up_1:=Up; (*Перевизначення проміжної змінної для розрахунку Д-складової*)
0027   (** Розрахунок управляючого впливу **)
0028   U:= Up + Ui + Ud;
0029 END_IF
0030 (*Реалізація обмеження управляючого впливу*)
0031 IF U > UMAX THEN
0032   U:= 100;
0033 ELSIF U < UMIN THEN
0034   U:= 0;
0035 END_IF;
0036

```

Рис. 6.12. Код програми ПІД – регулятора

Результати тестування програми, яка реалізує алгоритми регулювання наведені на рис. 6.13.

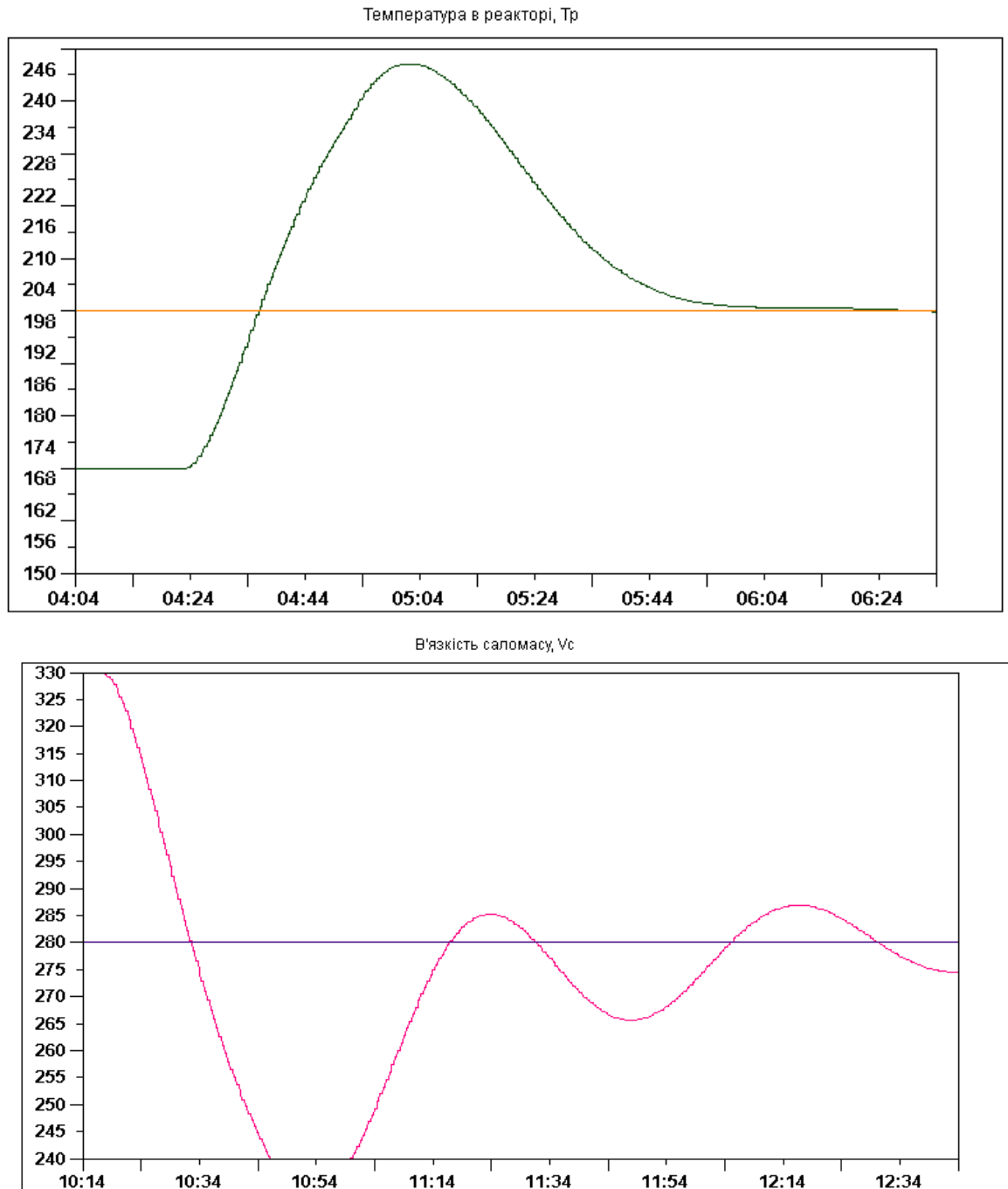


Рис. 6.13. Перехідні характеристики, отримані при тестуванні і налагодженні алгоритмів регулювання на моделі ОУ

6.4. Програмна реалізація алгоритмів логічного керування

Програмна реалізація алгоритмів логічного керування зроблена в програмному модулі PLC_PRG, який обчислюється з кроком 0.5с. Частина програми, що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки наведено на рис. 6.14.

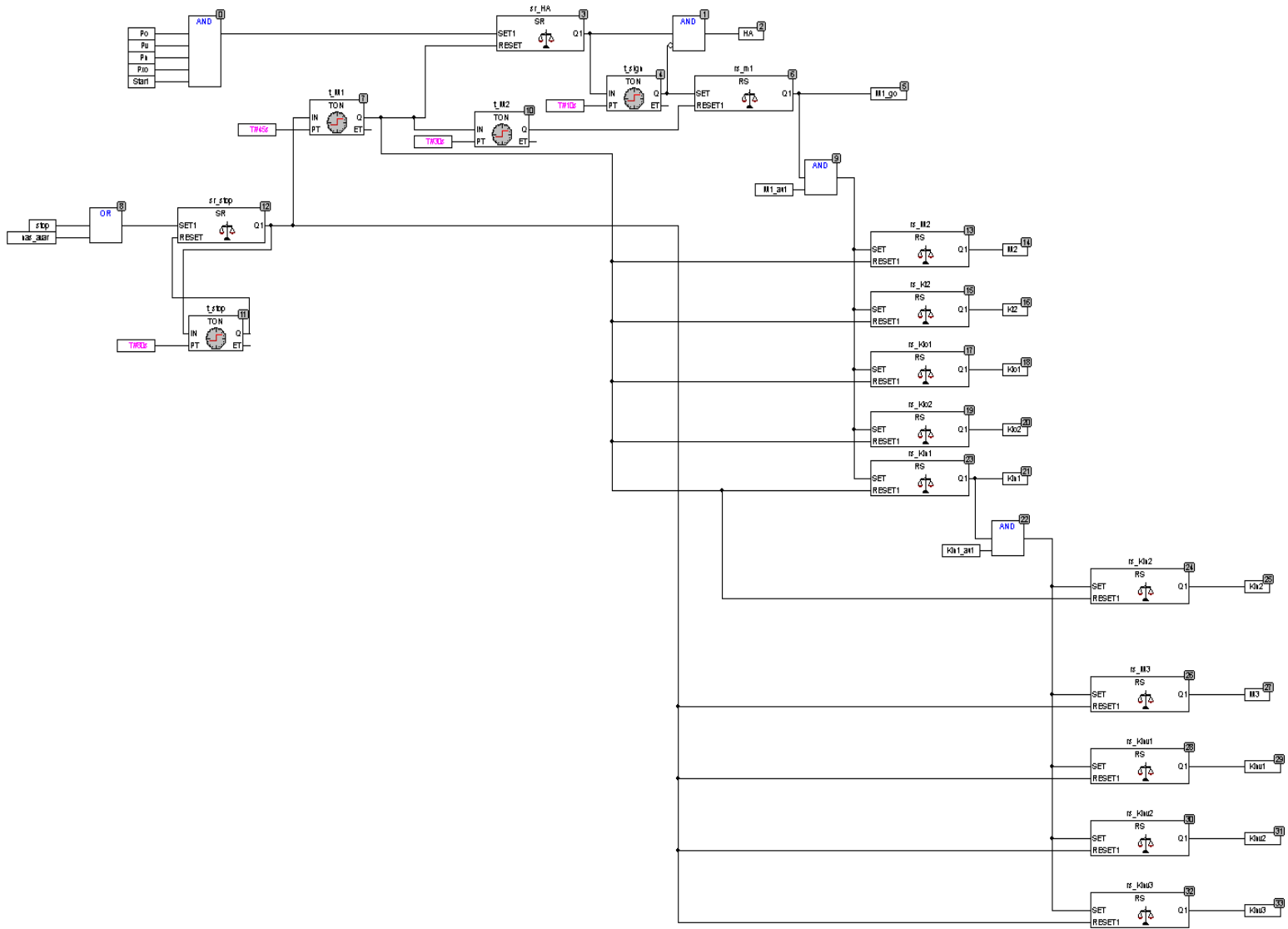


Рис. 6.14. Частина програми, що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки в середовищі CoDeSys

Результати тестування програми у режимі емуляції контролера, що реалізує керування пуском та зупинкою гідрогенізації жирів наведені на рис. 6.15 та реалізація мнемосхеми на рис. 6.16.

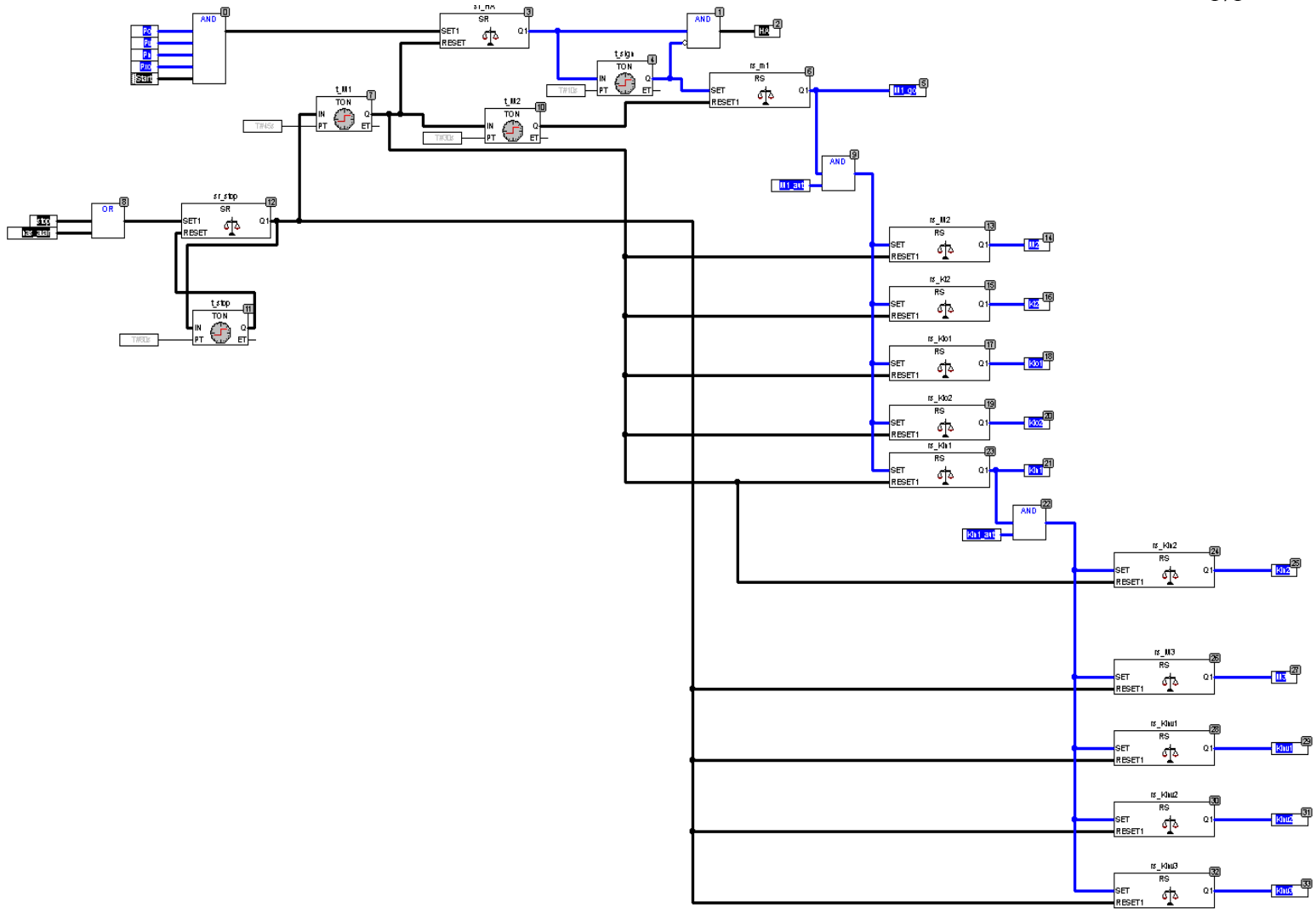


Рис. 6.15. Частина програми, що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки в режимі тестування

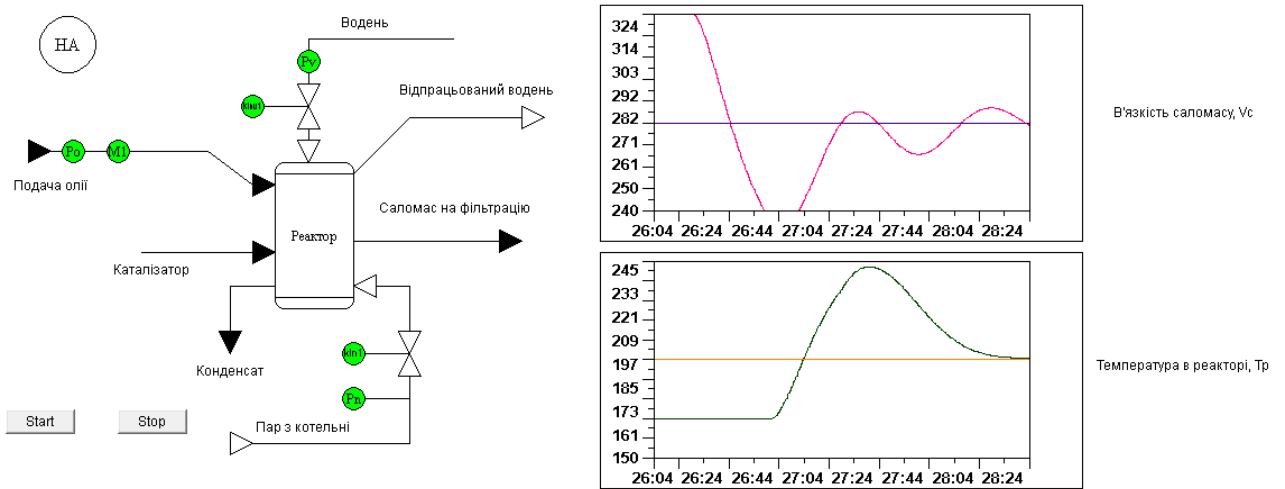


Рис. 6.16. Реалізація мнемосхеми гідрогенізації жирів під час роботи

6.5. Розробка підсистеми взаємодії автоматизованого робочого місця та мережі контролерів за допомогою OPC-сервера

Для взаємодії автоматизованого робочого місця (АРМ) та мережі контролерів з допомогою OPC-сервера реалізуємо зв'язок, засобами середовища CoDeSys 2.3, в якому буде розроблятися ПЗ контролер. Контролер 750-881 нам не буде потрібен, тому оберемо цільову платформу 3S CoDeSys SP PLCWinNT V2.4 в якій завантажувється символічний файл (рис. 6.17).

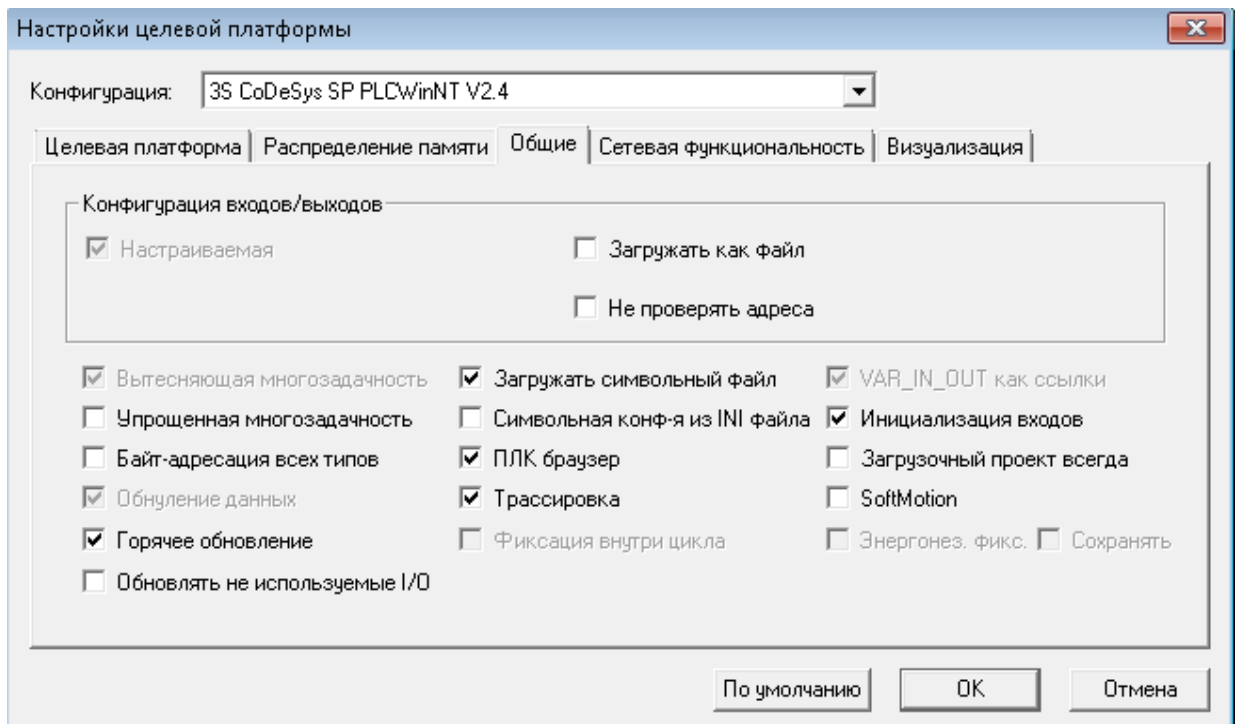


Рис. 6.17. Стандартний вид вікна вибору цільової платформи

Необхідно провести конфігурацію OPC-серверу у середовищі CoDeSys 2.3, для обміну даними зі SCADA-системою. Для цього треба виділити змінні програми, які включаються в мережі обміну даними (рис.6.18), налаштувати параметри мережевого зв'язку (рис. 6.19), та ввімкнути віртуальний контролер CoDeSys SP PLCWinNT V2.4 (рис. 6.20).

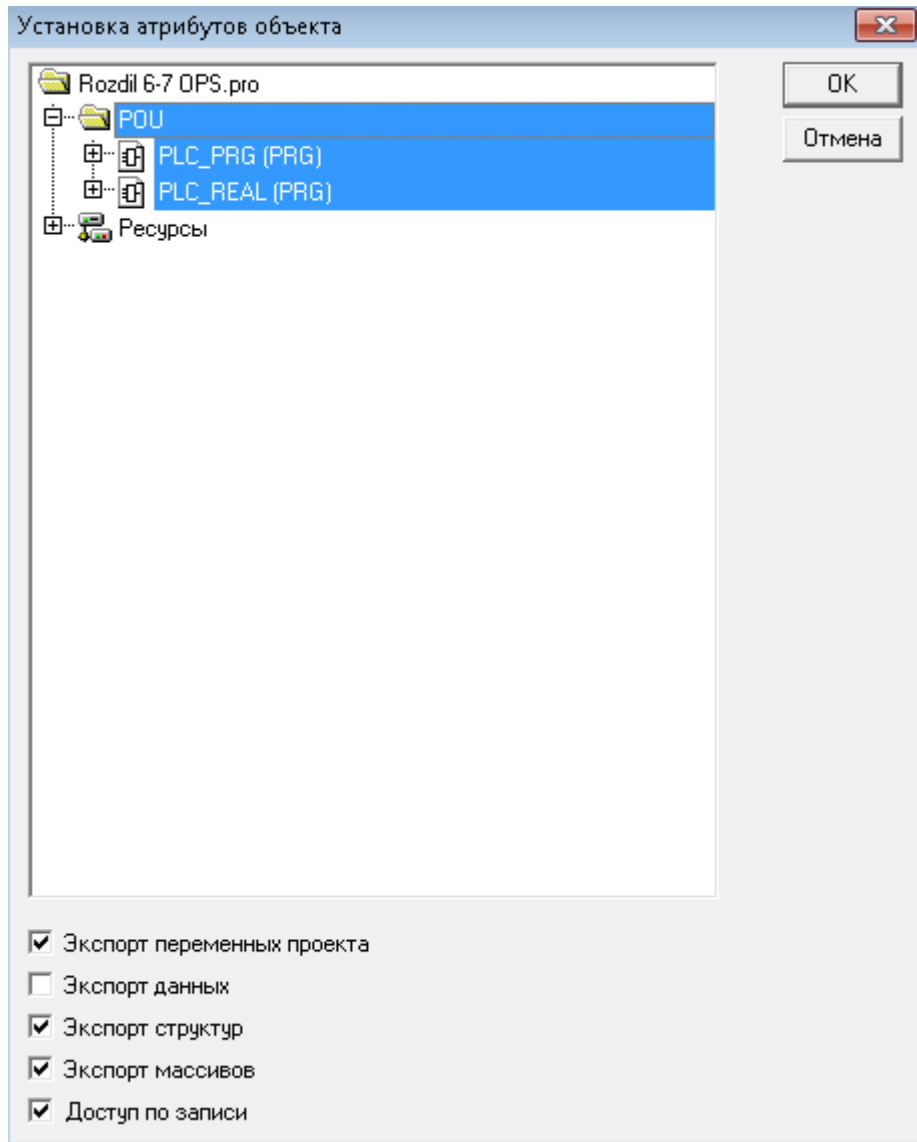


Рис. 6.18. Вікно налаштування символічного файлу для обміну даних використовуючи OPC-сервер

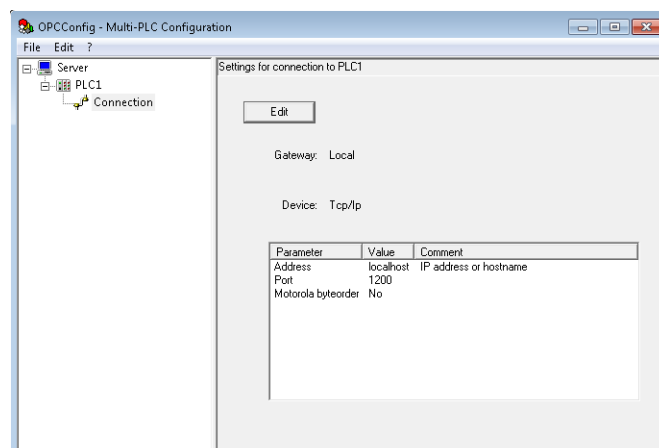


Рис. 6.19. Вікно де налаштовується параметри мережевого зв'язку для OPC-сервера

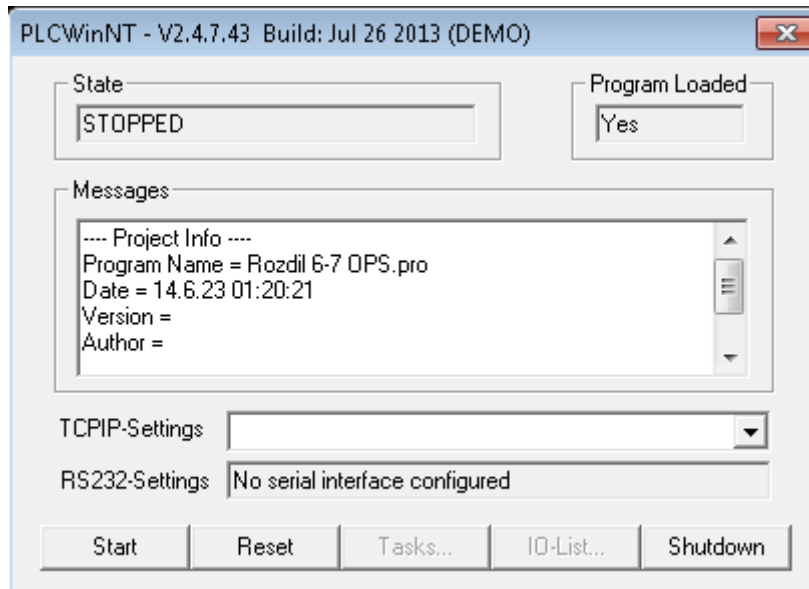


Рис. 6.20. Вікно віртуального контролера CoDeSys SP PLCWinNT V2.4

Програму WinCC Flexible зі SCADA-системою, підключаємо до OPC сервера CoDeSys 2.3 та створюємо теги.

На рис. 6.21 та 6.22 показані вікна підключення до OPC сервера CoDeSys та створення тегів які пов'язані з OPC сервером в SCADA системі WinCC Flexible.

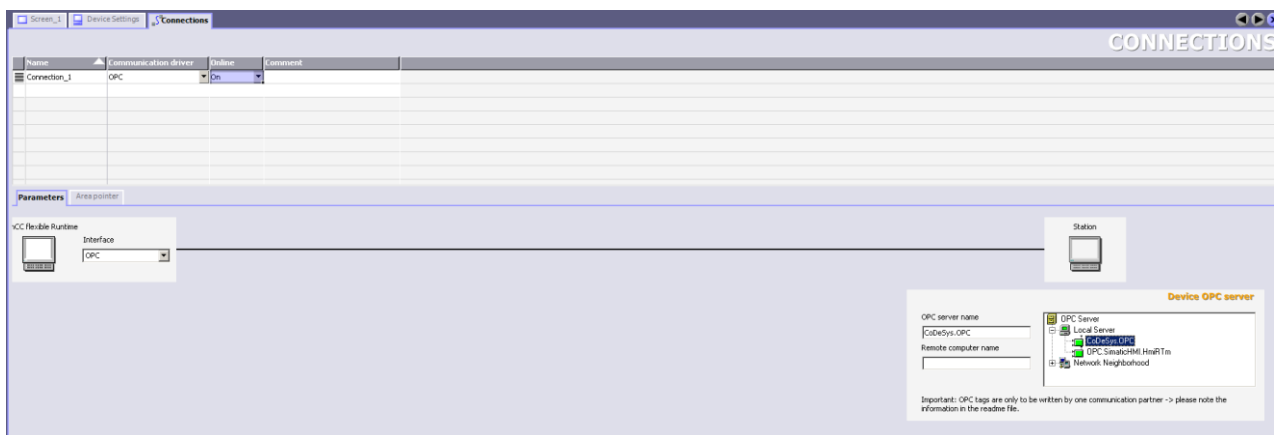


Рис. 6.21. Вікно підключення до OPC сервера CoDeSys в SCADA системі WinCC Flexible

Name	Display name	Connection	Data type	Symbol	Address	Array elements	Acquisition cycle	Comment	Data log	Logging acquisition m
Trp_zd		Connection_1	Float	PLC1:PLC_REAL.Trp_zd	PLC1:PLC_REAL.Trp_zd	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
Klo2_Run_s		Connection_1	Bool	PLC1:PLC_PRG.Klo2	PLC1:PLC_PRG.Klo2	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
U_Vc_m		Connection_1	Float	PLC1:PLC_REAL.Uman_Vc	PLC1:PLC_REAL.Uman_Vc	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
Kp1_pos_s		Connection_1	Float	PLC1:PLC_REAL.uTp	PLC1:PLC_REAL.uTp	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
Tie_Vc		Connection_1	Float	PLC1:PLC_REAL.Tie2	PLC1:PLC_REAL.Tie2	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
Kr_Tp		Connection_1	Float	PLC1:PLC_REAL.KpTp	PLC1:PLC_REAL.KpTp	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
LS_Systema9		Connection_1	Bool	PLC1:PLC_PRG.Ls	PLC1:PLC_PRG.Ls	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
Kpv3_Run_s		Connection_1	Bool	PLC1:PLC_PRG.Khv3	PLC1:PLC_PRG.Khv3	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
PS_yodorod		Connection_1	Bool	PLC1:PLC_PRG.Pv	PLC1:PLC_PRG.Pv	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
U_Tp_m		Connection_1	Float	PLC1:PLC_REAL.Uman_Tp	PLC1:PLC_REAL.Uman_Tp	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
Tpr_Vc		Connection_1	Float	PLC1:PLC_REAL.Tpr2	PLC1:PLC_REAL.Tpr2	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
Start_sistemi		Connection_1	Bool	PLC1:PLC_PRG.Start	PLC1:PLC_PRG.Start	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
U_Tp		Connection_1	Float	PLC1:PLC_REAL.uTp	PLC1:PLC_REAL.uTp	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
Kpv1_Run_s		Connection_1	Bool	PLC1:PLC_PRG.Khv1	PLC1:PLC_PRG.Khv1	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
Vc_zd		Connection_1	Float	PLC1:PLC_REAL.Vc_zd	PLC1:PLC_REAL.Vc_zd	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
Kr_Vc		Connection_1	Float	PLC1:PLC_REAL.KpVc	PLC1:PLC_REAL.KpVc	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
K2_Run_s		Connection_1	Bool	PLC1:PLC_PRG.Kl2	PLC1:PLC_PRG.Kl2	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
M3_Run_s		Connection_1	Bool	PLC1:PLC_PRG.M3	PLC1:PLC_PRG.M3	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
M1_Run_s		Connection_1	Bool	PLC1:MI_go	PLC1:MI_go	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
Kp2_Run_s		Connection_1	Bool	PLC1:PLC_PRG.Kh2	PLC1:PLC_PRG.Kh2	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous
M2_Run_s		Connection_1	Bool	PLC1:PLC_PRG.M2	PLC1:PLC_PRG.M2	1	1 s		<Undefined>	Cyclic continuous

Рис. 6.22. Вікно тегів, які пов'язані з OPC сервером CoDeSys в SCADA системі WinCC Flexible

Результати тесту обміну даними між SCADA системою WinCC Flexible і програмою контролера які були створені в середовищі CoDeSys завдяки OPC сервера, наведені на рис. 6.23. Якщо перехідні процеси співпадають з процесами наведеними на рис. 6.13, можна вважати, що вони підтвердили обмін даними.

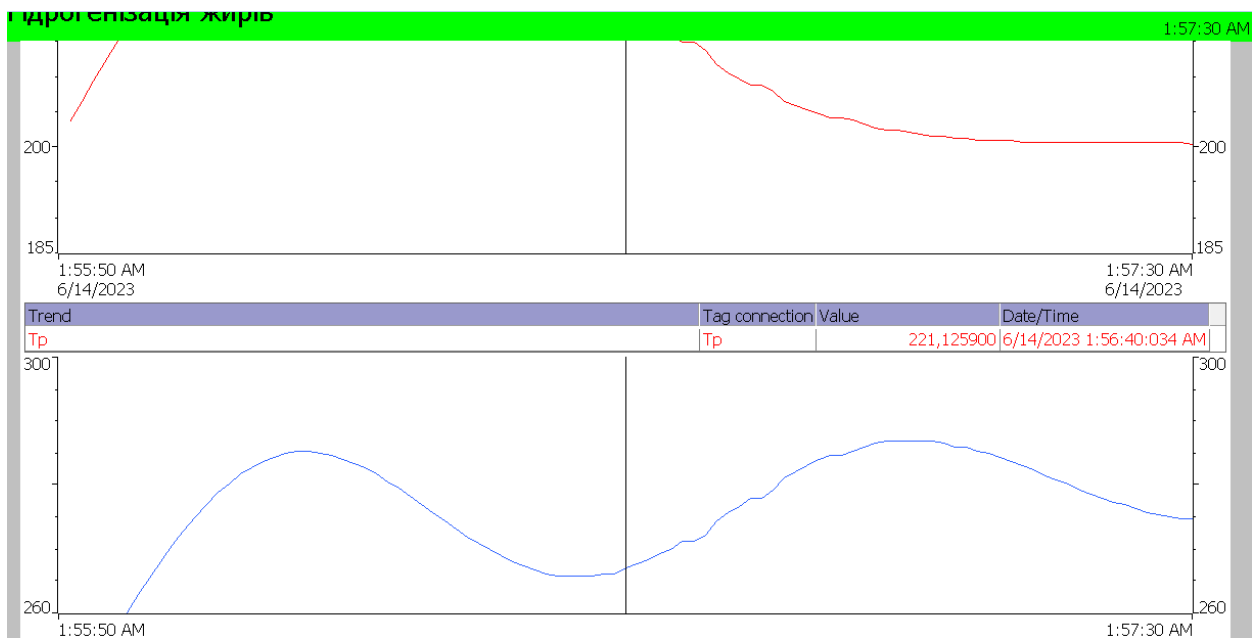


Рис. 6.23. Перехідні характеристики, обміну даними отримані при запуску системи виконання WinCC Flexible

6.6. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування на базі контролера S7-300

ПЛК й допоміжне устаткування потрібно розташувати в одному приміщенні компактно, тому слід вибрати централізовану схему розміщення модулів системи керування.

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

Далі представлені рисунки, на яких наведені рекомендації з монтажу Simatic S7-300 у шафі з урахуванням зазорів, схема заземлення, а також можливість розсіювати тепло.

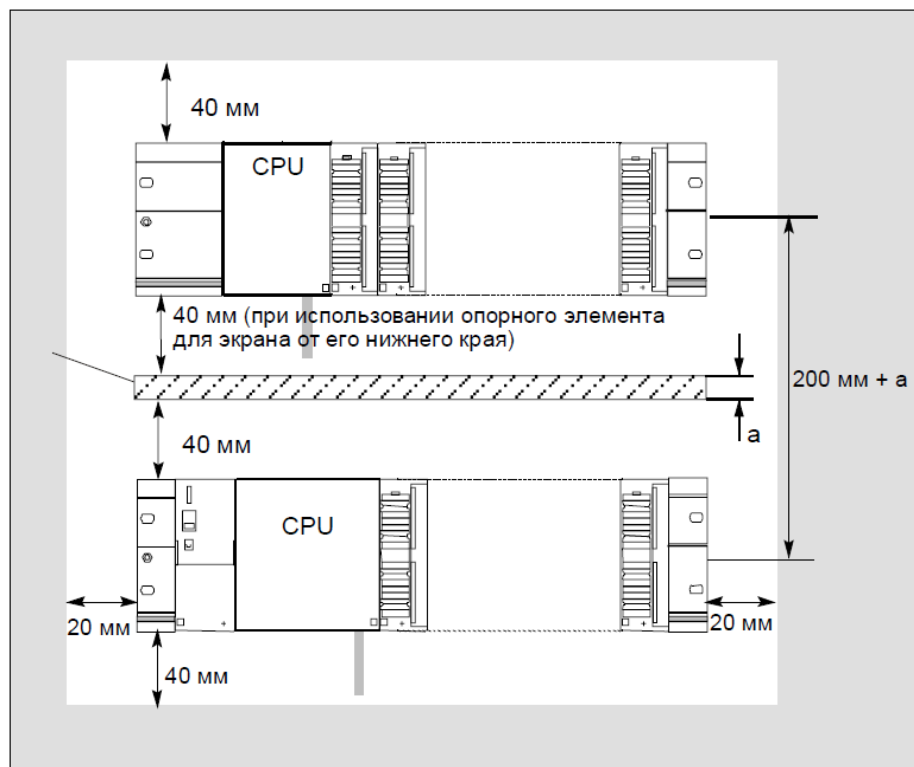


Рис. 6.24. Зазори при встановленні S7-300 у шафі

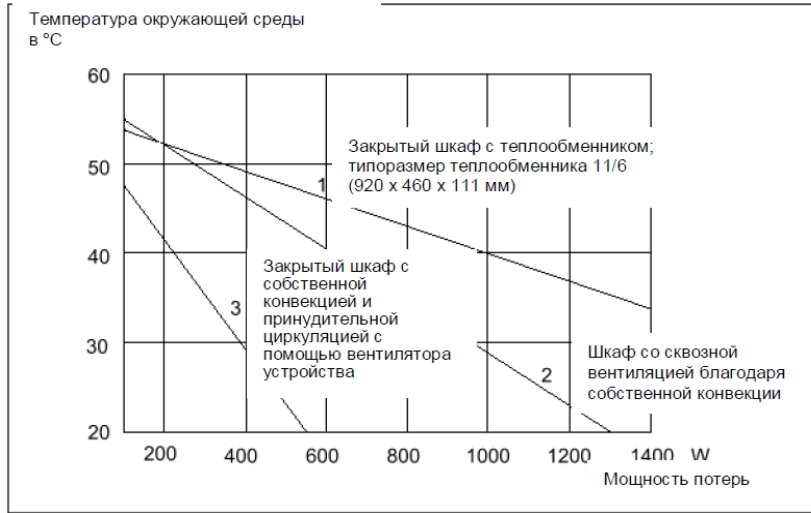


Рис. 6.25. Диаграмма с наведенными допустимыми мощностями розівонання

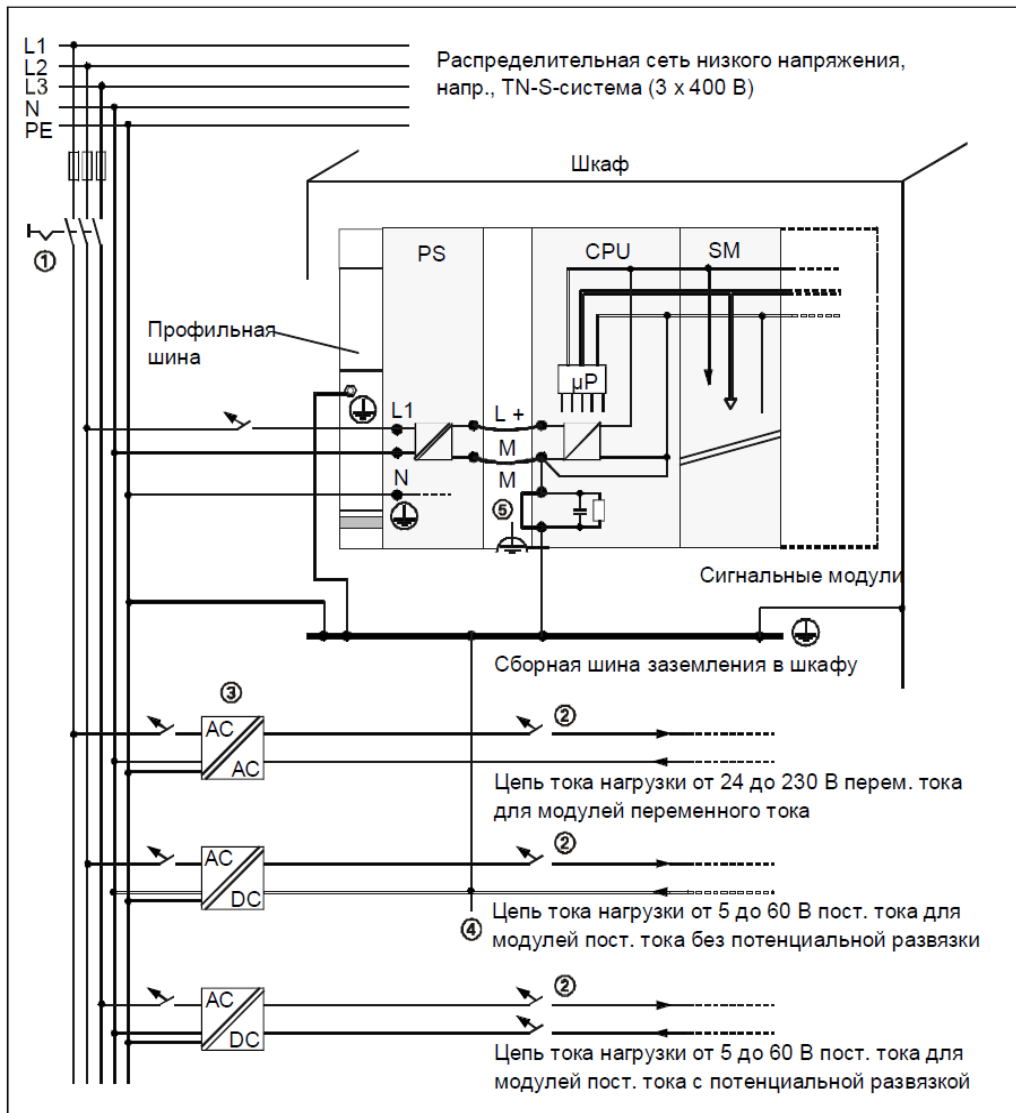


Рис. 6.26. Схема шафи с заземленням

Оскільки приміщення опалювальне, то це дозволяє використовувати модулі звичайного виконання, а не з розширеним температурним діапазоном, які дорожче.

Враховуючи, що фірма Siemens випускає найбільш широку гаму устаткування з можливістю підключення по мережі PROFIBUS/MPI, доцільно вибрати CPU із вбудованим портом PROFIBUS/MPI. Це дозволить при необхідності легко розширити функціональні можливості системи керування, зокрема, зв'язати її з іншими системами й з оператором, який працює в SCADA-Системі на панелі оператора.

Виходячи з сформованої таблиці з переліком входів-виходів системи керування (див. п. 6.1) та середньої складності алгоритмів керування, технічну структуру системи керування вирішено розробити на базі контролера Simatic S7-300. Для реалізації системи керування в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені: 8 аналогових входів, 2 аналогових вихода, 12 дискретних входів і 12 дискретних виходів. Виходячи з сформованої таблиці та середньої складності алгоритмів керування, для реалізації системи керування скористаємося контролером CPU 313C-2 DP з модулями ПЗО SM 331 - AI8, SM 334 – AO2.



Рис. 6.27. Центральний процесор CPU 313C-2DP

Компактний центральний процесор CPU 313C-2DP (6ES7 313-6CE01-0AB0) характеризується наступними показниками:

- Мікропроцесор з часом виконання логічної операції з бітами 200 нс в CPU 312C та 100 нс в інших центральних процесорах S7-300C.

- Робоча пам'ять (RAM) об'ємом 16 Кбайт (CPU 312С) до 64 Кбайт (CPU 314С); для виконання завантаженої секції програми та зберігання оперативних даних.
- Мікрокарта пам'яті NVFlashEEPROM ємністю (до 4 Мбайт, CPU 312С) і (до 8 Мбайт, в інших центральних процесорах S7-300С) яка у ролі завантажувальної пам'яті, а також збереження архіву проекту (з коментарями і таблицею символів), архівування даних і керування рецептами.
- Гнучкі можливості розширення; підключення до 8 (у CPU 312С) або до 31 модуля S7-300 (4-рядна конфігурація).
- Одночасна підтримка від 6 (у CPU 312С) до 12 (у CPU314С) активних комунікаційних з'єднань у промислових мережах.
- Вбудований перемикач режимів роботи (RUN/STOP/MRES).
- Парольний захист: Забезпечує захист програми від несанкціонованого доступу.
- Набір вбудованих входів і виходів; 16 дискретних входів = 24В і 16 дискретних виходів = 24В/0.5А частина виходів може працювати в імпульсному режимі.
- Можливість побудови ПД-регуляторів з імпульсними або аналоговими вихідними сигналами.

Табл. 6.2 Технічні дані входів/виходів CPU

Центральные процессоры S7-300C	CPU 312C	CPU 313C-2 PtP	CPU 313C-2 DP
Встроенные дискретные входы			
Количество входных каналов:			
• общее	10	16	16
• используемое технологическими функциями	8	12	12
Адреса входов, устанавливаемые по умолчанию	DI124.0 ... DI125.1	DI124.0 ... DI125.7	DI124.0 ... DI125.7
Количество входных сигналов, одновременно фиксируемых триггерами:			
• горизонтальная установка:			
- при температуре до 40°C	10	16	16
- при температуре до 60°C	5	8	8
• вертикальная установка:			
- при температуре до 40°C	5	8	8
Гальваническое разделение:			
• между каналами и внутренней шиной контроллера	Есть	Есть	Есть
• между каналами	Нет	Нет	Нет
Допустимая разность потенциалов между различными цепями	=75В/~60В	=75В/~60В	=75В/~60В
Испытательное напряжение изоляции	=500В	=500В	=500В
Ток, потребляемый из цепи L+ при холостном ходе	Нет	70мА	70мА
Индикация состояний входных сигналов		1 зеленый светодиод на каждый канал	
Поддержка прерываний		• для каналов, сконфигурированных для работы в режиме	
		• при использовании технологических функций (см. описание)	
		• не используются для стандартных дискретных входов	
		• для технологических функций (см. описание технологич...	
Диагностические функции			
Входное напряжение:			
• номинальное значение	=24В	=24В	=24В
• логической единицы	15...30В	15...30В	15...30В
• логического нуля	-3...+5В	-3...+5В	-3...+5В
• защита от неправильной полярности напряжения	Есть	Есть	Есть
Входной ток логической единицы	9мА	9мА	9мА
Задержка распространения входного сигнала при номинальном входном напряжении:			

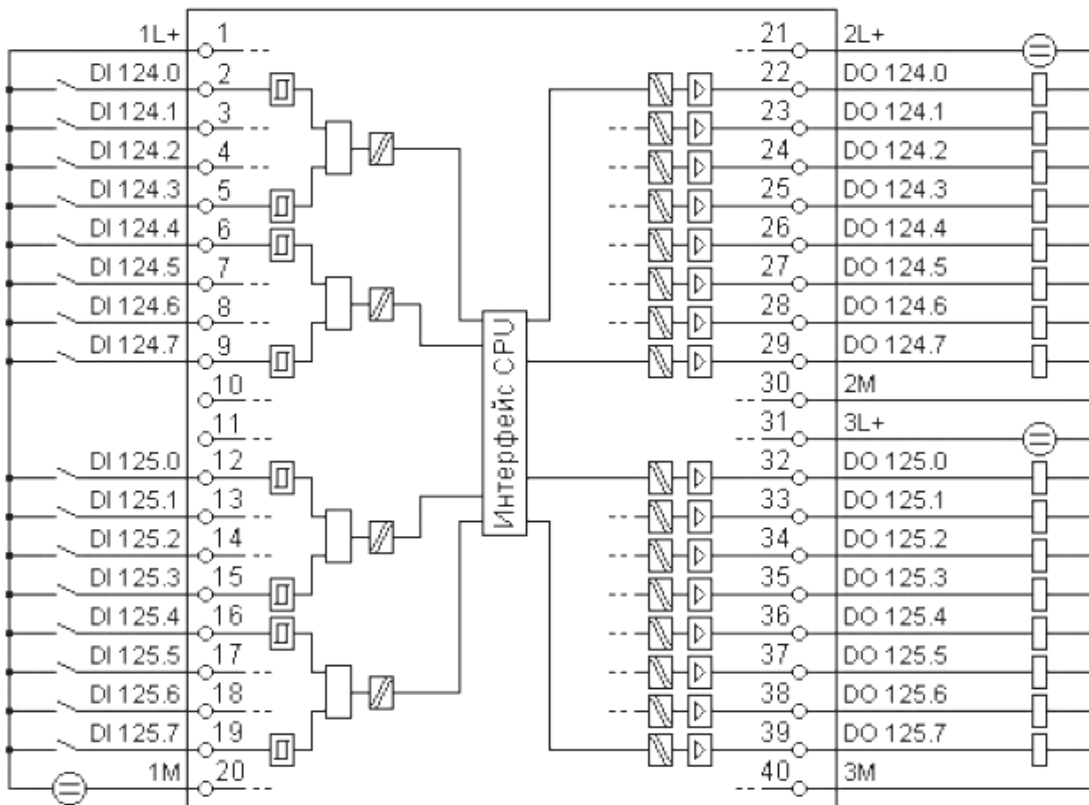


Рис. 6.28. Схеми зовнішніх підключень CPU 313C-2DP

Підключення дискретних сигналів

У тих випадках, коли від контакторів приходять сигнали ~ 220 В змінного струму, то для їхнього перетворення в сигнали $=24$ В постійного струму треба скористатися інтерфейсними реле, наприклад, фірми **Relpol**.

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

Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

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

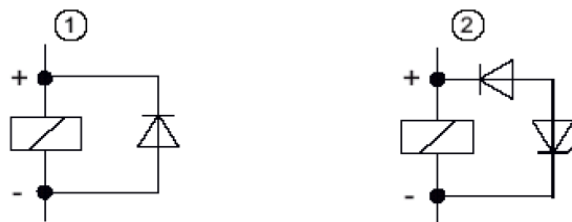


Рис. 3-2. Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

- 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.

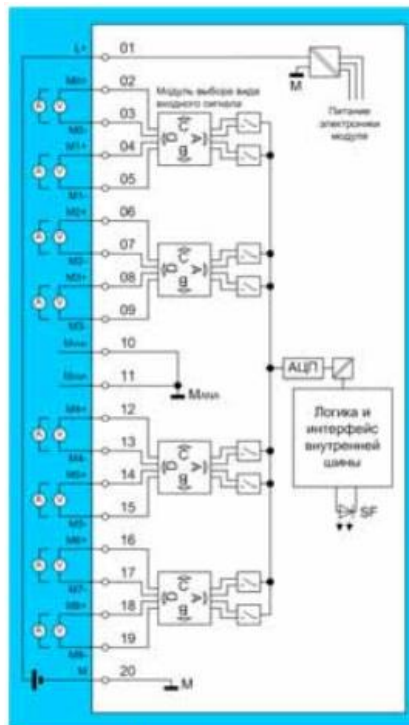
Схема с RC-цепочкой обладает следующими свойствами:

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

Рис. 6.29. Рекомендації Siemens при підключенні дискретних виходів

Для вводу аналогових сигналів було обрано модуль SM 331 (6ES7331–7HF01–0AB0).

Модули SIMATIC S7-300 Модули SIPLUS S7-300	6ES7 331- 6AG1 331-	1KF01-0AB0	7HF01-0AB0
<i>Напряження, токи, потенціали</i>			
Напряження живлення електроніки модуля		=5 В, от внутрешней шини контроллера	=24 В
Защита от неправильной полярности напряжения питания		Нет	Есть
Потребляемый ток, не более:			
• от внутренней шини контроллера		90 мА	60 мА
• от источника L+		-	50 мА
Потребляемая мощность, типовое значение		0.4 Вт	1.5 Вт
<i>Подключение внешних цепей</i>			
Фронтальный соединитель		40-полюсный	20-полюсный
<i>Тактовая синхронизация</i>			
Поддержка тактовой синхронизации		Нет	Есть
<i>Аналоговые входы</i>			
Общее количество входов		8	8
• из них для измерения сопротивления		8	-
• количество групп x количество каналов в группе		1x8	4x2
Длина экранированного кабеля, не более		200 м (50 м для 50 мВ)	200 м
Максимальное входное напряжение для каналов измерения напряжения		30 В до 1 с; 12 В длительно	20 В длительно, 75 В в т...
Максимальный входной ток для каналов измерения силы тока		40 мА	40 мА
Параметры входных сигналов/входное сопротивление канала подключения:			
• датчика напряжения		±50 мВ/100 кОм; ±500 мВ/100 кОм; ±1 В/100 кОм; ±5 В/100 кОм; ±10 В/100 кОм; 1 ... 5 В/100 кОм; 0 ... 10 В/100 кОм	±1 В/1 МОм; ±5 В/100 кОм; ±10 В/100 кОм; 1 ... 5 В/100 кОм; 1 ... 10 В/100 кОм

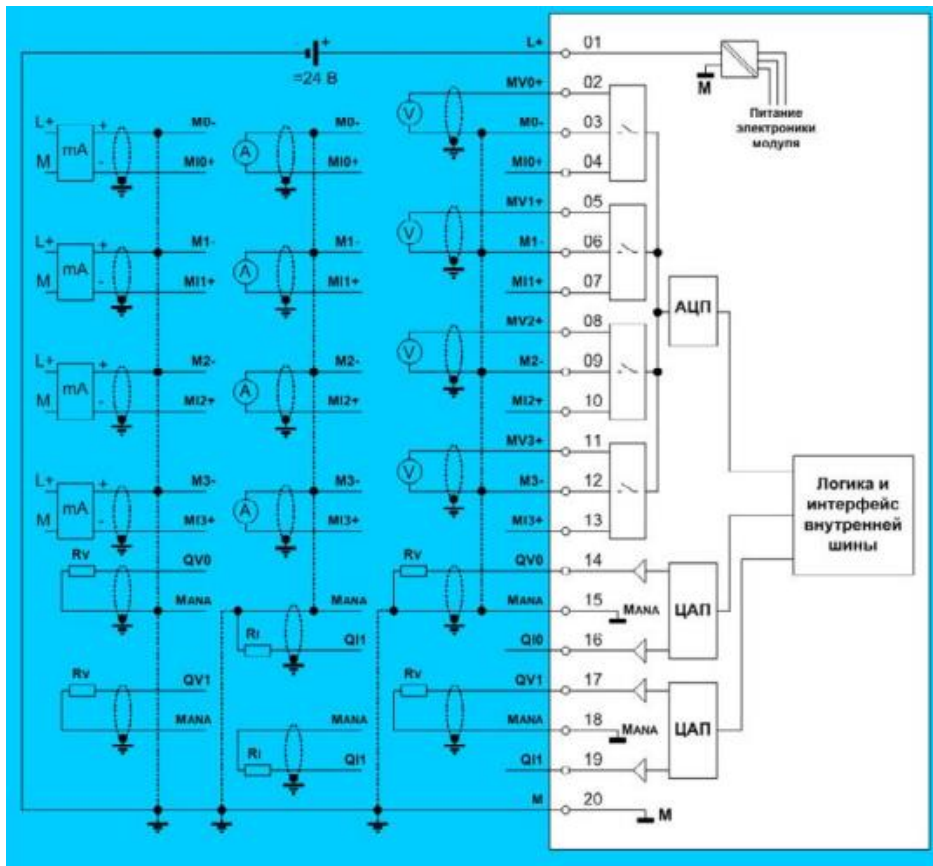


6ES7 331-7HF01-0AB0

Рис. 6.30. Технічні характеристики та схема підключень модуля (6ES7331–7HF01–0AB0).

Для вводу/выводу аналогових сигналів було обрано модуль SM 334 (6ES7 334-1CE01-0AA0)

<u>Аналоговые входы</u>	
Количество входов	4
<ul style="list-style-type: none"> из них для измерения напряжения из них для измерения сопротивления 	4 -
Длина экранированного кабеля, не более	200 м
Максимальное входное напряжение для каналов измерения напряжения	20 В длительно, 75 В в течение 1 с
Максимальный входной ток для каналов измерения силы тока	40 мА
Время цикла для всех каналов ввода и вывода	5 мс
Диапазоны измерения входных сигналов/ входное сопротивление:	
<ul style="list-style-type: none"> для входов измерения напряжения 	0 ... 10 В/ 100 кОм
<ul style="list-style-type: none"> для входов измерения силы тока 	0 ... 20 мА/ 50 Ом
<ul style="list-style-type: none"> для входов измерения сопротивления для входов измерения температуры 	- -
Линеаризация характеристик:	-
<ul style="list-style-type: none"> термометров сопротивления 	-
Единицы измерения температуры	-
<u>Аналоговые выходы</u>	
Количество выходов	2
Установка выходов в заданные состояния при остановке центрального процессора	Нет
Длина экранированного кабеля, не более	200 м
Защита каналов напряжения от короткого замыкания:	Есть
<ul style="list-style-type: none"> ток срабатывания защиты, не более 	11 мА
Напряжение холостого хода канала силы тока, не более	15 В



6ES7 334-1CE01-0AA0

Рис. 6. .31. Технічні характеристики та схема підключень модуля (6ES7 334-1CE01-0AA0)

6.7. Висновки за розділом

У розділі 6 було розроблено програмне забезпечення системи та технічну структуру мікропроцесорного ядра гідрогенізації жирів.

Була реалізована система регулювання температури в реакторі та швидкість обертання насосу. При виконанні цього розділу були отримані навички у створенні та покращенні блоку ПД регулятора.

У розділі розробка програм, який реалізує алгоритм логічного керування, був реалізований алгоритм автоматичного пуску та зупинки ділянки гідрогенізації жирів. При тестуванні даного алгоритму показало, що програма працює коректно.

Також було реалізовано взаємодію АРМ на базі SCADA системи WinCC Flexible та мережі контролерів з допомогою OPC-серверу CoDeSys 2.3.

У підрозділі 6.6 для реалізації системи керування на контролері фірми Siemens були вибрані необхідні модулі контролерів і ПЗО сімейства Simatic S7-300.

7 Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК

7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога.

Робоче місце оператора-технолога системи потрібно передбачати наявністю набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують виконання його обов'язків. З урахуванням цього АРМ оператора-технолога повинна передбачати можливість виконувати оператором наступні функції:

- контролювати значення технологічних параметрів процесу таких як температури пара у реакторі, в'язкість саломасу та рівень в ємностях і задавати режими керування;

- контролювати режим обладнання установки (ввімкнений, вимкнений, трапилась аварія і т.д.) і значення експлуатаційних параметрів установки;

- керувати ручним або автоматичним режимом управління, як запуском так і зупинкою установки ;

- керувати окремим обладнанням установки в ручному режимі;

контролювати виникнення помилок в роботі обладнання установки і оперативно реагувати на них.

Виходячи з перерахованого вище, в проекті, для реалізації АРМ оператора-технолога передбачені наступні екрани з певною назвою:

- 1) Технологічна схема. Це основний екран де зображенні схеми установки де можна контролювати хід процесу, таким пристроєм установки (двигуни вентилятора, насосу, і клапанами) міняти режими, контролювати виникнення помилок в роботі установки.

- 2) Графіки. Екран необхідний для відображення графіків зміни температури і в'язкості.

- 3) Повідомлення. Цей екран, демонструє інформацію різних класів (увага та помилка).

- 4) Допомога. Екран, що допомагає новим недосвідченим користувачам.

- 5) Налаштування. Екран який надає настройку регуляторів САК.

7.2. Розробка екранів АРМ оператора – технолога

Шаблон екранів.

Шаблон екранів створюється в окремому підрозділі графічного редактора екранів SCADA-системи WinCC Flexible. Графічні елементи які показані у вікні шаблону, будуть знаходитись на всіх екранах, які входять в сам проект.

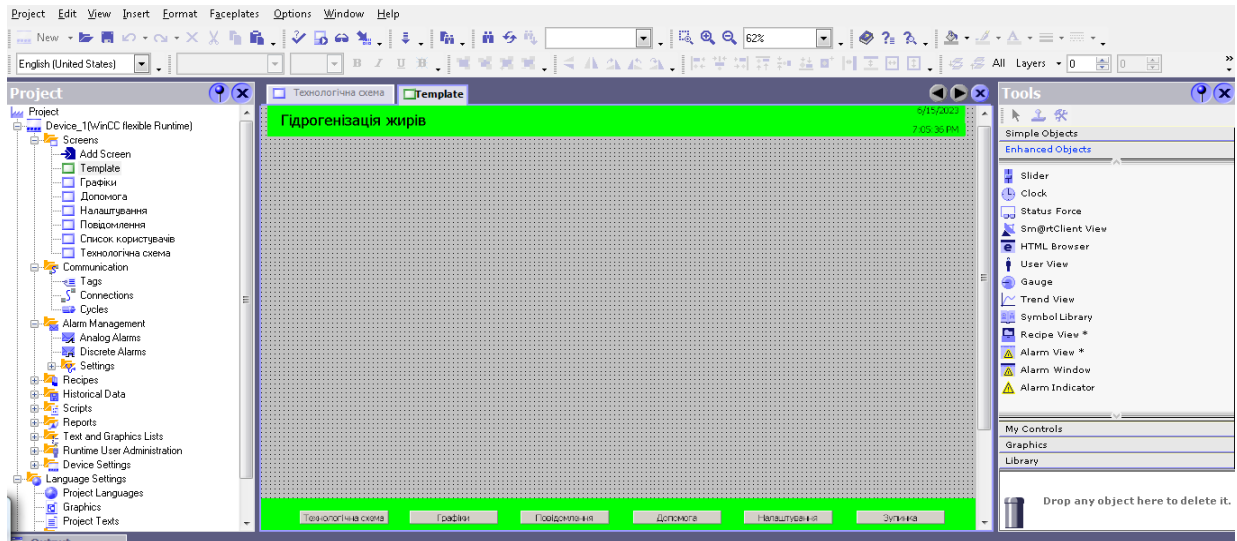


Рис. 7.1 – Стандартний вид шаблону вікон. (Template)

В шаблоні екранів присутній заголовок екрану і меню переходу екранів АРМ. Тема екрану створюється з використанням елементів графічного редактора системи WinCC Flexible.

В нього входить: загальна назва технологічного агрегату, елементи які відображають поточну дату та час.

Меню переходу екранів зроблені з набору кнопок, які дозволяють виконувати перехід між різними графічними вікнами. Для дого щоб переходити з одного вікна до іншого, використовуються спеціальні системні функції.

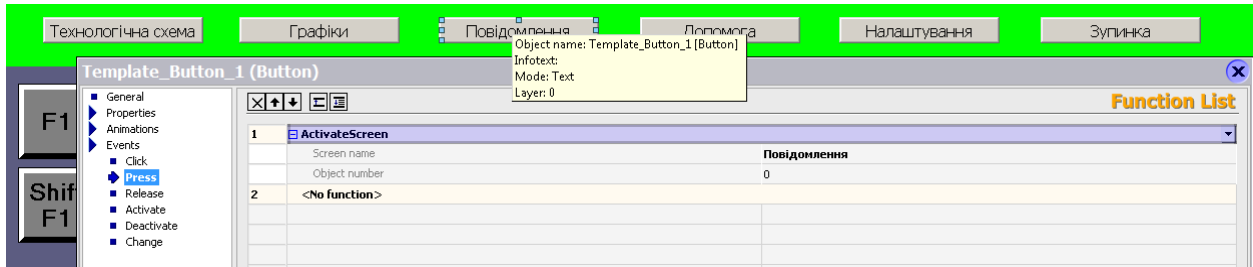
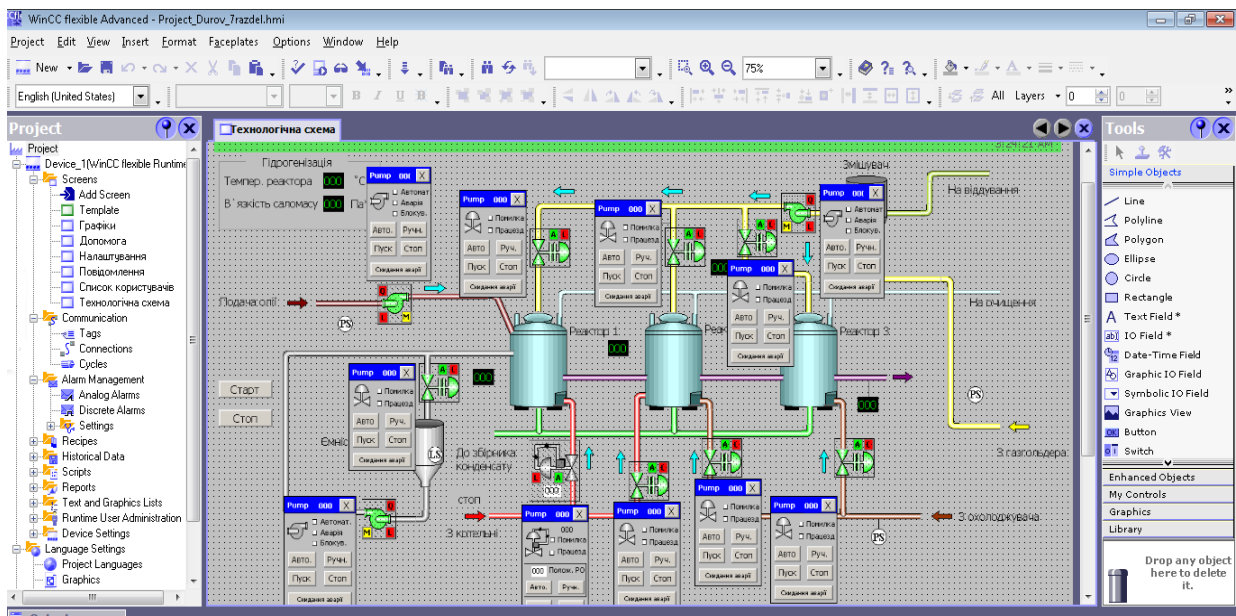


Рис. 7.2 – Приклад використання системної функції для переходу екранів графічного інтерфейсу «Activate Screen».

7.2.1. Технологічна схема

В основному вікні «Технологічна схема» зроблено схематичне зображення системи технологічного процесу з нанесеними на нього елементами відображення і керування. Це створюється в графічному редакторі SCADA - системи WinCC Flexible використовуючи стандартні елементи графічної бібліотеки. Всі графічні елементи відображення і керування на схемі дозволяють оператору контролювати станом обладнання системи і значенням технологічних параметрів, а також пристроєм системи.



7.3 - «Технологічна схема».

Відображення поточних значень і введення заданих значень технологічних параметрів виконується з додаванням елемента «IO Field», які пов'язують з потрібними тегами. Відображення дискретних сигналів з датчиків виконується за допомогою елементів «Circle» за рахунок зміни їх кольору. Якщо змінюється колір елементів схеми установки або з'являються стрілки, це вказує напрямок потоку енергоносіїв, відображенням включення насосів і клапанів.

Контроль стану насосів і клапанів реалізовані в спеціально розробленому редакторі «Faceplate».

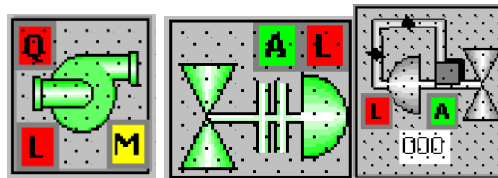


Рис. 7.4 – Екранні форми для контролю стану насосів і клапанів.

Екранні форми підключаються до відповідних тегів в контролері і відображають стан і режим роботи. Керувати двигунами оператор може з використанням спеціального екранного меню форм керування.

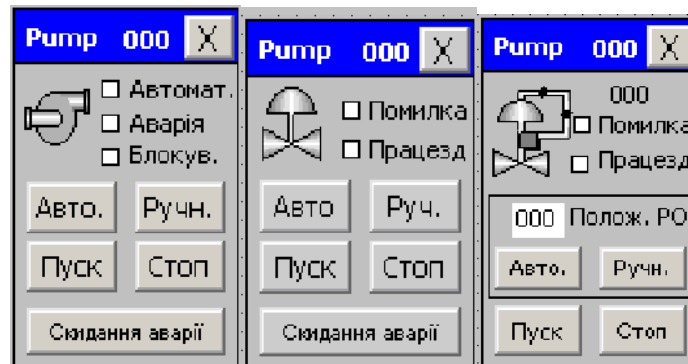


Рис. 7.5 – Екранні форми для керування насосами і клапанами.

Екранні форми керування також треба прив'язувати к тегам контролера щоб дозволяють оператору змінювати режим роботи (АВТ / РУЧ) двигуна, керувати їх станом, скидати аварію при їх появі.

Екранні форми які були згруповані в спеціальній бібліотеці, можуть використовуватися при створенні інших проектів.

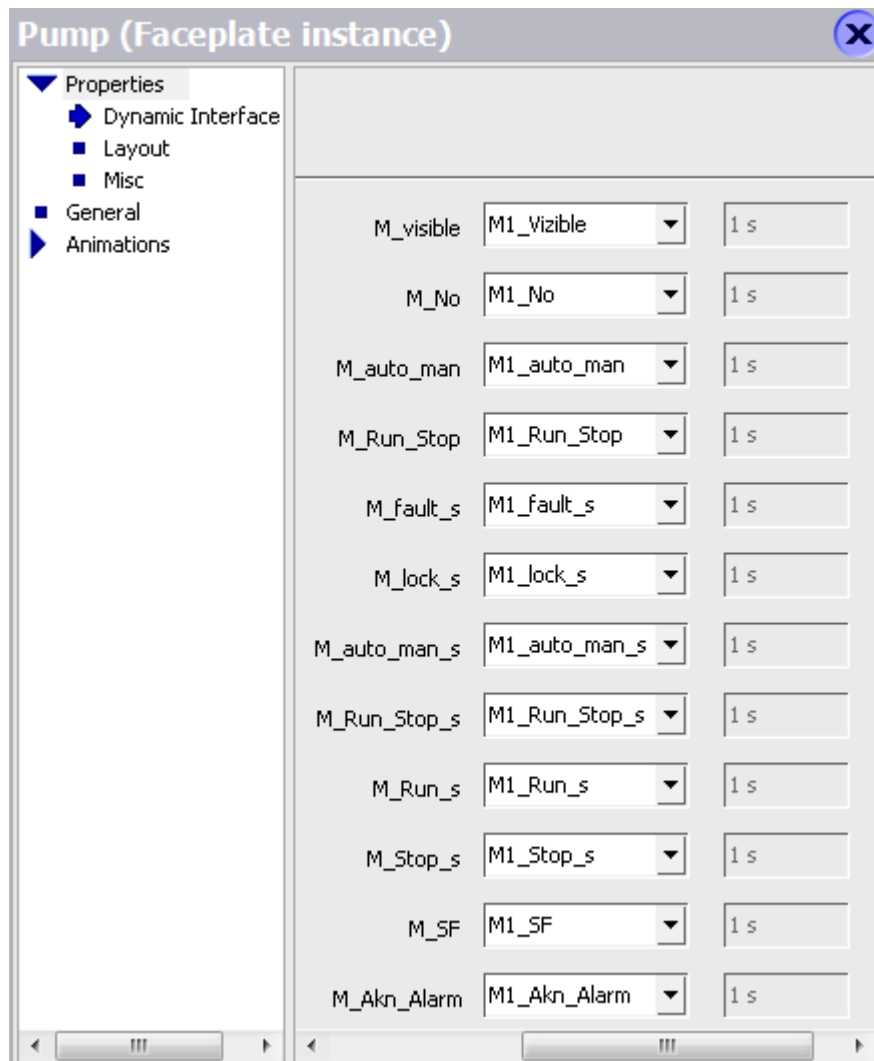


Рис. 7.6 – Вікно прив'язки тегів до екранної форми керування насосом

На рисунку 7.7 представлений екран «Технологічна схема» при запуску в автоматичному режимі, без порушень режиму та робочому обладнанні. Необхідну інформацію про контроль стану насосів з розшифровкою їх станів, оператор може отримати перейшовши у вікно «Допомога» (Рис. 7.8)

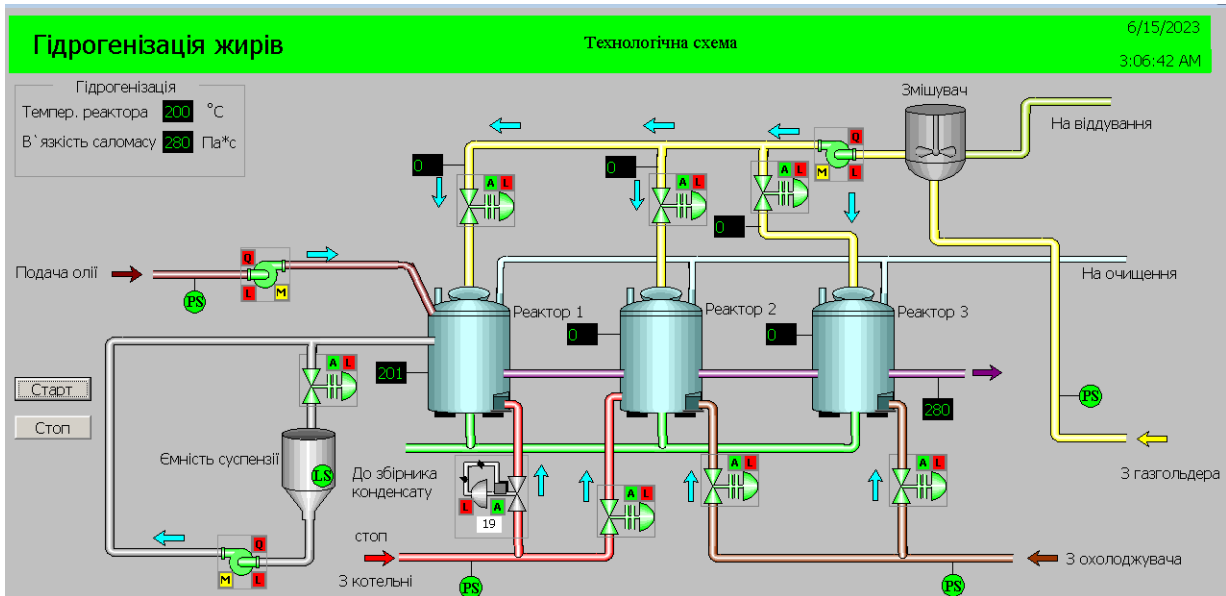


Рис. 7.7 – «Технологічна схема» запуску системи, при нормальній роботі

7.2.2. Допомога

Екран «Допомога» розроблений як вікно інформації для допомоги оператору (Рис. 7.8). На цьому екрані присутні умовні позначення, кольору і буквені позначення, які використовуються в екрані «Технологічна схема».

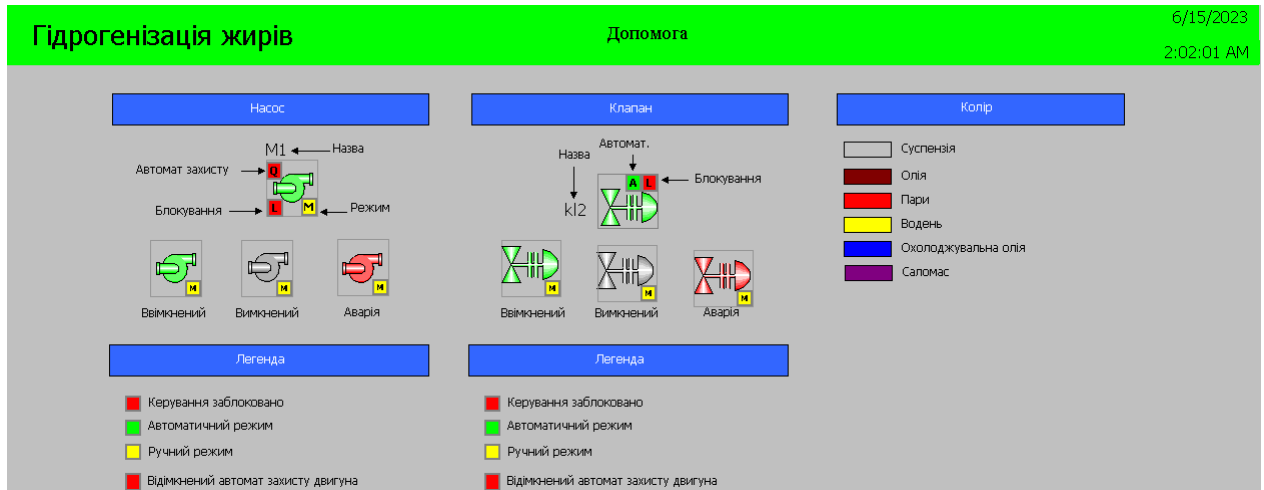


Рис.7.8 – Загальний вигляд екрану «Допомога».

Оператор зможе інтерпретувати поточний стан на його екранній формі, якщо запам'ятає умовні позначення. Вивчення цього екрану особливо корисним для нових робітників, що тільки приступили до роботи, операторів.

7.2.3. Графіки

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів в проекті передбачено вікно, де побудовані графіки зміни температури та в'язкості. Для створення графіків, використовується елемент «Trend View» яку можна знайти в стандартній бібліотеці SCADA - системи WinCC Flexible. На малюнку 7.9 представлений приклад вікна реєстрації температури і в'язкості, а на малюнку 7.10 приклад налаштування елемента «Trend View» і його прив'язки до тегів.

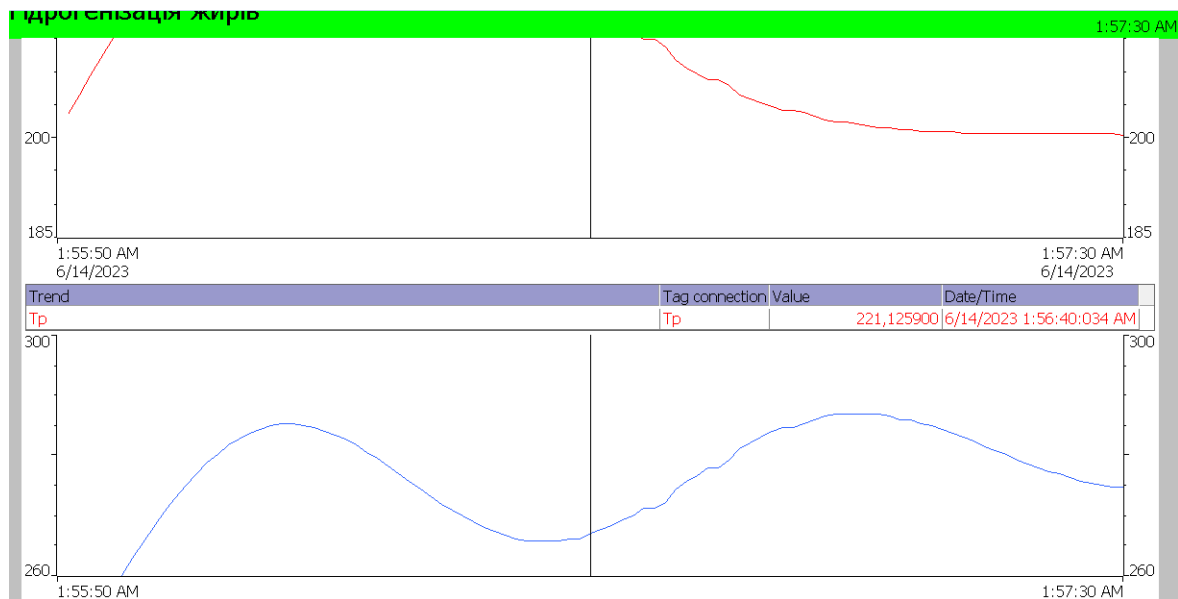


Рис. 7.9 – Екран реєстрації температури і в'язкості.

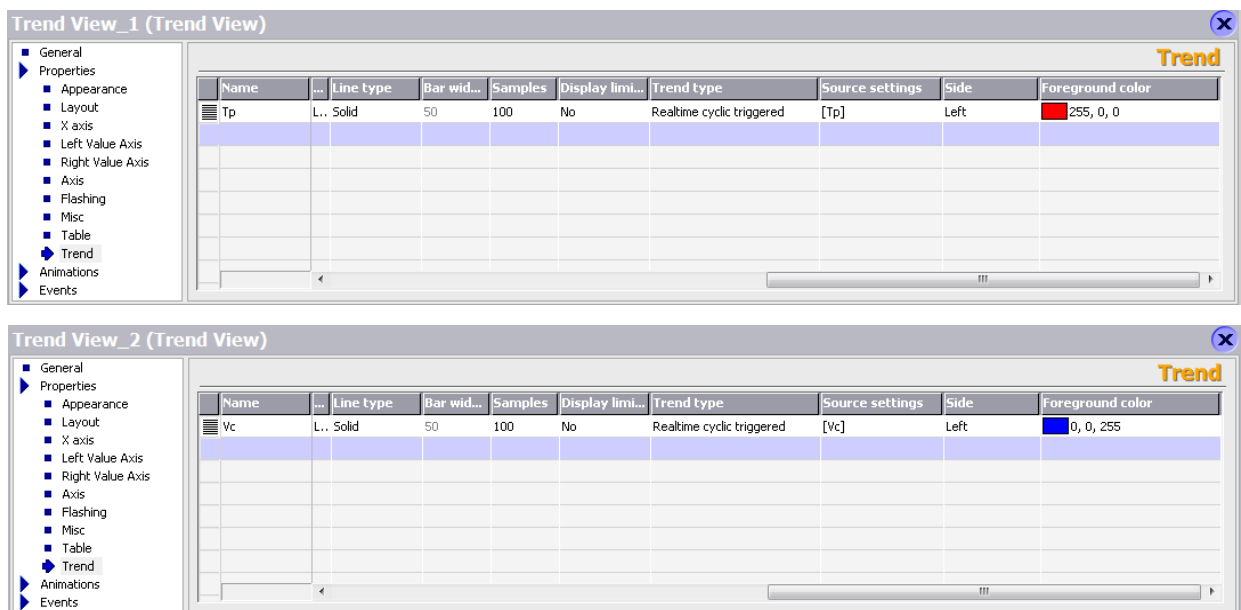


Рис. 7.10 – Налаштування елемента «Trend View».

7.2.4. Повідомлення

Для отримання оператором інформації про стан технологічного процесу і події які виникають з обладнанням установки, в проекті створена система повідомлень яка використовується з відповідним редактором SCADA - системи WinCC Flexible. Система повідомлень включає в себе повідомлення, які визначаються користувачем, і системні повідомлення. Повідомлення, розділені на дискретні і аналогові і належать до класу «Errors» (помилки) і «Warnings» (попередження). В повідомлення класу «Errors» показані критичні або небезпечні робочі стану. Список дискретних і аналогових повідомлень, та класів повідомлень представлені на рис. 7.11.

Text	Number	Class	Trigger Tag	Trigger bit	Trigger address
Поломка M1	1	Errors	Nasos_M1_polomka	0	0
Поломка M2	2	Errors	Nasos_M2_polomka	0	0
Поломка M3	3	Errors	Nasos_M3_polomka	0	0
M1 ввікнений	6	Warnings	Nasos_M1	0	0
M2 ввікнений	7	Warnings	Nasos_M2	0	0
M3 ввікнений	8	Warnings	Nasos_M3	0	0
K2 ввікнений	9	Warnings	Klapan_K2	0	0
Kp1 ввікнений	10	Warnings	Klapan_Kp1	0	0
Температура у 1 реакторі	12	Warnings	Temper_1	0	0
Температура у 2 реакторі	13	Warnings	Temper_2	0	0
Температура у 3 реакторі	14	Warnings	Temper_3	0	0
Kp2 ввікнений	17	Warnings	Klapan_Kp2	1	1
Ko1 ввікнений	18	Warnings	Klapan_Ko1	1	1
Ko2 ввікнений	19	Warnings	Klapan_Ko2	0	0
Kpv1 ввікнений	20	Warnings	Klapan_Kpv1	0	0
Kpv2 ввікнений	21	Warnings	Klapan_Kpv2	1	1
Kpv3 ввікнений	22	Warnings	Klapan_Kpv3	1	1
Витрати водню у 1 реакторі	25	Warnings	Racxod_1	2	2
Витрати водню у 2 реакторі	26	Warnings	Racxod_2	3	3
Витрати водню у 3 реакторі	27	Warnings	Racxod_3	1	1

Text	Number	Class	Trigger tag	Limit	Trigger mode
Висока температура в реакторі	1	Warnings	Tr	215	On rising edge
Низька температура в реакторі	2	Warnings	Tr	185	On falling edge
Висока в`язкість саломасу	3	Warnings	Vc	300	On rising edge
Низька в`язкість саломасу	4	Warnings	Vc	260	On falling edge

Рис. 7.11 Вікна редактора дискретних і аналогових повідомлень

Висновок повідомлень на екран виконується додаючи елемент «Alarm View», який можна налаштувати на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень. При цьому на екран виводяться повідомлення різних класів.

На рис. (7.12) зроблен приклад екрану з елементами «Alarm View» який був налаштований на висновок поточних активних робочих повідомлень і повідомлень помилок, а на рис. (7.13) представлено вікно налаштування поточних активних повідомлень про несправності, з вибраним класом «Errors», створеного з елемента «Alarm View».

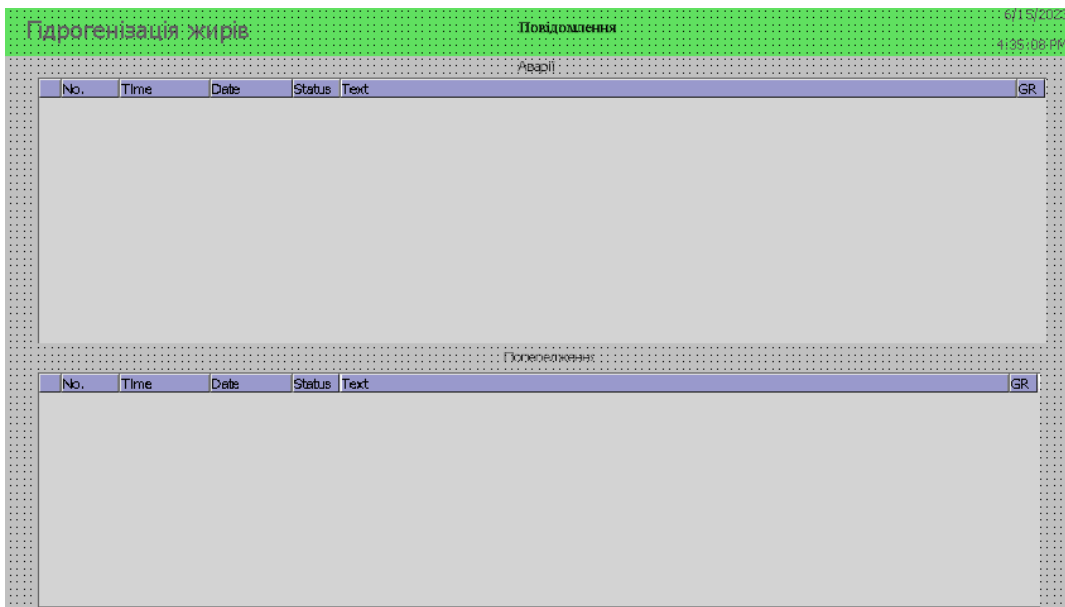


Рис. 7.12 – Загальний вигляд виведення поточних активних повідомлень.

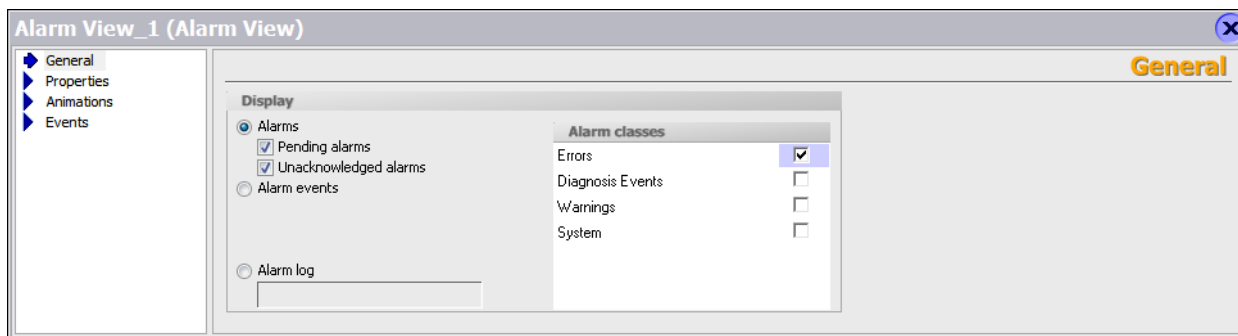


Рис. 7.13 – Вікно налаштування властивостей елемента виведення повідомлень «Alarm View».

На рис. 7.14 представлений екран, що демонструє роботу системи повідомлень, що визначаються користувачем.

Гідрогенізація жирів					Повідомлення		6/15/2023
							6:24:46 PM
No.	Time	Date	Status	Text	Аварії		
Попередження							
No.	Time	Date	Status	Text	GR		
20	6:23:43 PM	6/15/2023	C	k1p1 ввімкнений	0		
10	6:23:04 PM	6/15/2023	C	k1p1 ввімкнений	0		
19	6:22:37 PM	6/15/2023	C	k1o2 ввімкнений	0		
9	6:21:47 PM	6/15/2023	C	k12 ввімкнений	0		
8	6:21:16 PM	6/15/2023	C	M3 ввімкнений	0		
7	6:20:32 PM	6/15/2023	C	M2 ввімкнений	0		
6	6:20:01 PM	6/15/2023	C	M1 ввімкнений	0		

Рис. 7.14 – Загальний вигляд екрану з поточними повідомленнями

7.3. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САК

Робоче місце наладчика системи автоматичного керування повинне передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплює і забезпечує можливість виконання його обов'язків.

Екрани автоматизованого робочого місця наладчика повинні надавати можливість виконання наступних завдань:

1. Управляти контурами регулювання:

- Відображати поточні і задані значення регульованих змінних;
- Відображати поточні значення керуючих впливів;
- Змінювати значення налагоджувальних параметрів регуляторів;
- Змінювати задані значення регульованих змінних;
- Перемикати режими роботи регуляторів АВТ / РУЧ і формувати керуючі впливи в ручному режимі.

2. Виконувати адміністрування користувачів системи.

В проекті, для реалізації АРМ наладчика передбачаються наступні екрани:

1. Налаштування регуляторів.
2. Список користувачів.

Програмна реалізація цих екранів в SCADA - системі WinCC Flexible представлена в наступному пункті.

7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК

7.4.1. Налаштування регуляторів

Для виконання завдань налаштування контурів регулювання у проекті передбачено екран «Налаштування регуляторів» (Рис. 7.15).

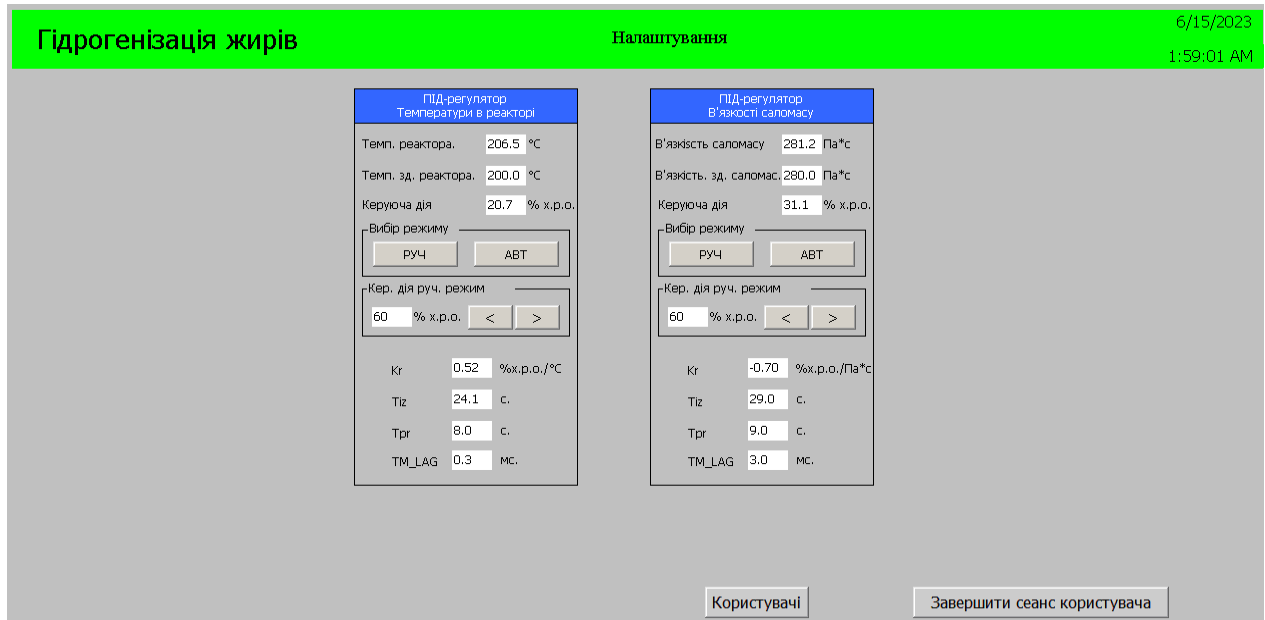


Рис. 7.15 – Вид екрану «Налаштування регуляторів».

Екран реалізований використовуючи елементи: «IO Field», «Button», «Text Field» в стандартній бібліотеці SCADA - системи WinCC Flexible. Всі кнопки і поля введення / виведення прив'язані до тегів керуючої програми і дозволяє змінювати їх значення.

7.4.2. Список користувачів

Екран «Список користувачів» (Рис. 7.16) надає наладчику можливість виконувати свою роботу зі списком користувачів, а саме: змінювати імена, паролі, групи існуючих користувачів та додавати і видаляти користувачів системи. Екран реалізовано з використанням елемента «User View» зі стандартної бібліотки.

Гідрогенізація жирів		Список користувачів		6/15/2023
User	Password	Group	Logoff time	6:59:38 PM
Admin	*****	Group (1)	5	
PLC User	*****	Unauthorized	5	
ProfClas	*****	Group (2)	5	

Рис. 7.16 – Загальний вигляд екрану Списка користувачів при роботі програми.

7.5 Висновок за розділом

При виконанні даного розділу в середовищі SCADA-системи WinCCFlexible було розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК технологічного процесу гідрогенізації жирів. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу гідрогенізації, задавати режими роботи установки, здійснювати перемикання режимів керування обладнанням (АВТ/РУЧ), керувати в ручному режимі окремим обладнанням, проводити налаштування САР а також відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми.

8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці

8.1. Характеристика технологічного об'єкта керування

Об'єктом керування є процес гідрогенізації жирів що проходить у реакторах, в яких при температурі 200 °С проходить реакція з'єднання молекул харчової олії та молекул водню, результатом якої є пастободібна субстанція (саломас) в'язкістю 280 Па*с. Підтримка температури забезпечується зміною ступеню відкриття подачі пари, а в'язкість частотою обертання насоса подачі олії.

Перелік основних параметрів процесу та похибка їх вимірювання наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Найменування параметра	Умовне позначення	Номінальне значення	Допустима похибка
Температура олії у реакторі	T_p	200 °С	± 3 °С
В'язкість саломаса	V_c	280 Па*с	± 4 Па*с

8.2. Основні технічні рішення

За результатами вибору КТС й відповідно до складеної технічної структури, розроблен комплект проектної документації на систему керування згідно до [1, 2, 3]. Був розроблен комплект графічних та текстових документів:

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему контролю й керування;
- 3 – принципову електричну схему живлення;

Текстові:

- специфікації до всіх графічних документів;
- пояснювальна записка до проекту.

Особливістю принципової електричної схеми контролю й керування, її побудова як сполученої схеми контролю, керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера. Щит оператора встановлюється поблизу від виробничої лінії, у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площині щита оператора встановлюються: електричні прилади, апаратура, трансформатори, блоки живлення, а на фасадній панелі встановлюють прилади, які показують, кнопкові станції, ключі вибору режиму й задатчики. Виходячи з того, що гідрогенізація є вибухонебезпечним процесом, використані електроприводи у вибухобезпечному виконанні, для виконання завдань з регулювання параметрів процесу використані електроприводні виконавчі механізми (ВМ) типу ARI-PREMIO (аналогового та дискретного управління), частотний перетворювач (ЧП) (Danfoss FC).

Контролер, що реалізує основні функції контролю та регулювання лінії S7-300 фірми "SIEMENS", обраний з прогамованих моделей CPU313C-2 DP, оснащений інтерфейсом PROFIBUS.

Всі модулі вводу/виводу серії S7-300 фірми "SIEMENS" та ЦП монтується на DIN-рейці 122мм, як окрема конструкція в щиті оператора. Їх використовують для підтримки регламентних значень, передачу даних в робочій станції на базі IBM PC сумісного комп'ютера, які також установлені в ОП. Контролери даної фірми серії S7-300 призначені для взаємодії між обчислювальною системою (ПК), щоб реалізувати функції відображення та архівувати інформацію й датчики безперервних і дискретних сигналів, а також видавати керуючі сигнали на виконавчі механізми. Модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по каналу RS 485, MPI, PROFIBUS ;
- введення й нормалізацію аналогових сигналів (струм, напруга);
- опитування стану дискретних входів;
- фільтрацію аналогових і дискретних вхідних сигналів;
- виводи аналогових сигналів керування;
- виводи дискретних сигналів, через релейні виходи.

Взаємодія контролера й комп'ютера здійснюється завдяки модулям інтерфейсного зв'язку (модуль ADAM-4561 та модуль PC ADAPTER USB A2), які перетворюють сигнали стандарту RS 485 в стандарт USB.

Для керування процесом гідрогенізації застосовується IBM PC сумісний комп'ютер на якому встановлена SCADA-система, її призначення: оперативний контроль, сигналізація, реєстрації параметрів. При необхідності є можливість передачі даних на комп'ютери, що встановлені за межами ОП, за допомогою локальної мережі.

8.2.1. Опис схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, де визначено функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, які 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 контролером (МПК) та комп'ютером (ПК). Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконується комплектом контролерів сумісно з ПК, розташованих в операторському пункті. Всі використані датчики обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20мА), вихідні аналогові сигнали також 4...20 мА. Перелік контурів контролю й керування наведений на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

1, 2, 3 – керування та контроль станів електроприводів насосів олії, суспензії, водню;

4 – контроль (адреса лінії зв'язку –4) та стабілізація (адреса лінії зв'язку – 5) температури у реакторі;

5 – контроль (6) та стабілізація (7) в'язкості саломасу;

6 – контроль рівню МНК;

7, 8 – Контроль температури у другому та третьому реакторах;

9, 10, 11, 12 - Контроль витрати водню та олії в реактори;

13, 14, 15, 16 - Контроль тиску водню, олії та охолоджувальної олії;

17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 - Керування та контроль стану клапанів;

В контурі 24 реалізована функція передпускової сигналізації, а в контурі 25 функції автоматичного пуску та останову лінії. В контурі 26 реалізована функція перетворення інтерфейсних зв'язків між ПК, МПК. В контурі 27 реалізована функція перетворення інтерфейсних зв'язків між ПК та частотним перетворювачем (ЧП) 5в.

У контурах керування приводами (1,...,3) встановлені для кожного ланцюга керування на щиті ключі вибору режиму керування ("автомат-дистанція"), кнопки "ПУСК", "СТОП", а також світлосигнальна арматура (світлодіод), що показує стан роботи двигуна; по місцю встановлений пристрій відключення двигуна (кнопка "СТОП"). Крім того, передбачено регулювання частоти обертів приводу насосу М1, завдяки використанню ЧП, для забезпечення стабілізації в'язкості саломасу (контур 5).

У контурах (4, 5) керування підсилювачем струму та частотним перетворювачем аналогової дії, для кожного контуру на щиті встановлені багатофункціональні прилади типу БРУ-7 з КБЗ-24-19. На лицевій панелі корпусу БРУ-7 можна змінювати та побачити яке задане значення параметру (0 – 100%), переключати режим керування контуру (ручне – автоматичне), дізнатися яке на цифровому індикаторі поточне значення регульованої змінної та сигналізацію її граничних відхилень.

Розглянемо дію контуру 4. Від датчика температури з уніфікованим перетворювачем 4а сигнал струму (4-20мА) подається на БРУ-7 (4б), через який подається на вхід AI (S7-313C-2DP) МПК. Вихідний сигнал (аналогове регулювання) з МПК (AI S7-313C-2DP) подається на БРУ-7 (4б), звідки в автоматичному режимі роботи БРУ сигнал подається на електропривод ARI-PREMIO (4в), звідки зворотній сигнал про ступень відкриття PO (DI) подається до МПК.

В ручному (дистанційному) режимі сигнал завдання з БРУ-7 (4б) подається на електропривід ARI-PREMIO (4в).

Крім того, передбачено ввід у МПК дискретного сигналу (DI) з БРУ-7 про стан режиму контуру (дистанційний – автоматичний) та у ПК для реєстрації та індикації..

Розглянемо дію контуру 5. Від вібраційного віскозиметра Hydramotion XL7-НТ в комплекті з інтерфейсним блоком VP550, (5а) уніфікований сигнал струму (4-20мА) подається на БРУ-7 (5б), через який подається на вхід AI (SIMATIC S7-313C-2DP) МПК. Вихідний сигнал (аналогове регулювання) з МПК (AI SIMATIC S7-313C-2DP) подається на БРУ-7 (5б), звідки в автоматичному режимі роботи БРУ сигнал подається на перетворювач частоти Danfoss FC 132F0017 (ЧП) (5в).

В ручному (дистанційному) режимі сигнали на перетворювач частоти Danfoss FC-051P3K0T4E20H3 (ЧП) (5в) подаються оператором з БРУ-7.

Крім того, передбачено ввід у МПК дискретного сигналу (DI) з БРУ-7 про стан режиму контуру (дистанційний – автоматичний) та у ПК для реєстрації та індикації. Також передбачено інтерфейсний зв'язок ЧП через перетворювач (27) з ПК.

Рівень в ємності МНК вимірюється кондуктометричним датчиком рівня з сигналізатором рівня РСУ-31-0 (6а), з дискретним вихідним сигналом.

Рівні в реакторах вимірюються датчиком температури (ТЕРА 1-43) 7а, 8а з уніфікованим аналоговим вихідним сигналом (4-20мА).

Витрати водню та олії вимірюються датчиком перепаду тиску («САФІР М») 9а, 10а, 11, 12 з уніфікованим аналоговим вихідним сигналом (4-20мА).

Тиск водню, олії та охолоджувальної олії сигналізуються реле тиском (SCH-27 В7) 13а, 14а, 15а, 16а з дискретним вихідним сигналом.

У контурах керування приводами клапанів (17,...,23) встановлені для кожного ланцюга керування на щиті ключі вибору режиму керування ("автомат-вимкнений-дистанція"), та світлосигнальна арматура (світлодіод), що показує стан клапана.

У додатку А (табл. А) наведений попередній перелік приладів та засобів, що використані в схемі автоматизації, а сама схема наведена там же рис. А.

8.2.2 Опис принципової електричної схеми

На принциповій електричній схемі (2 листи в додатку) показані елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені на частині [7, 8, 9]. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи електричних приладів й елементів для досягнення поставлених функціональних завдань. Схема розроблена 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.

Якщо необхідно ввімкнути електродвигун в дистанційному режимі при включеному $2QF$, ключ $2SA$ треба перевести у положення 1, після чого натиснути кнопку «Пуск» (замикаюча). $2SB3$ забезпечує подачу напруги живлення (24В) на котушку контактора $2KM1$, що замикає головні контакти $2KM1$ і двигун починає обертатися. Додатковий контакт $2KM1$ (замикаючий), який шунтує кнопку $2SB3$, також замикається в момент подачі напруги на котушку, що забезпечує так зване «самопідхоплення» роботи електродвигуна і дозволяє оператору відпустити пускову кнопку, через 1-3 секунди після натискання. Факт роботи електродвигуна перевіряється при наявності світлової сигналізації по зміні світіння індикатора.

Таке рішення, дасть можливість обійти 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) $2SB2$, розташовану на щиті оператора або аналогічну кнопку $2SB1$, розташовану по місцю (поблизу електропривода). При знеструмленні контактора $2KM1$, його головні контакти розмикаються, і двигун вимикається.

При роботі в автоматичному режимі ключ вибору $2SA$ переводять у положення 3, при цьому спрацьований контакт $2K$ автоматичного пристрою (реле) котушка $2KM1$ магнітного пускача отримує живлення (24 В), у результаті чого замикаються головні контакти пускача і двигун починає обертатися. Зупинка двигуна відбувається при розмиканні контакту $2K$, а також, при необхідності, оператор має можливість самостійно його зупинити натиснувши кнопку «Стоп» та ключ $2SA$ – перевести в положення 2.

Для полегшення читання схеми на ній приведена діаграма роботи ключа вибору режиму.

Для захисту від струму перенавантаження, у схемі використовується контакти теплового реле $2KK$.

Контур 3 реалізують аналогічні функції пуску та зупинки для МЗ.

Контур 1 реалізує аналогічні функції пуску та зупинки для М1, але для цього двигуна передбачене регулювання обертів від ЧП, яке реалізоване у контурі 5.

Розглянемо роботу контуру 4 стабілізації температури у першому реакторі.

На схемі показане підключення аналогового сигналу температури у першому реакторі (від датчика 4а). При реалізації введення аналогового сигналу використаний принцип струмової петлі, тобто "+" від датчика 4а (дріт 4-1) підключений до клеми "1" (+AI) БРУ-7 для відображення поточного значення на цифровому міліамперметрі, який вбудований в БРУ, із клеми 2 (-AI) дротом 4-2 сигнал подається на аналоговий вхід (MI1+) модуля SIEMENS S7-334-1CE01, а замикається петля з'єднанням аналогового виходу (MI-) модуля SIEMENS S7-334-1CE01 з "-" джерела живлення проводом 902.

При керуванні електроприводом клапана (ARI-PREMIO) 4в в автоматичному режимі аналоговий вихідний сигнал з модуля SIEMENS S7-334-

1CE01 (Q11) дротом 4-6 подається на клему 21 (Q3A) приладу БРУ-7. З нього із клеми 20 (Q3) дротом 4-6 аналоговий керуючий сигнал подається на клему 3 (Y/Z) електроприводом клапана 4в. Також на аналоговий вихід модуля SIEMENS S7-334-1CE01 (MANA) та на клему 4 (Y2) електропривода клапана 4в дротом 902 подається "-" джерела живлення.

При керуванні електроприводом клапана 4в в ручному режимі аналоговий вихідний сигнал з клеми 9 (+АО) БРУ-7 дротом 4-3 подається на клему 19 (Q3P) приладу БРУ. З нього із клеми 20 (Q3) дротом 4-5 аналоговий керуючий сигнал подається на клему 3 (Y/Z) електроприводом клапана 4в. Також аналоговий вихідний сигнал з клеми 10 (-АО) та на клему 4 (Y2) електропривода клапана 4в дротом 902 подається "-" джерела живлення.

В контурі реалізован вибір режиму керування та подання сигналу контролеру. Для цього на клему 12 (Q1) БРУ-7 подається "+" з джерела живлення проводом 911. При переведенні контуру в ручний режим через клему 11 (Q1P) та дріт 4-4 сигнал подається на дискретний вхід DI 124.1 (клема 3) модуля SIEMENS S7-313C-2 DP.

Контур 5 працює аналогічно тому, що описаний вище, але замість електропривода клапана, використаний ЧП (5в).

Схема розроблена для варіанту використання ЧП зі збереженням існуючого магнітного пускача 2ПМ (1-КМ).

Додатковий контакт автоматичного вимикача *IQF1*, застосований для реалізації функції «Enable» (готовності до включення), контакт *IKM3* застосований для включення ЧП, а кнопка *ISB4* реалізує функцію «Reset». ЧП через клеми 68 та 69 підключений дротами 27-1 та 27-2 до перетворювача 27.

Також на ПЕС показані введення аналогових сигналів у модуль аналогового вводу SIEMENS S7-331-7HF01-0AB0 від датчиків: температури 7а, 8а та витрати 9а, 10а, 11а, 12а.

Живлення усіх датчиків і щитових приладів здійснюється від джерел показаних на схемі електроживлення.

Крім того, на схемі показана організація вихідних дискретних сигналів від CPU SIEMENS S7-313C-2 DP, що забезпечує керування приводами насосів

та ввід/вивід дискретних сигналів. За допомогою цього модуля реалізовані схеми керування у автоматичному режимі через проміжні реле (*1K, 2K, 3K, 17K...23K, 24K*) та сигналізації з використанням світлодіодів та опорів, що обмежують струм.

Схема звукової передпускової сигналізації (дзвоник *HA*) включає ключ *24SA* та реле *24K*. Переводом в положення 1 ключа оператор подає сигнал у дистанційному режимі, а в положенні 3 включає автоматичний режим, в положенні 2 сигналізація відключена.

На схемі відображено також підключення до ПК, через перетворювачі інтерфейсів 26 та 27, пристроїв, що мають інтерфейсний зв'язок: МПК, ЧП (5В).

У додатку Б (табл. Б) наведений попередній перелік електроприладів та засобів, що використані в принциповій електричній схемі (рис. Б1, Б2).

8.2.3. Розробка принципових електричних схем живлення

Принципова електрична Схема 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 можна побачити електроживлення приладів, перетворювачів, ПК і контролера. Ввід живлення здійснюється з 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 й датчиків, розташованих по місцю здійснюється від блоків живлення SIEMENS 6ES7 307-1KA01-0AA0 та SIEMENS

6ES7 305-1KA01-0AA0. Живлення електроприводів клапанів, здійснюється від блоку живлення ETI PS-240-24. Живлення щитових приладів типу БРУ-7, а також блоку живлення G1 (220/24 В) для живлення схеми керування та сигналізації та датчиків здійснюється напругою 220 В. Лінія живлення БРУ-7 захищена автоматичним вимикачем *SF2*, а G1 – *SF6*.

Для запобігання з'єднання лінії індивідуального заземлення із заземленням корпусів електрообладнання необхідно забезпечити ізолювання корпусів джерел живлення G1, G2, G3.

Живлення комплексу ПК та контролера здійснюється напругою 220 В від UPS. Всі ланцюги живлення (220В) приладів захищені автоматичними вимикачами, установленими в щиті оператора *SF1*,..., *SF6*, а ланцюги живлення (24В) приладів вимикачами *SA3*,..., *SA6* та запобіжниками з плавкими вставками *FU4*,..., *FU8*.

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.

У додатку В наведена принципова електрична схема живлення (рис.В) та попередній перелік електроприладів до неї (додаток В, табл. В).

8.3. Охорона праці

8.3.1. Загальні положення

Персонал, обслуговуючий лінію, має бути навчений, знати пристрій і устаткування реакторів, виконувати вимоги інструкції і вимоги сьогоденних правил. Олія для гідрогенізації жирів має бути очищена від грубих і легких домішок. Запуск лінії після тривалої зупинки або після ремонту повинен виконуватися у присутності начальника ділянки.

8.3.2. Заходи безпеки за ремонтом та експлуатацією

Дистанційний і місцевий пуск машин, механізмів здійснюється після подачі попереджувального звукового сигналу (пуск) по всіх робочих приміщеннях. У приміщеннях де розміщені реактори швидкість повітря не повинна перевищати 0,7 м/с. Гарячі конструктивні частини реакторів мають бути покриті теплоізоляцією. Температура зовнішніх поверхонь не повинна перевищувати 45° С. Конструктивні частини обладнання мають бути герметичними і не пропускати водень, пар та інші рідини в робоче приміщення. Під час роботи необхідно постійно стежити за справним станом випускних механізмів і не допускати їх засмічення.

Доступ робітників для огляду або ремонту виконується лише доті, коли присутній начальник цеху або зміни. Повинні вивішуватися попереджувальні написи на пусковій апаратурі, крім того, другий робітник має знаходитися поблизу на випадок необхідності надання екстреної допомоги.

Ремонт обладнання, забороняється виконувати до повного припинення роботи і охолодження. Усунення неполадок, а також ремонт і очищення устаткування здійснювати лише після повної її зупинки.

8.3.3. Перелік потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Так як розробляється система керування, мета якої забезпечити якісну гідрогенізації без аварій та шкідливих наслідків для оператора, то потрібно ідентифікувати потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що можуть виникнути при експлуатації цієї установки. Граничнодопустимі концентрації з посиланням на нормативні акти, в яких встановлюють, та зазначають наслідки від їх впливу, наведені у таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1.	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	21-24 °С	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2.	Підвищена або знижена рухливість повітря	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання, перегрів організму
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
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 відблеск 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
12.	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м ³ ; оксид азоту – 5 мг/м ³ ; бензол – 15/5 мг/м ³ ; ксилол – 50 мг/м ³ ; толуол – 50 мг/м ³ ; оксид вуглецю – 20 мг/м ³ .	Біохімічні зміни в організмі
13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
14.	Локальні перевантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
15.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

Визначимо категорії приміщень. Об'єкт автоматизації представляє собою ділянку гідрогенізації. Автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора розташовано у сусідньому приміщенні через стінку від того, де знаходиться об'єкт.

Будівля, де розташовується АРМ оператора, з пожежовибухонебезпеки відноситься до приміщень категорії В. За класом пожежної небезпеки приміщень вона відноситься до Б та Д (приміщення АРМ оператора). З небезпеки ураження електричним струмом вона відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

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 при необхідності змінювати колір, при зміні стану приладів. При появі аварії чи блокуванні в установці, інженер має можливість побачити місце в якому з'явилася аварія, та усунути помилку.

Так як автоматизоване робоче місце розташоване у приміщенні, забезпечується відповідність усіх елементів робочого місця:

- площа на одне робоче місце становить, $10,0 \text{ м}^2$, а об'єм - $25,0 \text{ м}^3$;
норма: площа – $6,0 \text{ м}^2$, об'єм - $20,0 \text{ м}^3$.
- оператор сидить за стандартним комп'ютерним столом на м'якому кріслі;
- ЖК монітор відображає всю необхідну інформацію;
- трудові операції виконуються в основному на робочому місці;
- на робочому місці добре освітлення, вікно знаходиться з правого боку, на столі знаходиться світильник.

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, з напругою більше 120 В заземлюються.

Захист працюючих від ураження електроструму при монтажі обслуговуванні та експлуатації АРМ, повинні забезпечуватися 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 електро потоків проведень в підлозі;
- Кольорове маркування струмопроводів;
- Наявність електрозахисних засобів (показники напруги, діелектричні рукавички, і т.д.);
- Наявність розробленої інструкції з охорони праці.

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 8.3).

Таблиця 8.3 – 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 (без кондиціонування)	Теплий	Легка 1а	23-28	40-60	0,1
2	Операторський пункт (без кондиціонування)	Холодний	Легка 1а	18-20	50-70	0,1

З включеним кондиціонуванням повітря умови в різні періоди року однакові.

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 8.4.

Таблиця 8.4 – 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	Бічне природне, одностороннє, та штучне рівномірне	0,30-0,5	Б-2	1	400

Пожежовибухобезпека на ділянці сушіння та в АРМ оператора

Так як, приміщення відноситься до категорії В, та до класу пожеж Б. 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.

Основні вимоги до шляхів евакуації

Під час виникнення НС оператор АРМ додримуючись затверджувального 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 робітників під час евакуації, забезпечується якщо підприємство надає:

- план евакуації (в графічній та письмовій формі);
- звукове обладнання трансляції мовлення (гучномовець);
- 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.

8.4 Висновки за розділом

В ході виконання розділу був розроблен варіант комплекту технічної документації для САК на базі контролера фірми Siemens – SIMATIC S7-300.

Розділ включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування гідрогенізації жирів. В результаті виконання були отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК та сучасних пристроїв автоматизації.

В рамках цього розділу, опрацьовані основні питання, які пов’язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування гідрогенізації жирів.

Розділ 9. Обґрунтування економічної доцільності впровадження проекту

9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

В даному розділі дипломного проекту буде обґрунтована економічна доцільність впровадження варіантів розробленої системи автоматизації. Вибір технічних засобів автоматизації та порівняння технічних характеристик різноманітних варіантів МП ядра САК (Siemens) був виконаний у розділі №5 даного дипломного проекту. Для розрахунку економічних показників впровадження варіантів модернізованої АСК ТП будуть враховані ціни на придбання комплексу технічних засобів, датчиків температури та тиску та виконавчих механізмів.

Таблиця. 9.1. Витрати на придбання засобів автоматизації

Найменування	Тип, марка	Кількість	Вартість з ПДВ, грн	
			За од.	Сума
Датчик температури	ТЕРА ТСП (ТСП-У-1-43-Pt100)	3	298	894
Вібраційний віскозиметр	Hydramotion XL7-НТ	1	2325	2325
Реле тиску	SCH-27	1	413	1652
Частотний перетворювач	Danfoss FC-051P3K0T4E20H3	1	6672	6672
Реле контролю рівня рідини	PCU – 31- 0	1	3821	3821
Датчик витрати	«САФІР М» 5410	4	11369	45476
Блок ручногоуправління	БРУ-7	2	9917	19834
КБЗ	24-19	2	540	1080
Електропривід в комплекті з регулюючим клапаном	ARI-PREMIO 2,2, ARI-STEVI 440	8	51585	412680
Контролер програмований	S7-300, CPU 313C-2 DP	1	18768	18768
Модуль аналогового вводу	SM 331 6ES7331–7HF01–0AB0	1	16874	16874
Модуль аналогового вводу-виводу	SM 334 6ES7 334-1CE01-0AA0	1	34314	34314
перетворювач інтерфейсів	ADAM 4561	1	4017	4017
Блок живлення	PS	1	4105	4015
Персональний комп'ютер		1	23151	23151
Магнітний пускач з тепловим	ПМА 3221	3	3400	10200

реле				
Дзвоник електричний	ABB KB1-4010	1	50	50
Кнопки	ABB MP1-10R	3	96	288
Кнопка	ELFIN 22	1	96	96
Автоматичний вимикач триполюсний	ABB S 203-B 13 NA	3	945	2835
Перемикач	ELFIN 22	11	78,72	869
Реле проміжне	ABB KC6-40E-1.4	11	138	1518
Світлосигнальна арматура у сборі	MOELLER 205318	10	24	240
Вимикач автоматичний	BA47-29M, 6A	1	73,69	74
Вимикач автоматичний	BA47-29M, 22A	1	86,39	86
Вимикач автоматичний	BA47-29M, 1A	2	63,78	128
Вимикач автоматичний	BA47-29M, 5A	1	84,2	168
Патрон косий настінний	E27 ФнП-03	1	21	21
Трансформатор	ТСБ3-220/36В, 400 Вт	1	1400	1400
Блок живлення	SIEMENS 6ES7 307-1KA01-0AA0	1	7500	7500
Блок живлення	ETI PS-240-24	1	4720	4720
Джерело безперебійного живлення (UPS)	Power Must 800VA	1	6000	6000
Розетка двополюсна	РШ-0-2, 5А	1	87	87
Вимикач	ПВ-1-16, 16А	6	73	438
Всього				632292

Визначимо величини первинних інвестицій, необхідних для модернізації системи керування.

Капітальні інвестиції являють собою вкладення коштів у придбання будинків, споруджень інших об'єктів нерухомої власності, машин, устаткування, інших основних фондів і нематеріальних активів.

При проведенні модернізації одиниці діючої техніки капітальні вкладення розраховують укрупнено за формулою (1):

$$I_{\text{С мод}} = I_{\text{Сперв}}^{\text{б}} \times N_{\text{мод}} / 100 \quad (9.1)$$

де: $N_{\text{мод}}$ – норматив витрат на модернізацію експлуатованого технологічного обладнання. Приймаємо в межах 5-20 % від $I_{\text{Сперв}}^{\text{б}}$.

Капітальні інвестиції по базовому варіанті включають: витрати на придбання устаткування ($I_{\text{Сперв}}^{\text{б}}$), у т.ч.:

- вартість устаткування за оптовими цінами Цопт ;
- витрати на тару й пакування – Цт;

- заготівельно-складські видатки – Цз-з;

- витрати на монтаж устаткування – Цм.

Первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки при її придбанні може бути розрахована за формулою (2):

$$I_{\text{Сперв}}^{\text{б}} = Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} + Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} \times Ц_{\text{м}} + (Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} \times Ц_{\text{т}}) / 100 + \\ (Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} \times Ц_{\text{тр}}) / 100 + \{ [Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} + (Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} \times Ц_{\text{т}}) / 100 + \\ (Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} \times Ц_{\text{тр}}) / 100] \} \times Ц_{\text{з-с}} / 100$$

де: $I_{\text{Сперв}}^{\text{б}}$ – первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки, тис. грн.

$Ц_{\text{опт}}^{\text{б}}$ – оптова ціна базової техніки, грн.

Інші нормативні дані наведені в таблиці 9.2. Вони можуть змінюватися в залежності від особливостей об'єкта модернізації та галузевої приналежності підприємства.

Таблиця 9.2 Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень

Показники	Позначення	Од.вимір.	Величина
Укрупнений норматив витрат на модернізацію	Нмод	%	10-20
Коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи	Цм	-	0,1
Норматив відрахувань на тару й упакування Цопті	Цт	%	0,25
Норматив відрахувань на транспортні видатки від Цопті	Цтр	%	5,0
Норматив відрахувань на заготівельно-складські видатки	Цз-с	%	1,2
Середня ціна 1т лома	Цл	грн/т	200,0
Норматив витрат на демонтаж від Цопті		%	2
Нормативи розрахунку ліквідної вартості встаткування (від ІСперв)			
При списанні на лом	-	%	4
При використанні на запчастині	-	%	6
При продажі іншим організаціям	-	%	7

$$I_{\text{Сперв}}^{\text{б}} = 90 + 90 \times 0,1 + (90 \times 0,25) / 100 + (90 \times 0,5) / 100 + \{ [90 + (90 \times 0,25) / 100 + (90 \times 0,5) / 100] \} \times 1,2 / 100 = 100 \text{ тис. грн}$$

$$IC \text{ мод} = 100 \times 20 / 100 = 20 \text{ тис. грн}$$

Також необхідно оцінити обсяг виробничих потужностей, трудових та матеріальних ресурсів для виконання робіт з проектування, створення та впровадження програмного продукту для поставленої задачі (таблиця 9.3). Для виконання цих робіт необхідно визначити:

- перелік спеціалістів для реалізації програмного продукту;
- обсяг роботи, що виконується спеціалістами;
- кількість спеціалістів кожного профілю;
- розмір оплати праці спеціалістів;
- витрати на матеріали;
- витрати на забезпечення авторських прав (якщо вони є).

Таблиця 9.3 Кошторис витрат на виконання робіт з проектування

Найменування статей витрат	Сума витрат, тис. грн
1. Матеріали	14.98
2. Паливо та енергія	2.5
3. Заробітна плата (основна і додаткова)	29.96
4. Відрахування на соціальні заходи	11.235
5. Амортизаційні відрахування	5.2
6. Інші витрати	6.4
7. Накладні витрати	35.16
<i>Разом</i>	105. 5

Результати попередніх розрахунків оформлено у таблиці 9.4.

Таблиця 9.4 Інвестиційні витрати на модернізацію системи управління технологічним процесом

№	Статті витрат	Сума, тис.грн.
1	Витрати для виконання робіт з проектування	105.5
2	Вартість комплексів засобів автоматизації (ІСкап)	632.3
3	Витрати для модернізації діючої системи управління (ІС мод)	20
4	Всього інвестиційні (ІС)	757.8

9.2. Розрахунок показника економічного ефекту від модернізації

Визначимо перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності (таблиця 9.5).

Таблиця 9.5 Перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності

Статті змін	Очікуване джерело економії	Кількісна оцінка
Зменшення енерговитрат	Стабілізація температури у першому реакторі і в'язкості саломасу	Умовно постійна добова норма витрати електроенергії: до автоматизації – 2 м ³ /т після автоматизації – 1.5 м ³ /т
Середньо-добова продуктивність		Умовно постійна добова норма виробництва саломаса: до впровадження інновації – 150т/добу. після впровадження інновації – 200т/добу

Розрахуємо зміни річних поточних витрат при експлуатації базової та нової моделі системи управління та складають відповідну таблицю (табл. 9.6). Розрахунок виконують тільки по статтям і витратам, які змінюються при переході від базового варіанту до нового.

Таблиця 9.6 Зміна річних поточних витрат

№ п/п	Статті витрат	Позначення	Величина, грн		Відхилення. + збільшення - зменшення
			до модерніз.	після модерніз.	
1	Витрати на пар, тис.грн	Впр	375	360	-15
2	Витрати на поточний і капітальний ремонт, тис.грн	Вр	10	73	+63
3	Витрати пов'язані з амортизацією, тис.грн	Ва	24	175	+151
	Всього поточних витрат, тис.грн	Вп	409	608	$\Delta B_{п} = +199$

Визначимо додатковий обсяг реалізованої продукції після впровадження модернізації системи управління, враховуючі дані таблиці 9.6

$$\Delta OB = (P_{обм} - P_{обб}) * T \quad (9.2)$$

де Побм - продуктивність після модернізації, т/добу

Побб - продуктивність до модернізації, т/добу

T - час роботи, діб/рік

$$\Delta OB = (200 - 150) * 268 = 13400$$

Розраховуємо додатковий прибуток за рахунок збільшення продуктивності:

$$\Delta П = \Delta OB * Ц * Р \quad (9.3)$$

де ΔOB – додатковий обсяг реалізованої продукції, т

Ц - ціна реалізації продукції, грн./т

Р – рентабельність продукції (при умові заданого прийняттого рівня).

$$\Delta П = 13400 * 90 * 0.2 = 241200 \text{ тис. грн.}$$

Розрахуємо економічний ефект модернізації :

$$E_p = \Delta Bn + \Delta П - E_n * \Delta IC_n \quad (9.4)$$

$$E_p = 199 + 241200 = 241399$$

Розрахунок основних показників виробничої діяльності після модернізації системи управління, можна здійснити за відповідними формулами (дані про основні показники виробництва і реалізації продукції до модернізації системи управління беруть за даними підприємства). Розрахункові дані зводяться у таблицю 7.

Розрахунок обсягу виробництва продукції здійснюємо за формулою:

$$OB^{(м)} = Поб * Фр * K \text{ завант} * K \text{ виходу}, \quad (9.5)$$

де: Поб – фактична добова продуктивність обладнання

Фр – річний фонд часу роботи обладнання, днів

Kзавант – коефіцієнт завантаження обладнання - 0,9.

Kвиходу – коефіцієнт - 0,6.

$$OB^6 = 150 * 268 * 0,9 * 0,6 = 21708 \text{ т/рік}$$

$$OB^M = 200 * 268 * 0,9 * 0,6 = 28944 \text{ т/рік}$$

Вартісну оцінку результатів від експлуатації базової і модернізованої системи, дохід від реалізації – розраховуємо за формулою:

$$ТП^{б(н)} = OB^{б(н)} * Ц_{пр} \quad (9.6)$$

де: $OB^{б(н)}$ – обсяги випуску продукції до (б) і після (н) модернізації, (в натуральних одиницях);

$Ц_{пр}$ – ціна одиниці продукції, виробленої при базовому (модернізованому варіанті), грн.

$$ТП^б = 21708 * 90000 = 1953720000 \text{ грн.}$$

$$ТП^н = 28944 * 90000 = 2604960000 \text{ грн.}$$

Повна собівартість виробленої продукції $C^б$ до модернізації, тис. грн.

$$C^б = ТП^б * 100 / (100 + P) \quad (9.7)$$

де: P – рентабельність виробленої продукції

$$C^б = 1953720000 * 100 / (100 + 20) = 1628100000 \text{ грн.}$$

Повна собівартість виробленої продукції після модернізації розраховуємо за формулою:

$$C^н = C^б + \Delta ТП * 100 / 120 + \Delta Вп \quad (9.8)$$

де: $\Delta Вп$ – зміна поточних витрат від модернізації обладнання, тис. грн. (табл.6).

$$C^н = 1628100000 + 7236 * 100 / 120 + 199000 = 1628305030$$

Прибуток за результатами діяльності підприємства з використанням базової і нової системи складе, тис. грн.

$$П^{б(н)} = ТП^{б(н)} - C^{б(н)} \quad (9.9)$$

$$П^б = 1953720000 - 1628100000 = 325620000$$

$$П^н = 2604960000 - 1628305030 = 976654970$$

Приріст чистого прибутку (за вирахуванням податку на прибуток), тис. грн.

$$\Delta\text{ЧП} = \Delta\text{П}(1 - \text{Пп}) \quad (9.10)$$

де: Пп – податок на прибуток (дорівнює 19%, у відносних одиницях – 0,19).

$$\Delta\text{ЧП} = 651034970(1 - 0,19) = 527338326$$

Рентабельність розраховуємо за формулою:

$$P = \Delta\text{ЧП} / \Delta\text{Вп} \times 100\% \quad (9.11)$$

$$P = 527338326 / 199000 \times 100\% = 264994\%$$

Таблиця 9.7 Показники виробничої діяльності підприємства

№ п\п	Показник	Позначення	АСУТП		Зміна статей витрат (+) зростання; (-) зниження
			Базова	Модернізована	
1	Обсяг виробництва продукції, нат. од.	ОВ	21708	28944	+7236
2	Дохід від реалізації, тис. грн.	ТП	1953720000	2604960000	+651240000
3	Повна собівартість продукції, тис. грн.	С	1628100000	1628305030	+205030
4	Прибуток, тис. грн.	П	325620000	976654970	+651034970
5	Податок на прибуток	Ппр	61867800	185564444	+123696644
6	Чистий прибуток, тис. грн.	ЧП	263752200	791090526	+527338326
7	Рентабельність %	Рп	13.5	30.3	16.8

9.3. Висновки за розділом

Було розраховано витрати на придбання засобів автоматизації у сумі 632292 грн. Визначена величина первинних інвестицій, які потрібні для модернізації системи керування. Опрацьован перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності і розглянуті зміни річних поточних витрат. Хоч повна собівартість продукції збільшилась на 205030 грн.,

дохід від її реалізації суттєво збільшився, на 651240000 грн. Приріст чистого прибутку становить 527338326 грн. Рентабельність модернізованого виробництва підвищилась відносно базового 16.8 % та складає 30.3 %.

Виходячи з вище сказаного, проект модернізації САК є інвестиційно вигідним.

ВИСНОВОК

У ході виконання дипломної роботи було встановлено, а саме технологічний процес гідрогенізації жирів показав, що концептуально процесу можна представити двома регульованими координатами: температури у реакторі та в'язкістю саломаса; двома керуючими діями: положення регулювального органа подачі пари на до реактора та швидкість обертання насоса подачі олії. Усі збурення процесу доцільно віднести до неконтрольованих збурень.

Було проведено ідентифікацію математичних моделей динаміки каналів ОК, вхідні дії яких доступні для цілеспрямованої зміни. В якості вихідних даних було використано результати активного експерименту. Усі канали ОК мають статичні властивості. Параметричну ідентифікацію проведено за методиками двох загальних точок для 1-го та 2-го порядку.

Отримано математичну модель неконтрольованих збурень, що діє на канал температури у реакторі. Вихідні дані отримано за результатами пасивного експерименту. Ідентифікація проводилася методом типової статистичної ідентифікації. За умов процесу температури у реакторі кращою виявилася модель № 2.

Були Отримані математичні моделі які перевірялись на відповідність з експериментальним даним. Як показали результати перевірки, моделі окремих каналів ОК, модель каналів ОК в абсолютних величинах, і повна модель ОК за результатами, імітаційне моделювання повністю відповідає експериментальним даним. У ході роботи була перевірена та узгоджена ця модель неконтрольованих збурень, яка відповідає результатам оцінювання математичної моделі цих збурень за основними статистичними показниками (математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, та параметрами моделі, а саме коефіцієнтом спаду та коефіцієнтом коливальності) з похибкою, що не перевищує 5%.

У цій курсовій роботі було проведено синтез САР в два етапи. На першому етапі потрібно використати розрахунок налаштувань регулятора, який проводиться завдяки інженерним методикам Копеловича, а на другому етапі був застосован оптимальний параметричний синтез. Для виконання цієї задачі, в якості критерію використано інтегральний модульний критерій.

В якості базового алгоритму регулювання використовується ПД-алгоритм.

Підвищення динамічної точності САР температури у реакторі а доцільно проводити шляхом забезпечення автономності каналів регулювання температури у реакторі та в'язкістю саломаса.

САР підвищеної динамічної точності є грубою.

Оскільки для САР підвищення динамічної точності дає кращі показники якості регулювання у порівнянні з САР базової структури, тому розумним рішенням буде використання цієї САР підвищеної динамічної точності.

Були розроблені блок-схеми регламентів функціонування та алгоритмів керування та побудована функціонально логічна схема керування процесом.

Обрані технічні засоби, завдяки якими можна забезпечити належне та якісне керування процесом гідрогенізації жирів. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв, все було розглянуто відповідають виробничим умовам технологічного процесу.

Створено програмне забезпечення системи та технічну структуру мікропроцесорного ядра гідрогенізації жирів з реалізації систем, регулювання температури в реакторі та швидкість обертання насосу.

Реалізован алгоритм автоматичного пуску та зупинки ділянки гідрогенізації жирів. При тестуванні даного алгоритму показало, що програма працює коректно. взаємодію АРМ на базі SCADA системи WinCC Flexible та мережі контролерів з допомогою OPC-серверу CoDeSys 2.3.

Керування на контролері фірми Vago були вибрані необхідні модулі контролерів і ПЗО сімейства Simatic S7-300.

Також створено SCADA-системи WinCCFlexible було розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК технологічного процесу гідрогенізації жирів

Розділ включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування гідрогенізації жирів. В результаті виконання були отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК та сучасних пристроїв автоматизації.

Було розраховано витрати на придбання засобів автоматизації, Визначена величина первинних інвестицій, Опрацьован перелік вирішуваних завдань та їх вплив на показники економічної ефективності і розглянуті зміни річних поточних витрат.

Рентабельність модернізованого виробництва підвищилась відносно базового. Рентабельність модернізованого виробництва підвищилась відносно базового

Список використаних джерел

1. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форми навчання. – Одеса: ОНАХТ, 2012. – Ч1 – 112с.
2. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування» частина 2, для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2007. - 87 с. Навчальний посібник до виконання курсової роботи з курсу «Теорія автоматичного керування» для бакалаврів 6.050202 денної та заочної форм навчання / Укладачі: В.А. Хобін, І.М.Світій - Одеса: ОНАХТ, 2014 р. – 110 с.
3. Соколов В. А. <<Основи автоматизації технологічних процесів харчового виробництва>>. - Москва <<Легка та харчова промисловість>> 1983 р.
4. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форми навчання. – Одеса: ОНАХТ, 2016. – 96с
5. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с., ил.
6. SIMATIC HMI. WinCC flexible 2005. Руководство пользователя 6AV6691-1AB01-0AB0. Редакция 06. - Siemens AG, 2005. – 394 с.
7. ДСТУ Б А.2.4-4-95. ДКУ Мбiа,1997 (ГОСТ 21.101-93, МНТКС). Основні вимоги до робочої документації.
8. ДСТУ Б А.2.4-3-95. ДКУ Мбiа,1997 (ГОСТ 21.408-93, МНТКС). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
9. ДСТУ Б А.2.4-10-95. ДКУ Мбiа,1996 (ГОСТ 21.110-93, МНТКС). Правила виконання специфікацій устаткування, виробів і матеріалів.

10. ДБН А.2.2-3-97. ДКУ Мбіа, 1997. Державні будівельні норми України. Проектування Склад. Порядок розробки, узгодження і твердження проектної документації для будівництва.
11. Конспект лекцій з курсу “Проектування систем автоматизації (Ч.1)” для бакалаврів 6.050202 всіх форм навчання/ Укладач Ю. М. Скаковський. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – 86 с.
12. SIEMENS. SIMATIC. Компоненты для комплексной автоматизации. Каталог ST 70. 2010 г. Часть 1
13. Виробництво засобів автоматики ТЕРА <https://ao-tera.com/>
14. Компанія Hydramotion вимірювання в'язкості для промисловості <https://hydramotion.com/en/>
15. Засоби автоматизації технологічних процесів MICROL <http://www.microl.ua/>
16. «Завод Манометр» - виробник датчиків тиску, лідер українського ринку КВП <https://manometr-kharkiv.com/?lang=ru>
17. Ekato <<<https://www.ekato.com/ru/home-ru/>>>
18. Приватне підприємство "Енергоприлад" постачальник трубопровідної арматури та обладнання для промисловості, теплоенергетики та водопостачання. <https://energopribor.zp.ua/index.html>

Додатки

Додаток А

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. позначення	Найменування	К - сть	При мітка
	<u>Перелік приладів на схемі автоматизації</u>		
	<u>Прилади за місцем</u>		
4а, 7а, 8а	Датчик температури ТЕРА (ТСП-У-1-43-Pt100), живл.24 В, вих.4-20мА, -50...250°С, потужність перетворювача 0,8 Вт	3	
5а	Вібраційний віскозиметр Hydramotion XL7-НТ в комплекті з інтерфейсним блоком VP550, діапазон 0-1000 Па*с, жив.24 В, 3,6 ВА, вих.сигнал 4...20мА	1	
13а-16а	Реле тиску SCH-27, діапазон 0.15-10 Бар, жив.24В	4	
5в	Частотний перетворювач Danfoss FC-051P3K0T4E20H3, вх.сигнал 4...20мА, потужність кВт 3.0	1	
6а	Реле контролю рівня рідини РСУ – 31- 0, потужність - 4 ВА, змінний струм 220 В	1	
9а-12а	Датчик витрати «САФІР М» 5410, вихідний сигнал 4-20 мА, жив.24В, потужність – 0.8 ВА	4	
4б, 5б	Блок ручного управління БРУ-7, жив. 220 В, вх. сигн. 4-20 мА, з КБЗ -24-19, потужн. 7Вт	2	
4в, 17а-23а	Електропривід ARI-PREMIО 2,2 24 DC, вхідний сигнал 4-20 мА, 22 ВА в комплекті з регулюючим клапаном ARI-STEVI 440	8	
	<u>Прилади на щиті оператора</u>		
27	Модуль ADAM 4561 перетворювач інтерфейсів USB- RS485	1	
МПК	Контролер програмований SIEMENS S7-300, CPU 313C-2 DP 6ES7 313-6CE01-0AB0	1	
	Модуль аналогового вводу SIEMENS SM 331 6ES7331-7HF01-0AB0	1	
	Модуль аналогового вводу - виводу SIEMENS SM 334 6ES7 334-1CE01-0AA0	1	
	Блок живлення PS 307, AC100/240V, DC 24V,5A	1	
26	PC ADAPTER USB A2 (SM USB to MPI) , USB CABLE 5M INCLUDED MPI KABEL, 0,3M (6GK1571-0BA00-0AA0)	1	
	<u>Технічні засоби в операторському пункті</u>		
ПК	Персональний комп'ютер в комплекті	1	

Додаток Б

Таблиця Б – Попередній перелік обладнання до схеми принципової електричної

Поз. позначен-ня	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Перелік приладів на принциповій електричній схемі</u>		
	<u>Прилади за місцем</u>		
1KM-3KM	Магнітний пускач MITSUBISHI SD-N12CX-DC24V	3	
1SB1-3SB1	Кнопки ABB MP1-10R	3	
1SB4	Кнопка ELFIN 22, 1з, чорна	1	
HA	Дзвоник електричний ABB KB1-4010 24В, 0,008А	1	
	<u>Прилади в силовому щиті</u>		
1QF-3QF	Автоматичний вимикач триполюсний ABB S 203-B 13 NA, 13A, з додатковими контактами	3	
	<u>Прилади на щиті оператора</u>		
1SA-3SA, 17SA-23 SA, 24SA	Перемикач ELFIN 22 на 3 положення,	11	
1SB2-3SB2	Кнопки ABB MP1-10R, червоний штовхач	3	
1SB3-3SB3 25SB1- 25SB2	Кнопки ABB MP1-10G, зелений штовхач	5	
1K-3K, 17K...24K	Реле проміжне, ABB KC6-40E-1.4, 24В	11	
1VD-3VD, 17VD-23 VD	Світлосигнальна арматура у сборі MOELLER 205318, 24В пост.	10	
1R -3R, 17R-23R	з опірами 1,2 кОм у комплекті	10	

Додаток В

Таблиця В – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми живлення

Поз. позначення	Найменування	К-сть	Примітка
	<u>Перелік приладів на схемі</u>		
	<u>принципової електричної живлення</u>		
SF1	Вимикач автоматичний ВА47-29М, 6А	1	
SF2	Вимикач автоматичний ВА47-29М, 22А	1	
SF3, SF4	Вимикач автоматичний ВА47-29М, 1А	2	
SF5	Вимикач автоматичний ВА47-29М, 5А	1	
EL	Патрон косий настінний Е27 ФнП-03	1	
TV1	Трансформатор ТСБ3-220/36В, 400 Вт	1	
XS1	Розетка РШ-0-2- двополюсна, 5А	1	
SA1, ...,SA6	Вимикач, ПВ-1-16, 16А	6	
FU1, FU6	Запобіжник із плавкою вставкою ПТ, 0.5А	2	
FU2, FU7	Запобіжник із плавкою вставкою ПТ, 2А	2	
FU4, FU5	Запобіжник із плавкою вставкою ПТ, 3А	2	
FU3	Запобіжник із плавкою вставкою ПТ, 12А	1	
FU8	Запобіжник із плавкою вставкою ПТ, 9А	1	
G1	Блок живлення SIEMENS 6ES7 307-1KA01-0AA0, 24В, 10А	1	
G2	Блок живлення ETI PS-240-24, 24В, 10 А	1	
G3	Джерело безперебійного живлення (UPS) Power Must 800VA	1	