

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Тема: «Автоматизація процесу керування мікрокліматом камери дозрівання сирів в умовах утилізації скиданого тепла»

Розробив Д.С. Авдєєв

Керівник
к.т.н., доцент О.В. Мазур

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

«e-версія роботи ідентична оригіналу» Д.С. Авдєєв

«e-версію роботи прийнято»
Депозитор кафедри АТПіРС Т.В. Волик

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТП і РС
д.т.н., проф. Хобін В.А.

« 02 » 09 2022 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

1. Студент **Авдєєв Дмитро Сергійович**
2. Тема кваліфікаційної роботи **«Автоматизація процесу керування мікрокліматом камери дозрівання сирів в умовах утилізації скиданого тепла»**
3. Керівник кваліфікаційної роботи **Мазур Олександр Васильович, к.т.н., доцент**
П.п. 2 і 3 затверджені наказом ОНТУ від 22 серпня 2022 року № 475-03.
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 мікрокліматом камери дозрівання сирів в умовах утилізації скиданого тепла, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керуванням процесом.
 - 2) Конкретизація задачі дотримання регламентів управління мікрокліматом камери дозрівання сирів в умовах утилізації скиданого тепла, 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 мікрокліматом камери дозрівання сирів в умовах утилізації скиданого тепла.
 - 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	Хобін В. А., проф. каф. АТП і РС		
Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	Хобін В. А., проф. каф. АТП і РС		
Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САУ	Хобін В. А., проф. каф. АТП і РС		
Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	Степанов М.Т., доц. каф. АТП і РС		
Вибір ТЗА та розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		
Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження проекту	Дроздова В.А., доц. каф. 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 мікрокліматом камери дозрівання сирів в умовах утилізації скиданого тепла, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом	29.03.23 р.	Виконано
2	Конкретизація задачі дотримання регламентів управління мікрокліматом камери дозрівання сирів в умовах утилізації скиданого тепла, 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 мікрокліматом камери дозрівання сирів в умовах утилізації скиданого тепла	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

Авдєєв Д.С.

Мазур О.В.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра Авдеєва Дмитра Сергійовича «Автоматизація процесу керування мікрокліматом камери дозрівання сирів в умовах утилізації скиданого тепла» викладена на 197 сторінках, число таблиць – 14, рисунків – 133, додатків – 3, джерел з переліку посилань – 8.

Ключові слова: автоматизація, об'єкт керування, система автоматичного керування, імітаційне моделювання, оптимальний параметричний синтез, програмований логічний контролер, АРМ оператора, принципова електрична схема.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом визрівання сирів.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування процесу визрівання сирів, які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контурів САР, зниження числа передаварійних та аварійних ситуацій, покращення взаємодії з оператором-технологом.

Методи дослідження – методи теорії автоматичного керування, ідентифікації об'єкту керування, аналітичного імітаційного моделювання.

Отримані результати – розроблено комплексну аналітичну модель процесу визрівання сирів; алгоритми керування, які забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації регульованих змінних як в перехідних, так і в сталих режимах роботи САР; алгоритми пуску і зупинки обладнання; програми для ПЛК, що реалізують ці алгоритми; інтерфейси АРМ оператор-технолога і наладчика САР; фрагменти документації технічного забезпечення системи керування.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ.....	11
ВСТУП.....	12
1. ХАРАКТЕРИСТИКА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ КАМЕРИ ДОЗРІВАННЯ СИРІВ В УМОВАХ УТИЛІЗАЦІЇ СКИДАНОГО ТЕПЛА, ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯМ ПРОЦЕСОМ.....	14
1.1 Загальний опис технологічних процесів підприємства.....	14
1.2 Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого агрегатом, цілей і умов його ведення.....	17
1.2.1 Складання схеми та опис суті технологічного процесу, реалізованого технологічним агрегатом, як цілеспрямованого перетворення матеріальних і енергетичних потоків.....	17
1.2.2 Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо й доцільно реалізувати розглянутий технологічний процес.....	18
1.2.3 Параметризація схеми технологічного процесу й загальна (на якісному рівні) характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.....	18
1.3 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване подання.....	23
1.3.1 Виявлення нормативів ведення технологічного процесу і роботи технологічного агрегату.....	23
1.3.2 Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски.....	24
1.3.3 Виявлення параметрів, що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.....	25
1.3.4 Формалізація параметризованої схеми технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.....	26
1.4 Розробка структурної (координатної) схеми об'єкта керування.....	27

1.4.1 Конкретизація мети і завдань керування об'єктом, виявлення регульованих координат.....	27
1.4.2 Вибір керуючих впливів об'єкту керування.....	28
1.4.3 Виділення та класифікація збурень об'єкта керування.....	29
1.4.4 Складання структурної (координатної) схеми об'єкту регулювання.....	29
1.5 Висновки.....	30
2. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ	
УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ КАМЕРИ ДОЗРІВАННЯ СИРІВ В УМОВАХ УТИЛІЗАЦІЇ СКИДАНОГО ТЕПЛА, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЇЇ МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ.....	
2.1 Конкретизація структурної схеми об'єкта керування.....	31
2.2 Розробка і реалізація моделі процесу визрівання сирів.....	32
2.2.1 Розробка загальної структури моделі.....	32
2.2.2 Розробка моделі конденсатора та її реалізація у середовищі Matlab....	34
2.2.3 Розробка моделі охолодження фреону в секції підігріву повітря та її реалізація у середовищі Matlab.....	35
2.2.4 Розробка моделі вентилятора підігріву повітря та її реалізація у середовищі Matlab.....	37
2.2.5 Розробка моделі теплопередачі через поверхню теплообміну та її реалізація у середовищі Matlab.....	38
2.2.6 Розробка і реалізація підсистеми розрахунку коефіцієнту теплопередачі у середовищі Matlab.....	40
2.2.7 Розробка моделі змішування холодного та нагрітого повітря та її реалізація у середовищі Matlab.....	42
2.2.8 Розробка моделі процесів теплообміну у сирній голівці та її реалізація в середовищі Matlab.....	43
2.2.9 Розробка моделі теплових втрат з камери в середовище та її реалізація у середовищі Matlab.....	45
2.2.10 Розробка моделі випаровування вологи з сиру та її реалізація у середовищі Matlab.....	46

2.2.11 Розробка моделі повітря на виході камери та її реалізація у середовищі Matlab.....	47
2.3 Реалізація моделі і обґрунтування її адекватності об'єкту.....	49
2.3.1 Реалізація моделі.....	49
2.3.2 Отримання перехідних та квазістатичних характеристик моделі і обґрунтування їх адекватності об'єкту.....	53
2.3.3 Проведення ідентифікації моделей першого та другого порядків за каналом $u_1 - T_{пов}$	58
2.3.4 Проведення ідентифікації моделей першого та другого порядків за каналом $u_2 - f_{пов}$	60
2.4 Висновки.....	61
3. РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР, ОТРИМАННЯ ЦИФРОВИХ АНАЛОГІВ ОБРАНИХ АЛГОРИТМІВ.....	63
3.1 Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом.....	63
3.1.1 Формалізація вимог до гранично-припустимих статичних та динамічних відхилень регульованих змінних від відповідних заданих значень перехідних та динамічно сталих процесів та подання їх в формі регламентних зон регульованих змінних.....	63
3.1.2 Формалізація інтегральних вимог до перехідних та динамічно сталих процесів регулювання в формі інтегрального критерію оптимальності САР.....	64
3.1.3 Вибір, обґрунтування та подання у вигляді узагальненої структурної схеми принципу побудови системи автоматичного регулювання.....	65
3.1.4 Розробка на основі обраного загального принципу побудови системи регулювання, її базової конкретної структури.....	66
3.1.5 Вибір альтернативних варіантів типових алгоритмів регулювання, запис їх рівнянь і передаточних функцій.....	67
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	67
3.2.1 Розробка структурної схеми моделювання САР.....	67

3.2.2 Вибір початкових наближень налаштовуваних параметрів алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР.....	69
3.2.3 Параметричний оптимальний синтез САР з альтернативними алгоритмами регулювання.....	70
3.2.4 Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах.....	73
3.2.5 Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК.....	74
3.3 Висновки.....	80
4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ КАМЕРИ ДОЗРІВАННЯ СИРІВ В УМОВАХ УТИЛІЗАЦІЇ СКИДАНОГО ТЕПЛА.....	83
4.1 Конкретизація задачі логічного керування.....	83
4.2 Формалізація регламентів функціонування за пуском, технологічною та аварійною зупинкою.....	85
4.3 Розробка алгоритмів автоматичного керування: за пуском, технологічною та аварійною зупинкою.....	87
4.4 Розробка функціонально логічної схеми (ФЛС).....	90
4.5 Імітаційне моделювання системи логічного керування.....	94
4.6 Висновки.....	98
5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ.....	99
5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення.....	99
5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	102
5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу.....	106
5.4 Висновки.....	114

6. РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ САК.....	115
6.1 Формування списку параметрів які повинні вводитись і виводитись з контролера.....	115
6.2 Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування	118
6.3 Програмне конфігурування контролера.....	125
6.4 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК.....	127
6.5 Програмна реалізація алгоритмів логічного керування.....	133
6.6 Розробка підсистеми взаємодії автоматизованого робочого місця та мережі контролерів за допомогою OPC-сервера.....	140
6.7 Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування на базі контролера S7-300.....	143
6.8 Висновки.....	155
7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК.....	157
7.1 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога	157
7.2 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	158
7.2.1 Схема установки.....	159
7.2.2 Умовні позначення.....	162
7.2.3 Графіки зміни технологічних параметрів.....	163
7.2.4 Діагностичні повідомлення.....	164
7.3 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САР.....	169
7.4 Розробка екранів АРМ наладчика САР.....	170
7.4.1 Налаштування САР.....	170
7.4.2 Список користувачів.....	171
7.5 Висновки.....	172

8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ...	173
8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та основні технічні рішення.....	173
8.2 Розробка схеми автоматизації та специфікації на технічні засоби системи	175
8.3 Розробка принципової електричної схеми.....	176
8.4 Розробка принципів електричних схем живлення.....	180
8.5 Висновки.....	181
9. ПОПЕРЕДНЄ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ.....	182
9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації	182
9.2 Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості.....	186
9.3 Висновки.....	187
ВИСНОВОК.....	188
ЛІТЕРАТУРА.....	189
ДОДАТКИ.....	190
Додаток А. Схема автоматизації та специфікація на технічні засоби системи	190
Додаток Б. Принципові електричні схеми та специфікація на технічні засоби	192
Додаток В. Принципова електрична схема живлення та специфікація на технічні засоби.....	196

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ

- ТУ – технологічне устаткування;
- ГВП – гаряче водопостачання;
- ТП – технологічний процес;
- ОК – об’єкт керування;
- САК – система автоматичного керування;
- ЕРВ - електронний розширювальний вентиль;
- ПІ – пропорційно-інтегральний;
- ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний;
- ОПС – оптимальний параметричний синтез;
- ЗНВ – зона незначимих відхилень;
- РФ – регламент функціонування;
- СЛК – система логічного керування;
- КР – контур регулювання;
- ФЛС – функціональна логічна схема;
- ППЗС – передпускова звукова сигналізація;
- ДЦП – дискретно-цифровий перетворювач;
- ЦДП – цифро-дискретний перетворювач;
- ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
- ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
- ПЗО – пристрій зв’язку з об’єктом;
- МПК – мікропроцесорний контролер;
- ПЛК – програмований логічний контролер;
- АРМ – автоматизоване робоче місце;
- ПК – персональний комп’ютер;
- ОП – операторський пункт;
- ЕД – електродвигун;
- ЧП – частотний перетворювач

ВСТУП

Приготування сиру – складна технологічна операція. Докладний її опис наведено в розділі 1. Одним з ключових етапів є процес визрівання, в ході якого продукт набуває консистенції, запаху і смаку, характерного для конкретного сорту. Щоб отримувати при цьому якісний продукт сироваріння, потрібно суворо дотримуватись встановлених кліматичних параметрів. Даними параметрами зазвичай є температура та відносна вологість. Для цього цехи обладнають спеціальними камерами визрівання для сиру.

При недотриманні правильної температури та вологості в камері можуть погіршитися органолептичні властивості продукту. Наприклад, якщо встановити занадто високі температуру та вологість, то створяться сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів усередині та зовні сирної продукції. У результаті вона набуде не найприємнішого аромату, а також з'явиться пліснява. При занадто низькій вологості може відбутися пересихання продукту та поява тріщин на скоринці, що призведе до зниження ваги та появи гіркого смаку.

Вимірювання та підтримання відносної вологості є доволі складною задачею, оскільки даний вид вологості залежить не тільки від власне кількості вологи у повітрі, а й від температури. Отже при раптовому одночасному та швидкому варіюванні температури і кількості вологи у повітрі може відбутися занадто часта зміна показників вимірювального пристрою, що може призвести до погіршення його роботи або навіть до завчасного виходу із ладу. Тому замість відносної вологості пропонується контролювати абсолютну вологість повітря (г/м^3).

При виборі камери слід звертати увагу на наявність антикорозійного захисту. При визріванні сирна маса виділяє газу, які ушкоджують внутрішню оболонку обладнання. Щоб підтримувати якісний технологічний процес та уникнути появи іржі, потрібно встановлювати обладнання з антикорозійним покриттям. Також слід стежити за тим, як розподіляється температура

всередині камери. Під час витримки кожна голівка повинна рівномірно оброблятися температурою. Досягти цього можна за допомогою обладнання з вентиляційною системою. Якщо правильно розподілити вентилятори всередині та встановити потрібну швидкість обдування, кожна голівка визріватиме при потрібній температурі.

В даній роботі для підготовки повітря, що циркулює через камеру, передбачається застосування парокompресійного теплового насоса. При цьому забезпечується утилізація зайвого тепла за рахунок використання конденсаційного теплоутилізатора для охолодження повітря нижче точки роси і видалення з нього зайвої вологи. Отриману на конденсаторі теплового насоса додаткову теплову енергію можна використовувати на подальший підігрів повітря до заданої температури, а також на потреби гарячого водопостачання.

Наведене вище технічне рішення дозволить підвищити енергетичну ефективність ведення процесу визрівання сирів, а також отримувати додатковий прибуток від теплової енергії, переданої до ГВП. Для оснащення агрегату якісною системою автоматичного регулювання параметрів слід побудувати комплексну математичну модель теплових процесів, що протікають в камері визрівання, реакції сирних голівок на ці процеси, а також модель функціонування холодильного агрегату для підготовки повітря, що подається в камеру.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ КАМЕРИ ДОЗРІВАННЯ СИРІВ В УМОВАХ УТИЛІЗАЦІЇ СКИДАНОГО ТЕПЛА, ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯМ ПРОЦЕСОМ

1.1 Загальний опис технологічних процесів підприємства

До того, як потрапити в камеру для тривалої витримки, сирна маса проходить кілька етапів технологічної обробки. Спочатку її охолоджують у спеціальних резервуарах щоб придушити розвиток шкідливої мікрофлори. Звідси вона потрапляє до сепаратора, а потім до охолоджувача, де досягає потрібної температури. Тут починається дозрівання сировини, під час якого збільшується її кислотність. Щоб збалансувати рівень білків та жирів, продукт піддають нормалізації. За нею слідує пастеризація, під час якої пригнічується зростання шкідливої мікрофлори. Згодом до сировини вноситься бактеріальна закваска, яка «згортає» молочну масу. З маси, що згорнулася, отримують сирне зерно, яке піддають формуванню та пресуванню. Тільки після цього його відправляють до камери визрівання.

Детальна послідовність технологічних операцій наведена на рис.1.1.

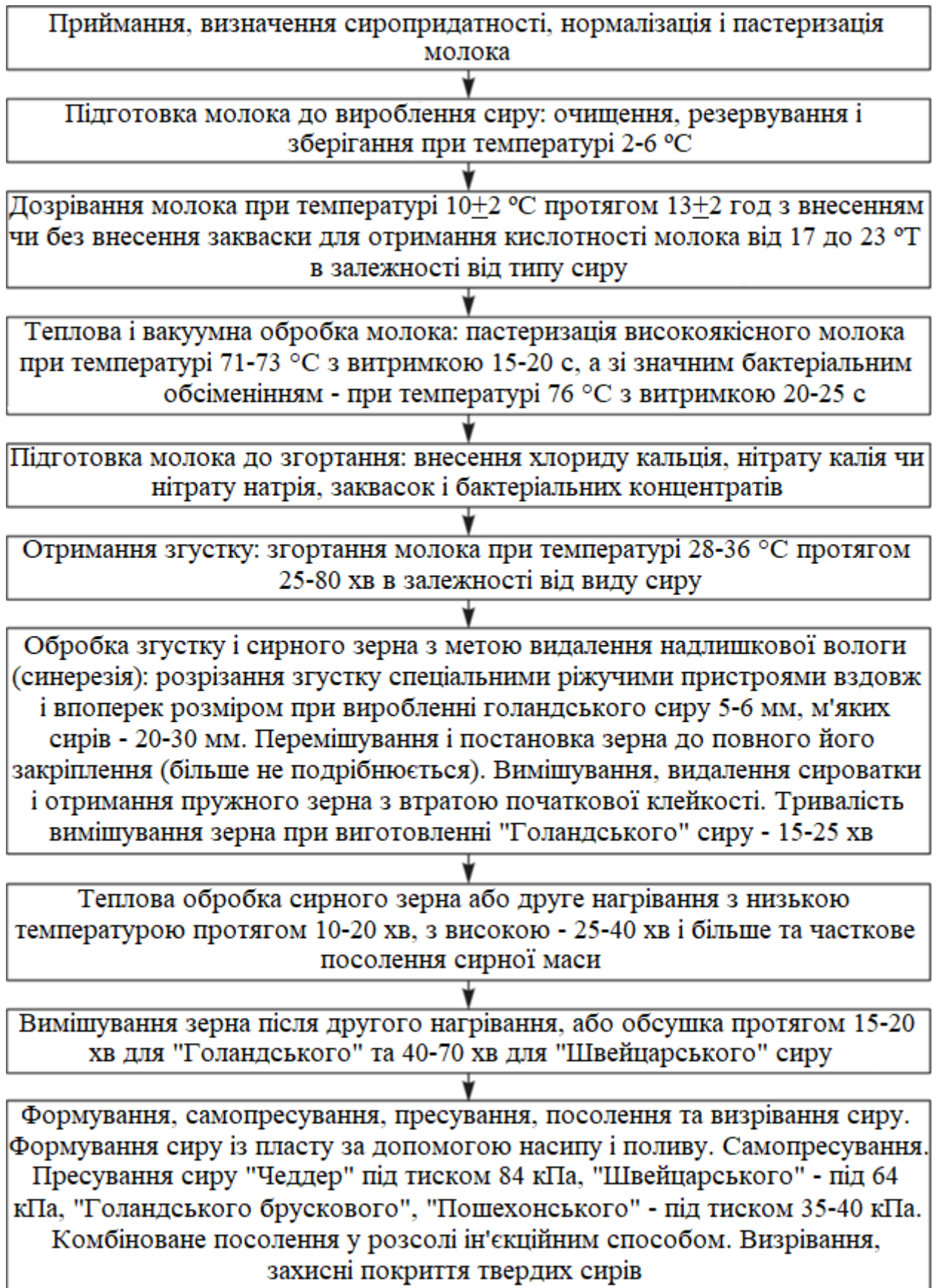


Рис. 1.1. Послідовність технологічних операцій при виробництві сирів

В таблиці 1.1 наведені технологічні умови для визрівання деяких видів сирів. На основі даних умов далі буде сформовано набір номінальних значень для основних параметрів технологічного процесу.

Таблиця 1.1 Технологічні операції та результати їх виконання при виробництві сирів

Вид сиру	Температура, °С	Відносна вологість, %
Пармезан	13 – 15	85 - 90
Едам	10 – 15	85
Брі	15 – 18	90
Романо	10 – 15	85
Лімбургер	10 – 15	90
Моцарелла	21	85

При виробництві сирів використовують наступне обладнання: сепаратори-нормалізатори, пастеризатори-охолоджувачі, ванни стандартизації молока перед зсіданням, сировиробники, механізми подачі маси, посолу та преси. В апаратах для вироблення сирного зерна здійснюють коагуляцію білків молока, розпушування сирної маси, постановку зерна та відбір певної кількості сироватки. На великих сироварних підприємствах застосовують переважно апарати безперервної дії, на середніх – апарати періодичної дії.

досягнення оптимальних значень температури та відносної вологості. Для даних цілей передбачається застосування парокомпресійного теплового насоса.

Контур випарника теплового насоса підключається до спеціального конденсаційного теплообмінника, в якому здійснюється охолодження повітря, що подається в камеру, нижче точки роси. У контурі конденсатора передбачені 3 секції. В основній секції здійснюється малий підігрів невеликої частини повітря, охолодженого конденсаційним теплообмінником. Дві інші секції призначені для позбавлення конденсатора зайвої теплоти: в одній секції відбувається підігрів води з водопроводу, в іншій – продувка зовнішнім повітрям.

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

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

- Технологічний процес визрівання сирів доцільно реалізовувати, якщо:
- є достатня кількість сиру в камері;
 - є достатні тиск та кількість холодоагенту в колі теплового насоса;
 - є місце для відвантаження готового продукту.

1.2.3 Параметризація схеми технологічного процесу й загальна (на якісному рівні) характеристика параметрів і їх взаємозалежностей

Технологічний процес визрівання сирів є тепловим процесом, пов'язаним з передачею тепла від холодоагенту шляхом його циркуляції в контурі теплового насоса. Важливою умовою нормального функціонування

технологічного процесу є наявність достатньої кількості даного холодоагенту. Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.3.

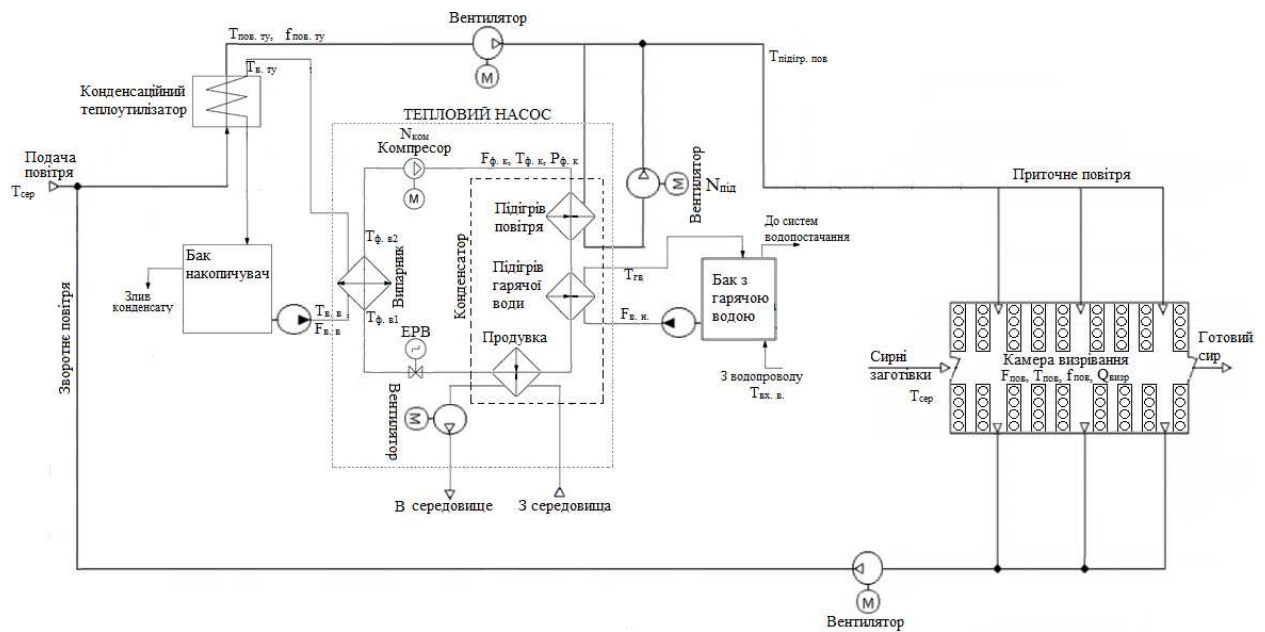


Рис. 1.3. Параметризована технологічна схема камери визрівання сирів

Позначення на параметризованій технологічній схемі наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Позначення на параметризованій технологічній схемі

№	Найменування	Умовне позначення	Одиниця вимірювання	Номінальне значення або діапазон	Примітка
1	Витрати повітря	$F_{\text{пов}}$	$\text{м}^3/\text{с}$	0–3.045	Проміжна внутрішня змінна
2	Частота обертання вентилятора підігріву повітря	$N_{\text{під}}$	об/хв		Керуючий вплив (u_1)

3	Температура повітря в камері	$T_{\text{пов}}$	°C	10–15 (Едам, Романо, Лімбургер); 13–15 (Пармезан); 15–18 (Брі); 21 (Моцарелла)	Регульована змінна
4	Абсолютна вологість повітря в камері	$f_{\text{пов}}$	г/м ³	8.01–10.93 (Едам, Романо); 8.48–11.57 (Лімбургер); 9.67–11.57 (Пармезан); 11.57–13.86 (Брі); 15.61 (Моцарелла)	Регульована змінна
5	Частота обертання компресора	$N_{\text{ком}}$	об/хв		Керуючий вплив (u_2)
6	Температура повітря середовища	$T_{\text{сер}}$	°C	-10–+32	Збурення
7	Теплота визрівання сирів	$Q_{\text{визр}}$	Вт/кг	0.13	Збурення
8	Температура повітря після теплоутилізат	$T_{\text{пов. ту}}$	°C	7.4–12.3 (Едам, Романо); 8.25–13.2	Проміжна внутрішня змінна

	ора			(Лімбургер); 10.3–13.2 (Пармезан); 13.2–16.2 (Брі); 18.15 (Моцарелла)	
9	Абсолютна вологість повітря після теплоутилізатора	$f_{\text{пов. ту}}$	г/м ³	7.98–10.89 (Едам, Романо); 8.43–11.51 (Лімбургер); 9.61–11.51 (Пармезан); 11.51–13.82 (Брі); 15.53 (Моцарелла)	Проміжна внутрішня змінна
10	Температура підігрітого повітря (після змішування)	$T_{\text{підігр. пов}}$	°С	8.2–13 (Едам, Романо); 9–14 (Лімбургер); 11.1–14 (Пармезан); 14–16.8 (Брі); 19 (Моцарелла)	Проміжна внутрішня змінна
11	Температура води з водопроводу	$T_{\text{вх. в}}$	°С	8–27	Збурення
12	Витрати води через секцію	$F_{\text{в. н}}$	м ³ /с		Проміжна внутрішня

	підігріву води				змінна
13	Температура підігрітої води	$T_{ГВ}$	°С	50	Проміжна внутрішня змінна
14	Температура води на вході випарника	$T_{в. в}$	°С		Проміжна внутрішня змінна
15	Витрати води через теплоутилізатор	$F_{в. в}$	л/год	200	Проміжна внутрішня змінна
16	Температура води на вході теплоутилізатора	$T_{в. ту}$	°С	5.4–10.3 (Едам, Романо); 6.25–11.2 (Лімбургер); 8.3–11.2 (Пармезан); 11.2–14.2 (Брі); 16.15 (Моцарелла)	Проміжна внутрішня змінна
17	Температура кипіння фреону в випарнику	$T_{ф. в1}$	°С	0–5 (Едам, Романо); 0.5–5.5 (Лімбургер); 2–5 (Пармезан); 5–8 (Брі); 10 (Моцарелла)	Проміжна внутрішня змінна
18	Температура фреону після	$T_{ф. в2}$	°С	5.4–10.3 (Едам, Романо);	Проміжна внутрішня

	випарника			6.25–11.2 (Лімбургер); 8.3–11.2 (Пармезан); 11.2–14.2 (Брі); 16.15 (Моцарелла)	змінна
19	Витрати фреону перед конденсаторо м	$F_{ф.к}$	кг/год	200	Проміжна внутрішня змінна
20	Тиск фреону на вході конденсатора	$P_{ф.к}$	МПа	Не більше 1.8	Проміжна внутрішня змінна
21	Температура фреону перед конденсаторо м	$T_{ф.к}$	°С	Не більше 70– 80	Проміжна внутрішня змінна

1.3 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване подання

1.3.1 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 визрівання

сирів такими параметрами є температура та відносна вологість повітря в камері $T_{\text{пов}}$, $f_{\text{пов}}$.

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для процесу визрівання сирів такими параметрами є температура, тиск та витрати фреону перед конденсатором теплового насосу $T_{\text{ф. к}}$, $P_{\text{ф. к}}$, $F_{\text{ф. к}}$.

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 параметри повітря після теплоутилізатора $T_{\text{пов. ту}}$, $f_{\text{пов. ту}}$, температуру підігрітого повітря $T_{\text{підігр. пов}}$, а також температуру води на вході теплоутилізатора $T_{\text{в. ту}}$ та температуру підігрітої води $T_{\text{гв}}$.

1.3.2 Аналіз наслідків виходу технологічних і експлуатаційних параметрів за регламентні допуски

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, що викликані зміною параметрів, які характеризують умови ведення процесу, навіть при досить ефективному керуванні процесом можуть перевищувати встановлені допуски. Дані допуски прийнято розділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі та короткочасні відхилення. Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів (табл. 1.3).

Таблиця 1.3. Таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номінальні значення	Припустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі		Час
					Величина	Величина	
1	Температура повітря в камері	$T_{пов}$	°С	14	±1	±4	600с
2	Абсолютна вологість повітря в камері	$f_{пов}$	г/м ³	10.58	±0.12	±0.3	200с

Недотримання даних умов може призвести до погіршення смаку і запаху сиру. Також при занадто низькій температурі і вологості можлива поява тріщин на скоринці сиру та набуття його грубої і твердої консистенції. При надмірній температурі або вологості на поверхні сиру може з'явитися пліснява, а також він стане занадто м'яким та набуде мажучого стану. Отже порушення регламенту веде до погіршення якості готового продукту і навіть до збільшення виходу браку.

1.3.3 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 теплоту визрівання сирів $q_{визр}$.

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводиться до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо температуру середовища $T_{сер}$, температуру води з водопроводу $T_{вх. в}$, витрати повітря $F_{пов}$, температуру води на вході випарника $T_{в. в}$, витрати води через теплоутилізатор $F_{в. в}$,

температуру кипіння фреону у випарнику $T_{ф. в1}$, температуру фреону після випарника $T_{ф. в2}$ та витрати води через секцію підігріву води $F_{в. н}$.

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан його робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо частоту обертання вентилятора підігріву повітря та компресора u_1 , u_2 .

1.3.4 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.

Зобразимо параметричну схему об'єкта:

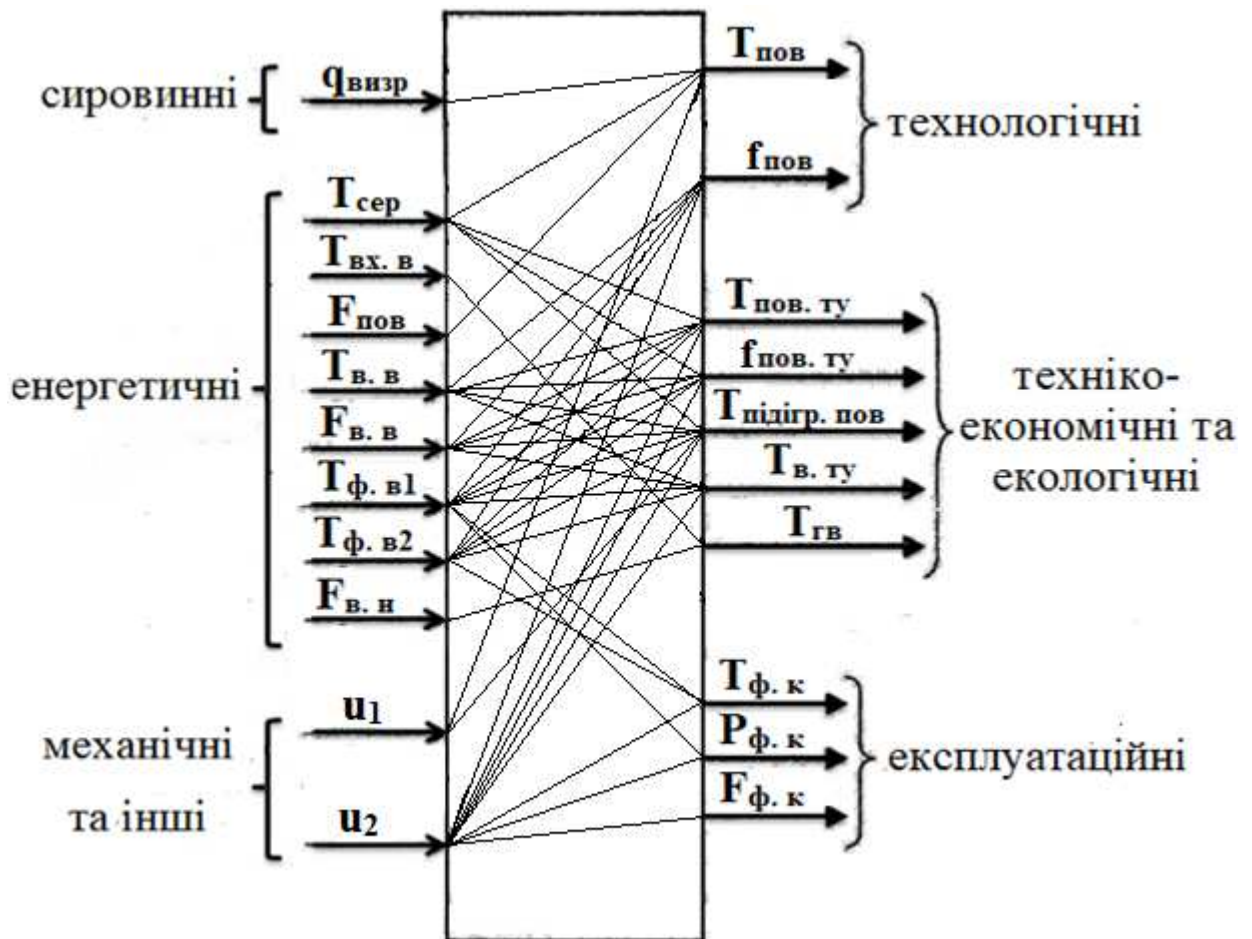


Рис. 1.4. Параметрична схема об'єкта

1.4 Розробка структурної (координатної) схеми об'єкта керування

1.4.1 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 якості продукції, а також отримання при цьому певного економічного ефекту.

Декомпозиція загальної («глобальної») мети 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 сформульованого критерію, вирішуються задачі оптимізації процесу.

Для процесу визрівання сиру в якості регульованих координат доцільно обрати температуру та абсолютну вологість повітря в камері $T_{\text{пов}}$, $f_{\text{пов}}$.

1.4.2 Вибір керуючих впливів об'єкту керування

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

Для процесу визрівання сирів до керуючого впливу, що змінює температуру повітря в камері доцільно віднести частоту обертання вентилятора підігріву повітря u_1 , так як даний вентилятор спроможний передати до охолодженого у теплоутилізаторі повітря найбільшу кількість теплоти, забираючи її від конденсатора, а отже і має найбільший коефіцієнт передачі.

До керуючого впливу, що змінює вологовміст повітря в камері віднесемо частоту обертання компресора u_2 , оскільки саме компресор відповідає за охолодження повітря у теплоутилізаторі нижче точки роси, а отже і за досягнення ним потрібної абсолютної вологості.

1.4.3 Виділення та класифікація збурень об'єкта керування

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

Для процесу визрівання сиру неможливо виділити контрольовані збурення. Отже всі входні дії крім керуючого впливу відносимо до неконтрольованих збурень.

1.4.4 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 визрівання сиру наведена на рис. 1.4.

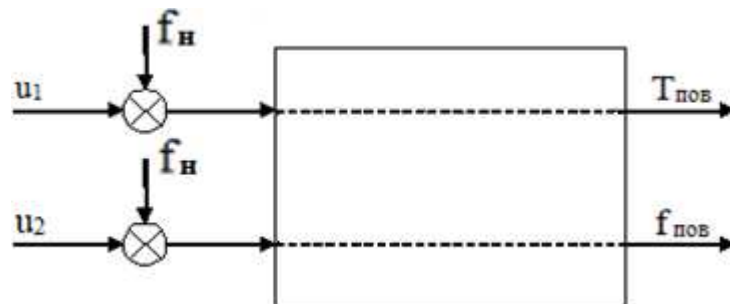


Рис. 1.5. Структурна схема процесу визрівання як об'єкту регулювання

u_1 – регулювання частоти обертання вентилятора підігріву повітря

u_2 – регулювання частоти обертання компресора

f_n – неконтрольовані збурення

$T_{\text{пов}}$ – температура повітря в камері

$f_{\text{пов}}$ – абсолютна вологість повітря в камері

1.5 Висновки

При виконанні даного розділу було проведено аналіз технологічного процесу визрівання сирів в камері. Аналіз показав, що концептуально процес можна представити двома регульованими координатами: температурою та абсолютною вологістю повітря в камері; двома керуючими впливами: частотою обертання вентилятора підігріву повітря та частотою обертання компресора. Усі збурення процесу доцільно віднести до неконтрольованих збурень.

2. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ КАМЕРИ ДОЗРІВАННЯ СИРІВ В УМОВАХ УТИЛІЗАЦІЇ СКИДАНОГО ТЕПЛА, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЇГО МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

2.1. Конкретизація структурної схеми об'єкта керування

У попередньому розділі виділено 2 задачі регулювання:

1. Стабілізація температури повітря в камері $T_{\text{пов}}$;
2. Стабілізація абсолютної вологості повітря в камері $f_{\text{пов}}$.

Керуючі впливи об'єкта керування:

u_1 – керуючий вплив, що змінює частоту обертання вентилятора підігріву повітря;

u_2 – керуючий вплив, що змінює частоту обертання компресора.

Всі входні дії крім керуючого впливу віднесено до неконтрольованих збурень. Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до керуючих впливів, а стохастичну складову – до регульованої координати.

Структурна схема об'єкта зображена на рис. 2.1.

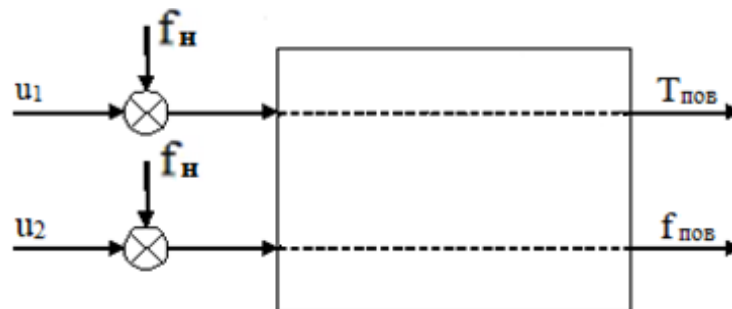


Рис. 2.1. Структурна схема об'єкта керування

u_1 – регулювання частоти обертання вентилятора підігріву повітря

u_2 – регулювання частоти обертання компресора

f_n – неконтрольовані збурення

$T_{\text{пов}}$ – температура повітря в камері

$f_{\text{пов}}$ – абсолютна вологість повітря в камері

2.2. Розробка і реалізація моделі процесу визрівання сирів

2.2.1. Розробка загальної структури моделі

Виконаємо декомпозицію технологічного процесу на окремі структурні елементи і розглянемо загальну структуру його математичної моделі з основними взаємозв'язками між моделями окремих елементів процесу.

Схема такої структури наведена на рис. 2.2.

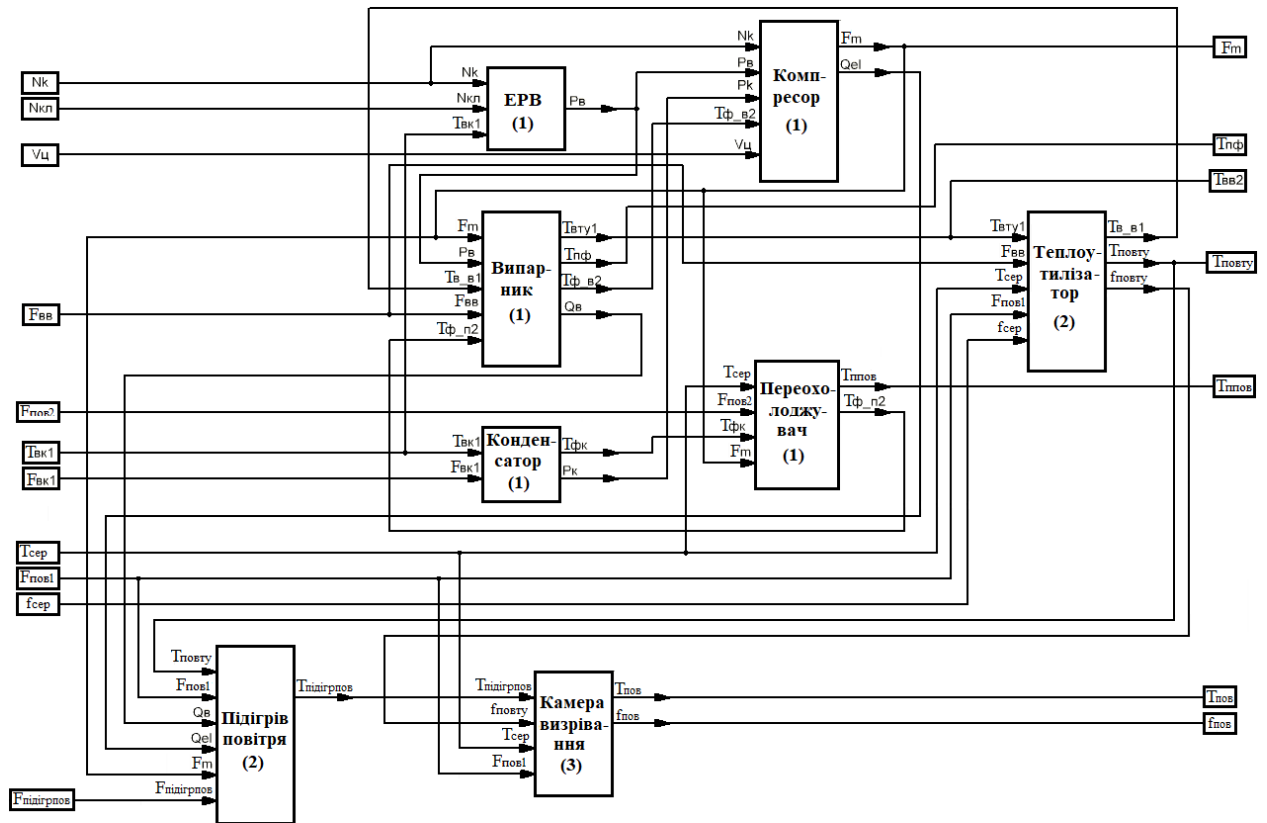


Рис. 2.2. Структурна схема моделі процесу визрівання сирів:

- (1) – складові теплового насоса;
- (2) – блоки підготовки повітря;
- (3) – камера визрівання

N_k – частота обертання компресора;

$N_{кл}$ – положення ЕРВ;

$V_{ц}$ – об'єм циліндра компресора;

$F_{вв}$ – масові витрати води через випарник;

$F_{пов2}$ – масові витрати повітря через секцію продувки;

$T_{вк1}$ – температура води на вході в конденсатор;

$F_{\text{вк1}}$ – масові витрати води через конденсатор;

$T_{\text{сер}}$ – температура повітря середовища;

$F_{\text{пов1}}$ – масові витрати повітря через камеру;

$f_{\text{сер}}$ – абсолютна вологість повітря середовища;

$P_{\text{в}}$ – тиск фреону в випарнику;

$P_{\text{к}}$ – тиск в конденсаторі;

$T_{\text{фв}_2}$ – температура фреону на виході випарника;

$V_{\text{ц}}$ – об'єм циліндра компресора;

$F_{\text{м}}$ – масові витрати фреону в колі теплового насоса;

$F_{\text{підігрпов}}$ – масові витрати повітря, що відбирається у секцію підігріву;

$Q_{\text{ел}}$ – електрична потужність компресора;

$T_{\text{в}_\text{в1}}$ – температура води на вході випарника;

$T_{\text{ф}_\text{п2}}$ – температура фреону після переохолоджувача;

$T_{\text{вту1}}$ – температура води на вході в теплоутилізатор;

$T_{\text{пф}}$ – температура перегріву фреону;

$Q_{\text{в}}$ – теплова потужність випарника;

$T_{\text{повту}}$ – температура повітря після теплоутилізатора;

$f_{\text{повту}}$ – абсолютна вологість повітря після теплоутилізатора;

$T_{\text{фк}}$ – температура фреону на виході конденсатора;

$T_{\text{ппов}}$ – температура повітря на виході продувки;

$T_{\text{підігрпов}}$ – температура підігрітого повітря;

$T_{\text{пов}}$ – температура повітря в камері;

$f_{\text{пов}}$ – абсолютна вологість повітря в камері.

За основу даної моделі взято модель парокомпресійного насоса для процесу УТПЗ, описану у [1], до складу якої входять моделі: ЕРВ, випарника, компресора, контактного теплообмінника-утилізатора, переохолоджувача та конденсатора. Для нашого випадку розробляються та додаються модель секції підігріву повітря після теплоутилізатора та модель камери визрівання, а також вносяться зміни у модель конденсатора.

2.2.2. Розробка моделі конденсатора та її реалізація у середовищі Matlab

Вхідними параметрами моделі є температура води на вході конденсатора T_{BK1} та її масові витрати крізь конденсатор F_{BK1} . Розглядаючи конденсатор як об'єкт із зосередженими параметрами та виходячи з того, що у системі в статичних режимах підтримуються тепловий та енергетичний баланси, можливо розрахувати теплову потужність Q_k , яка виділяється на конденсаторі як різницю суми потужностей випарника та компресора і теплоти підігріву частини повітря з теплоутилізатора, яку відбирає вентилятор секції підігріву з урахуванням втрат в середовище:

$$Q_k = (Q_v + Q_{ел} - Q_{під}) \cdot K_{вте} \quad (2.1)$$

Q_v – теплова потужність випарника по холодоагенту;

$Q_{ел}$ – електрична потужність споживана компресором;

$Q_{під}$ – теплота, що витрачається на підігрів повітря;

$K_{вте}$ – коефіцієнт втрат теплової потужності на двигуні

Температура конденсації холодоагенту $T_{кд}$ залежить від температури води на вході конденсатора та щільності теплового потоку крізь нього, яка в свою чергу залежить від потужності, що виділяється на конденсаторі та його конструкції:

$$T_{кд} = T_{BK1} + \frac{Q_k \cdot K_{втк}}{F_{BK1} \cdot c_v} + (Q_v + Q_{ел} - Q_{під}) \cdot K_5 \quad (2.2)$$

T_{BK1} – температура води на вході в конденсатор;

$K_{втк}$ – коефіцієнт втрат теплової потужності на конденсаторі;

F_{BK1} – масові витрати води крізь конденсатор;

c_v – теплоємність води

K_5 – емпіричний коефіцієнт, який залежить від конструкції

конденсатора

Температура холодоагенту на виході конденсатора $T_{фк}$:

$$T_{фк} = T_{BK1} + (Q_v + Q_{ел} - Q_{під}) \cdot K_6 \quad (2.3)$$

K_6 – емпіричний коефіцієнт, який залежить від конструкції конденсатора

Динамічні властивості каналів описуються ланками, передаточні функції яких отримані в [1].

Реалізація моделі конденсатора у середовищі Simulink представлена на рис. 2.3.

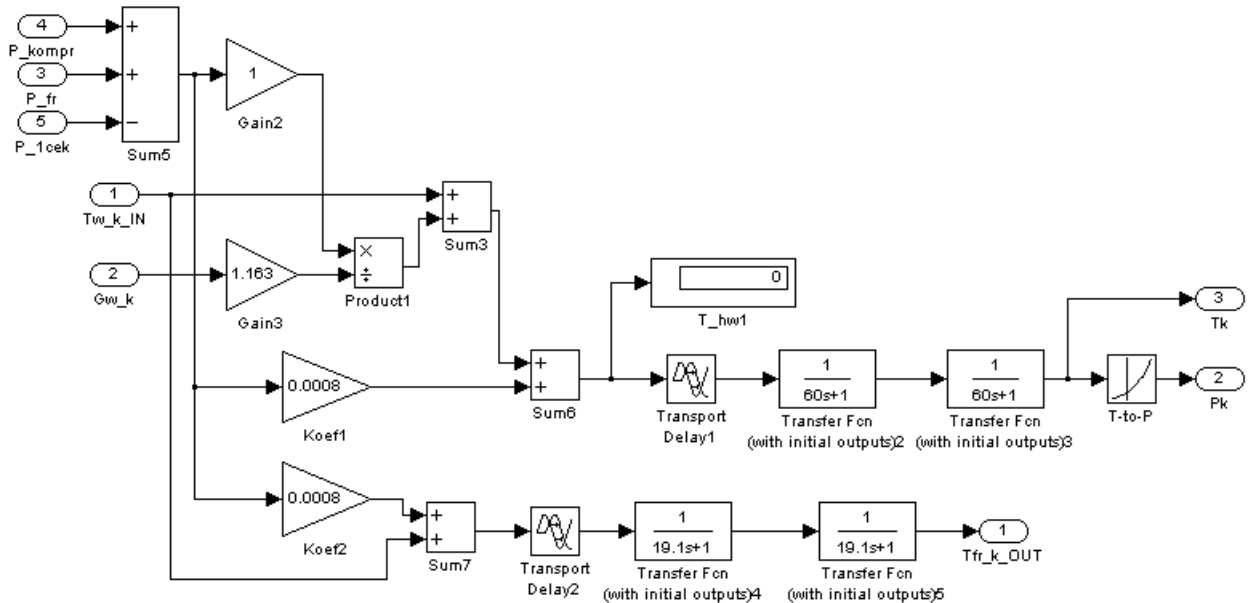


Рис. 2.3. Реалізація моделі конденсатора в середовищі Simulink

Вхідні дані моделі: 1 – температура води на вході конденсатора; 2 – масові витрати води через конденсатор; 3 – теплова потужність випарника по холодоагенту; 4 – електрична потужність компресора; 5 – теплота підігріву повітря.

Вихідні дані моделі: 1 – температура холодоагенту на виході конденсатора; 2 – тиск в конденсаторі; 3 – температура конденсації холодоагенту.

2.2.3. Розробка моделі охолодження фреону в секції підігріву повітря та її реалізація у середовищі Matlab

Поточна температура фреону в секції підігріву повітря розраховується за формулою:

$$T_{\text{фр під}} = \left(\frac{Q_{\text{ел}}}{F_m \cdot c_{\text{фр пар}}} + T_{\text{фв2}} - \frac{Q_{\text{під}} - (Q_{\text{під}} - Q_{\text{охл}})}{F_m + c_{\text{фр пар}}} \right) - \frac{Q_{\text{під}} - Q_{\text{охл}} - q_{\text{пар}} \cdot F_m}{c_{\text{фр рід}} \cdot F_m} \quad (2.4)$$

$Q_{\text{ел}}$ – електрична потужність споживана компресором;

$c_{\text{фр пар}}$ – питома теплоємність газоподібного фреону;

F_m – масові витрати фреону в колі теплового насоса;

$T_{\text{фв2}}$ – температура фреону на виході випарника;

$Q_{\text{під}}$ – теплота, що витрачається на підігрів повітря;

$Q_{\text{охл}}$ – теплота, що витрачається на охолодження парів фреону;

$q_{\text{пар}}$ – питома теплота пароутворення фреону;

$c_{\text{фр рід}}$ – питома теплоємність рідкого фреону

Для подальшого розрахунку коефіцієнту теплопередачі скористаємося розрахунковою температурою фреону, яка є середнім арифметичним між початковою та поточною температурою фреону та обчислюється за формулою:

$$T_p = \frac{Q_{\text{ел}}}{F_m \cdot c_{\text{фр пар}}} + T_{\text{фв2}} - \left(\frac{Q_{\text{ел}}}{F_m \cdot c_{\text{фр пар}}} + T_{\text{фв2}} - T_{\text{фр під}} \right) \cdot 0.5 \quad (2.5)$$

Реалізація моделі охолодження фреону в секції підігріву повітря у середовищі Simulink наведена на рис. 2.4.

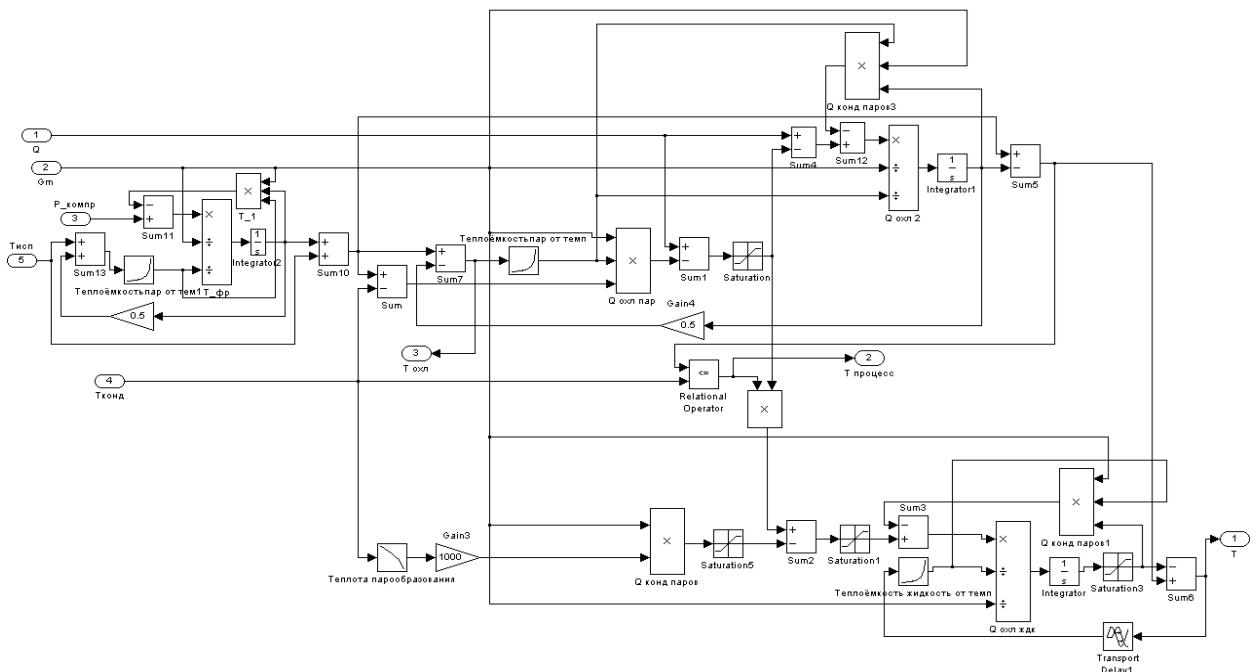


Рис. 2.4. Реалізація моделі охолодження фреону в секції підігріву повітря у середовищі Simulink

Вхідні дані моделі: 1 – теплота, витрачена на підігрів повітря; 2 – масові витрати фреону в колі теплового насоса; 3 – електрична потужність споживана компресором; 4 – температура конденсації фреону; 5 – температура фреону на виході випарника.

Вихідні дані моделі: 1 – температура фреону в секції підігріву повітря; 2 – визначення процесу, який відбувається з фреоном (охолодження або конденсація); 3 – розрахункова температура фреону.

2.2.4. Розробка моделі вентилятора підігріву повітря та її реалізація у середовищі Matlab

Швидкість повітря в секції підігріву розраховується за формулою:

$$\omega_{\text{підігрпов}} = G_{\text{підігрпов}}/S_{\text{тр}} \quad (2.6)$$

$G_{\text{підігрпов}}$ – об’ємні витрати повітря, що відбирається у секцію підігріву;

$S_{\text{тр}}$ – площа поперечного перерізу труби

Температура нагрітого повітря розраховується за формулою:

$$T_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{під}}}{F_{\text{підігрпов}} * c_{\text{пов}}} + T_{\text{повту}} \quad (2.7)$$

$Q_{\text{під}}$ – теплота, що витрачається на підігрів повітря;

$F_{\text{підігрпов}}$ – масові витрати повітря, що відбирається у секцію підігріву;

$c_{\text{пов}}$ – питома теплоємність повітря;

$T_{\text{повту}}$ – температура повітря після теплоутилізатора

Реалізація моделі вентилятора підігріву повітря у середовищі Simulink наведена на рис. 2.5.

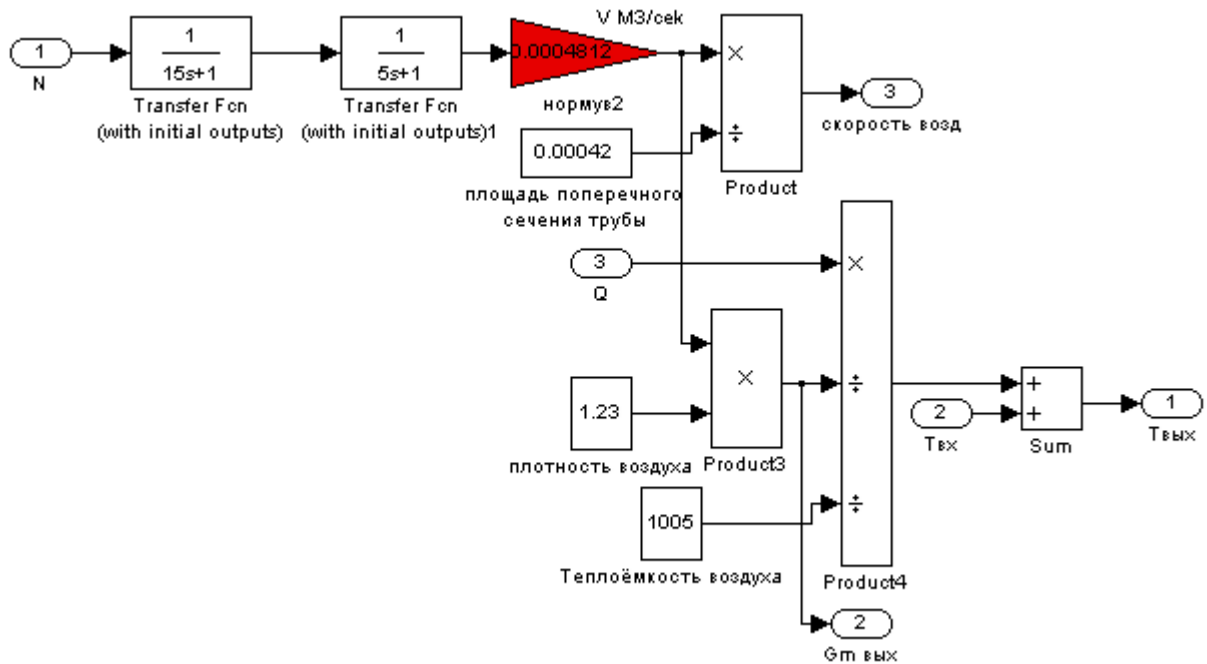


Рис. 2.5. Реалізація моделі вентилятора підігріву повітря у середовищі Simulink

Вхідні дані моделі: 1 – частота обертання вентилятора; 2 – температура повітря після теплоутилізатора; 3 – теплота, що витрачається на підігрів повітря.

Вихідні дані моделі: 1 – температура нагрітого повітря; 2 – масові витрати повітря, що відбирається у секцію підігріву; 3 – швидкість повітря в секції підігріву.

2.2.5. Розробка моделі теплопередачі через поверхню теплообміну та її реалізація у середовищі Matlab

Теплопередачею (heattransfer) називається процес перенесення теплоти від більш нагрітого ("гарячого") теплоносія до менш нагрітого ("холодного") теплоносія через поверхню теплообміну.

За основу розрахунку температури гарячої сторони поверхні теплообміну візьмемо наступну залежність для теплового потоку Q через поверхню:

$$Q = F \cdot \Delta T / R_{ст} \quad (2.8)$$

F – площа поверхні теплообміну;

ΔT – різниця температур гарячої та холодної сторін поверхні теплообміну;

$R_{ст} = \delta_{ст}/\lambda_{ст}$ – тепловий опір поверхні теплообміну;

$\delta_{ст}$ – товщина поверхні;

$\lambda_{ст}$ – теплопровідність поверхні

Також скористаємося наступним рівнянням:

$$Q = c_{ст} * m_{ст} * \Delta T \quad (2.9)$$

$c_{ст}$ – питома теплоємність матеріалу теплообмінника;

$m_{ст}$ – маса теплообмінника

Реалізація моделі теплопередачі через поверхню теплообміну в середовищі Simulink наведена на рис. 2.6.

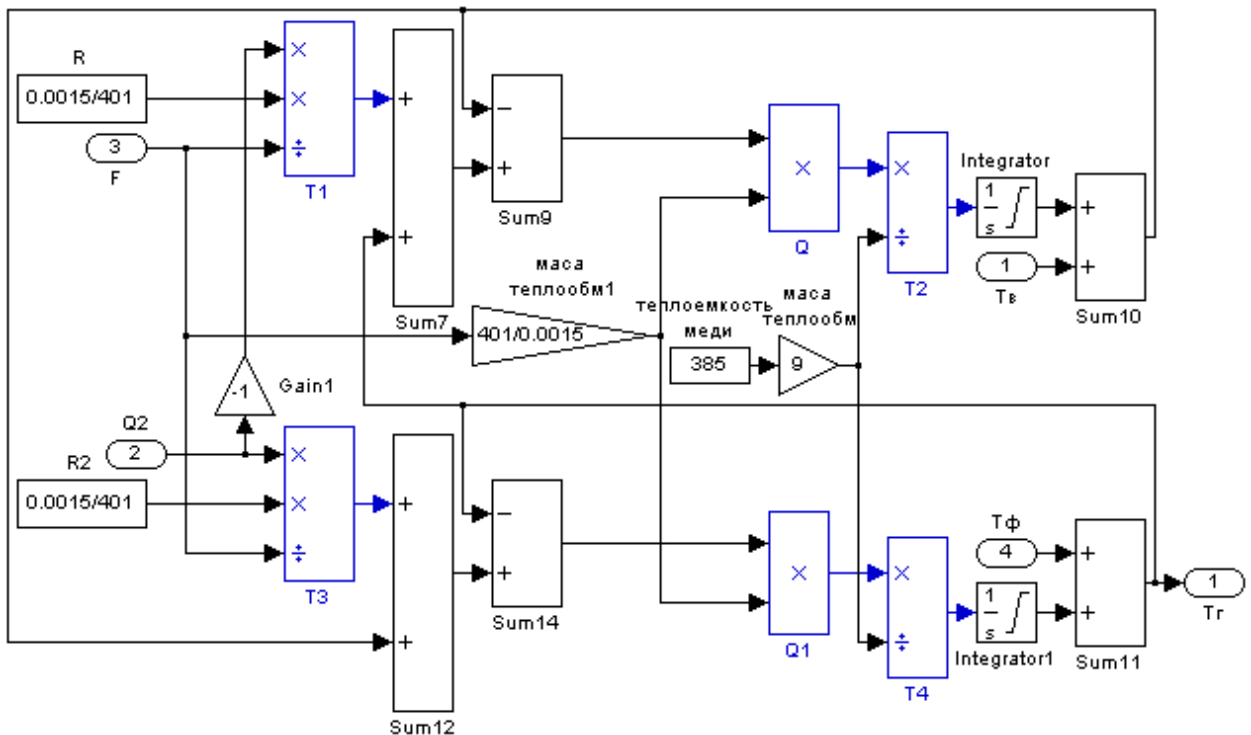


Рис. 2.6. Реалізація моделі теплопередачі через поверхню теплообміну в середовищі Simulink

Вхідні дані моделі: 1 – температура нагрітого повітря; 2 – теплота, що витрачається на підігрів повітря; 3 – площа поверхні теплообміну; 4 – температура фреону в секції підігріву повітря.

Вихідні дані моделі: 1 – температура гарячої сторони поверхні теплообміну.

2.2.6. Розробка і реалізація підсистеми розрахунку коефіцієнту теплопередачі у середовищі Matlab

Коефіцієнт теплопередачі k – величина, яка показує скільки теплоти переходить через поверхню 1 м^2 за одиницю часу при різниці температур середовищ 1 К . У конденсаторах він залежить від інтенсивності тепловіддачі холодоагенту і холодного середовища, які характеризуються коефіцієнтами тепловіддачі $\alpha_{\text{фр}}$ та $\alpha_{\text{пов}}$ відповідно, а також теплового опору поверхні апарата. Дана залежність описується рівнянням:

$$k = [(1/\alpha_{\text{пов}}) + (\delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}}) + (1/\alpha_{\text{фр}})]^{-1} \quad (2.10)$$

$\delta_{\text{ст}}$ – товщина поверхні;

$\lambda_{\text{ст}}$ – теплопровідність поверхні

На відміну від коефіцієнту теплопередачі k , коефіцієнт тепловіддачі α характеризує теплообмін між речовиною і самою поверхнею теплообміну і показує кількість теплоти, яка передається від речовини до поверхні 1 м^2 за одиницю часу при різниці температур речовини і поверхні теплообміну 1 К . Для вимушеного руху речовини в трубах він розраховується з наступного виразу:

$$\alpha = 0,021 \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,43} (\lambda/d) \quad (2.11)$$

λ – теплопровідність речовини;

d – діаметр труби;

Pr – коефіцієнт Прандтля речовини;

$\text{Re} = \omega d / \nu$ – критерій Рейнольдса потоку речовини;

ω – швидкість потоку речовини в трубі;

ν – кінематична в'язкість речовини

У випадку конденсації холодоагенту його коефіцієнт тепловіддачі розраховується за іншою формулою:

$$\alpha_{кд} = A^4 \sqrt{\frac{r \rho^2 \lambda^3 g}{\mu \cdot d \cdot (T_{кд} - T_{ст})}} \quad (2.12)$$

$A = 0.943$ – коефіцієнт усереднення;

r – теплота пароутворення;

ρ – густина рідкого холодоагенту;

λ – теплопровідність рідкого холодоагенту;

g – прискорення вільного падіння;

μ – динамічна в'язкість рідкого холодоагенту;

d – товщина плівки конденсату;

$T_{кд}$ – температура конденсації холодоагенту;

$T_{ст}$ – температура гарячої сторони поверхні теплообміну

Реалізація розрахунку коефіцієнту теплопередачі у середовищі Simulink наведена на рис. 2.7.

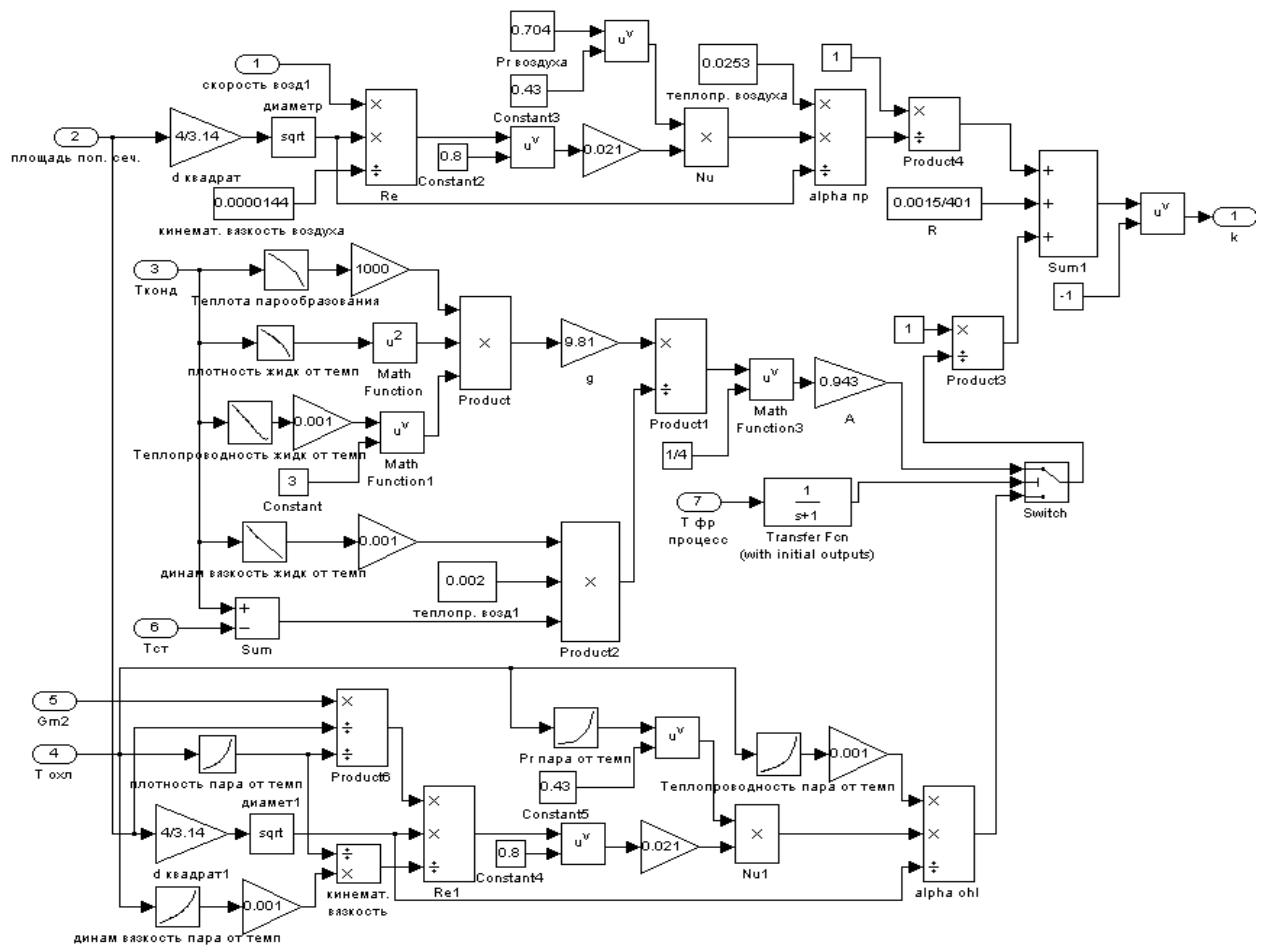


Рис. 2.7. Реалізація розрахунку коефіцієнту теплопередачі у середовищі Simulink

Вхідні дані моделі: 1 – швидкість повітря в секції підігріву; 2 – площа поперечного перерізу труби; 3 – температура конденсації холодоагенту; 4 – розрахункова температура холодоагенту; 5 – масові витрати холодоагенту в колі теплового насоса; 6 – температура гарячої сторони поверхні теплообміну; 7 – визначення процесу, який відбувається з фреоном (охолодження або конденсація).

Вихідні дані моделі: 1 – коефіцієнт теплопередачі від холодоагенту до повітря.

2.2.7. Розробка моделі змішування холодного та нагрітого повітря та її реалізація у середовищі Matlab

Температура підігрітого повітря розраховується за формулою:

$$T_{\text{підігрпов}} = \frac{F_{\text{підігрпов}} * T_{\text{н}} * c_{\text{пов}} + (F_{\text{пов}} - F_{\text{підігрпов}}) * T_{\text{повту}} * c_{\text{пов}}}{F_{\text{пов}} * c_{\text{пов}}} \quad (2.13)$$

$F_{\text{підігрпов}}$ – масові витрати повітря, що відбирається у секцію підігріву;

$T_{\text{н}}$ – температура нагрітого повітря;

$c_{\text{пов}}$ – питома теплоємність повітря;

$F_{\text{пов}}$ – масові витрати повітря через камеру;

$T_{\text{повту}}$ – температура повітря після теплоутилізатора

Реалізація моделі змішування холодного та нагрітого повітря у середовищі Simulink наведена на рис. 2.8.

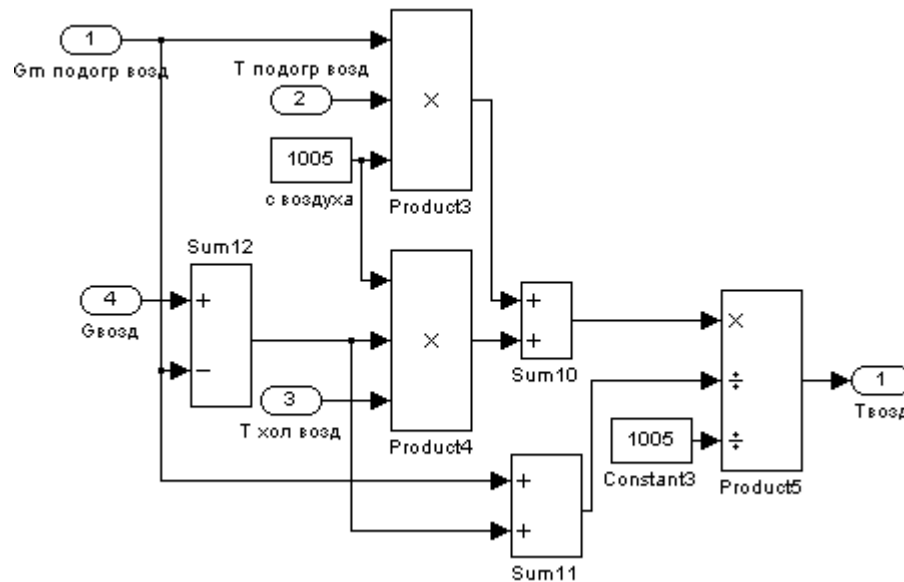


Рис. 2.8. Реалізація моделі змішування холодного та нагрітого повітря у середовищі Simulink

Вхідні дані моделі: 1 – масові витрати повітря, що відбирається у секцію підігріву; 2 – температура нагрітого повітря; 3 – температура повітря після теплоутилізатора; 4 – масові витрати повітря через камеру.

Вихідні дані моделі: 1 – температура підігрітого повітря.

2.2.8. Розробка моделі процесів теплообміну у сирній голівці та її реалізація в середовищі Matlab

Поточна температура поверхні сирної голівки розраховується за формулою:

$$T_{\text{псг}} = \frac{(T_{\text{пов}} - T_{\text{псг}}) * \alpha * S_{\text{сг}} - Q_{\text{сг}}}{m_{\text{псг}} * c_{\text{сг}}} + T_{\text{поч}} \quad (2.14)$$

$T_{\text{пов}}$ – температура повітря в камері;

α – коефіцієнт тепловіддачі від повітря;

$S_{\text{сг}}$ – площа поверхні сирної голівки;

$Q_{\text{сг}}$ – кількість теплоти, що йде від поверхні до центру сирної голівки;

$m_{\text{псг}}$ – маса поверхні сирної голівки;

$c_{\text{сг}}$ – питома теплоємність сиру;

$T_{\text{поч}}$ – початкова температура сирної голівки

Кількість теплоти, яка виділяється від сирної голівки у повітря, розраховується за формулою:

$$Q_6 = (T_{\text{пов}} - T_{\text{псг}}) * \alpha * S_{\text{сг}} - m_{\text{кcg}} * q_{\text{визр}} \quad (2.15)$$

$m_{\text{кcg}}$ – кінцева маса сирної голівки (після випаровування частини вологи);

$q_{\text{визр}}$ – теплота визрівання голівки

Поточна температура в центрі сирної голівки розраховується за формулою:

$$T_{\text{цсг}} = \frac{\frac{(T_{\text{псг}} - T_{\text{цсг}}) * S_{\text{сг}}}{R_{\text{сг}}} + m_{\text{кcg}} * q_{\text{визр}}}{c_{\text{сг}} * m_{\text{кcg}}} + T_{\text{поч}} \quad (2.16)$$

$R_{\text{сг}}$ – тепловий опір сирної голівки

Реалізація моделі процесів теплообміну у сирній голівці в середовищі Simulink представлена на рис. 2.10.

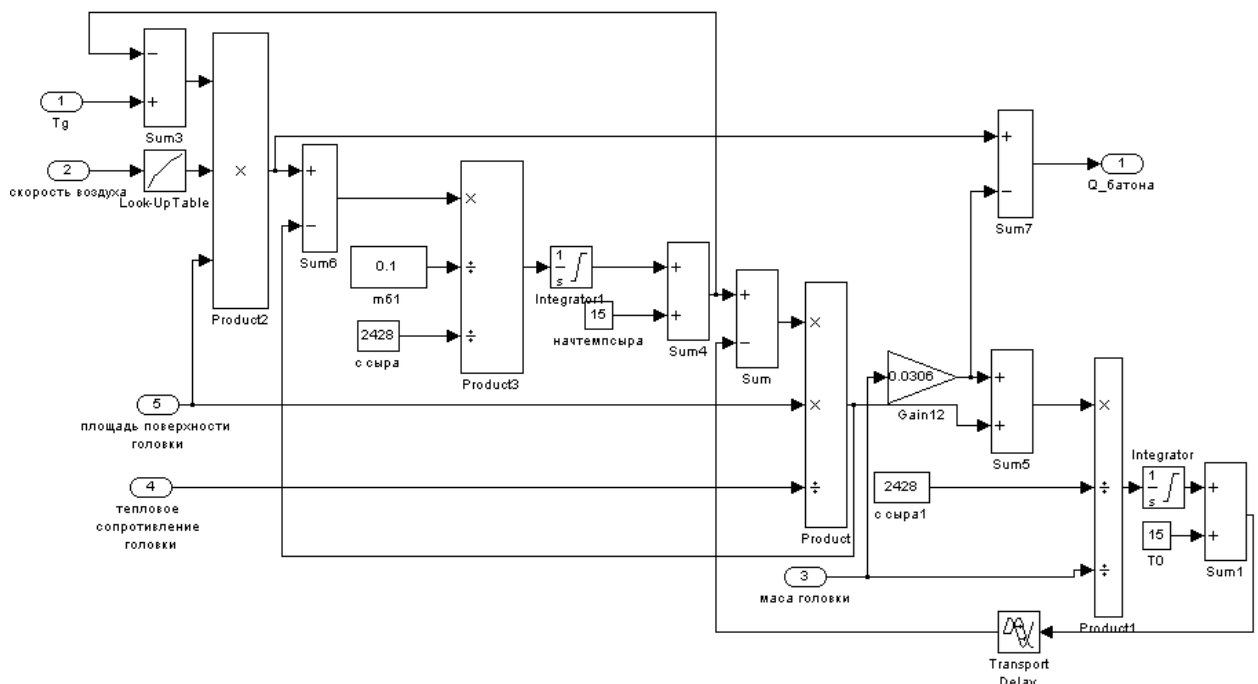


Рис. 2.9. Реалізація моделі процесів теплообміну у сирній голівці в середовищі Simulink

Вхідні дані моделі: 1 – температура повітря в камері; 2 – швидкість повітря через камеру; 3 – кінцева маса сирної голівки (після випаровування

частини вологи); 4 – тепловий опір сирної голівки; 5 – площа поверхні сирної голівки.

Вихідні дані моделі: 1 – кількість теплоти, яка виділяється від сирної голівки у повітря.

2.2.9. Розробка моделі теплових втрат з камери в середовище та її реалізація у середовищі Matlab

Теплові втрати з камери в середовище розраховуються за формулою:

$$Q_{\text{сер}} = \frac{(T_{\text{пов поч}} - T_{\text{пов кінець}}) * \alpha * S_{\text{к}} - Q_{\text{сер}}}{m_{\text{н}} * c_{\text{н}}} * \frac{S_{\text{к}} * R_{\text{еп}}}{\delta_{\text{еп}}} \quad (2.17)$$

$T_{\text{пов поч}}$ – початкова температура повітря в камері;

$T_{\text{пов кінець}}$ – кінцева температура повітря в камері;

α – коефіцієнт тепловіддачі від повітря;

$S_{\text{к}}$ – загальна площа поверхні камери;

$Q_{\text{сер}}$ – теплові втрати в середовище;

$m_{\text{н}}$ – загальна маса нержавіючої сталі;

$c_{\text{н}}$ – питома теплоємність нержавіючої сталі;

$R_{\text{еп}}$ – тепловий опір екструзійного пінополістиролу;

$\delta_{\text{еп}}$ – товщина шару екструзійного пінополістиролу

Для визначення площі поверхні, поперечного перерізу та загальної маси нержавіючої сталі в камері скористаємось підсистемою, що розраховує їх на основі розмірів камери. Загальна реалізація моделі теплових втрат з камери в середовище у Matlab наведена на рис. 2.10.

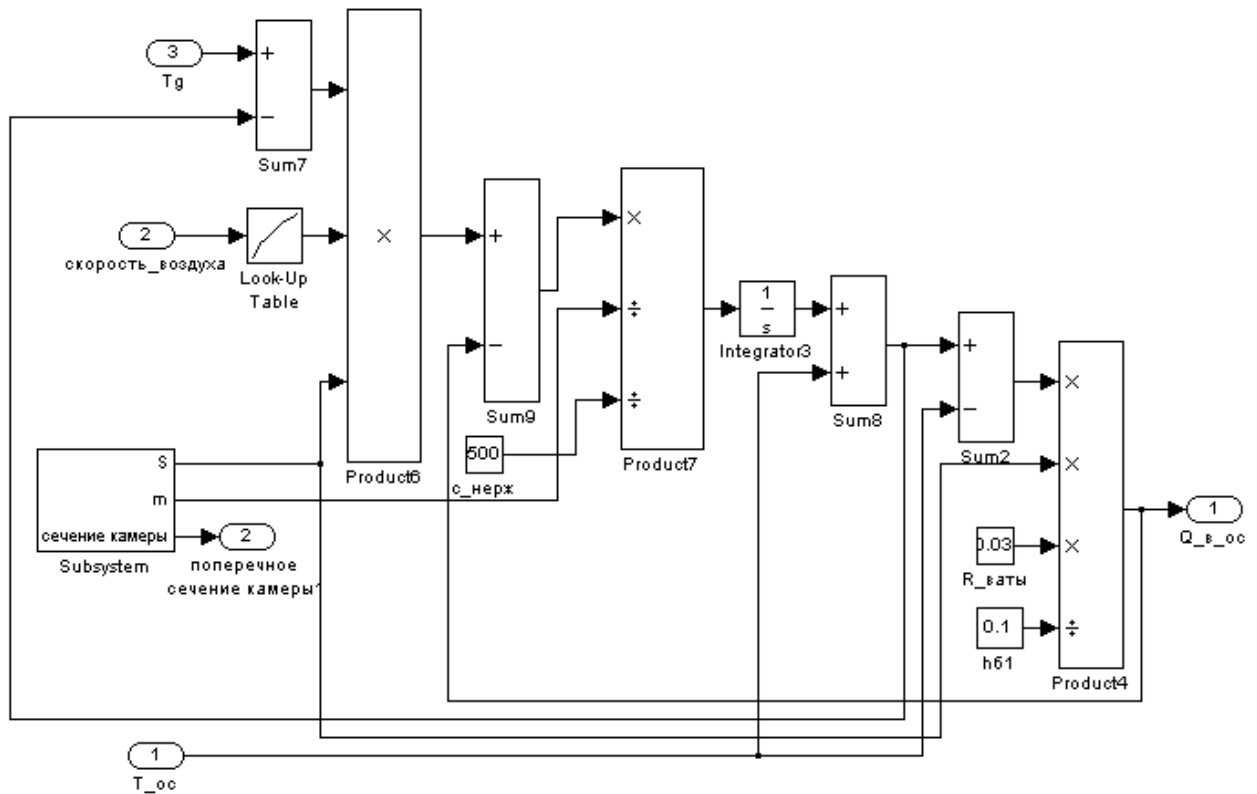


Рис. 2.10. Реалізація моделі теплових втрат з камери в середовище у Matlab

Вхідні дані моделі: 1 – температура повітря середовища; 2 – швидкість повітря через камеру; 3 – температура повітря в камері.

Вихідні дані моделі: 1 – теплові втрати в середовище; 2 – площа поперечного перерізу камери.

2.2.10. Розробка моделі випаровування вологи з сиру та її реалізація у середовищі Matlab

Для побудови моделі випаровування використано поняття про рівноважну вологість сиру, при досягненні якої волога з нього перестає випаровуватися або навпаки набиратися. При цьому існують різні форми зв'язку вологи з сиром. Видалення кожного виду вологи супроводжується виділенням різної кількості теплоти. Дані про рівноважну вологість сиру та форми зв'язку вологи з сиром наведені у [2]. Реалізація моделі випаровування вологи з сиру у середовищі Simulink представлена на рис.

2.11.

$$F_{\text{пов}} = v_{\text{пов}} * S_{\text{поп}} * \rho_{\text{пов}} = \rho_{\text{пов}} * G_{\text{пов}} - \text{масові витрати повітря через камеру};$$

$v_{\text{пов}}$ – швидкість повітря через камеру;

$S_{\text{поп}}$ – площа поперечного перерізу вільного простору камери;

$\rho_{\text{пов}}$ – густина повітря;

$G_{\text{пов}}$ – об’ємні витрати повітря через камеру

Реалізація моделі повітря на виході камери у середовищі Simulink

представлена на рис. 2.12.

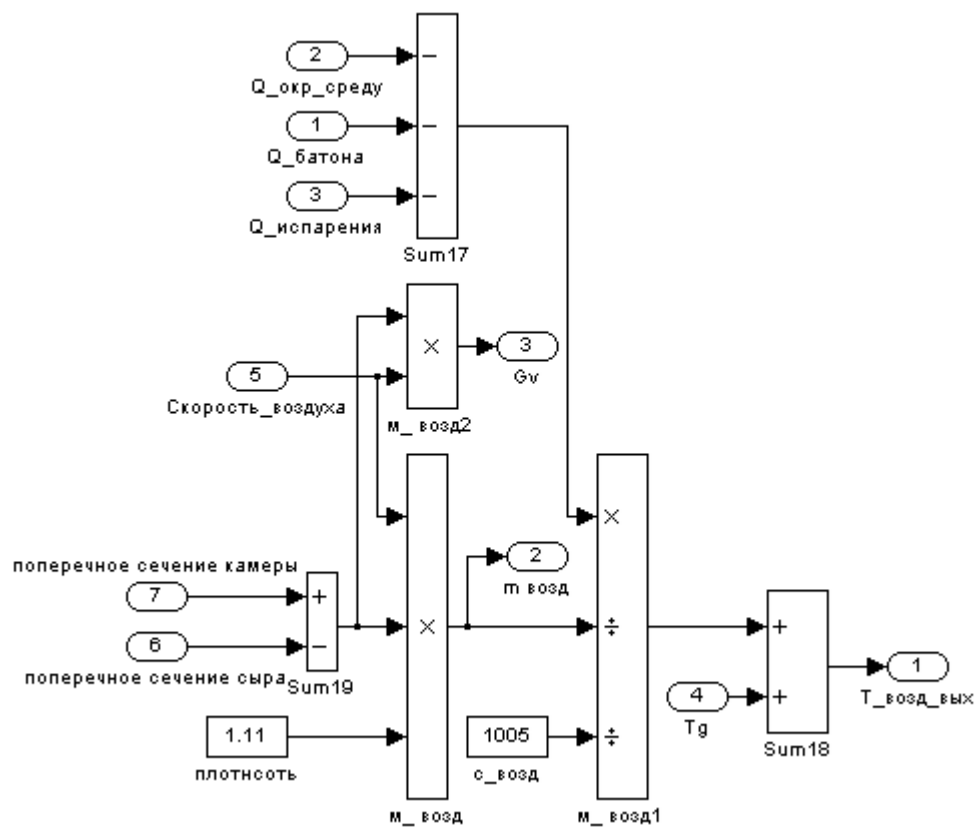


Рис. 2.12. Реалізація моделі повітря на виході камери у середовищі Simulink

Вхідні дані моделі: 1 – кількість теплоти, яка виділяється від сирної голівки у повітря; 2 – теплові втрати в середовище; 3 – теплота, що виділяється при випаровуванні вологи з сиру; 4 – температура повітря в камері; 5 - швидкість повітря через камеру; 6 – загальний поперечний переріз сиру в камері; 7 – площа поперечного перерізу камери.

Вихідні дані моделі: 1 – температура повітря на виході з камери; 2 – масові витрати повітря через камеру; 3 – об’ємні витрати повітря через камеру.

2.3. Реалізація моделі і обґрунтування її адекватності об'єкту

2.3.1. Реалізація моделі

Виходячи із загальної структури моделі у відповідності з рис. 2.2 складемо її із розроблених в [1] та у пунктах 2.2.2 – 2.2.11 функціональних блоків, реалізованих у середовищі Simulink, об'єднуючи їх необхідними зв'язками.

Зберемо блок секції підігріву повітря згідно рис. 2.13. В ньому об'єднаємо модель охолодження фреону, модель вентилятора, теплопередачі через поверхню теплообміну, змішування холодного та нагрітого повітря, а також підсистему розрахунку коефіцієнту теплопередачі k . Також реалізуємо розрахунок теплоти, що витрачається на підігрів повітря, за наступною формулою:

$$Q_{\text{під}} = (T_{\text{фр під}} - T_{\text{н}}) * k * F \quad (2.19)$$

$T_{\text{фр під}}$ – температура холодоагенту;

$T_{\text{н}}$ – температура нагрітого повітря;

F – площа поверхні теплообміну

На вході задаємо масові витрати холодоагенту в колі теплового насоса (1), електричну потужність компресора (2), температуру конденсації холодоагенту (3), температуру холодоагенту на виході випарника (4), частоту обертів вентилятора (5), температуру повітря після теплоутилізатора (6) та масові витрати повітря через камеру (7). На виході – температуру підігрітого повітря (1) та теплоту, що витрачається на підігрів повітря (2).

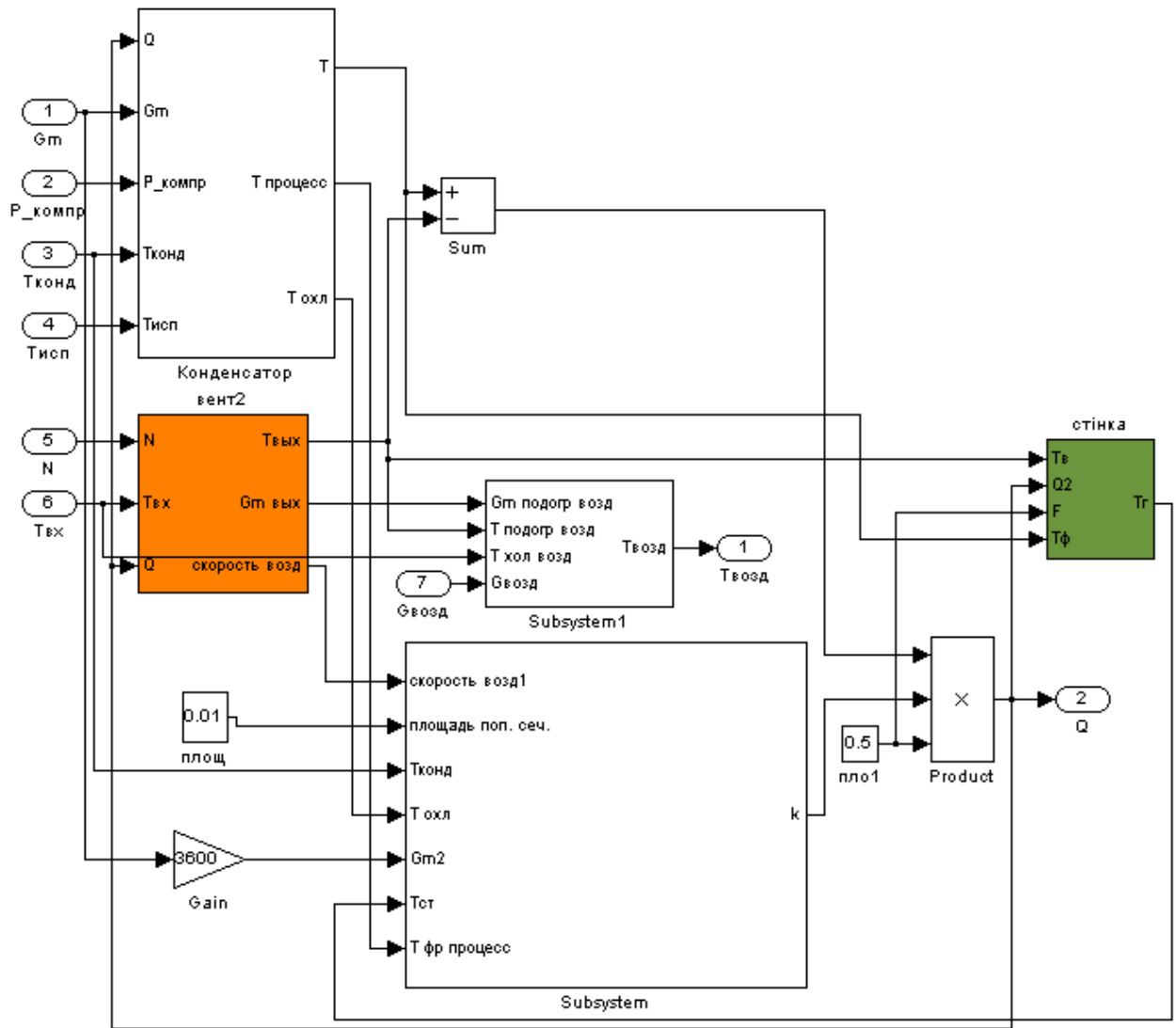


Рис. 2.13. Реалізація блоку секції підігріву повітря

Зберемо блок камери визрівання згідно рис. 2.14. В ньому об'єднаємо модель процесів теплообміну у сирній голівці, теплових втрат з камери в середовище, випаровування вологи з сиру та повітря на виході камери. Також реалізуємо розрахунки температури та відносної вологості повітря в камері, а також відносної вологості повітря на виході з камери.

Температура повітря в камері розраховується за формулою:

$$T_{\text{пов}} = T_{\text{підігрпов}} - (T_{\text{підігрпов}} - T_{\text{пов вих}}) * 0.3 \quad (2.20)$$

$T_{\text{підігрпов}}$ – температура підігрітого повітря;

$T_{\text{пов вих}}$ – температура повітря на виході з камери

Відносна вологість повітря в камері розраховується за формулою:

$$W_{\text{пов}} = f_{\text{пов}} / f_{\text{пов}}^{\text{max}} * 100\% \quad (2.21)$$

$f_{\text{пов}}^{\text{max}}$ – максимальна абсолютна вологість повітря в камері;

$f_{\text{пов}} = f_{\text{повту}} + f_{\text{вип}} * 0.3 / G_{\text{пов}}$ – абсолютна вологість повітря в камері;

$f_{\text{повту}}$ – абсолютна вологість повітря після теплоутилізатора;

$f_{\text{вип}}$ – кількість вологи, що випаровується за 1 секунду;

$G_{\text{пов}}$ – об'ємні витрати повітря через камеру

Відносна вологість повітря на виході з камери розраховується за формулою:

$$W_{\text{пов вих}} = (f_{\text{повту}} + f_{\text{вип}} / G_{\text{пов}}) / f_{\text{пов вих}}^{\text{max}} * 100\% \quad (2.22)$$

$f_{\text{пов вих}}^{\text{max}}$ – максимальна абсолютна вологість повітря на виході з камери

Для визначення геометричних параметрів та теплофізичних властивостей сирної голівки циліндричної форми скористаємося підсистемою, що розраховує їх на основі радіусу та висоти голівки.

На вході задамо температуру підігрітого повітря (1), абсолютну вологість повітря після теплоутилізатора (2), температуру повітря середовища (3) та швидкість повітря через камеру (4). На виході – температуру повітря на виході з камери (1), масові витрати повітря через камеру (2), відносну вологість повітря на виході з камери (3), абсолютну вологість повітря в камері (4) та температуру повітря в камері (5).

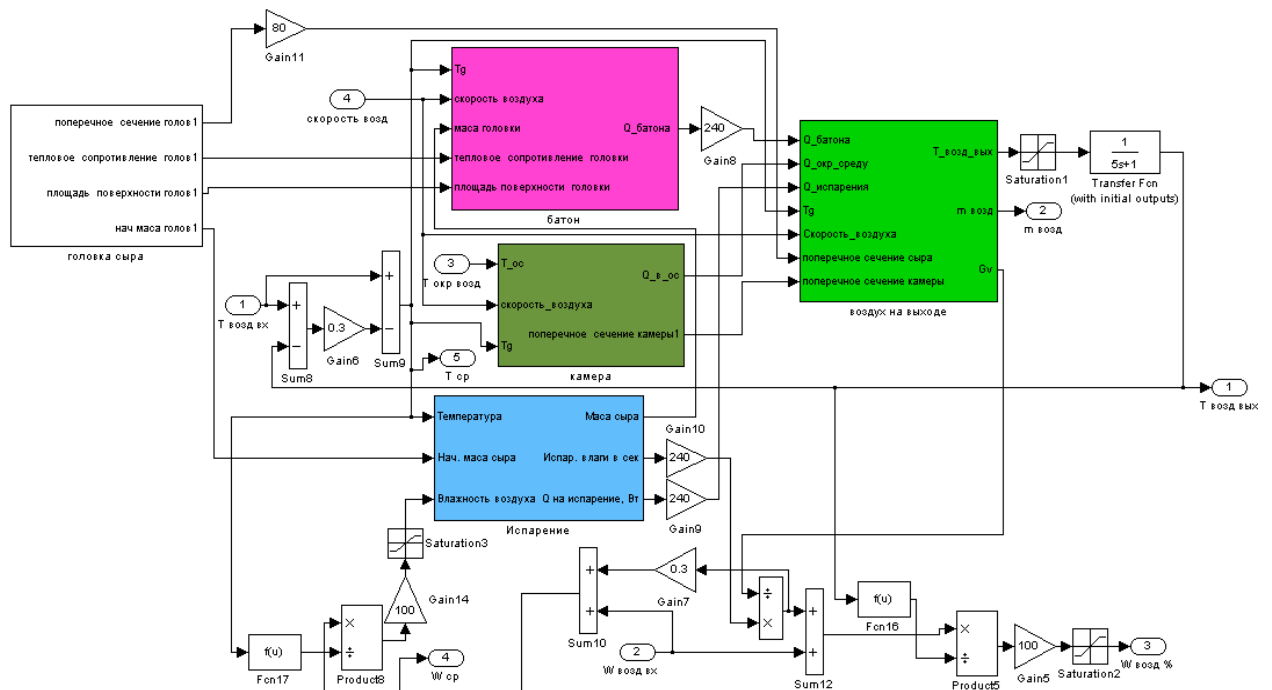


Рис. 2.14. Реалізація блоку камери визрівання

Використовуючи вище підготовлені блоки зберемо модель згідно рис. 2.15. На вході задамо положення ЕРВ (1), частоту обертання компресора (2), масові витрати води через випарник (3), продуктивність охолоджувача секції продувки (4) та частоту обертання вентилятора підігріву повітря (5). На виході – температуру перегріву холодоагенту (1), масові витрати холодоагенту в колі теплового насоса (2), температуру води на вході теплоутилізатора (3), температуру повітря після теплоутилізатора (4), температуру холодоагенту на виході конденсатора (5), температуру середовища на виході продувки (6), температуру (7) та абсолютну вологість (8) повітря в камері.

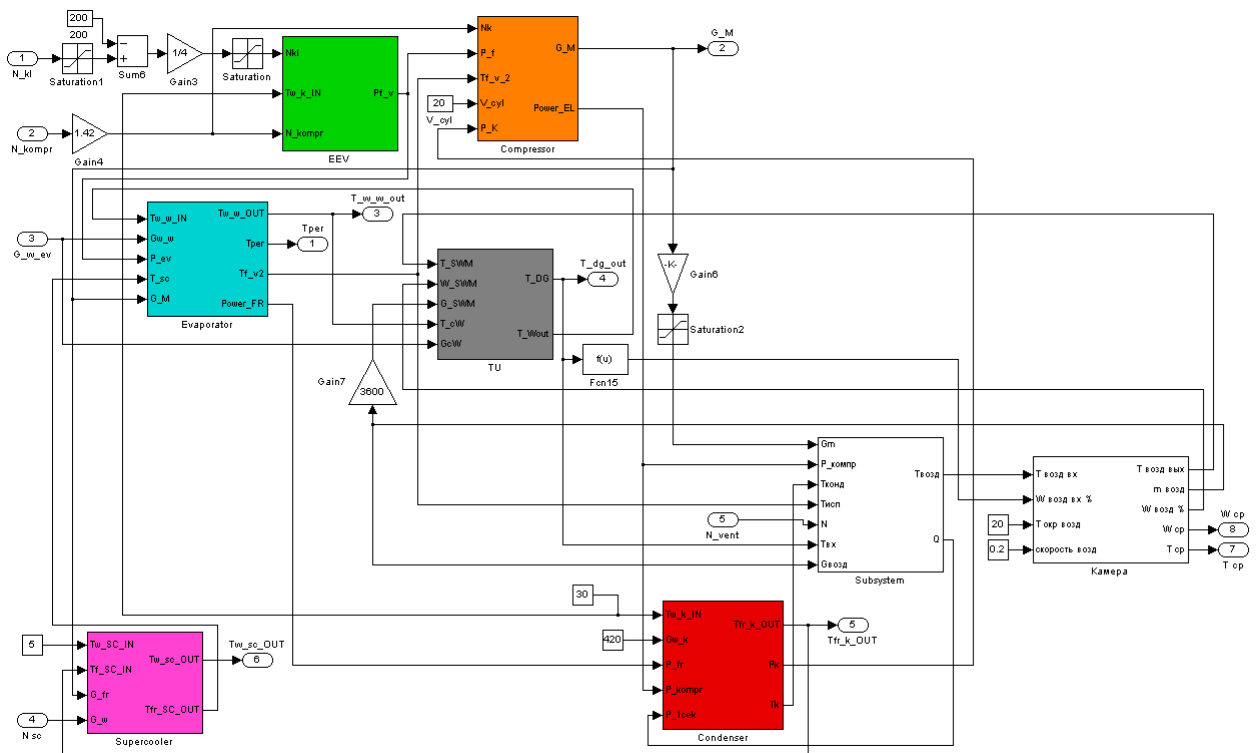


Рис. 2.15. Реалізація загальної моделі процесу визрівання сирів у Matlab

Для зручності при подальшому дослідженні імітаційної моделі як ОК розмістимо її в підсистемі та виведемо змінні для дослідження каналів регулювання, а також ті, які суттєво впливають на ведення процесу. Вигляд підсистеми імітаційної моделі як ОК наведена на рис. 2.16.

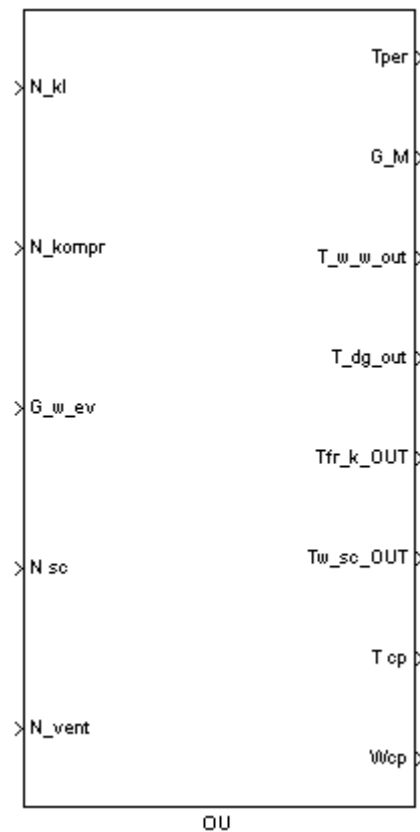


Рис. 2.16. Вигляд підсистеми імітаційної моделі як ОК

2.3.2. Отримання перехідних та квазістатичних характеристик моделі і обґрунтування їх адекватності об'єкту

Для вивчення статичних властивостей моделі камери визрівання організовані експерименти, які можна розглядати як отримання квазістатичних характеристик. Їх суть складається в почерговій зміні з постійною, заранне вибраною, швидкістю частоти обертання вентилятора підігріву повітря від 10-100% та частоти обертання компресора від 10-42,6% і реєстрації при цьому регульованих змінних в контрольних точках об'єкта ($T_{пов}$ – температура повітря в камері, $f_{пов}$ – абсолютна вологість повітря в камері).

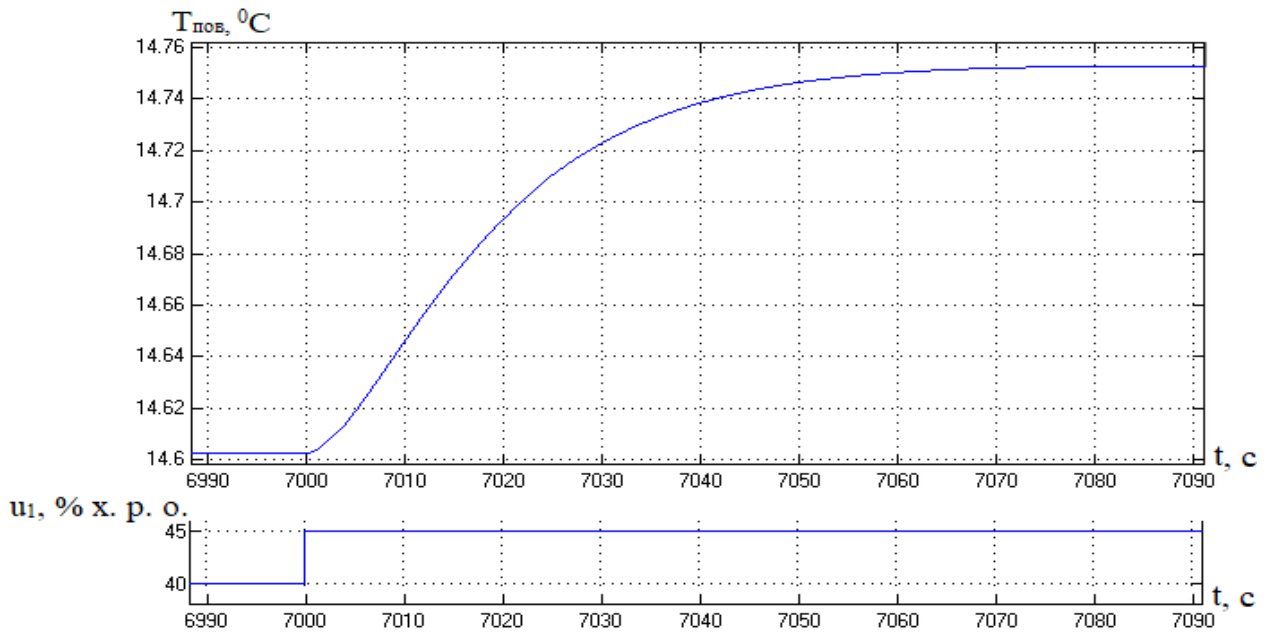


Рис. 2.17. Реакція температури повітря в камері на ступінчасту зміну частоти обертання вентилятора підігріву повітря

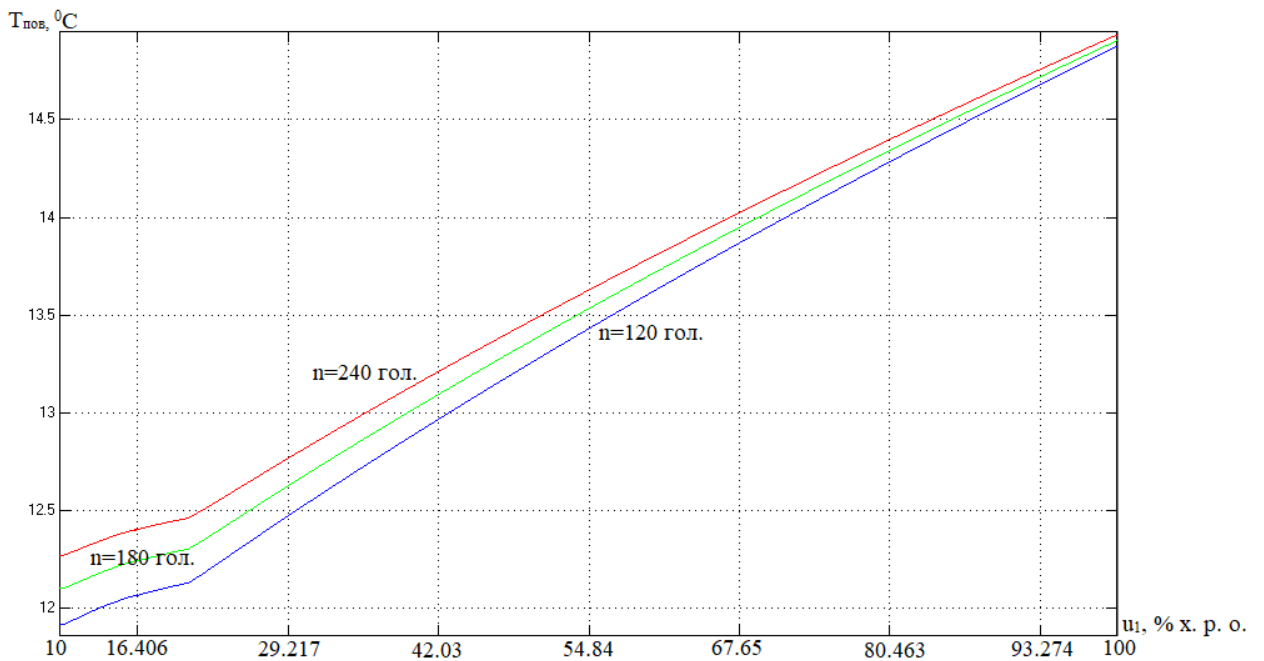


Рис. 2.18. Квазістатичні залежності температури повітря в камері від частоти обертання вентилятора підігріву повітря при різній кількості сиру в камері

На рис. 2.18 наведені квазістатичні залежності температури повітря в камері від частоти обертання вентилятора підігріву повітря при різній кількості сиру в камері. Таку характеристику можна пояснити тим, що при малих обертах вентилятора у секції підігріву повітря відбувається лише

охолодження холодоагенту. Але при частоті обертання більше ніж 20% починається його конденсація, що пояснює збільшення коефіцієнта передачі вентилятора. Також слід зазначити, що сирні голівки виділяють тепло при визріванні, а отже чим їх більше, тим більше нагрівається повітря.

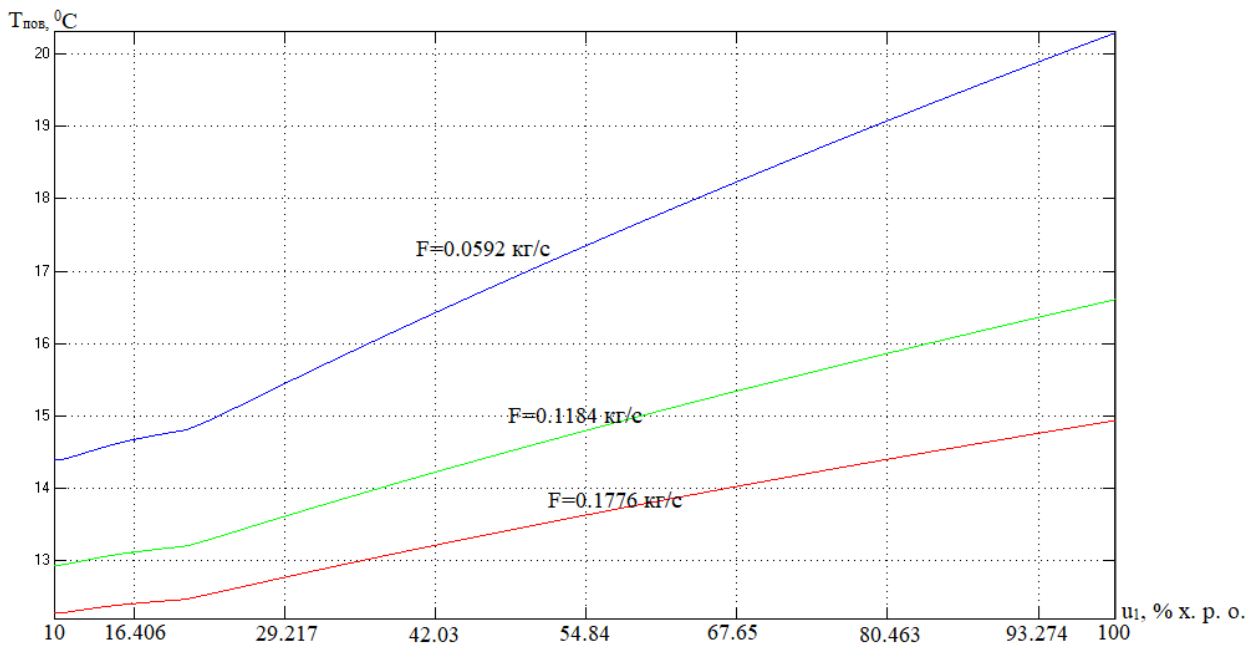


Рис. 2.19. Квазістатичні залежності температури повітря в камері від частоти обертання вентилятора підігріву повітря при різних масових витратах повітря через камеру

На рис. 2.19 представлені квазістатичні залежності температури повітря в камері від частоти обертання вентилятора підігріву повітря при різних масових витратах повітря через камеру. Характер залежностей свідчить про те, що при малих обертах вентилятора у секції підігріву повітря відбувається лише охолодження холодоагенту. Але при частоті обертання більше ніж 20% починається його конденсація, що пояснює збільшення коефіцієнта передачі вентилятора.

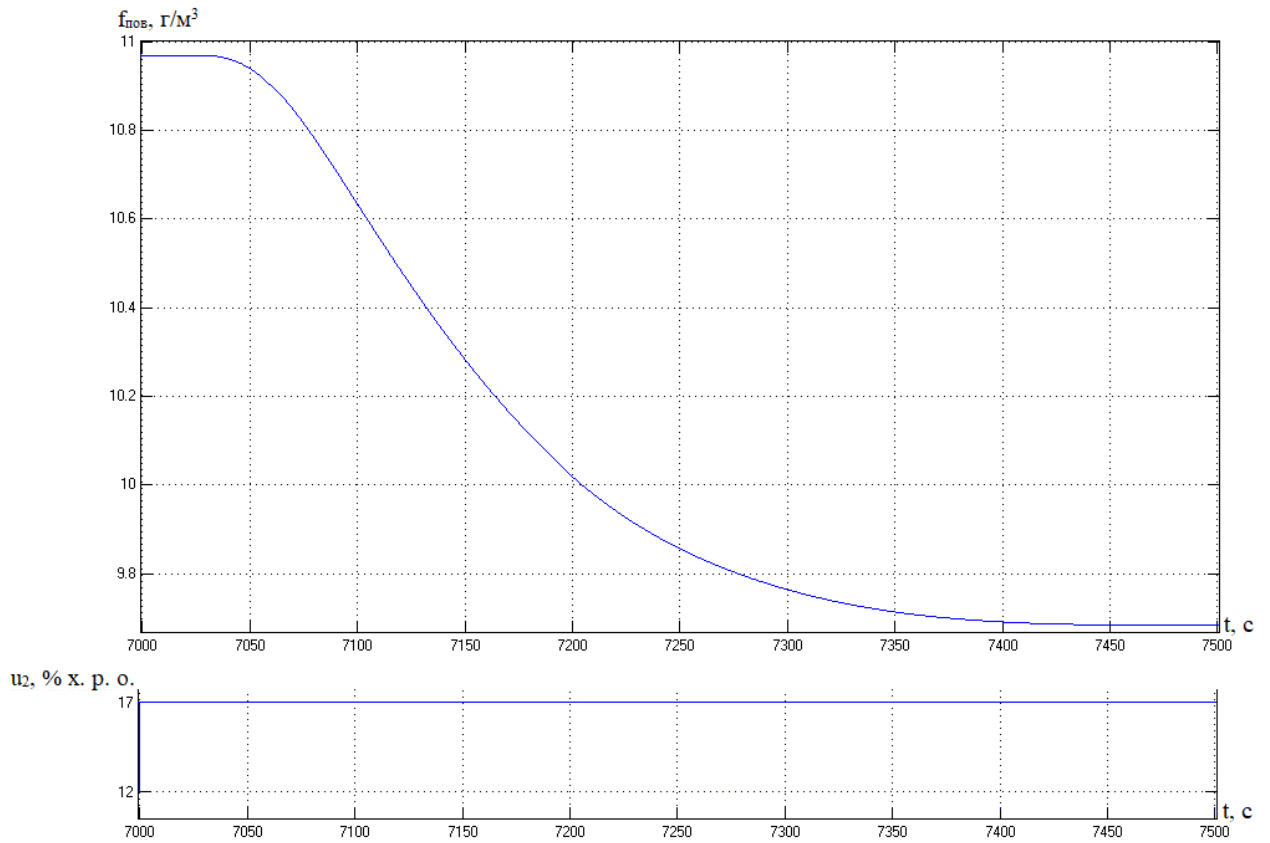


Рис. 2.20. Реакція абсолютної вологості повітря в камері на ступінчасту зміну частоти обертання компресора

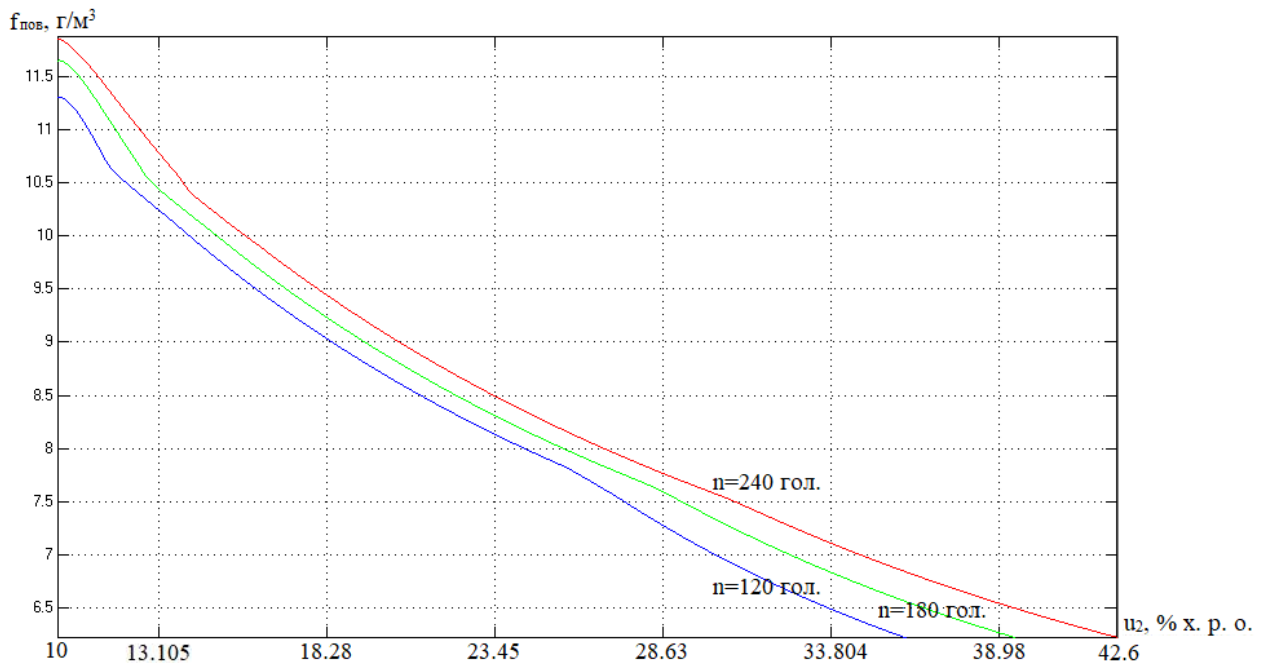


Рис. 2.21. Квазістатичні залежності абсолютної вологості повітря в камері від частоти обертання компресора при різній кількості сиру в камері

На рис. 2.21 наведені квазістатичні залежності абсолютної вологості повітря в камері від частоти обертання компресора при різній кількості сиру в камері. Вважаємо, що при досягненні водою на вході в теплоутилізатор температури 3 °С компресор перестає збільшувати частоту обертання. Характер даних залежностей можна пояснити тим, що функція максимальної абсолютної вологості повітря від його температури є нелінійною, що впливає насамперед на абсолютну вологість повітря після теплоутилізатора. Також важливим фактором є вплив температури та відносної вологості в камері на рівноважну вологість сирної голівки, а отже і на кількість випаровуваної вологи з сиру.

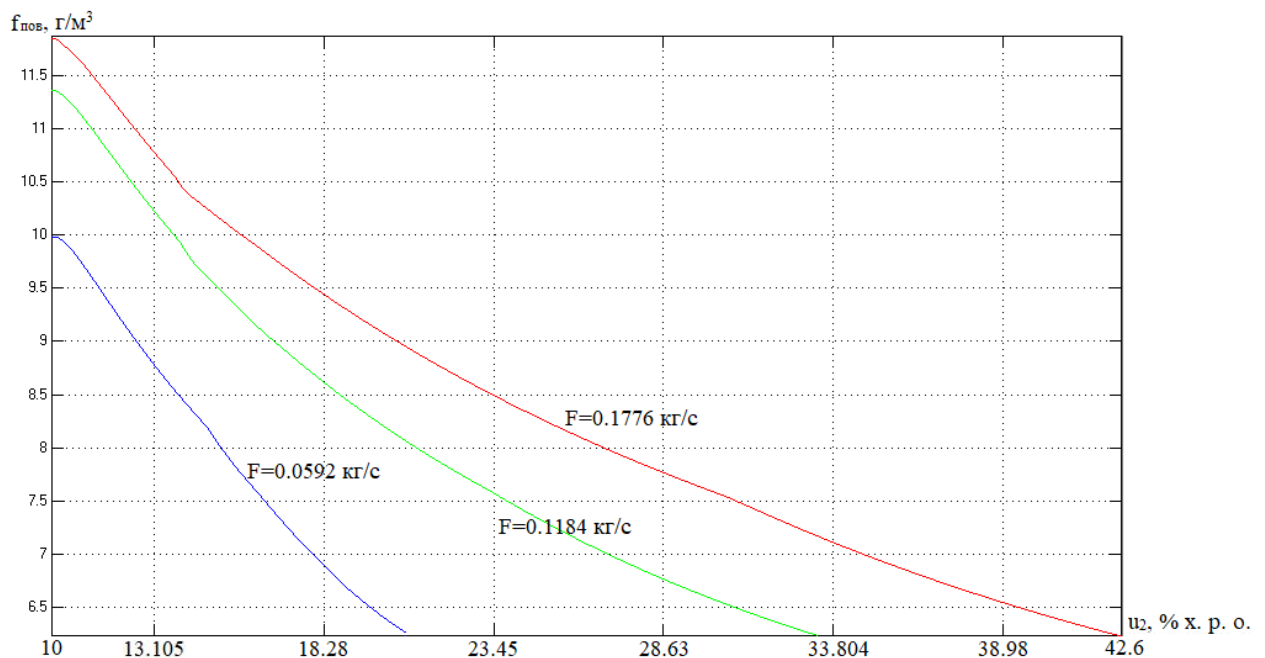


Рис. 2.22. Квазістатичні залежності абсолютної вологості повітря в камері від частоти обертання компресора при різних масових витратах повітря через камеру

На рис. 2.22 представлені квазістатичні залежності абсолютної вологості повітря в камері від частоти обертання компресора при різних масових витратах повітря через камеру. Вважаємо, що при досягненні водою на вході в теплоутилізатор температури 3 °С компресор перестає збільшувати частоту обертання. Така характеристика свідчить про те, що функція максимальної абсолютної вологості повітря від його температури є

нелінійною, що впливає насамперед на абсолютну вологість повітря після теплоутилізатора. Також важливим фактором є вплив температури та відносної вологості в камері на рівноважну вологість сирної голівки, а отже і на кількість випаровуваної вологи з сиру.

2.3.3. Проведення ідентифікації моделей першого та другого порядків за каналом $u_1 - T_{\text{пов}}$

За отриманою динамічною характеристикою (рис. 2.17) можна зробити висновок, що канал $u_1 - T_{\text{пов}}$ має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями першого та другого порядку:

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

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

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta T_{\text{нов}}}{\Delta u} = \frac{14,75 - 14,6}{45 - 40} = 0,03 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{ x.p.o.}$$

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:

$$\Delta T_{\text{пов } 1,0} = 14,75 - 14,6 = 0,15 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T_{\text{пов } 0,33} = 0,33 \cdot 0,15 + 14,6 = 14,65 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T_{\text{пов } 0,7} = 0,7 \cdot 0,15 + 14,6 = 14,705 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови, знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 10,77 \text{ c};$$

$$t_{0,7} = 23,23 \text{ c}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 10,77 - 23,23) = 4,54c$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (23,23 - 4,54) / 1,2 = 15,58c$$

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

$$W_0(p) = \frac{0,03 \cdot e^{-4,54p}}{15,58p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$T_{\text{пов } 0,19} = 0,19 \cdot 0,15 + 14,6 = 14,63 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Проводимо графічні побудови, знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 7,08 \text{ c}$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 7,08 - 23,23) = -1c$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (23,23 - (-1)) / 2,4 = 10,1c$$

Враховуючи, що фізично час запізнення не може бути від'ємним, можна сказати, що в даному випадку модель 2-го порядку непридатна для використання. Тому для даного каналу застосуємо тільки модель 1-го порядку.

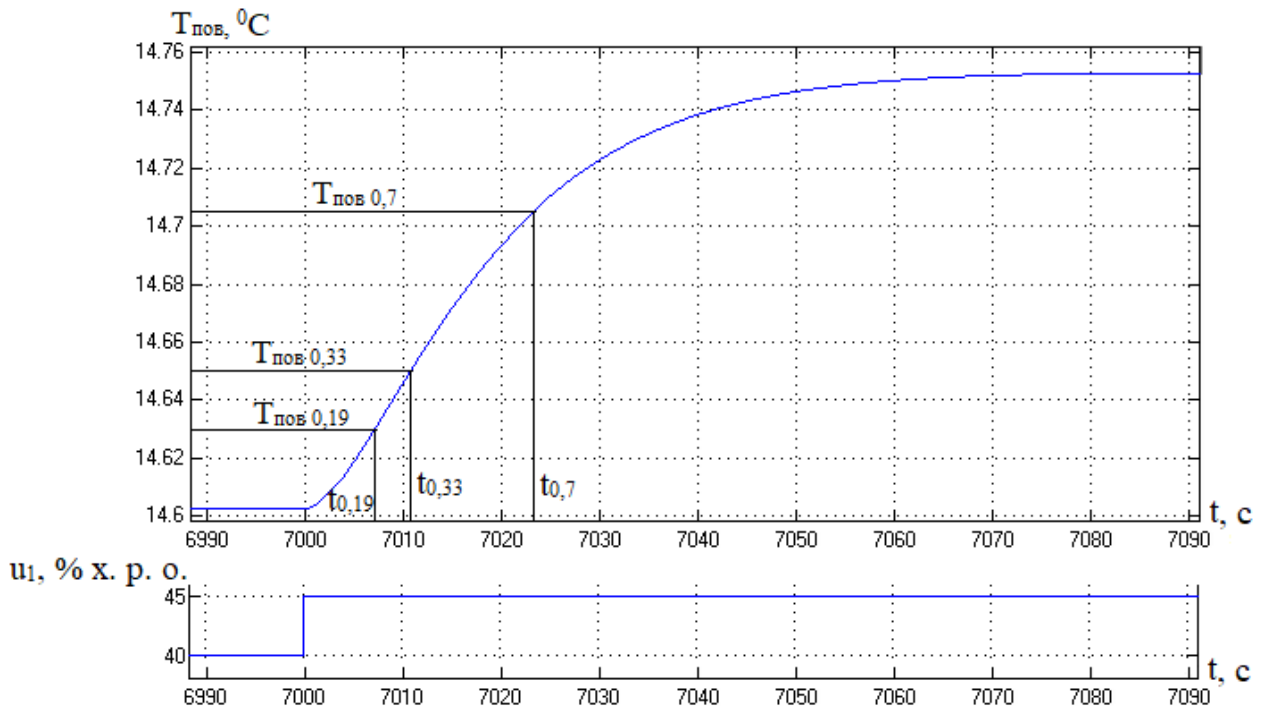


Рис. 2.23. Параметрична ідентифікація каналу $u_1 - T_{\text{пов}}$

2.3.4. Проведення ідентифікації моделей першого та другого порядків за каналом $u_2 - f_{\text{пов}}$

За отриманою динамічною характеристикою (рис. 2.20) можна зробити висновок, що канал $u_2 - f_{\text{пов}}$ має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями першого та другого порядку:

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

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

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta f_{\text{пов}}}{\Delta u} = \frac{9,685 - 10,969}{17 - 12} = -0,26 \text{ з/м}^3 / \% \text{ х.р.о.}$$

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:

$$\Delta f_{\text{пов } 1,0} = 9,685 - 10,969 = -1,284 \text{ г/м}^3;$$

$$f_{\text{пов } 0,33} = 0,33 \cdot -1,284 + 10,969 = 10,545 \text{ г/м}^3;$$

$$f_{\text{пов } 0,7} = 0,7 \cdot -1,284 + 10,969 = 10,07 \text{ г/м}^3;$$

Проводимо графічні побудови, знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 111,6 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 188,9 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 111,6 - 188,9) = 72,95 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (188,9 - 72,95) / 1,2 = 96,63 \text{ с}$$

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

$$W_0(p) = \frac{-0,26 \cdot e^{-72,95 p}}{96,63 p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$f_{\text{пов } 0,19} = 0,19 \cdot -1,284 + 10,969 = 10,725 \text{ г/м}^3;$$

Проводимо графічні побудови, знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 87,7 \text{ с}$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 87,7 - 188,9) = 37,1 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (188,9 - 37,1) / 2,4 = 63,25 \text{ с}$$

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

$$W_0(p) = \frac{-0,26 \cdot e^{-37,1p}}{(63,25p + 1)^2}$$



Рис. 2.24. Параметрична ідентифікація каналу $u_2 - f_{\text{пов}}$

2.4 Висновки

В результаті виконання даного розділу було розроблено та реалізовано в середовищі Matlab комплексну математичну модель процесу визрівання сирів як ОК, що описує теплові процеси, які протікають в камері визрівання,

реакцію сирних голівок на ці процеси, а також цикл функціонування холодильного агрегату для підготовки повітря, що подається в камеру.

При дослідженні розробленої імітаційної моделі отримано набір квазістатичних та динамічних характеристик процесу визрівання сирів як ОК за каналами регулювання. Отримані залежності відповідають реальним процесам, а отже є адекватними об'єкту.

Було проведено ідентифікацію моделей динаміки каналів ОК, вхідні дії яких доступні для цілеспрямованої зміни. В якості вихідних даних було використано динамічні характеристики, отримані при дослідженні імітаційної моделі в результаті активного експерименту. Усі канали ОК мають статичні властивості. Параметричну ідентифікацію проведено за методиками двох загальних точок для 1-го та 2-го порядку.

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

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

3.1.1. Формалізація вимог до гранично-припустимих статичних та динамічних відхилень регульованих змінних від відповідних заданих значень перехідних та динамічно сталих процесів та подання їх в формі регламентних зон регульованих змінних

У відповідності до нормативів ведення технологічних процесів (табл. 1.3) температура повітря в камері $T_{\text{пов}}$ повинна підтримуватися на рівні $+14$ °С з точністю ± 1 °С. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до ± 4 °С на протязі часу не більше 600 секунд. Регламентна зона за цим параметром приведена на рис. 3.1.

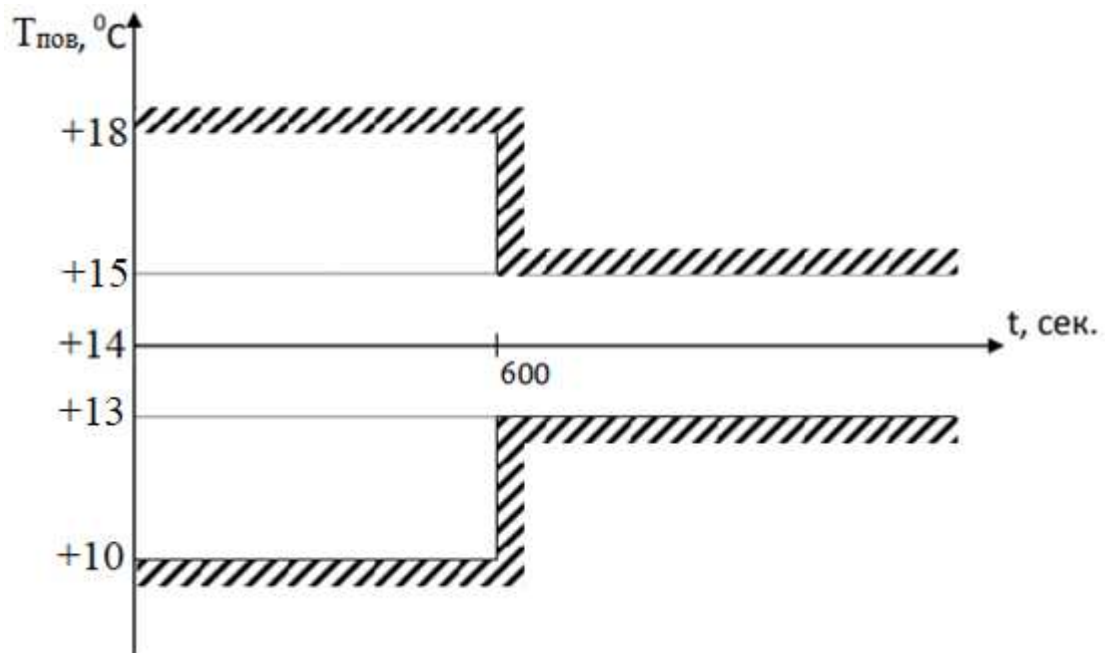


Рис. 3.1. Регламентна зона для температури повітря в камері $T_{\text{пов}}$

У відповідності до нормативів ведення технологічних процесів (табл. 1.3) абсолютна вологість повітря в камері $f_{\text{пов}}$ повинна підтримуватися на рівні 10.58 г/м³ з точністю $+0.12$ г/м³. За цим параметром припустимі

короткочасні відхилення до $+0.3 \text{ г/м}^3$ на протязі часу не більше 200 секунд. Регламентна зона за цим параметром приведена на рис. 3.2.

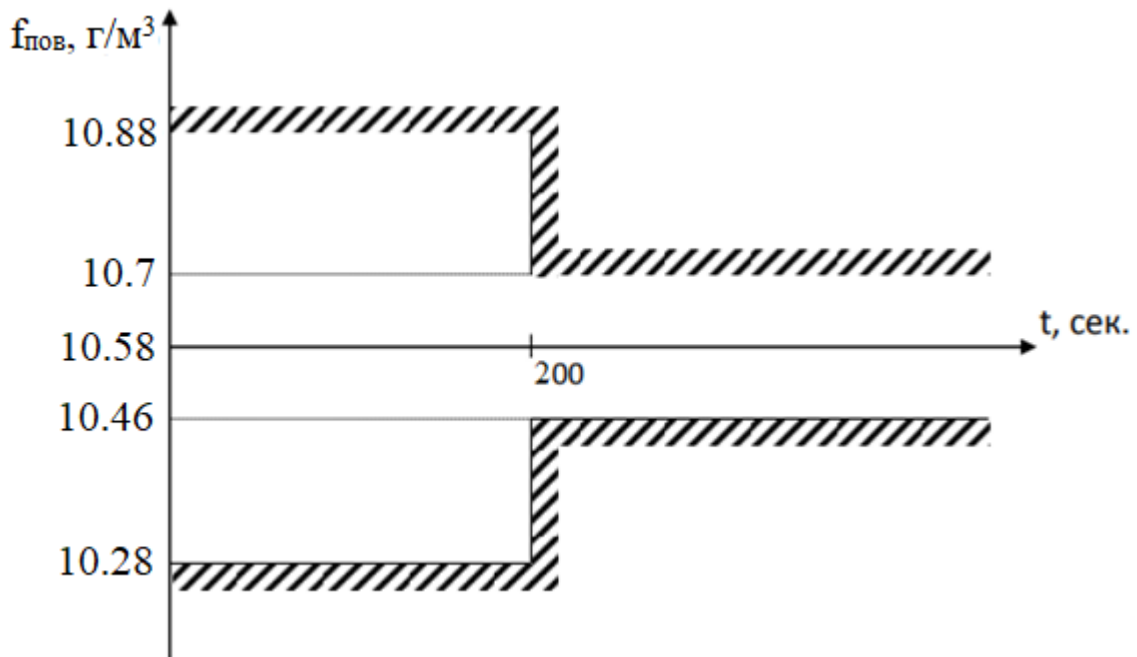


Рис. 3.2. Регламентна зона для абсолютної вологості повітря в камері $f_{\text{пов}}$

3.1.2. Формалізація інтегральних вимог до перехідних та динамічно сталих процесів регулювання в формі інтегрального критерію оптимальності САР

Як видно з регламентів на САР для процесу визрівання сирів особливо жорсткі вимоги пред'являються до короткочасних відхилень, так як саме недотримання цих регламентів може призвести до браку готової продукції і суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються не дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний квадратичний критерій, що сильно штрафує великі відхилення. Особливість інтегральних вимог до роботи багатомірних САР полягає у необхідності урівноважити вплив усіх регульованих координат на загальну якість регулювання. Це може бути забезпечено шляхом введення до критерію вагових коефіцієнтів. При цьому масштабні коефіцієнти доцільно прив'язувати до припустимих короткочасних відхилень, визначених у регламенті на функціонування САР. Рівняння для такого критерію матиме

ВИГЛЯД:

$$J = \int_0^{t_M} [(\Delta T_{\text{пов}}(t))^2 + (\Delta f_{\text{пов}}(t))^2] \cdot dt$$

t_M – час моделювання;

$\Delta T_{\text{пов}}$ – відхилення температури повітря в камері від заданого значення;

$\Delta f_{\text{пов}}$ – відхилення абсолютної вологості повітря в камері від заданого значення.

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

Основу керування становить інформація про мету керування або про бажаний стан ОК \bar{y}^* , про поточний стан ОК \bar{y} та про збурення \bar{f} . Залежно від обсягу використовуваної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОК 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 визрівання сирів доступною, крім інформації про бажаний стан ОК ($T_{\text{пов}}^{\text{здн}}$, $f_{\text{пов}}^{\text{здн}}$), є інформація про поточний стан ОК ($T_{\text{пов}}$, $f_{\text{пов}}$). Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу (u) достатній для реалізації замкнутого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР процесу визрівання базової структури. Структурна схема цього принципу керування приведена на рис. 3.3.

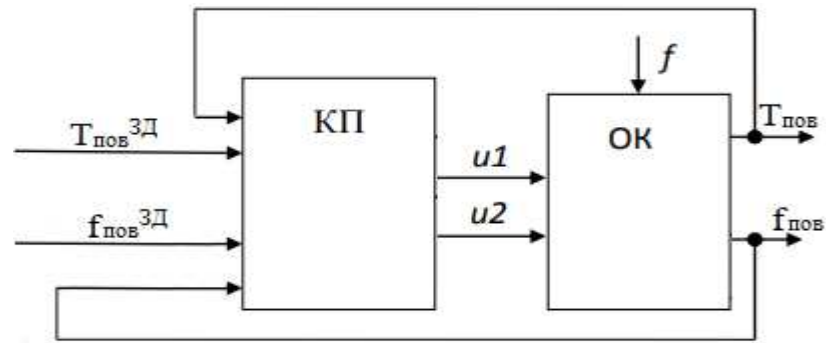


Рис. 3.3. Структурна схема САР у відповідності до замкнутого принципу керування

3.1.4. Розробка на основі обраного загального принципу побудови системи регулювання, її базової конкретної структури

Координатна схема процесу визрівання сирів в камері наведена на рис. 1.5. Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкнутому принципу керування (рис. 3.3), структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.4.

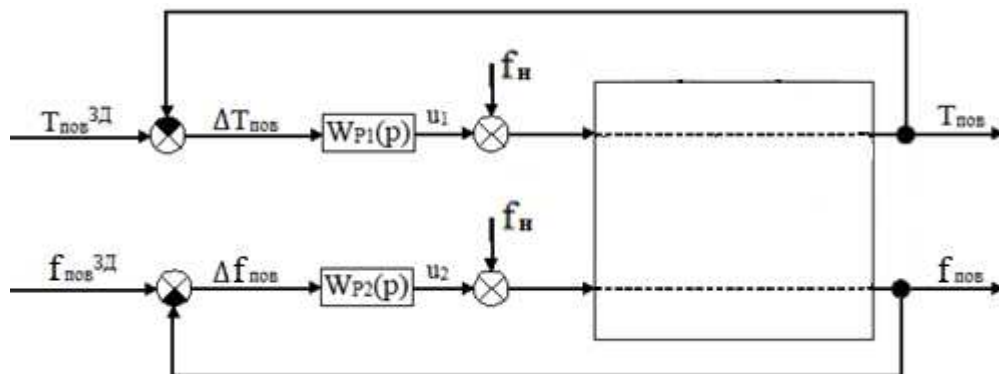


Рис. 3.4. Структурна схема САР процесу визрівання сирів базової структури

На рисунку:

u_1 – частота обертання вентилятора підігріву повітря;

$T_{\text{пов}}$ – температура повітря в камері;

f_n – вектор неконтрольованих збурень;

$W_{P1}(p)$ – передаточна функція регулятора температури повітря в камері;

$T_{\text{пов}}^{3Д}$ – задане значення температури повітря в камері;

$\Delta T_{\text{пов}}$ – помилка регулювання температури повітря в камері;

u_2 – частота обертання компресора;

$f_{\text{пов}}$ – абсолютна вологість повітря в камері;

$W_{P2}(p)$ – передаточна функція регулятора вологовмісту повітря в камері;

$f_{\text{пов}}^{3Д}$ – задане значення абсолютної вологості повітря в камері;

$\Delta f_{\text{пов}}$ – помилка регулювання абсолютної вологості повітря в камері.

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

Процес визрівання сирів в камері 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:

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

Передаточна функція ПІ-регулятора:

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

K_p – коефіцієнт передачі регулятора;

T_{I3} – час ізодроми

Рівняння руху ПІД-регулятора:

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

Передаточна функція ПІД-регулятора:

$$W^P(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3} p} + \frac{T_{DP} p}{0,2 \cdot T_{DP} p + 1} \right)$$

K_p – коефіцієнт передачі регулятора;

T_{I3} – час ізодроми;

T_{DP} – час випередження

3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

3.2.1. Розробка структурної схеми моделювання САР

В результаті виконання 2 розділу була проведена ідентифікація моделей каналів регулювання ОК технологічного процесу визрівання сирів. 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
« $u_1 - T_{пов}$ »	$W_0(p) = \frac{0,03 \cdot e^{-4,54p}}{15,58p + 1}$	-
« $u_2 - f_{пов}$ »	$W_0(p) = \frac{-0,26 \cdot e^{-72,95p}}{96,63p + 1}$	$W_0(p) = \frac{-0,26 \cdot e^{-37,1p}}{(63,25p + 1)^2}$

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.5, а з ПІД-регулятором – на рис. 3.6.

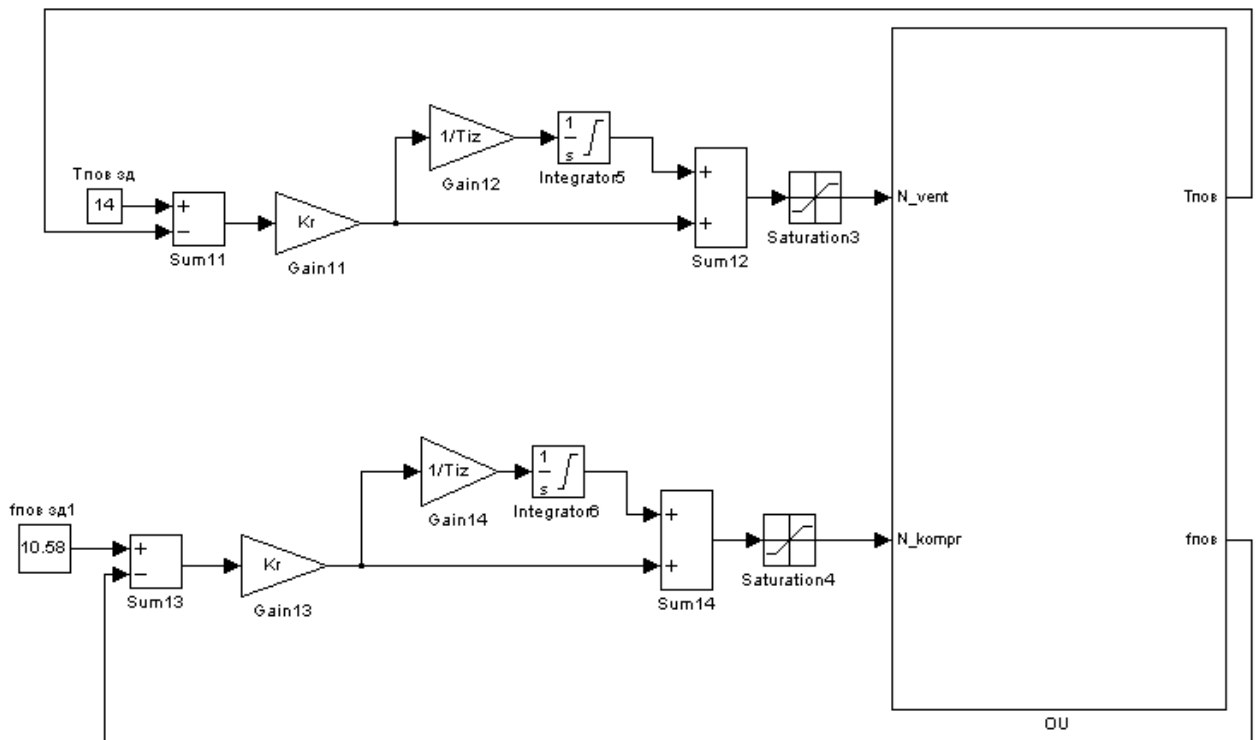


Рис. 3.5. Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

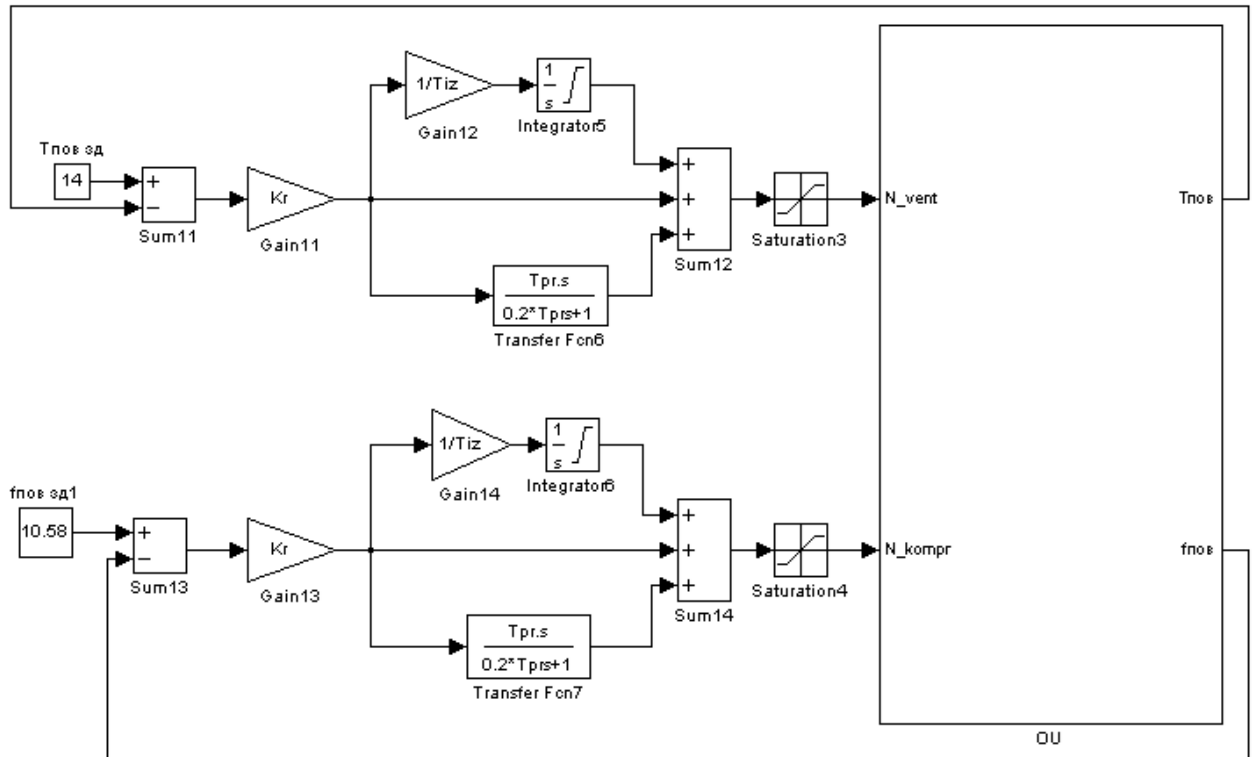


Рис. 3.6. Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

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

Розрахуємо початкові значення параметрів ПІ- та ПІД-регулятора на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР для каналу $u_1 - T_{пов}$.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_o(p) = \frac{0,03 \cdot e^{-4,54p}}{15,58p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = \frac{1,1 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1,1 \cdot 15,58}{0,03 \cdot 4,54} = 125,83 \frac{\%x.p.o.}{^{\circ}C} \quad T_{ИЗ} = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 4,54 = 9,08c$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_p = \frac{1,2 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1,2 \cdot 15,58}{0,03 \cdot 4,54} = 137,27 \frac{\%x.p.o.}{^{\circ}C}$$

$$T_{ИЗ} = 1,4 \cdot \tau_o = 1,4 \cdot 4,54 = 6,36c$$

$$T_{IP} = 0,5 \cdot \tau_o = 0,5 \cdot 4,54 = 2,27c$$

Розрахуємо початкові значення параметрів ПІ- та ПІД-регулятора на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР для каналу $u_2 - f_{пов}$.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_o(p) = \frac{-0,26 \cdot e^{-72,95p}}{96,63p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = \frac{1,1 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1,1 \cdot 96,63}{-0,26 \cdot 72,95} = -5,67 \frac{\%x.p.o.}{г/м3} \quad T_{IB} = 2 \cdot \tau_o = 2 \cdot 72,95 = 145,9c$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора:

$$K_p = \frac{1,2 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o} = \frac{1,2 \cdot 96,63}{-0,26 \cdot 72,95} = -6,19 \frac{\%x.p.o.}{г/м3}$$

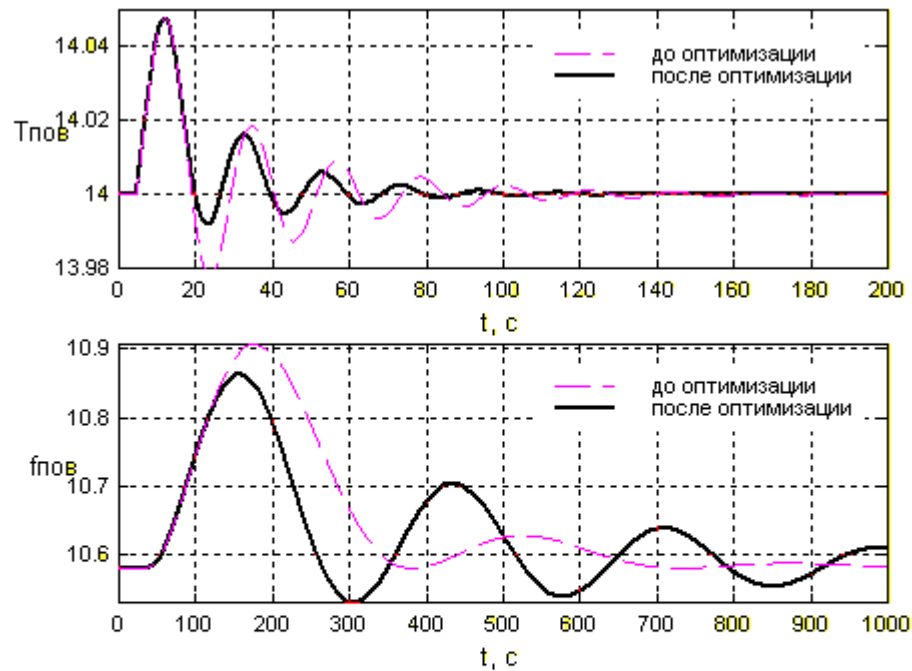
$$T_{IB} = 1,4 \cdot \tau_o = 1,4 \cdot 72,95 = 102,13c$$

$$T_{IP} = 0,5757 \cdot \tau_o = 0,5757 \cdot 72,95 = 42c$$

3.2.3. Параметричний оптимальний синтез САР з альтернативними алгоритмами регулювання

Результати оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів наведені на рис.

3.7.



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	133.0656	0	125.83	200	до - 13.7704
Tiz1	14.4365	1	9.08	100	после - 9.5263
Kr2	-10.0836	-100	-5.67	0	оптимизации.
Tiz2	198.3574	1	145.9	500	Количество шагов
					процедуры оптимизации:
					максимальное - 1000
					фактическое - 328

Рис. 3.7. Результаты оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

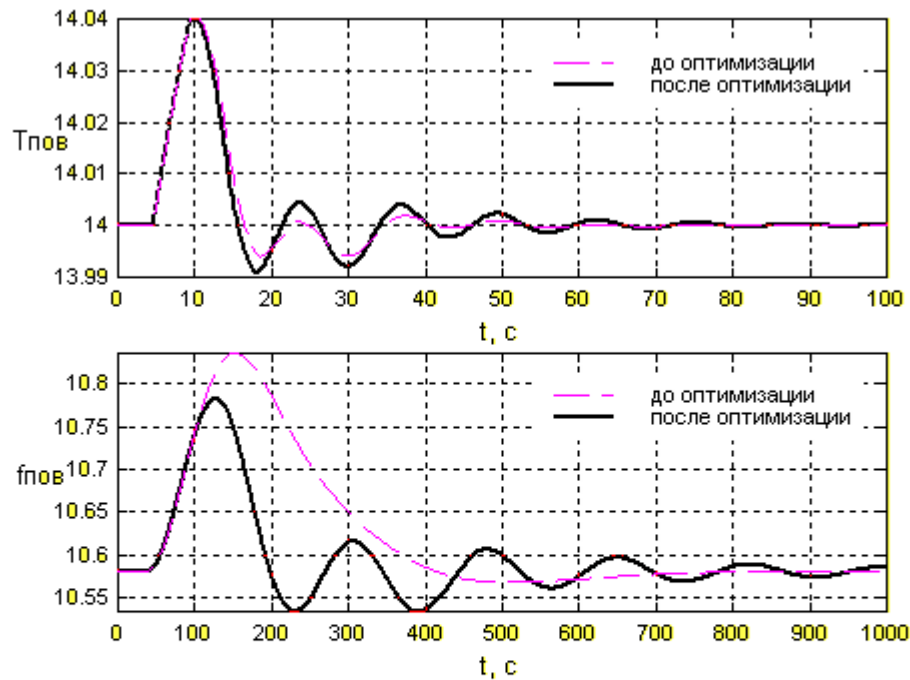
Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Результаты порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІ-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{\text{пов}}^{\text{МАКС}}$	$t_{\text{пп1}}, \text{с}$	$\Delta f_{\text{пов}}^{\text{МАКС}}$	$t_{\text{пп2}}, \text{с}$	
до оптимізації	0,048	0	0,33	284,04	13,77
після оптимізації	0,048	0	0,28	446,4	9,53

Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів наведені на рис.

3.8.



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	148.3874	0	137.27	200	до - 7.8136
Tiz1	6.3839	1	6.36	100	після - 3.018
Trp1	2.2972	0	2.27	100	оптимізації.
Kr2	-12.5223	-100	-6.19	0	Количество шагов
Tiz2	76.9976	1	102.13	500	процедуры оптимізації:
Trp2	39.8414	0	42	100	максимальное - 1000
					фактическое - 803

Рис. 3.8. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в табл. 3.3.

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

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{пов}^{МАКС}$	$t_{пп1}$, с	$\Delta f_{пов}^{МАКС}$	$t_{пп2}$, с	
до оптимізації	0,04	0	0,26	250	7,81
після	0,04	0	0,2	165	3,02

оптимізації					
-------------	--	--	--	--	--

3.2.4. Порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах

Проведемо порівняльний аналіз САР з ПІ- та ПІД-регулятором за значенням критерію оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення. Результати порівняння САР наведені на рис. 3.9 та 3.10, а також в таблиці 3.4.

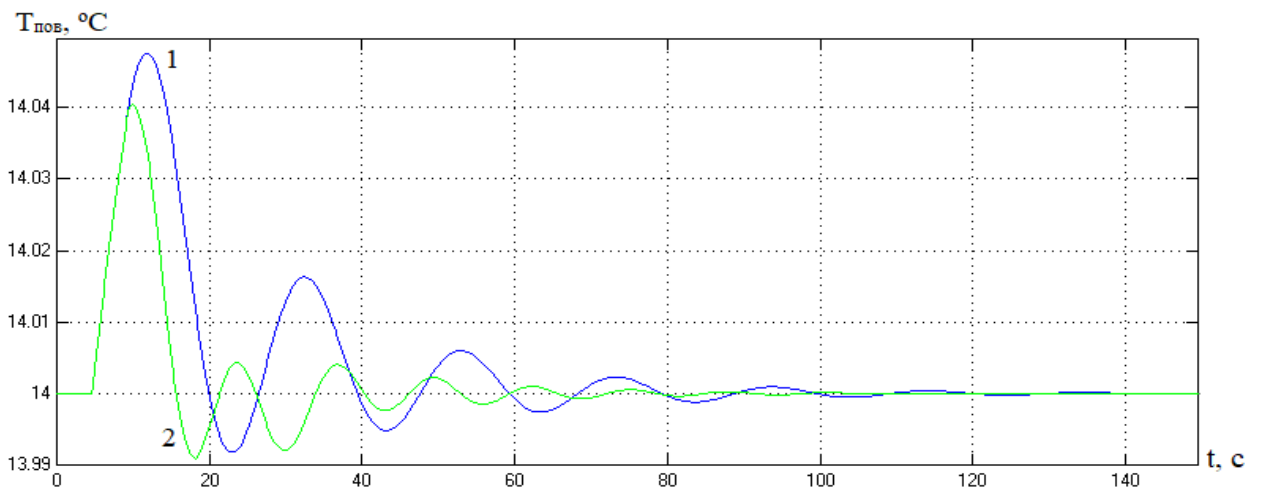


Рис. 3.9. Результати порівняння варіантів САР температури повітря в камері:

1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором

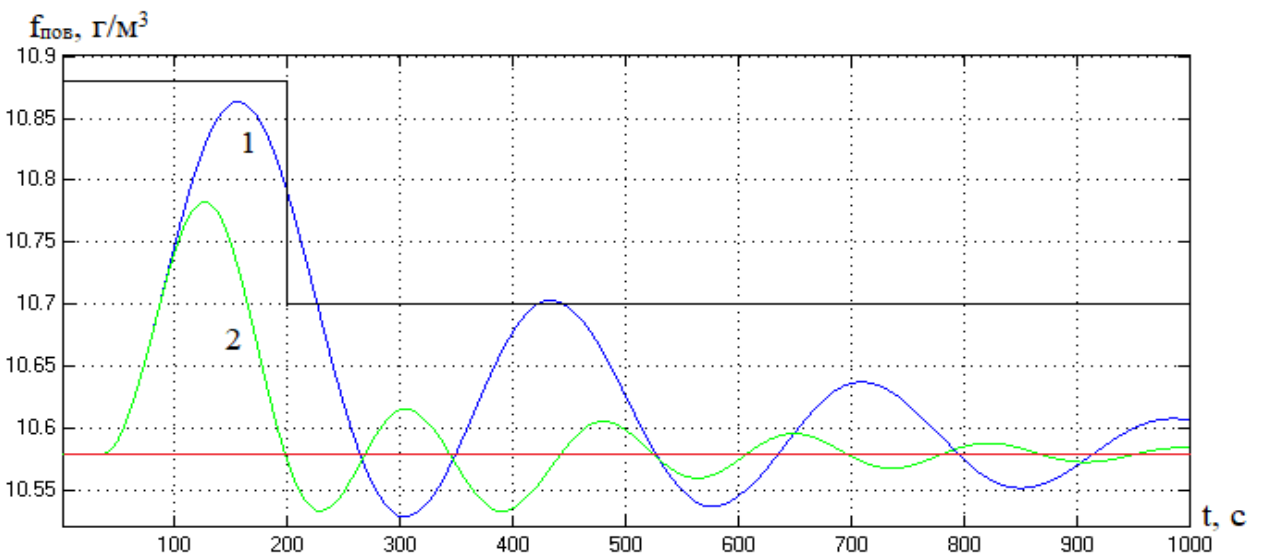


Рис. 3.10. Результати порівняння варіантів САР абсолютної вологості повітря в камері: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором

Таблиця 3.4 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{\text{пов}}^{\text{МАКС}}$	$t_{\text{пп1}}, \text{с}$	$\Delta f_{\text{пов}}^{\text{МАКС}}$	$t_{\text{пп2}}, \text{с}$	
ПІ	0,048	0	0,28	446,4	9,53
ПІД	0,04	0	0,2	165	3,02

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

3.2.5. Аналіз грубості САР до варіацій параметрів ОК

У процесі роботи камери може змінюватися постійна часу в каналах ОК. При цьому внаслідок нелінійності вона може варіювати в межах до $\pm 20\%$. Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.11, а САР з ПІД-регулятором – на рис. 3.12. Як видно з результатів, САР з ПІ-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться. А САР з ПІД-регулятором є негрубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що розходяться. Також перехідні процеси обох САР виходять за рамки регламентних зон каналу абсолютної вологості повітря в камері.

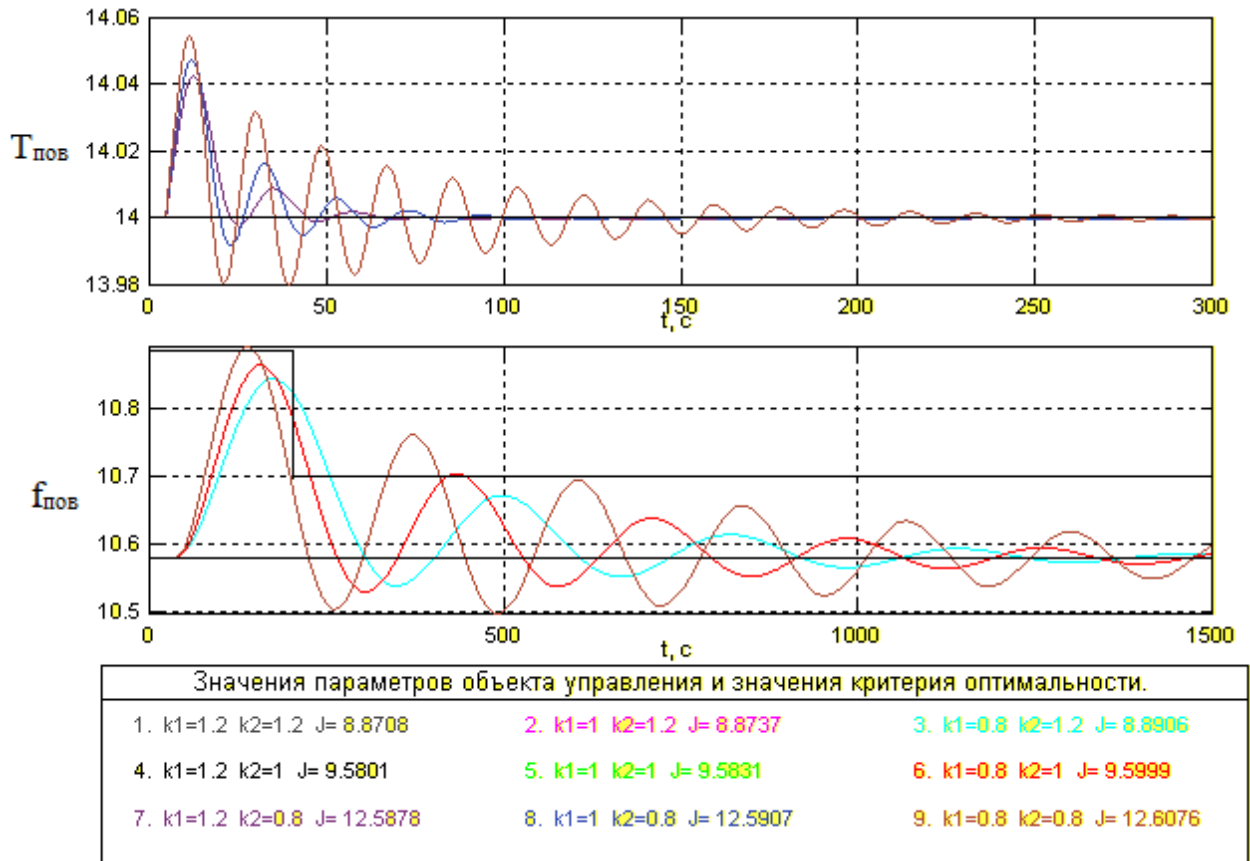


Рис. 3.11. Результаты анализу на грубість САР з ПІ-регулятором

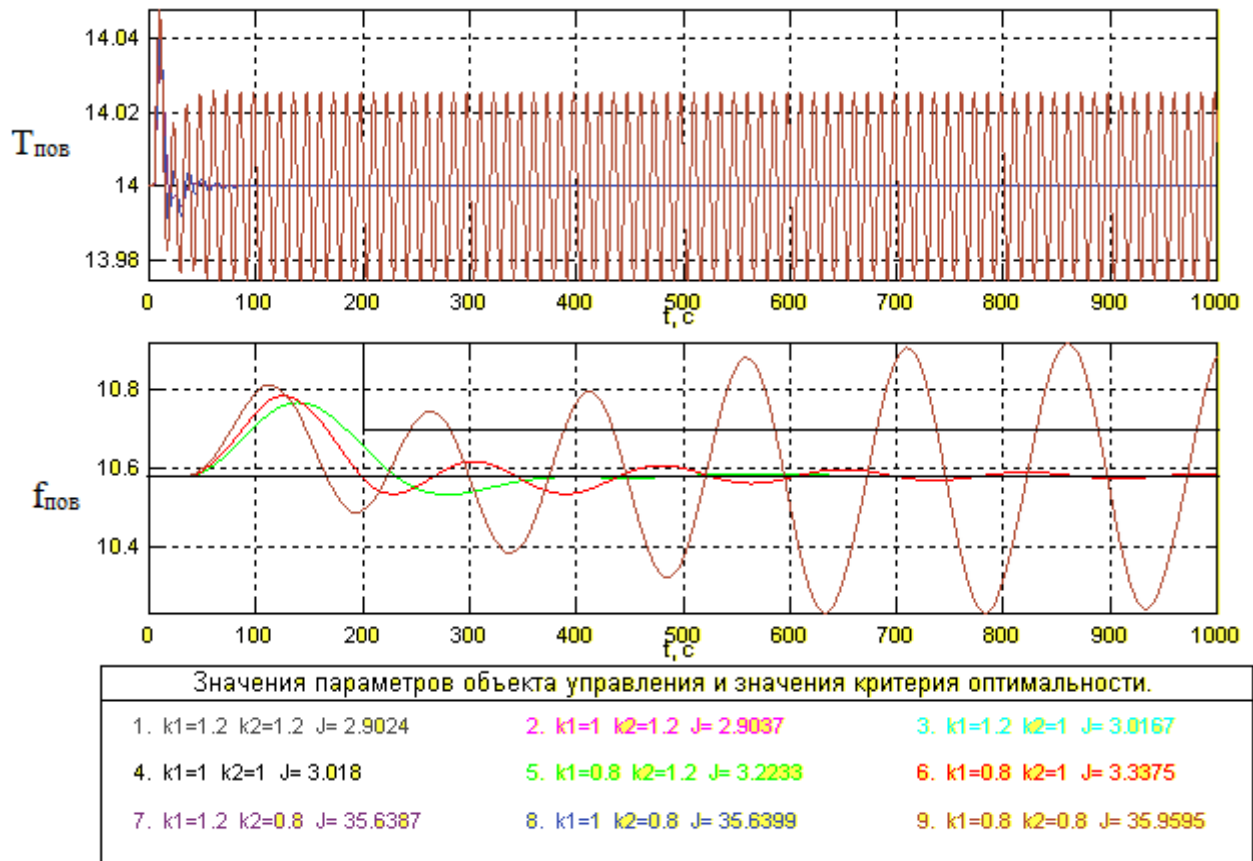
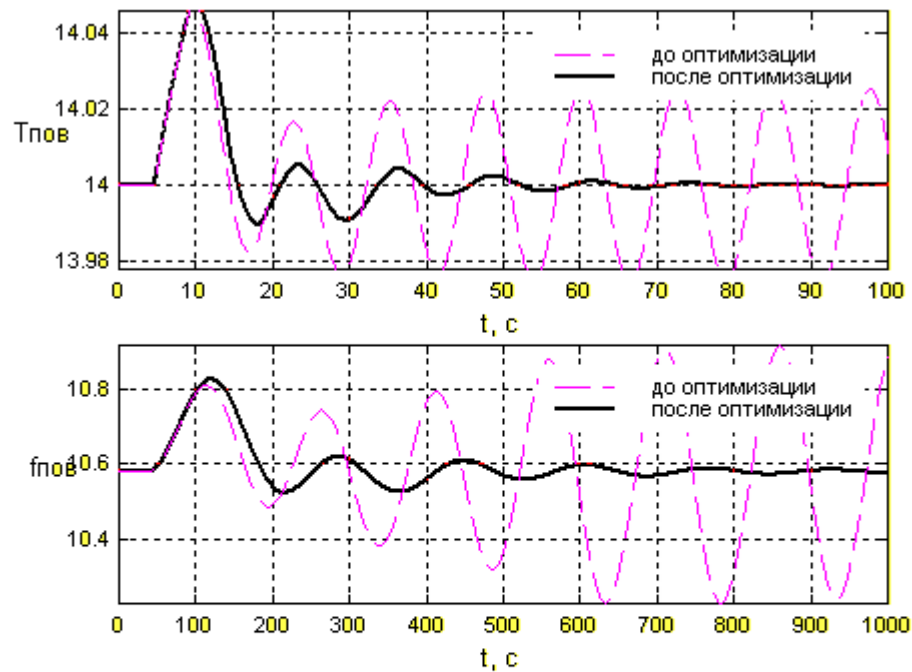


Рис. 3.12. Результаты анализу на грубість САР з ПІД-регулятором

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найсприятливішим" для керування сполученням параметрів ОК є більша на 20% постійна часу ОК, а "найнесприятливішим" для керування сполученням – на 20% менша постійна часу. Оскільки САР з ПІД-регулятором виявилася негрубою, проведемо повторну оптимізацію її налаштувань для "найнесприятливішого" для керування сполучення параметрів ОК. Результати даної оптимізації наведені на рис. 3.13.



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	118.913	0	148.3874	200	до - 35.9595
Tiz1	6.1813	1	6.383939	100	после - 4.1135
Tpr1	2.2698	0	2.29717	100	оптимизации.
Kr2	-9.8294	-100	-12.52231	0	Количество шагов
Tiz2	67.9734	1	76.99762	500	процедуры оптимизации:
Tpr2	35.9528	0	39.8414	100	максимальное - 1000
					фактическое - 838

Рис. 3.13. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора для "найнесприятливішого" сполучення параметрів ОК

Проведемо аналіз грубості для повторно оптимізованої САР. Результати наведені на рис. 3.14.

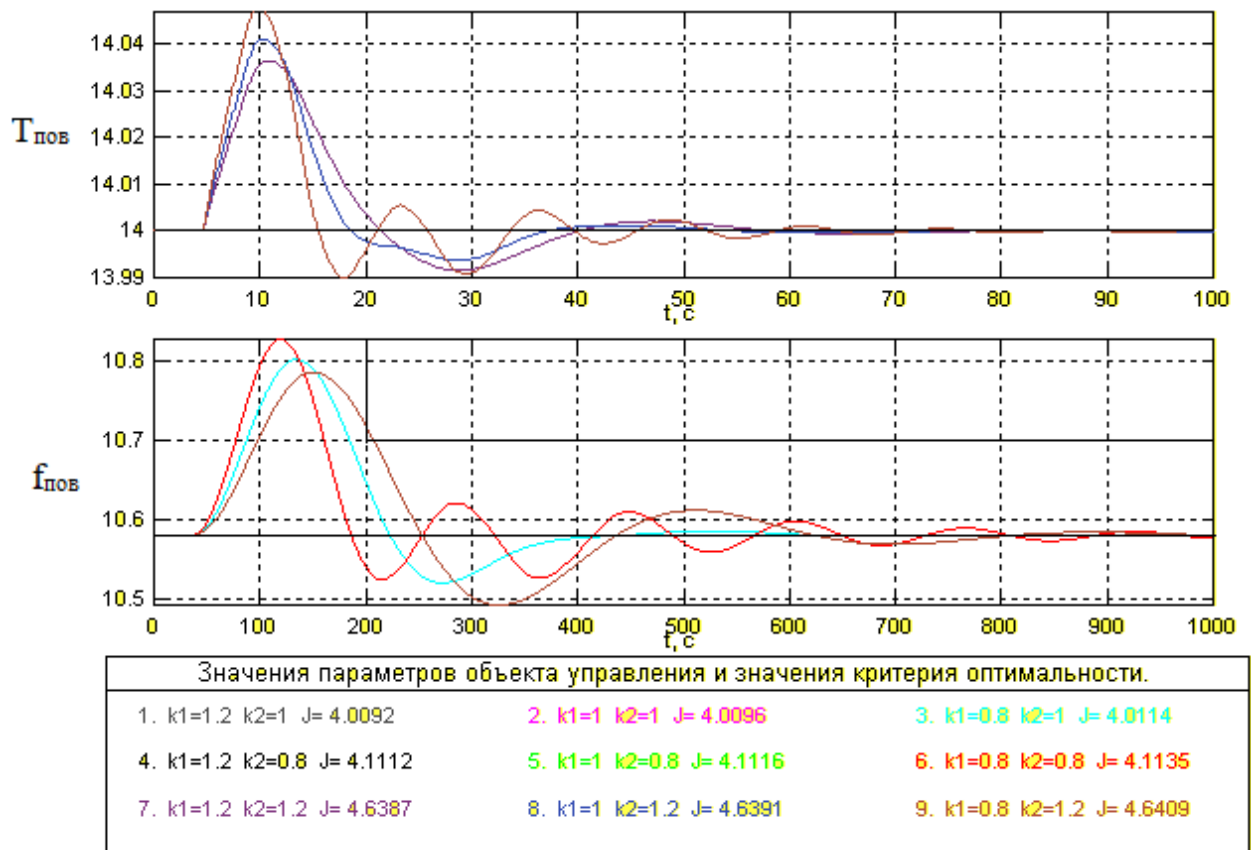


Рис. 3.14. Результати аналізу на грубість повторно оптимізованої САР з ПД-регулятором

Як видно з результатів, отримана в результаті повторної оптимізації САР з ПД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться.

Проведемо порівняння варіантів САР з П- та ПД-регулятором з номінальними, а також з "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК. Результати порівняння варіантів САР з П-регулятором наведені на рис. 3.15 та 3.16, а також зведені в табл. 3.5.

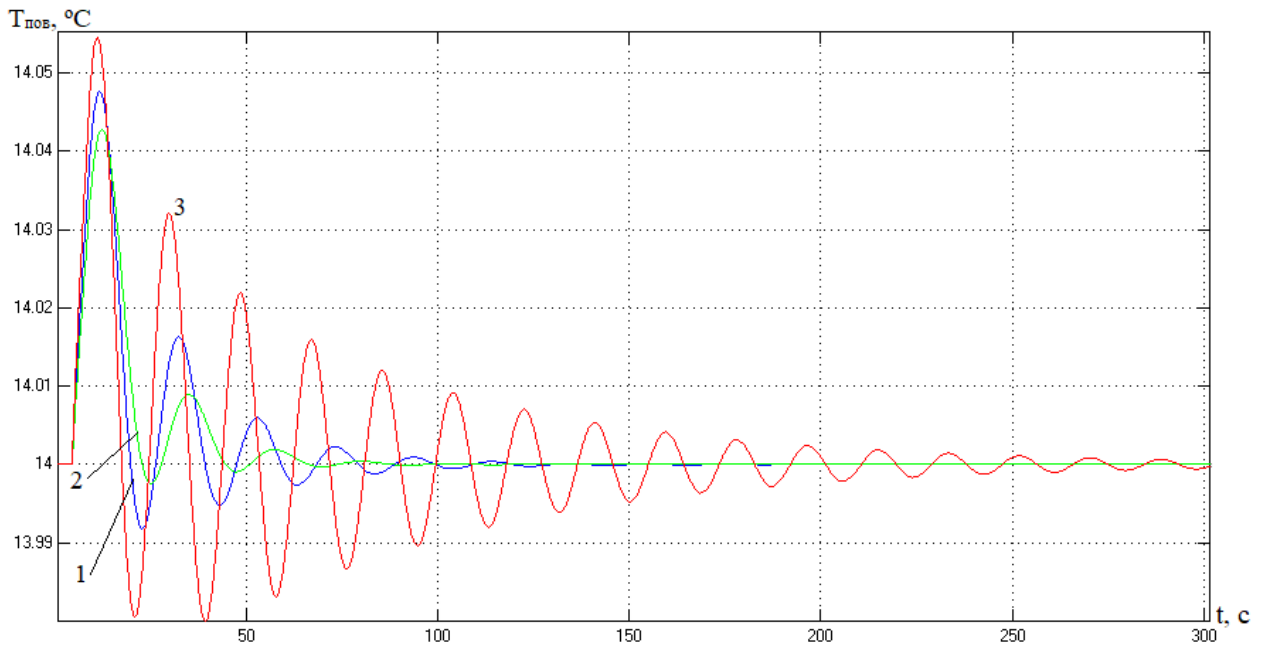


Рис. 3.15. Результати порівняння варіантів САР температури повітря в камері з ПІ-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК

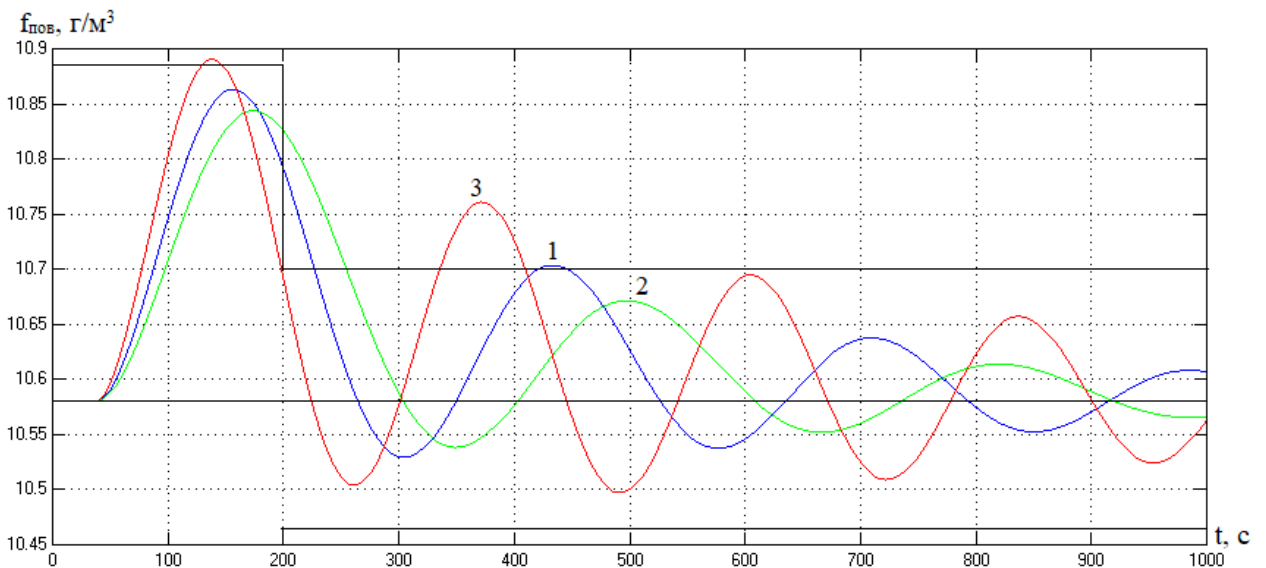


Рис. 3.16. Результати порівняння варіантів САР абсолютної вологості повітря в камері з ПІ-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК

Таблиця 3.5. Результати порівняння варіантів САР з ПІ-регулятором

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{\text{пов}}^{\text{МАКС}}$	$t_{\text{пп1}}, \text{с}$	$\Delta f_{\text{пов}}^{\text{МАКС}}$	$t_{\text{пп2}}, \text{с}$	
Номінальні	0,048	0	0,28	446,4	9,53
"Найсприятливіші"	0,043	0	0,26	254,35	8,85
"Найнесприятливіші"	0,054	0	0,31	409,37	12,19

Результати порівняння варіантів САР з ПІД-регулятором наведені на рис. 3.17 та 3.18, а також зведені в табл. 3.6.

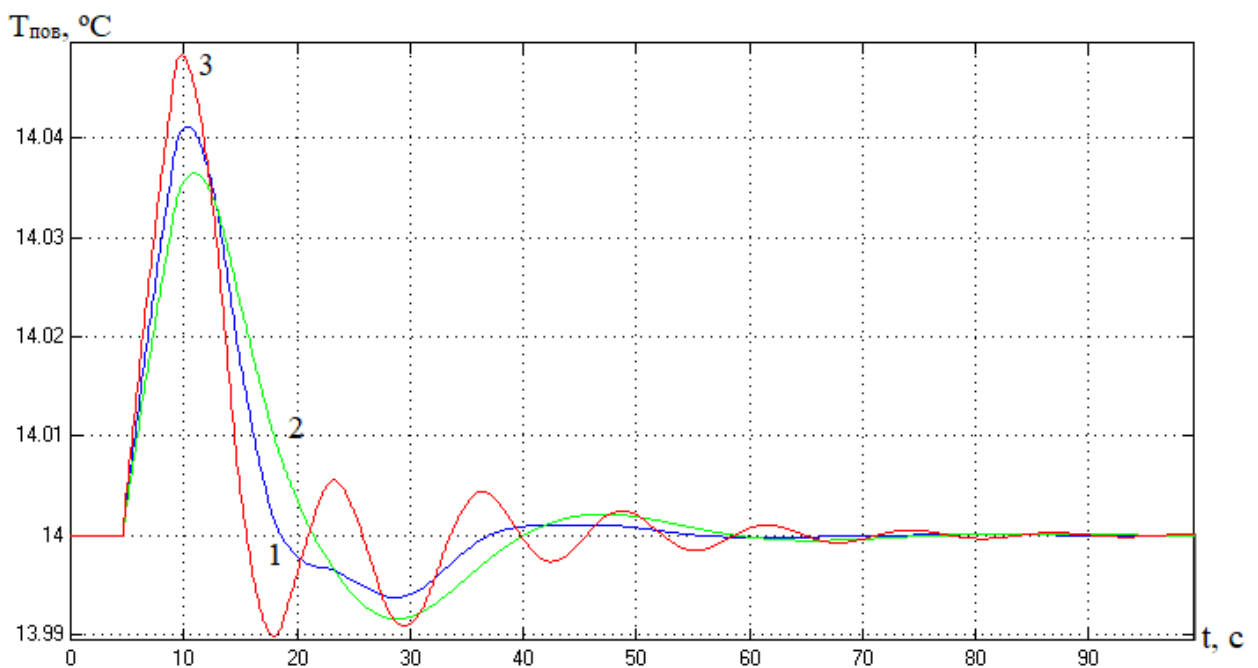


Рис. 3.17. Результати порівняння варіантів САР температури повітря в камері з ПІД-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК

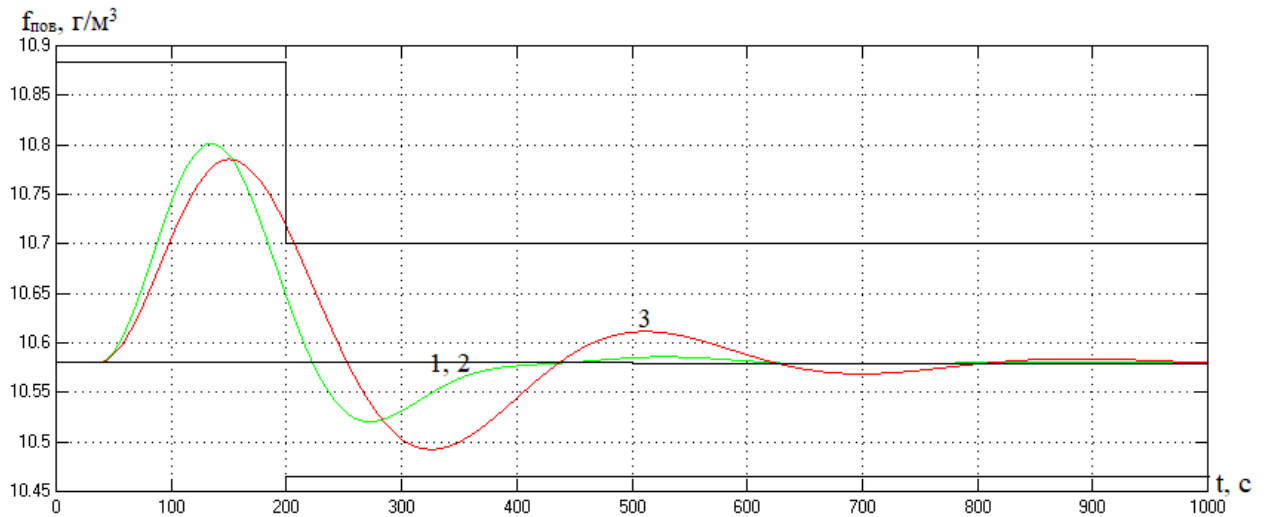


Рис. 3.18. Результати порівняння варіантів САР абсолютної вологості повітря в камері з ПІД-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК

Таблиця 3.6. Результати порівняння варіантів САР з ПІД-регулятором

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta T_{\text{пов}}^{\text{МАКС}}$	$t_{\text{пп1}}, \text{с}$	$\Delta f_{\text{пов}}^{\text{МАКС}}$	$t_{\text{пп2}}, \text{с}$	
Номінальні	0,04	0	0,22	184,06	4,01
"Найсприятливіші"	0,037	0	0,22	184,06	4,01
"Найнесприятливіші"	0,05	0	0,2	206,7	4,64

3.3. Висновки

САР з ПІД-регулятором в перехідних режимах задовольняє гранично припустимим вимогам, а САР з ПІ-регулятором не задовольняє цим вимогам за часом перехідного процесу для каналу абсолютної вологості повітря в камері. САР базової структури в сталих режимах не виходить за рамки зони незначних відхилень.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПІ-регулятора інтегральний критерій зменшився на 31%. Для каналу температури повітря в камері коефіцієнт передачі збільшився на 6%, час ізодрому збільшився на 59%, максимальне динамічне відхилення та час перехідного процесу не

змінилися. Для каналу абсолютної вологості повітря в камері коефіцієнт передачі збільшився на 78%, час ізодрому збільшився на 36%, максимальне динамічне відхилення зменшилося на 15%, час перехідного процесу збільшився на 57%.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПІД-регулятора інтегральний критерій зменшився на 61%. Для каналу температури повітря в камері коефіцієнт передачі збільшився на 8%, час ізодрому майже не змінився, час упередження збільшився на 1%, максимальне динамічне відхилення та час перехідного процесу не змінилися. Для каналу абсолютної вологості повітря в камері коефіцієнт передачі збільшився на 102%, час ізодрому зменшився на 25%, час упередження зменшився на 5%, максимальне динамічне відхилення зменшилося на 23%, час перехідного процесу зменшився на 34%.

Введення до алгоритму регулювання Д-складової призводить до зменшення інтегрального критерію на 68%. Для каналу температури повітря в камері максимальне динамічне відхилення зменшується на 17%, час перехідного процесу не змінюється. Для каналу абсолютної вологості повітря в камері максимальне динамічне відхилення зменшується на 29%, а час перехідного процесу – на 63%.

САР з ПІ-регулятором є грубою, а САР з ПІД-регулятором виявилася негрубою. Тому для САР з ПІД-регулятором було проведено повторну оптимізацію її параметрів для "найнесприятливішого" для керування сполучення параметрів ОК. В результаті для каналу температури повітря в камері коефіцієнт передачі зменшився на 20%, час ізодрому зменшився на 3%, час упередження зменшився на 1%. Для каналу абсолютної вологості повітря в камері коефіцієнт передачі зменшився на 22%, час ізодрому зменшився на 12%, час упередження зменшився на 10%. Після повторної оптимізації САР з ПІД-регулятором стала грубою.

Відносна різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з ПІ-регулятором становить за критерієм

35%. Для каналу температури повітря в камері різниця за максимальним динамічним відхиленням становить 23%, час перехідного процесу не змінюється. Для каналу абсолютної вологості повітря в камері різниця за максимальним динамічним відхиленням становить 18%, а за часом перехідного процесу – 35%.

Відносна різниця між "найсприятливішими" і "найнесприятливішими" поєднаннями параметрів ОК в САР з ПД-регулятором становить за критерієм 16%. Для каналу температури повітря в камері різниця за максимальним динамічним відхиленням становить 33%, час перехідного процесу не змінюється. Для каналу абсолютної вологості повітря в камері різниця за максимальним динамічним відхиленням становить 9%, а за часом перехідного процесу – 12%.

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

В результаті параметричної оптимізації більшість параметрів регуляторів змінюються не дуже суттєво. При цьому налаштування регуляторів, отримані за інженерними методиками, дають стійкі перехідні процеси в САР. Отже можна сказати, що інженерні методики розрахунку параметрів регулятора на практиці спокійно можуть застосуватися, хоча існує деякий 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.

4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ КАМЕРИ ДОЗРІВАННЯ СИРІВ В УМОВАХ УТИЛІЗАЦІЇ СКИДАНОГО ТЕПЛА

4.1. Конкретизація задачі логічного керування

Апаратурно-технологічна схема наведена на рис. 4.1.

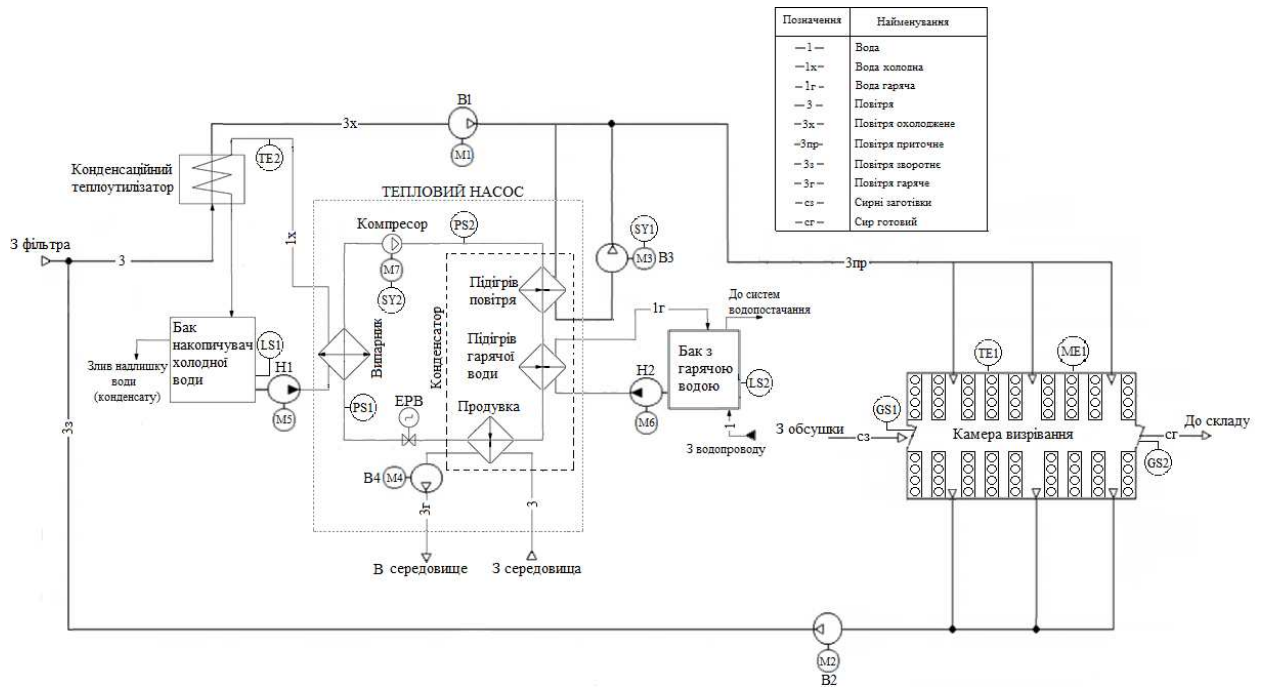


Рис. 4.1. Апаратурно-технологічна схема процесу визрівання сирів

Через камеру визрівання циркулює повітря, яке перед входом в камеру охолоджується у конденсаційному теплоутилізаторі нижче точки роси з видаленням зайвої вологи до забезпечення заданої абсолютної вологості. Після охолодження мала частина повітря підігрівається в секції конденсатора теплового насосу та змішується з рештою не підігрітого повітря. Таким чином досягаються оптимальні значення температури та абсолютної вологості повітря. Вимірювання температури повітря в камері здійснюється датчиком TE1, а абсолютної вологості – датчиком ME1. Подача та видалення повітря з камери здійснюються вентиляторами В1 (привод М1) та В2 (привод М2) відповідно.

Охолодження повітря у конденсаційному теплоутилізаторі відбувається за допомогою води, яка з баку подається насосом Н1 (привод М5) у контур

випарника, в якому відбувається її охолодження. Вимірювання температури охолодженої води здійснюється датчиком TE2. У контурі конденсатора передбачено 3 секції. В основній секції вентилятором В3 з частотним перетворювачем SY1 (привод М3) відбирається невелика частина повітря, охолодженого конденсаційним теплообмінником, для підігріву. Дві інші секції призначені для позбавлення конденсатора зайвої теплоти. В одній секції відбувається підігрів водопровідної води, яка подається з баку насосом Н2 (привод М6). В іншій – продувка зовнішнім повітрям за допомогою вентилятора В4 (привод М4).

Наявність мінімального рівня води в баку-накопичувачі та в баку з гарячою водою перевіряється датчиками-сигналізаторами LS1 та LS2 відповідно, наявність достатнього тиску фреону в контурі теплового насоса - датчиком-сигналізатором PS1, а факт закриття дверей – датчиками GS1 та GS2. Також для контролю тиску перед конденсатором стоїть датчик-сигналізатор PS2, який видає сигнал при перевищенні максимально допустимого значення.

Послідовність введення обладнання в роботу буде наступною. Спочатку запускаються складові контуру конденсатора (першим вмикається привод М4 вентилятора В4, далі привод М6 насосу Н2, а за ним привод М3 вентилятора В3), потім вмикається привод М5 насосу Н1 для циркуляції води у контурі випарника. Згодом вмикається привод М7 компресора та забезпечується робоча температура води у контурі випарника. ЕРВ знаходиться в певному постійному положенні тому керуванню не підлягає. Після цього забезпечується циркуляція повітря в камері визрівання з регулюванням його параметрів (запускаються привод М2 вентилятора В2 та згодом М1 вентилятора В1).

При штатній зупинці спочатку припиняється циркуляція повітря в камері, після чого вимикається компресор. Далі припиняється циркуляція води у контурі випарника та вимикаються складові контуру конденсатора.

4.2. Формалізація регламентів функціонування за пуском, технологічною та аварійної зупинкою

Основні регламенти на роботу камери визрівання наведені в табл. 1.3.

Як вихідні дані розглянемо такі характеристики обладнання (рис. 4.1): електродвигуни М3 та М7 керуються через частотні перетворювачі (SY1, SY2), що забезпечує аналогове керування параметрами повітря (u_1, u_2). Також використаємо дані попередніх досліджень з ідентифікації ОК та САР (курсний проект з «ТАК»).

Таблиця 4.1. Передаточні функції прямих каналів об'єкта регулювання та параметри налаштування ПІД – регулятора

№	Канал	Модель ОК	Параметри ПІД – регулятора		
			K_p	T_{iz}	$T_{пр}$
1	$u_1 - T_{пов}$	$W_0(p) = \frac{0,03 \cdot e^{-4,54p}}{15,58p + 1}$	118,91	6,18	2,27
2	$u_2 - f_{пов}$	$W_0(p) = \frac{-0,26 \cdot e^{-37,1p}}{(63,25p + 1)^2}$	-9,83	67,97	35,95

На рис. 4.2 наведено блок-схему регламенту функціонування (РФ) камери визрівання за її пуском, згідно до наведеного вище словесного опису.

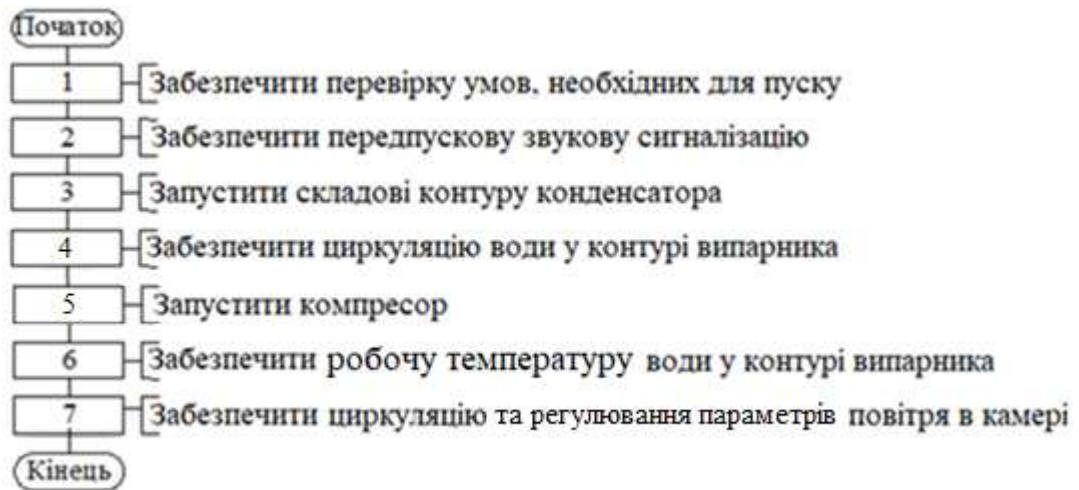


Рис. 4.2. Блок-схема регламенту функціонування камери визрівання за її пуском

На рис. 4.3 наведено блок-схему регламенту функціонування (РФ) камери визрівання за її штатною зупинкою, згідно до наведеного вище словесного опису.

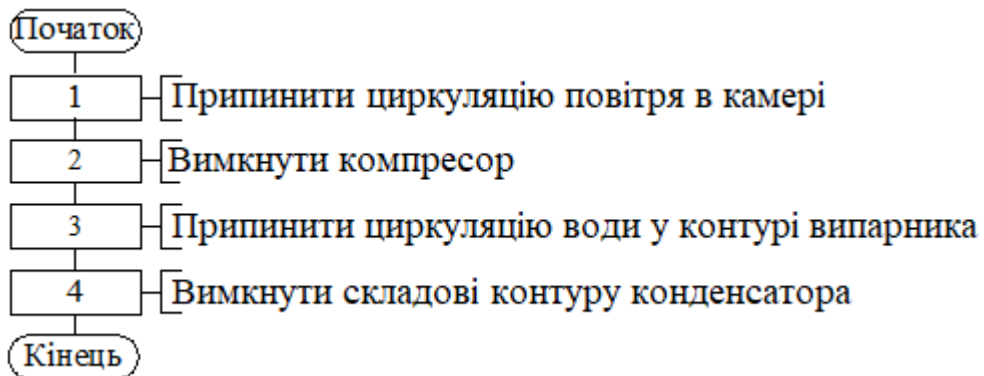


Рис. 4.3. Блок-схема регламенту функціонування камери визрівання за її штатною зупинкою

При аварійній зупинці, причиною якої будемо вважати перевищення тиску перед конденсатором допустимих значень, спочатку вимикається компресор, після чого припиняємо циркуляцію повітря в камері. Далі необхідно припинити циркуляцію води у контурі випарника та вимкнути складові контуру конденсатора. На рис. 4.4 наведено блок-схему регламенту функціонування (РФ) камери визрівання за її аварійною зупинкою.

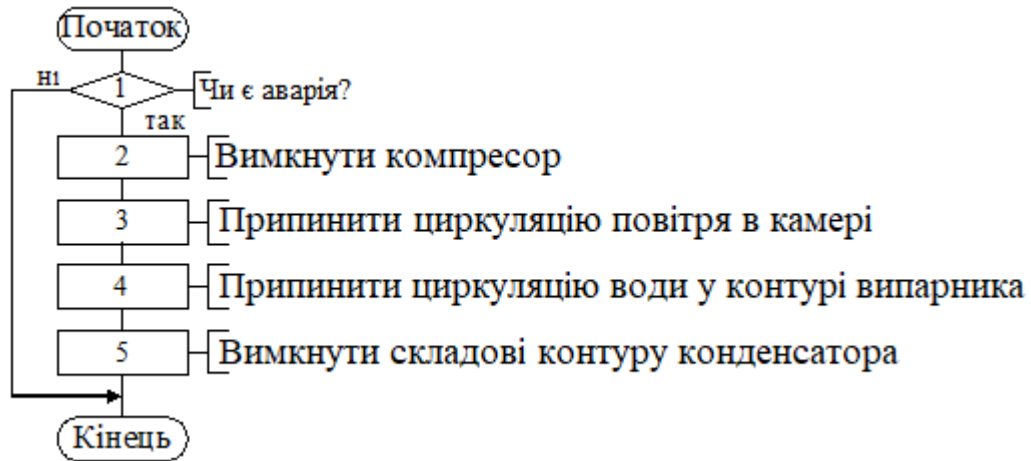


Рис. 4.4. Блок-схема регламенту функціонування камери визрівання за її аварійною зупинкою

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

На рис. 4.5 – 4.7 наведено блок-схеми алгоритмів керування пуском та штатною і аварійною зупинками камери визрівання, що розроблені згідно до регламентів функціонування, та деталізують послідовність видачі керуючих дій. В початковому стані все обладнання вважати вимкненим. Таким чином, наведені блок-схеми відображають функціонування системи логічного керування (СЛК) ТО.

Перед початком технологічного процесу перевіряються передпускові умови, тобто: наявність мінімального рівня води в баку-накопичувачі та баку з гарячою водою ($L_{\text{бн}} > L_{\text{бн}}^{\text{min}}$ (контролюється датчиком сигналізатором LS1), $L_{\text{бгв}} > L_{\text{бгв}}^{\text{min}}$ (контролюється датчиком сигналізатором LS2)), наявність достатнього тиску фреону в контурі теплового насоса ($P_{\text{фв}} > P_{\text{фв}}^{\text{min}}$ (контролюється датчиком-сигналізатором PS1)) та закриття дверей камери ($GS1=1, GS2=1$). За наявності вказаних умов розпочинається процедура пуску, а за відсутності будь-якої з умов процедура припиняється.

Потім необхідно сповістити персонал про початок ведення технологічного процесу. Для цього використовується звукова сигналізація, що включається на деякий час. Після виключення сигналізації необхідно

забезпечити запуск складових контуру конденсатора, а саме включити електропривод М4 вентилятора В4, електропривод М6 насосу Н2 та електропривод М3 вентилятора В3 на 60%, забезпечуючи витримку часу між кожним включенням. Далі включається М5 насосу Н1 подачі води у контур випарника теж з витримкою часу та запускається М7 компресора на 60%.

При досягненні водою, що циркулює через теплоутилізатор, робочого діапазону температури ($T_{\text{вту}} < T_{\text{вту}}^{\text{max}}$, $T_{\text{вту}} > T_{\text{вту}}^{\text{min}}$), потрібно забезпечити циркуляцію та регулювання параметрів повітря в камері. Для цього спочатку запускається електропривод М2 вентилятора В2, а потім електропривод М1 вентилятора В1, і коли температура повітря в камері стає вище мінімальної ($T_{\text{пов}} > T_{\text{пов}}^{\text{min}}$), включаємо КР $T_{\text{пов}}$. Згодом якщо абсолютна вологість повітря в камері вище мінімальної ($f_{\text{пов}} > f_{\text{пов}}^{\text{min}}$), включається КР $f_{\text{пов}}$.

Для штатної зупинки камери необхідно спочатку вимкнути М1 та М2, згодом М7, а далі М5, М3, М6 та М4.

Аварійна зупинка здійснюється автоматично за сигналом перевищення тиску перед конденсатором допустимих значень ($P_{\text{фк}} > P_{\text{фк}}^{\text{max}}$ (контролюється датчиком PS2)). Спочатку перевіряється наявність аварії, якщо її нема алгоритм завершений. Якщо перевірка в процесі визрівання показує наявність аварії ($PS2=1$), негайно вимикається М7 компресора, після чого зупиняються спочатку М1 та М2, а згодом М5, М3, М6 та М4.

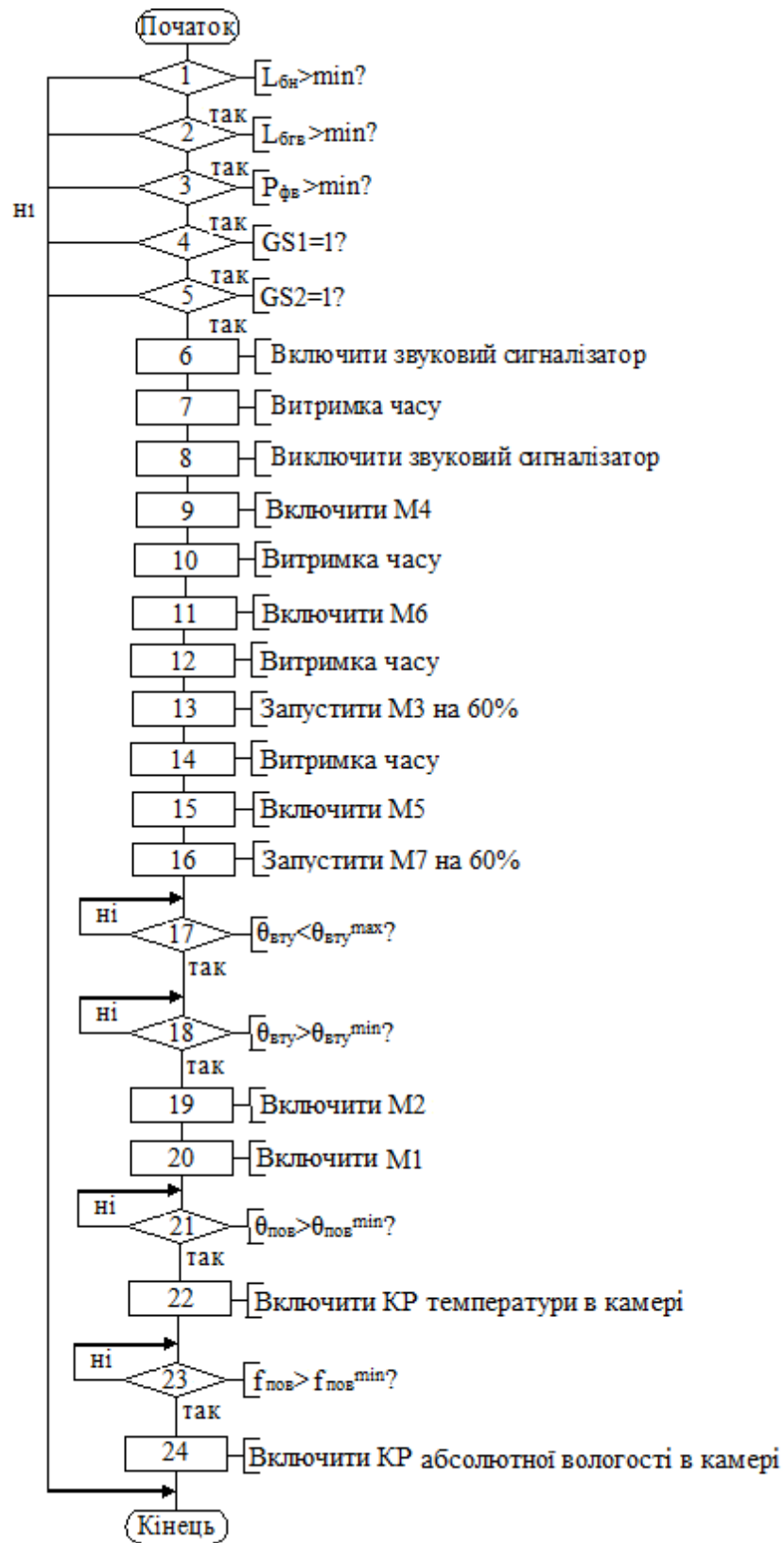


Рис. 4.5. Блок-схема алгоритму керування за пуском камери визрівання

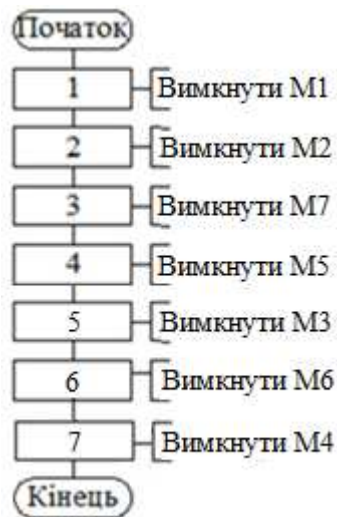


Рис. 4.6. Блок-схема алгоритму керування за штатною зупинкою камери
визрівання



Рис. 4.7. Блок-схема алгоритму керування за аварійною зупинкою камери
визрівання

4.4. Розробка функціонально логічної схеми (ФЛС)

ФЛС процесу наведена на рис. 4.8. Формування умов необхідних для запуску здійснюється елементом 15 за сигналами від датчиків реле рівня в баках 1, 2, мінімального тиску фреону в контурі теплового насоса 3 і закриття дверей камери 4, 5, а також від кнопки ПУСК 6, які приходять у схему через ДЦП 8-13. Підхоплення сигналу пуску здійснює RS-тригер 17. Після появи

логічної «1» на виході RS-тригера включиться передпускова сигналізація (ППЗС). Витримку часу забезпечує таймер 18 (10 с). Формує сигнал на ППЗС елемент 19 через ЦДП 20. По завершенні дії ППЗС від таймера 18 починає свою роботу програма керування камерою.

Сигнал «1» надходить на вхід «S» RS-тригеру 22, а далі через таймер 25 на вхід «S» RS-тригеру 26. Дані тригери через відповідні ЦДП (23, 27) запускають вентилятор продувки (М4) та насос подачі води у секцію підігріву (М6). Також логічна «1» через таймер 37 надходить на вхід «S» RS-тригеру 38, який через ЦДП 39 включає насос подачі води у контур випарника (М5), а також через таймер 29 на вхід «S» RS-тригеру 30 і через задатчик 31 з перемикачем 34 контуру регулювання температури повітря в камері сигнал через ЦАП 35 та через частотний перетворювач SY1 подається на М3, який включає вентилятор секції підігріву повітря на 60%.

Аналогічним чином через вхід «S» RS-тригеру 41 та через задатчик 42 з перемикачем 45 контуру регулювання абсолютної вологості повітря в камері сигнал через ЦАП 46 та через частотний перетворювач SY2 включає привод М7 компресора на 60%.

Від сигналу датчика 48 температури води, що циркулює через теплоутилізатор, через АЦП 49 сигнал надходить на елементи порівняння (порогові) 50, 51, котрі при виконанні умов $T_{\text{вту}} < T_{\text{вту}}^{\text{max}}$ та $T_{\text{вту}} > T_{\text{вту}}^{\text{min}}$ посиляють сигнали на елемент 52, а через елемент 53 сигнал потрапляє на вхід «S» RS-тригеру 54, включає його і через ЦДП 55 включає вентилятор видалення повітря з камери (М2). Також сигнал з елемента 53 надходить на вхід «S» RS-тригера 57, який через ЦДП 58 включає вентилятор подачі повітря в камеру (М1), а також з даного тригера іде на елементи 60 та 62. Після того як сигнали з датчиків ТЕ1, МЕ1 та АЦП 32, 43 досягнуть нижньої границі діапазонів регулювання $T_{\text{пов}} > T_{\text{пов}}^{\text{min}}$ та $f_{\text{пов}} > f_{\text{пов}}^{\text{min}}$ відповідно, про що засвідчать сигнали з порогових елементів 59 та 61 відповідно, сигнали «1» з 60 та 62 відповідно підключають КР $T_{\text{пов}}$ та $f_{\text{пов}}$ відповідно до виходів регуляторів 33 та 44 відповідно.

Щоб здійснити штатну зупинку технологічного процесу, необхідно сигнал «1» від кнопки «Стоп» через ДЦП 14 подати через елемент 64 на вхід «R» RS-тригера 17, після чого на його виході з'явиться «0», а через 10 с (через таймер – елемент 18) «0» з'явиться на всіх елементах, що підключені до 18, при цьому всі RS-тригери будуть готові до скидання «1» зі своїх виходів за приходом сигналу «1» на їхні «R» входи.

Сигнал «1» приходить через елемент 56 на вхід «R» RS-тригера 57, після чого на його виході з'явиться «0», що призведе до вимкнення КР температури і абсолютної вологості, а також до відключення М1. Потім цей сигнал іде через елемент 47 на вхід «R» RS-тригера 54, після чого на його виході з'явиться «0», що призводить до відключення М2. Далі сигнал надходить через елемент 40 на вхід «R» RS-тригера 41, після чого на його виході з'явиться «0», що призводить до відключення М7 з SY2. Після цього сигнал подається через елементи 36, 28, 24 та 21 на входи «R» RS-тригерів 38, 30, 26 та 22 відповідно, після чого на їх виходах з'являється «0», що призводить до відключення відповідно М5, М3 з SY1, М6 та М4.

Імітування аварійної зупинки відображає аварійну ситуацію, пов'язану з перевищенням тиску перед конденсатором допустимих значень. При цьому сигнал «1» проходить через ДЦП 63 та через елемент 64 на вхід «R» RS-тригера 17, після чого на його виході з'явиться «0», а через 10 с (через таймер – елемент 18) «0» з'явиться на всіх елементах, що підключені до 18, при цьому всі RS-тригери будуть готові до скидання «1» зі своїх виходів за приходом сигналу «1» на їхні «R» входи.

Сигнал «1» приходить через елемент 40 на вхід «R» RS-тригера 41, після чого на його виході з'явиться «0», що призводить до вимкнення КР абсолютної вологості повітря в камері та відключення М7 з SY2. Потім цей сигнал іде через елемент 56 на вхід «R» RS-тригера 57, після чого на його виході з'явиться «0», що призведе до вимкнення КР температури в камері, а також до відключення М1. Далі сигнал надходить через елемент 47 на вхід «R» RS-тригера 54, після чого на його виході з'явиться «0», що призводить

до відключення M2. Після цього сигнал відключає інші елементи як за штатною зупинкою.

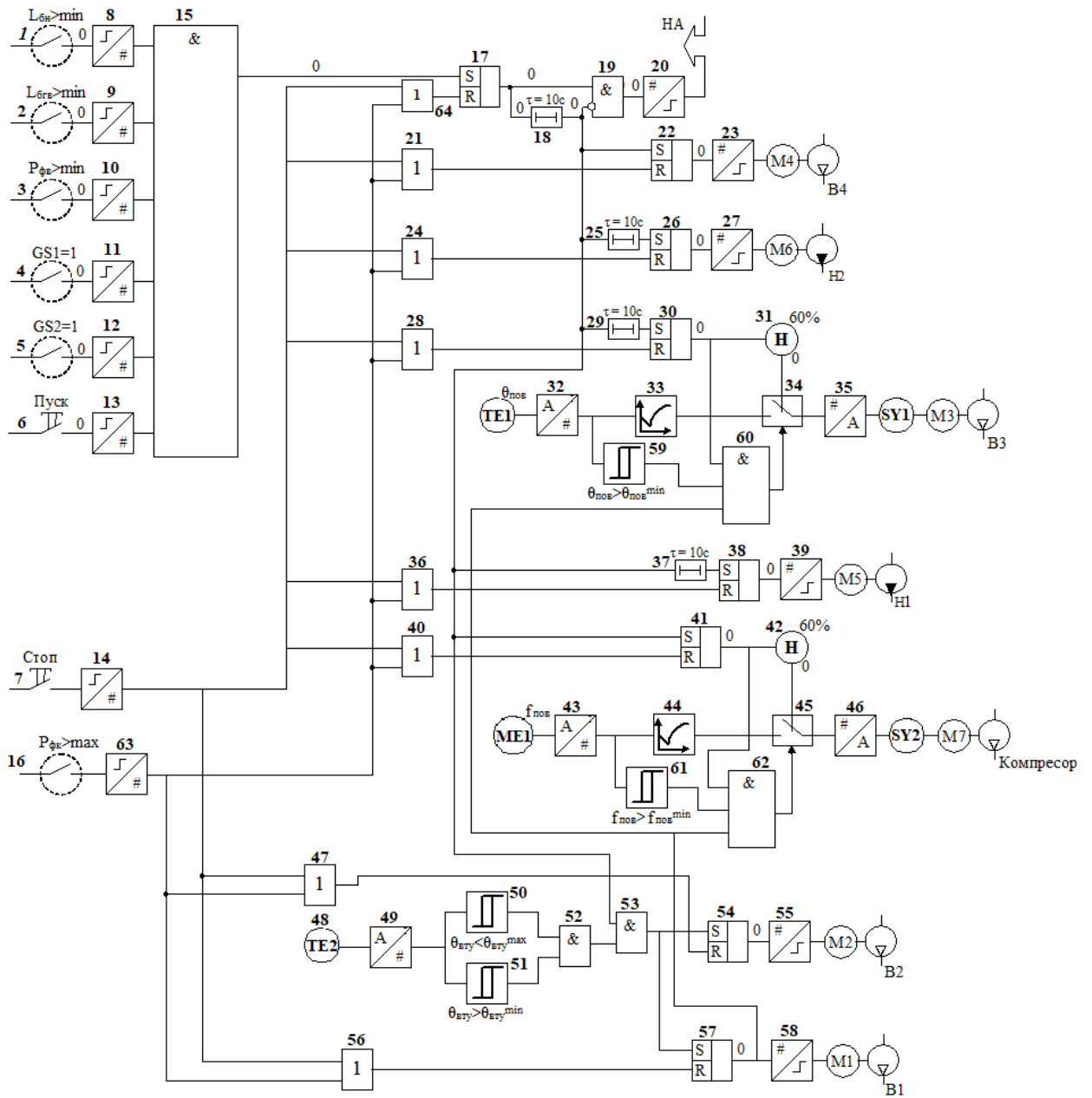


Рис. 4.8. Функціонально логічна схема керування

4.5. Імітаційне моделювання системи логічного керування

Програма моделювання роботи САК наведена на рис. 4.9.

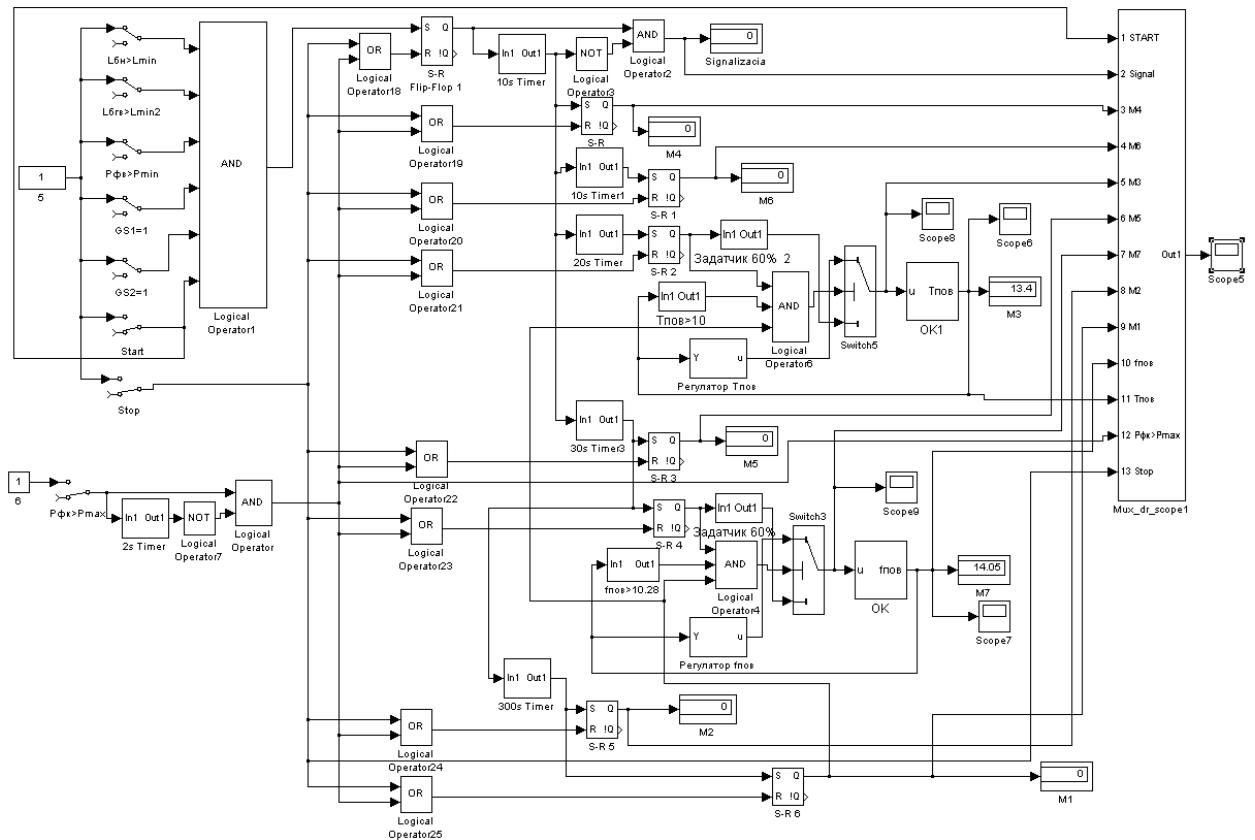


Рис. 4.9. Схема моделювання роботи алгоритму керування за пуском, технологічною та аварійною зупинкою камери

В попередніх дослідженнях не розглядалися динамічні характеристики каналу «M7 – T_{вту}», тому робота цього каналу моделюється умовно, за допомогою елемента 300s Timer, часу (5 хв), потрібного для охолодження води, що циркулює через теплоутилізатор.

Формування умов, необхідних для запуску камери виконує Logical Operator1 за сигналами від датчиків-реле рівня в баку накопичувачі L_{бн} та в баку з гарячою водою L_{бгв}, датчика-реле тиску наявності фреону в магістралі теплового насоса P_{фв}, датчиків закриття дверей камери та кнопки Start. Далі сигнал надходить у тригер SR Flip-Flop 1, котрий зводиться, і через Logical Operator2 починає працювати передпускова звукова сигналізація (ППЗС). Витримку часу на ППЗС забезпечує таймер 10s Timer, сигнал від якого через

інвертор (Logical Operator3), потрапляє в Logical Operator2, вихідний сигнал із котрого, формує сигнал на ППЗС.

По закінченню роботи таймера 10s Timer, ППЗС вимикається, а сигнал «1» потрапляє на S вхід SR тригеру S-R та через таймер 10s Timer1 на тригер S-R 1, що призводить до їх взведення і запуску відповідно М4 та М6. Також сигнал після 20s Timer заходить на S-R 2, що призводить до його взведення і запуску через задатчик М3 на 60%. Аналогічним чином сигнал після 30s Timer3 заходить на S-R 4, що призводить до його взведення і запуску через задатчик М7 на 60%, а також надходить на S-R 3, взводячи його та запускаючи М5. Після цього через 300s Timer сигнал іде на S вхід S-R 5 тригера, котрий забезпечує запуск М2, а також на S вхід S-R 6 тригера, який забезпечує запуск М1. Сигнал з виходу S-R 6 подається на Logical Operator6, куди також подається сигнал виходу ОК1 $T_{пов}$, де контролюється температура в камері, через пороговий елемент $T_{пов} > 10$ за виконанням його умови. Від Logical Operator6 він подається на перемикач Switch5, що забезпечує перемикання виходу регулятора на вхід ОК1 $T_{пов}$. Від сигналу з виходу S-R 6 крім контуру регулювання температури, запускається також контур регулювання абсолютної вологості в камері $f_{пов}$ через Logical Operator4.

Штатна зупинка починається з натискання кнопки Stop, від сигналу якої спершу через Logical Operator18 скидається тригер SR Flip-Flop1, та після витримки часу 10 с на всі входи S підключених SR тригерів подається сигнал «0», що дозволить із приходом сигналу «1» на всі входи R підключених SR тригерів скинути їхні виходи до «0».

Сигнал «1» після натискання кнопки "STOP" поступає також на Logical Operator25, звідки на вхід R тригера S-R 6, що призведе до вимкнення КР температури і абсолютної вологості, а також до відключення М1. Потім цей сигнал іде через Logical Operator24, звідки на вхід R тригера S-R 5, що призводить до відключення М2. Далі сигнал надходить через Logical Operator23, звідки на вхід R тригера S-R 4, що призводить до відключення М7. Після цього сигнал подається через Logical Operator22, Logical

Operator21, Logical Operator20 та Logical Operator19, звідки на входи R тригерів S-R 3, S-R 2, S-R 1 та S-R відповідно, що призводить до відключення відповідно M5, M3, M6 та M4.

Імітування аварійної зупинки відображає аварійну ситуацію, пов'язану з перевищенням тиску перед конденсатором допустимих значень. При цьому через Logical Operator18 скидається тригер SR Flip-Flop1, та після витримки часу 10 с на всі входи S підключених SR тригерів подається сигнал «0», що дозволить із приходом сигналу «1» на всі входи R підключених SR тригерів скинути їхні виходи до «0». Також цей сигнал поступає на Logical Operator23, звідки на вхід R тригера S-R 4, що призводить до вимкнення КР абсолютної вологості в камері та відключення M7. Потім цей сигнал іде через Logical Operator25, звідки на вхід R тригера S-R 6, що призведе до вимкнення КР температури в камері, а також до відключення M1. Далі сигнал надходить через Logical Operator24, звідки на вхід R тригера S-R 5, що призводить до відключення M2. Після цього сигнал відключає інші елементи як за штатною зупинкою.

Таким чином, робота ФЛС, що розроблена, повністю відображена в роботі програми. На рис. 4.11 наведені часові графіки змінних (Діаграма роботи системи керування), що відображають реальну послідовність керування пристроями.

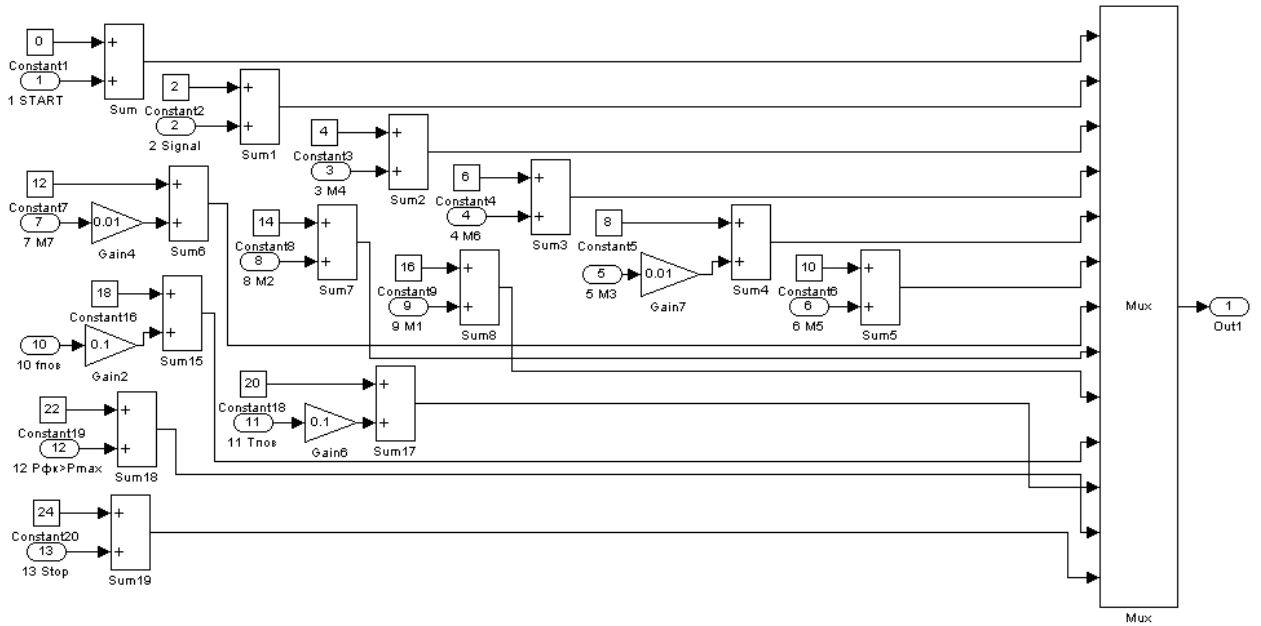


Рис. 4.10. Схема моделювання роботи блоку MUX_dr_score 1

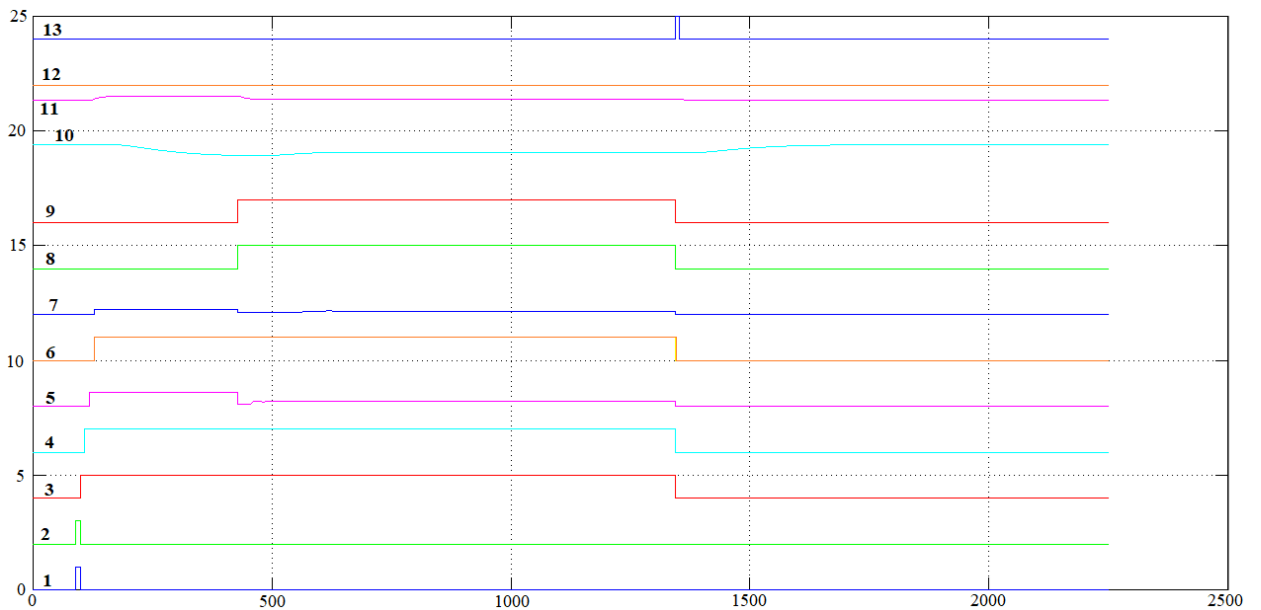


Рис. 4.11. Діаграма роботи системи керування в штатному режимі:

- 1 - Сигнал натискання кнопки «START»
- 2 - Сигнал спрацьовування ППЗС
- 3 - Сигнал спрацьовування M4
- 4 - Сигнал спрацьовування M6
- 5 - Сигнал спрацьовування M3
- 6 - Сигнал спрацьовування M5
- 7 - Сигнал спрацьовування M7
- 8 - Сигнал спрацьовування M2

- 9 – Сигнал спрацьовування М1
- 10 – Сигнал зміни абсолютної вологості в камері $f_{\text{пов}}$
- 11 – Сигнал зміни температури в камері $T_{\text{пов}}$
- 12 – Сигнал перевищення тиску перед конденсатором
- 13 – Сигнал STOP.

На рис. 4.12 наведено діаграму роботи системи керування за пуском та в аварійному режимі зупинки, що відповідає перевищенню тиску перед конденсатором допустимих значень. При цьому кнопка «STOP» оператором не натискається.

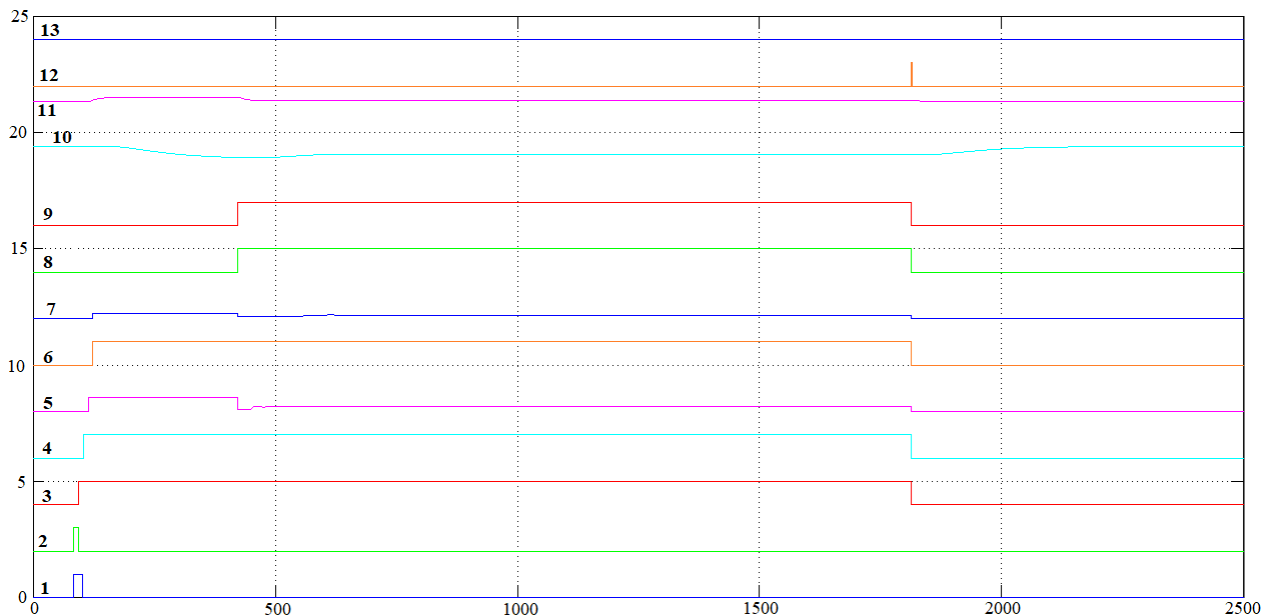


Рис. 4.12. Діаграма роботи системи керування в аварійному режимі

4.6. Висновки

В результаті виконання розділу були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки системи визрівання сиру в штатному та аварійному режимах, розроблена функціональна логічна схема, побудована її реалізація на ЕОМ, за допомогою середовища MATLAB. Можемо сказати про те, що алгоритми керування, які були розроблені, а також характеристики отримані при моделюванні роботи САК достатньо точно співпадають з реальними технологічними процесами.

5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ 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

У ході технологічного процесу, а саме при визріванні сирів іноді можуть виникати горючі гази в незначній кількості. Тому виробниче приміщення можна віднести до вибухонебезпечного середовища.

Датчики та виконавчі механізми розміщуються безпосередньо на технологічному устаткуванні та трубопроводах лінії. 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%.

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

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

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

Вибухонебезпечна зона класу 1 – простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи (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 вибухонебезпечної пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії.

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

Відповідно до введеної класифікації цех, де розміщується камера визрівання сирів, слід віднести до вибухонебезпечної зони класу 2 – простір,

у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго.

«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 процесу визрівання сирів слід вибрати рівень вибухозахисту оболонки електричних машин – «Підвищеної надійності проти вибуху», а рівень вибухозахисту оболонки електричних апаратів і приладів – «Без засобів вибухозахисту». Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин обираємо не менше IP44, а електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів – не менше IP54.

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

Для вимірювання температури повітря в камері в межах $+5\dots+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ обираємо датчик температури з вбудованим нормуючим перетворювачем ТЕРА 2-10м.

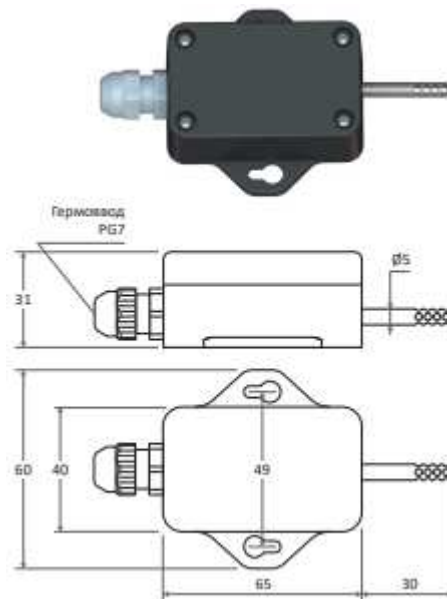


Рис. 5.1. Зовнішній вигляд термоперетворювача та нормуючого перетворювача

Технічні характеристики термоперетворювача:

Тип моделі: Повітряний

Тип та НСХ: Pt100

Кількість ЧЕ: 1

Клас точності: 0,15%

Схема з'єднання ЧЕ: 3-х провідна

Настінне кріплення: під гвинт М4 або саморіз

Тип головки: поліамід (до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Матеріал захисної арматури: н/ж сталь 12Х18Н10Т (АІSІ 321)

Діапазон температури: $-50\dots100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Показник інерції: 8...10 с

Технічні характеристики нормуючого перетворювача:

Тип та НСХ: ТСПУ (Pt100)

Вихідний сигнал: 4-20 мА

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

Клас точності: 0,15%

Живлення: 12-24 В DC

Схема з'єднання з датчиком: 3-х провідна

Для вимірювання абсолютної вологості повітря в камері в діапазоні 5 – 15 г/м³ оберемо ємнісний датчик вологості UAFT/A-ID.

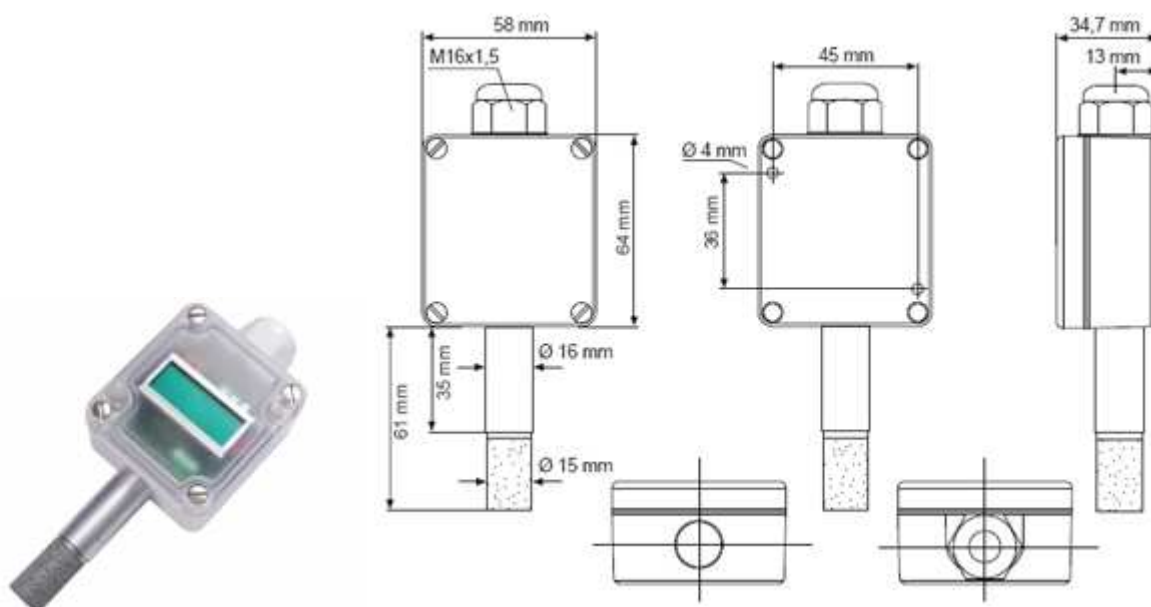


Рис. 5.2. Зовнішній вигляд датчика UAFT/A-ID

Технічні характеристики:

Ступінь захисту: IP65

Вихідний сигнал: 4-20 мА

Схема з'єднання: 2-х провідна

Живлення: 15-36 В DC

Захист ЧЕ: фільтр із н/ж сталі, заповнений спресованим вологопровідним порошком

Робоча температура електроніки: -20...50 °С

Температура зберігання: 0...50 °С

Для вимірювання температури води на вході в теплоутилізатор в межах $+5\dots+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ обираємо датчик температури з вбудованим нормуючим перетворювачем ТЕРА 1-43.



Рис. 5.3. Зовнішній вигляд термоперетворювача 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 точності: 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: $-50\dots250\text{ }^{\circ}\text{C}$

Макс. тиск: 6,3 МПа

Технічні характеристики нормуючого перетворювача:

Тип та НСХ: ТСПУ (Pt100)

Вихідний сигнал: 4-20 мА

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

Сертифікат з вибухозахисту

(Техрегламент для вибухонебезпечних середовищ. пост. КМУ №1055 від 28.12.2016) Ехі – іскробезпечний ланцюг

Для контролю мінімального рівня в баку-накопичувачі та в баку з гарячою водою обираємо датчик-реле рівня RM22LA32MR.



Рис. 5.4. Зовнішній вигляд датчика-реле RM22LA32MR

Технічні характеристики:

Ступінь захисту: IP50

Живлення: 24...240 В

Кількість контактів: 2

Температура зберігання: -40...70 °С

Для контролю мінімального тиску холодоагенту в колі теплового насоса та максимального тиску перед конденсатором обираємо датчик-реле тиску PS4-W1.



Рис. 5.5. Зовнішній вигляд датчика-реле PS4-W1

Технічні характеристики:

Ступінь захисту: IP67

Живлення: 24...230 В

Індуктивне навантаження: 2А

Діапазон температур вимірюваного середовища: -50...135 °С

Діапазон температур довкілля: -30...80 °С

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

Технічні засоби для реалізації керуючих впливів технологічного процесу знаходяться у шафі зі ступенем захисту IP54, яка знаходиться в окремому вибухо- та пожежобезпечному приміщенні.

Місцеве керування виконавчими механізмами здійснює блок ручного керування БРУ-7. Він призначений для використання в системах промислової автоматизації виробничих процесів в якості блоку ручного задатчика аналогового сигналу та блоку ручного керування аналоговим виконавчим механізмом.



Рис. 5.6. Загальний вид БРУ-7

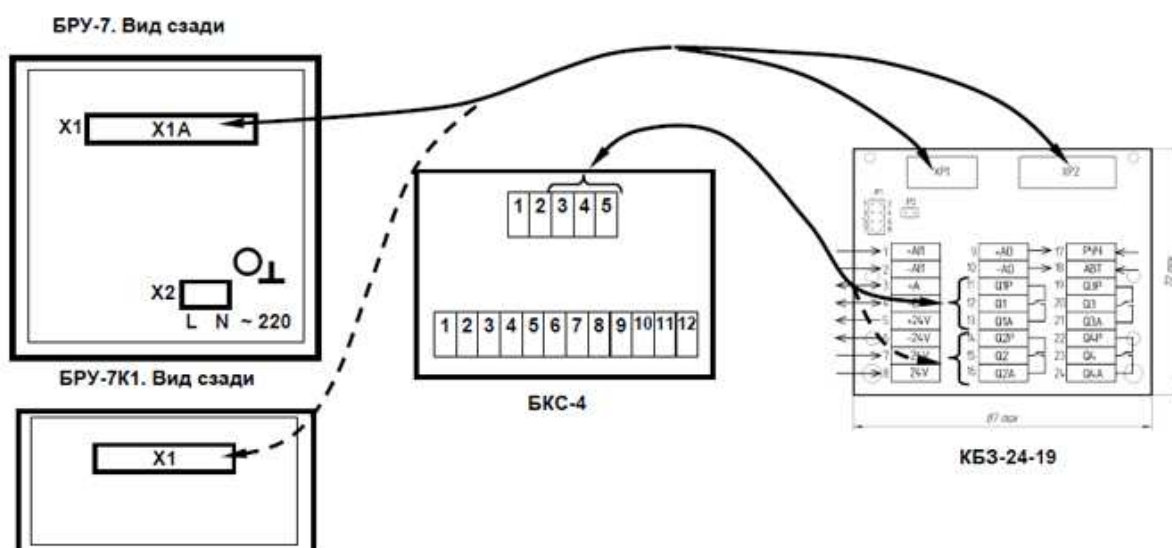


Рис. 5.7. Схема підключення БРУ-7

Технічні характеристики:

1) Аналогові вхідні сигнали:

Кількість аналогових входів: 1

Тип уніфікованого вхідного аналогового сигналу: 4-20 мА ($R_{вх} = 100$ 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 конфігурується)

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: 10 мм

4) Послідовний інтерфейс RS-485:

Тип каналу: Асинхронний напівдуплексний (прийом та передача йдуть по одній парі проводів з поділом за часом)

Кількість приймачів: 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 ізольований від інших входів-виходів та інших ланцюгів (напруга гальванічної розв'язки щонайменше 500 В)

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: 7,0 ВА

6) Корпус. Умови експлуатації:

Тип корпусу: Корпус для утопленого щитового монтажу, IP30

Розміри фронтальної рамки: 96 x 96 мм

Монтажна глибина: 190 мм max

Виріз на панелі: $(92^{+0,8}) \times (92^{+0,8})$ мм

Маса блоку: до 1 кг

Температура навколишнього середовища: $-40 \dots 70$ °С

Атмосферний тиск: 85-106,7 кПа

Вібрація з частотою/амплітудою: до 60 Гц / до 0,1мм

Для частотного керування вентилятором підігріву повітря та компресором скористаємося частотним перетворювачем Elettronica Santerno Sinus K 4T.

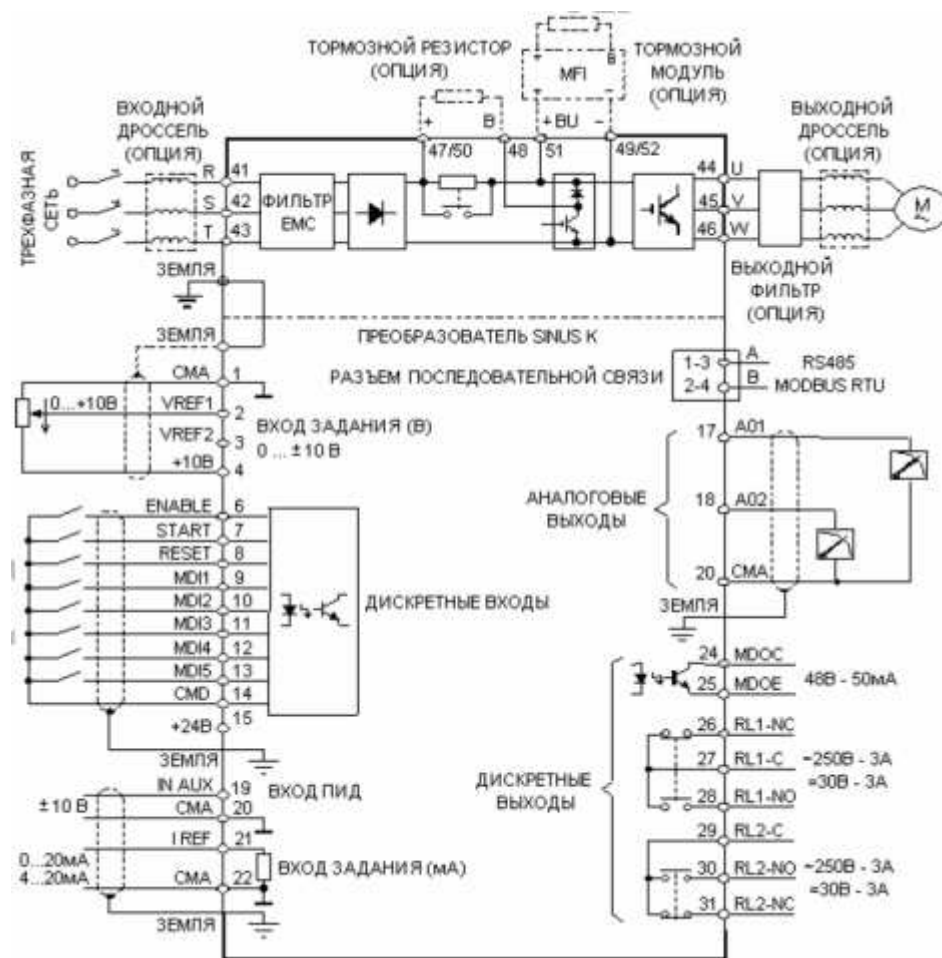


Рис. 5.8. Клеми частотного перетворювача Elettronica Santerno Sinus K 4T

Номинальна потужність: 4,5-450 кВт

Напруга живлення: 200-500 В

Кількість фаз: 3

Вихідна частота: 0-800 Гц

Гарантія: 3 роки

Ступінь захисту: IP54

Габарити: 214*577*227

Обрана потужність для приводу вентилятора: 4,5 кВт

Обрана потужність для приводу компресора: 4,5 кВт

Для відбору повітря на підігрів використаємо каналний осьовий високотемпературний вентилятор, що встановлюється у повітропроводі. Такий вентилятор може працювати в умовах високої температури, що необхідно при тепловіддачі від сильно нагрітого холодоагенту до повітря. Також він в змозі прокачувати великі об'єми повітря, характеризується низьким рівнем шуму та простотою монтажу.



Рис. 5.9. Загальний вигляд вентилятора Flaktwoods JM HT Aerofoil 31JM 315

Обираємо високотемпературний осьовий вентилятор Flaktwoods JM HT Aerofoil 31JM 315. Технічні характеристики:

Продуктивність: до 21 м³/с

Всі корпуси оброблені гарячим цинкуванням

Максимальний тиск: 600 Па

Протягом 1-2 годин може працювати при температурі 300-400 °С
(сертифікат CE від 2002 р., EN12101-3)

Ступінь захисту двигуна: IP55

Електропостачання: 380 В / 50 Гц

Потужність двигуна: 2,2 кВт

Діаметр: 310 мм

Низька генерація шуму

Враховуючи потужність двигуна вентилятора, а також потреби його електропостачання, для його електроприводу, а також всіх електроприводів прямого включення застосовуємо автоматичний вимикач E.MCB.PRO.60.3.C 6 NEW.



Рис. 5.10. Загальний вигляд автоматичного вимикача E.MCB.PRO.60.3.C 6 NEW

Технічні характеристики:

Ступінь захисту: IP20

Кількість полюсів: 3

Струм спрацювання: 6 А

Робоча напруга: 230/400 В.

Для адіабатичного стиснення холодоагенту застосовуємо ротаційний (роторний) компресор, що знаходиться в колі теплового насосу. Ротаційний (роторний) компресор – тип компресора, в якому робота виконується за допомогою елементів, що обертаються, через які газоподібний холодоагент

протікає неперервно. Така конструкція компресора забезпечує низький рівень шуму, а також низьке споживання електричної енергії, більшість якої можна навіть використати для підігріву.



Рис. 5.11. Загальний вигляд компресора Toshiba RH 400 G2CS-4KU1

Обираємо ротаційний компресор Toshiba RH 400 G2CS-4KU1. Технічні характеристики:

Потужність: 2,245 кВт

Максимальний струм: 10,5 А

Рівень шуму: 66 ± 3 дБ

Холодопродуктивність: $T_{ф. в2} = 7,2$ °С, $T_{кд} = 40$ °С

Електропостачання: 220 В / 50 Гц

Тип двигуна: RS/R

Висота: 357 мм

Враховуючи потужність компресора, а також потреби його електропостачання, для його електроприводу застосуємо автоматичний вимикач DZ47-60 3P 4.5КА С.



Рис. 5.12. Загальний вигляд автоматичного вимикача DZ47-60 3P 4.5KA C

Технічні характеристики:

Ступінь захисту: IP20

Кількість полюсів: 3

Струм спрацювання: 10 А

Робоча напруга: 230/400 В.

Для всіх електроприводів та ППЗС технологічного процесу використаємо проміжне реле DRM 270024.



Рис. 5.13. Загальний вигляд проміжного реле DRM 270024

Технічні характеристики:

Тип реле: електромагнітне

Номінальна напруга: 24 В

Максимальний струм контактів: 10 А

Розміри: 21.5 x 28 x 36 мм

5.4. Висновки

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом визрівання сирів в камері з використанням парокompресійного теплового насосу. 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 реалізувати 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 повітря в камері	Trov	A	I	4-20 мА	AI1
2	Абсолютна вологість повітря в камері	frov	A	I	4-20 мА	AI2
3	Температура води на вході в теплоутилізатор	Twtu	A	I	4-20 мА	AI3
4	Керуючий вплив, що змінює температуру повітря в камері	u1	A	O	0-10 В	AO1
5	Керуючий вплив, що змінює	u2	A	O	0-10 В	AO2

	абсолютну вологість повітря в камері					
6	Контроль мінімального рівня води у баку накопичувачі	Lbn	D	I	+ 24 В	DI1
7	Контроль мінімального рівня води у баку з гарячою водою	Lbhw	D	I	+ 24 В	DI2
8	Контроль мінімального тиску фреону в колі теплового насоса	Pmin	D	I	+ 24 В	DI3
9	Контроль закриття двері камери	Gs1	D	I	+ 24 В	DI4
10	Контроль закриття двері камери	Gs2	D	I	+ 24 В	DI5
11	Контроль максимального тиску перед конденсатором	Pmax	D	I	+ 24 В	DI6
12	Сигнал кнопки авт. пуску	SB_pusk	D	I	+ 24 В	DI7
13	Сигнал кнопки	SB_stop	D	I	+ 24 В	DI8

	авт. зупинки					
14	Сигнал режиму керування АВТ/РУЧ	AUTO_ MAN	D	I	+ 24 В	DI9
15	Сигнал керування ЕД вентилятора М1	M1	D	O	«відкритий колектор»	DO1
16	Сигнал з дод. контакту пускача ЕД вентилятора М1	M1_KM	D	I	+ 24 В	DI10
17	Сигнал керування ЕД вентилятора М2	M2	D	O	«відкритий колектор»	DO2
18	Сигнал з дод. контакту пускача ЕД вентилятора М2	M2_KM	D	I	+ 24 В	DI11
19	Сигнал керування ЕД вентилятора М3	M3	D	O	«відкритий колектор»	DO3
20	Сигнал з дод. контакту пускача ЕД вентилятора М3	M3_KM	D	I	+ 24 В	DI12
21	Сигнал керування ЕД вентилятора М4	M4	D	O	«відкритий колектор»	DO4
22	Сигнал з дод.	M4_KM	D	I	+ 24 В	DI13

	контакту пускача ЕД вентилятора М4					
23	Сигнал керування ЕД насосу М5	М5	D	O	«відкритий колектор»	DO5
24	Сигнал з дод. контакту пускача ЕД насосу М5	М5_КМ	D	I	+ 24 В	DI14
25	Сигнал керування ЕД насосу М6	М6	D	O	«відкритий колектор»	DO6
26	Сигнал з дод. контакту пускача ЕД насосу М6	М6_КМ	D	I	+ 24 В	DI15
27	Сигнал керування ЕД компресора М7	М7	D	O	«відкритий колектор»	DO7
28	Сигнал з дод. контакту пускача ЕД компресора М7	М7_КМ	D	I	+ 24 В	DI16
29	Сигнал керування звук. сигнал.	НА	D	O	«відкритий колектор»	DO8

6.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

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

Для реалізації алгоритмів керування в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені 3 аналогових входи, 2 аналогових виходи, 16 дискретних входів і 8 дискретних виходів.

Виходячи із сформованої таблиці, для реалізації алгоритмів керування скористаємось контролером 750-881 з модулями ПЗО 750-1400, 750-537, 750-455, 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 контролера 750-881 та його характеристики

Для введення аналогових сигналів у контролер будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового введення 750-455.

Технічні характеристики 750-455:

Технические данные	
Количество входов	4
Подача напряжения	через преобразователь постоянного тока сетевого напряжения
Потребление тока (внутреннее)	65 мА
Входное напряжение (макс.)	32 В
Ток сигнала	0 - 20 мА (750-453, 753-453) 4 - 20 мА (750-455, 753-455)
Входное сопротивление	< 100 Ом / 20 мА
Разрешение	12 бит
Время преобразования (тип.)	10 мс
Ошибка измерения (25 °С)	< ± 0,2 % от величины всего измерительного диапазона
Температурный коэффициент	< ± 0,01 % / К от величины всего измерительного диапазона
Развязка	500 В между системой и источникам питания
Битовая ширина	4 x 16 бит - данные, 4 x 8 бит - управление/состояние (опционально)
Проводное соединение	CAGE CLAMP®
Сечения	0,08 мм² ... 2,5 мм² / 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	51 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 Плайду (2003)
ЭМС при применении в судостроении - излучение помех	согласно Германскому Плайду (2003)

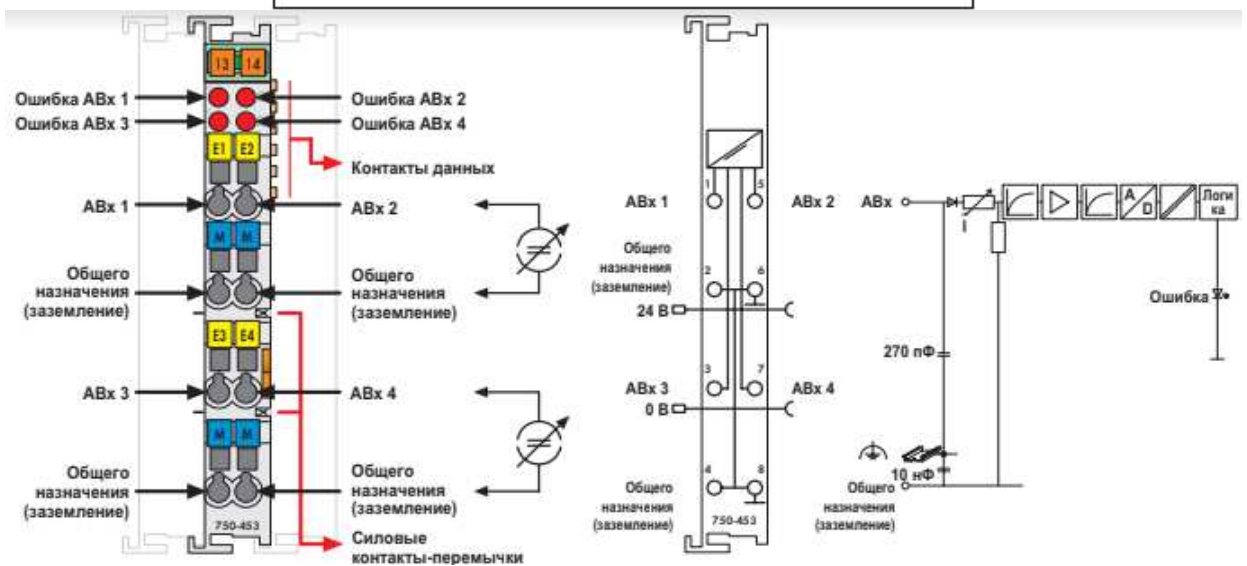


Рис. 6.2. Загальний вигляд модуля ПЗО 750-455, його характеристики та схема підключення

Для виведення аналогових сигналів з контролеру (формування аналогових керуючих дій) будемо використовувати 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 мс
Ошибка измерения (25°C)	< ± 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
Ширина	9 ... 10 мм / 0.37 дюйма
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)

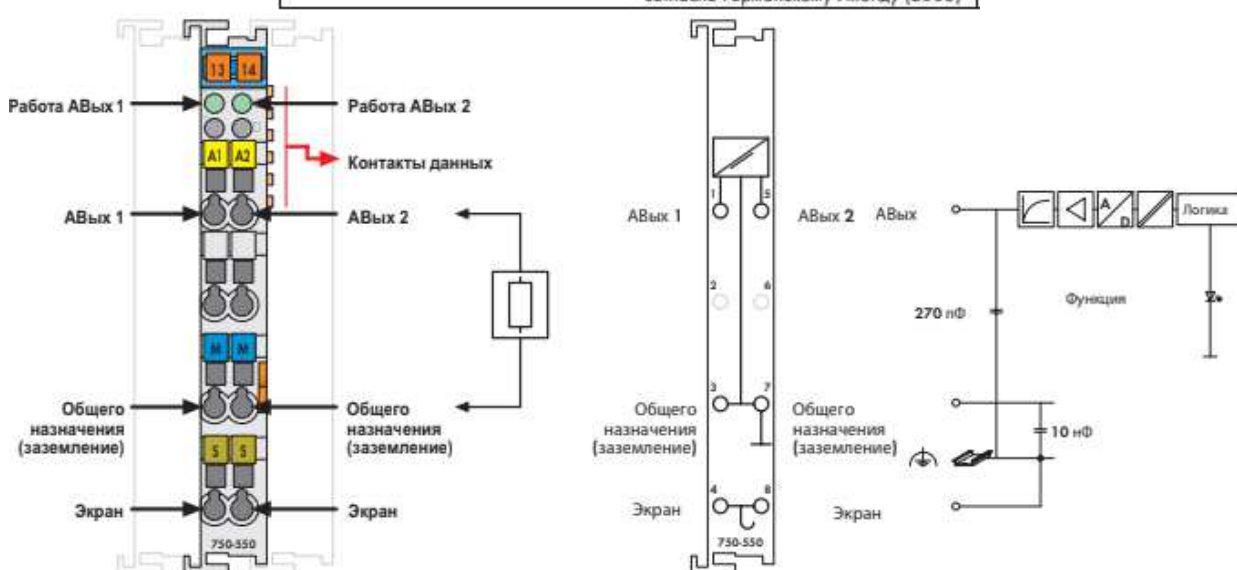


Рис. 6.3. Загальний вигляд модуля ПЗО 750-550, його характеристики та схема підключення

Для вводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 16-канальний модуль дискретного вводу 750-1400.

Технічні характеристики 750-1400:

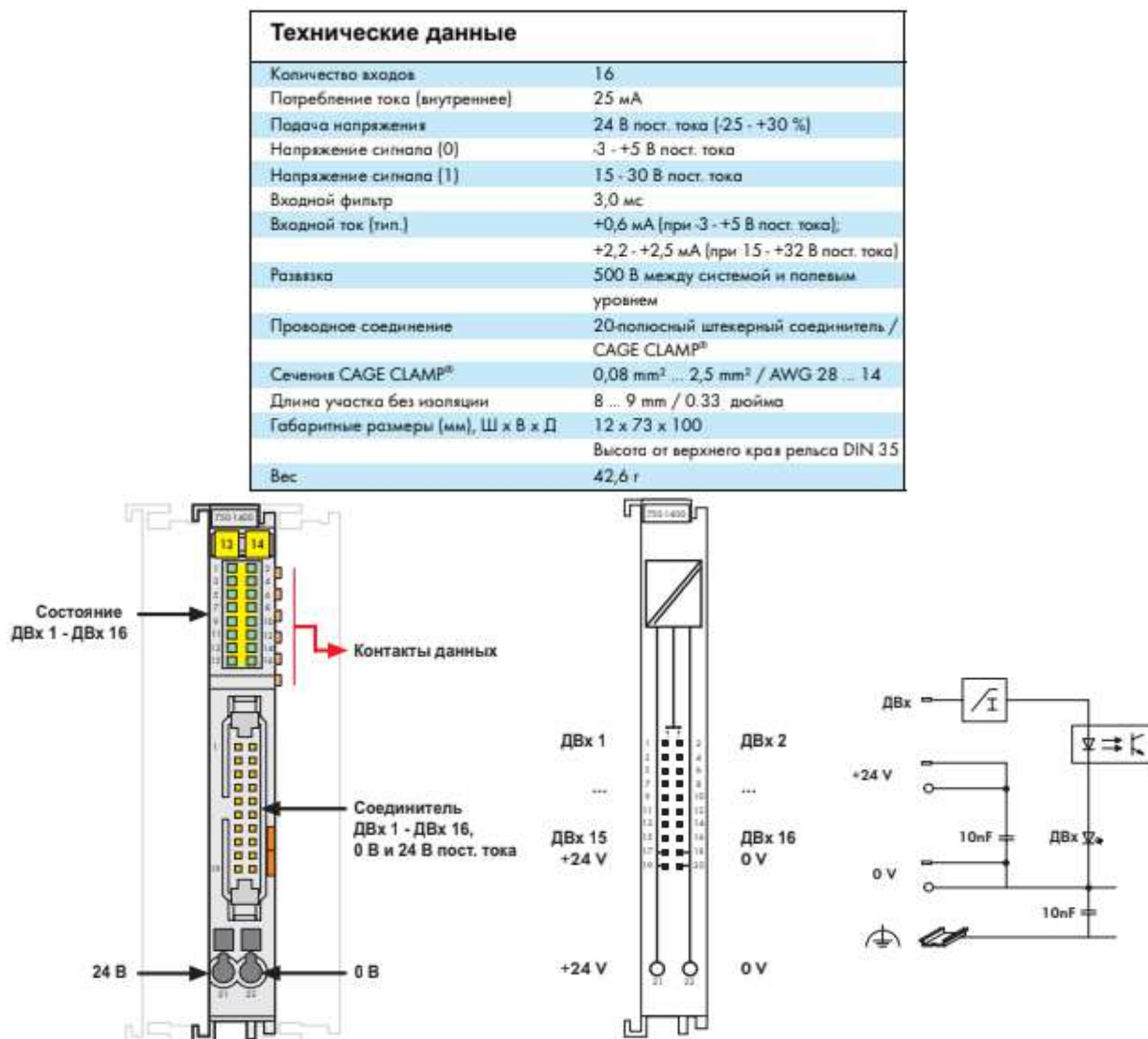


Рис. 6.4. Загальний вигляд модуля ПЗО 750-1400, його характеристики та схема підключення

Для виводу дискретних сигналів з контролера будемо використовувати 8-канальний модуль дискретного виводу 750-537.

Технічні характеристики 750-537:

Технические данные	
Количество выходов	8
Макс. потребление тока (внутреннее)	50 мА
Напряжение через силовые контакты-перемычки	24 В пост. тока (-25 - +30 %)
Тип нагрузки	резистивная, индуктивная, лампы
Макс. частота переключений	1 кГц
Защита от обратного напряжения	да
Выходной ток	0,5 А, с защитой от короткого замыкания
Ограничение короткого замыкания (тип.), ШИМ	12 А
Определение разомкнутой цепи	< 0,1 мА
Диагностика	разомкнутая цепь, перегрузка и короткое замыкание
Рассеяние энергии W при выключении индуктивной нагрузки (макс.)	0,1 Дж; I _{макс} = 2 x W _{макс} / I ²
Потребление тока, тип. (полевой уровень)	16 мА, модуль + нагрузка
Развязка	500 В между системой и источником питания
Внутренняя битовая ширина	8 бит выход, 8 бит вход (диагностика)
Проводное соединение	CAGE CLAMP®
Сечения	0,08 mm ² ... 2,5 mm ² / AWG 28 ... 14
Длина участка без изоляции	8 ... 9 mm / 0.33 дюйма
Ширина	12 мм
Вес	48,5 г
ЭМС СЕ - помехоустойчивость	в соотв. с EN 60000-6-2 (2005)
ЭМС СЕ - излучение помех	в соотв. с EN 61000-6-3 (2007)
ЭМС при применении в судостроении - помехоустойчивость	согласно Германскому Ллойду (2003)
ЭМС при применении в судостроении - излучение помех	согласно Германскому Ллойду (2003)

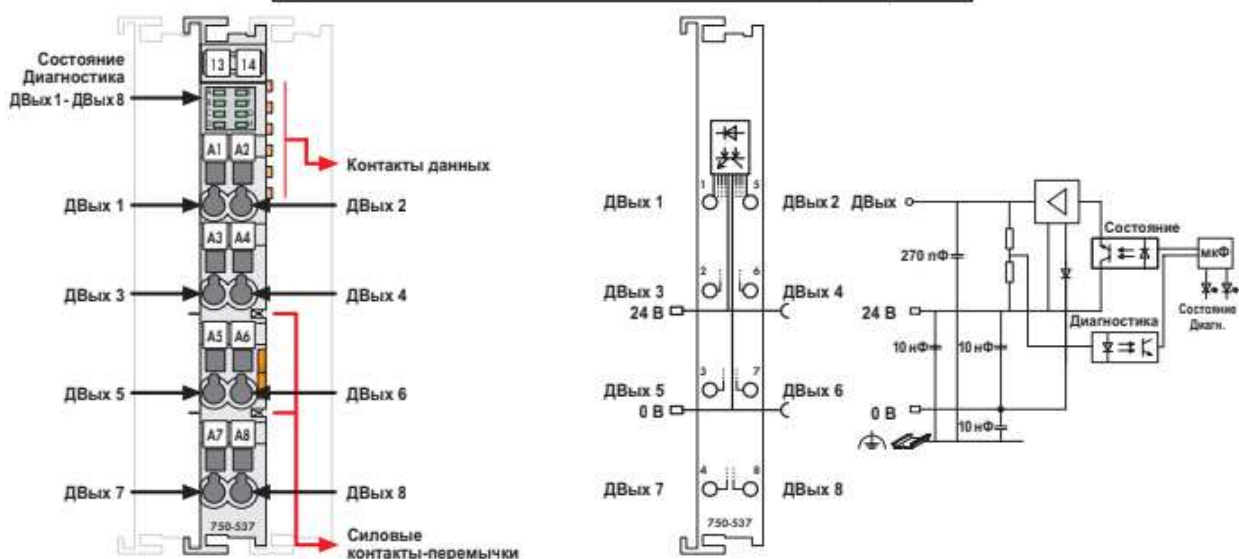


Рис. 6.5. Загальний вигляд модуля ПЗО 750-537, його характеристики та схема підключення

Зв'язок контролера з комп'ютером здійснюється за допомогою інтерфейсу Ethernet.

Враховуючи обраний контролер, модулі ПЗО до нього, та список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру схема технічної

структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування прийме наступний вигляд. (рис. 6.6).

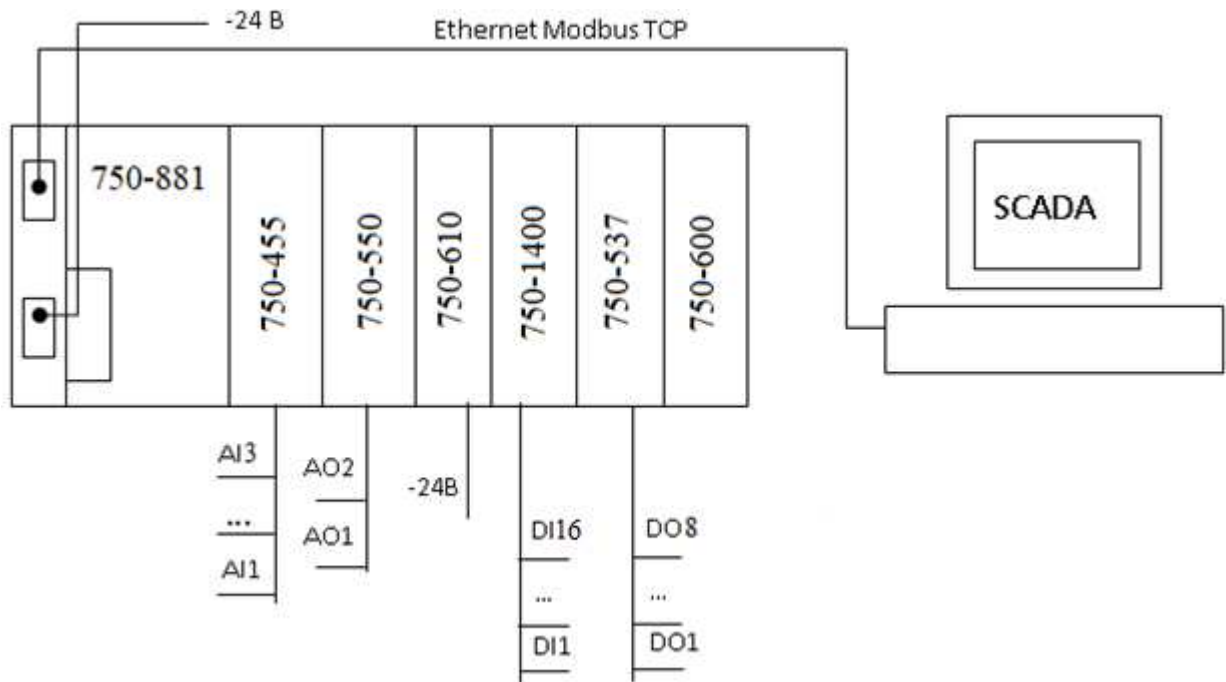


Рис. 6.6. Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування ділянкою визрівання сирів

6.3. Програмне конфігурування контролера

Розробку програмного забезпечення для контролера будемо проводити у середовищі CodeSys 2.3. Першим етапом проведемо програмне конфігурування контролера та його модулів ПЗО у середовищі CodeSys 2.3. На рис. 6.7 – 6.9 представлених нижче розкрита процедура конфігурування CPU контролера та його модулів ПЗО.

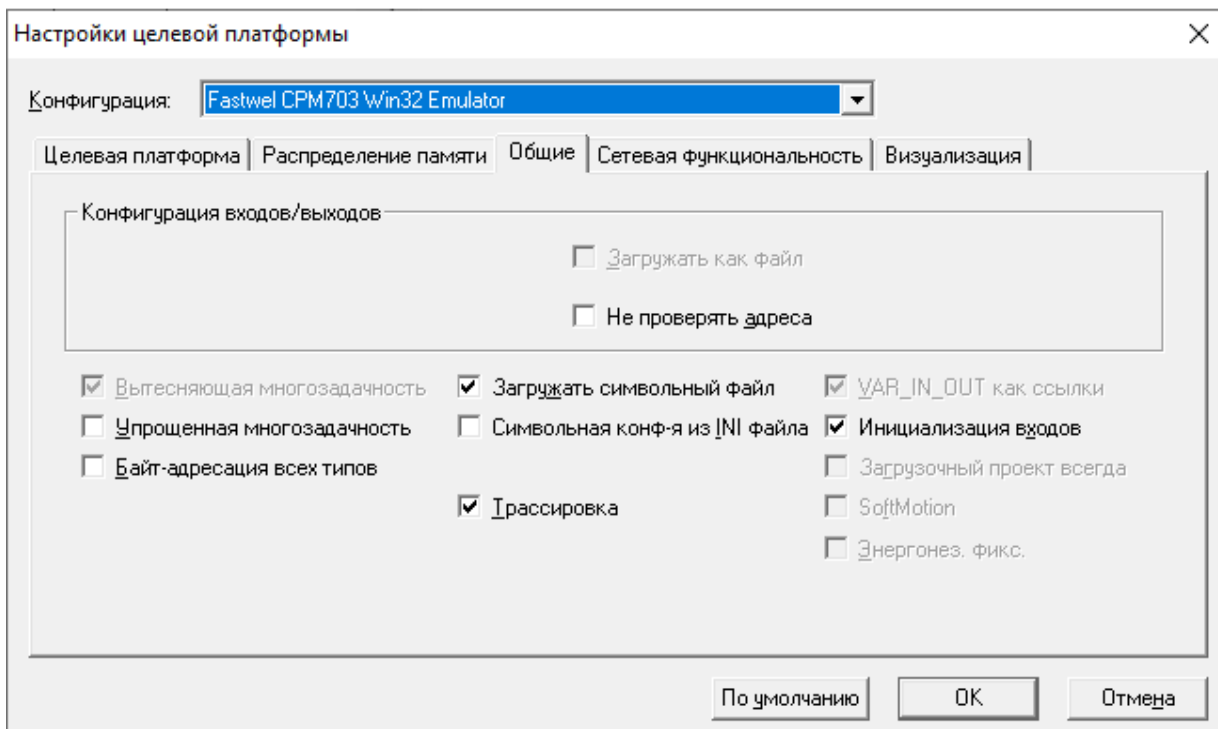


Рис.6.7. Вікно вибору контролеру і конфігурації його параметрів

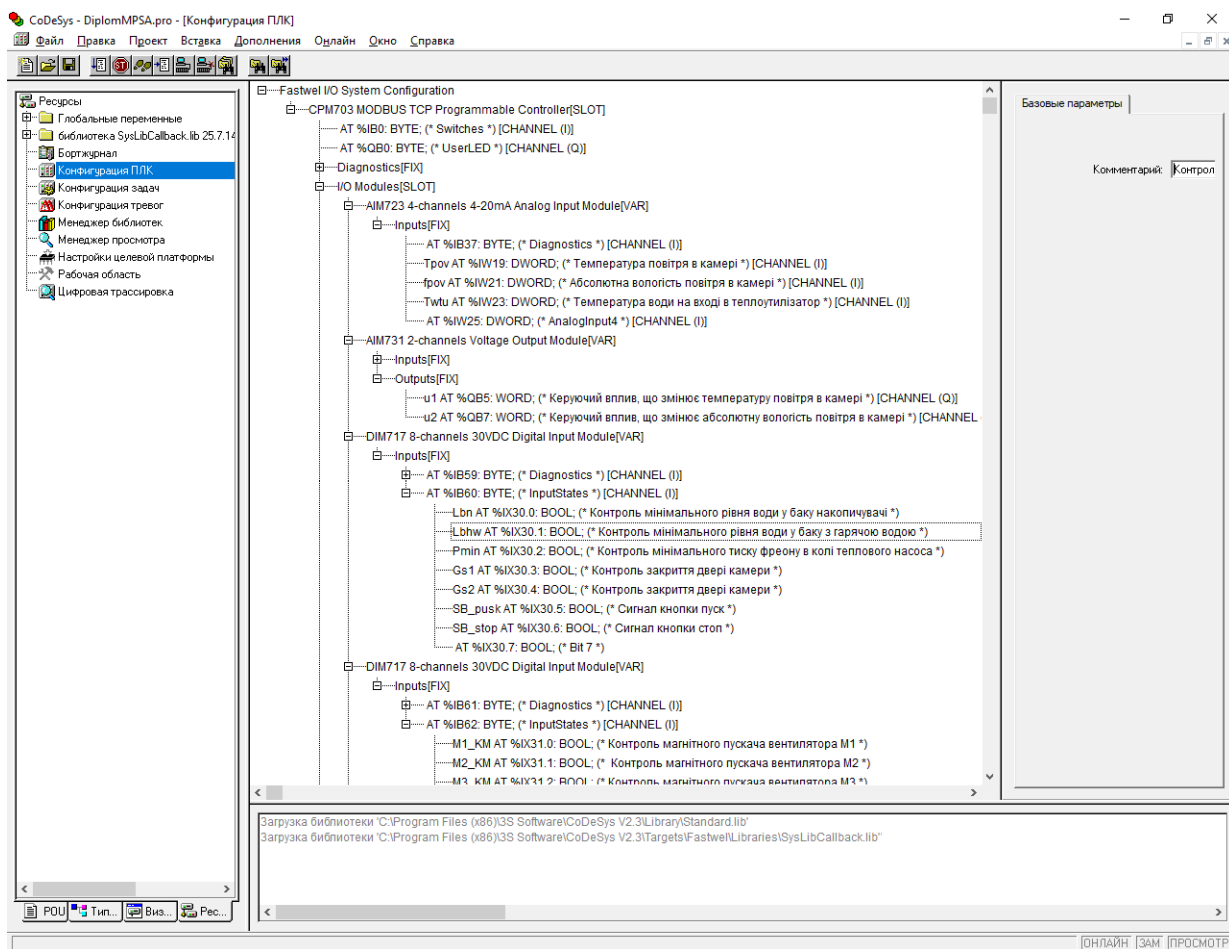


Рис. 6.8. Приклад вікна конфігурування модулів ПЗО

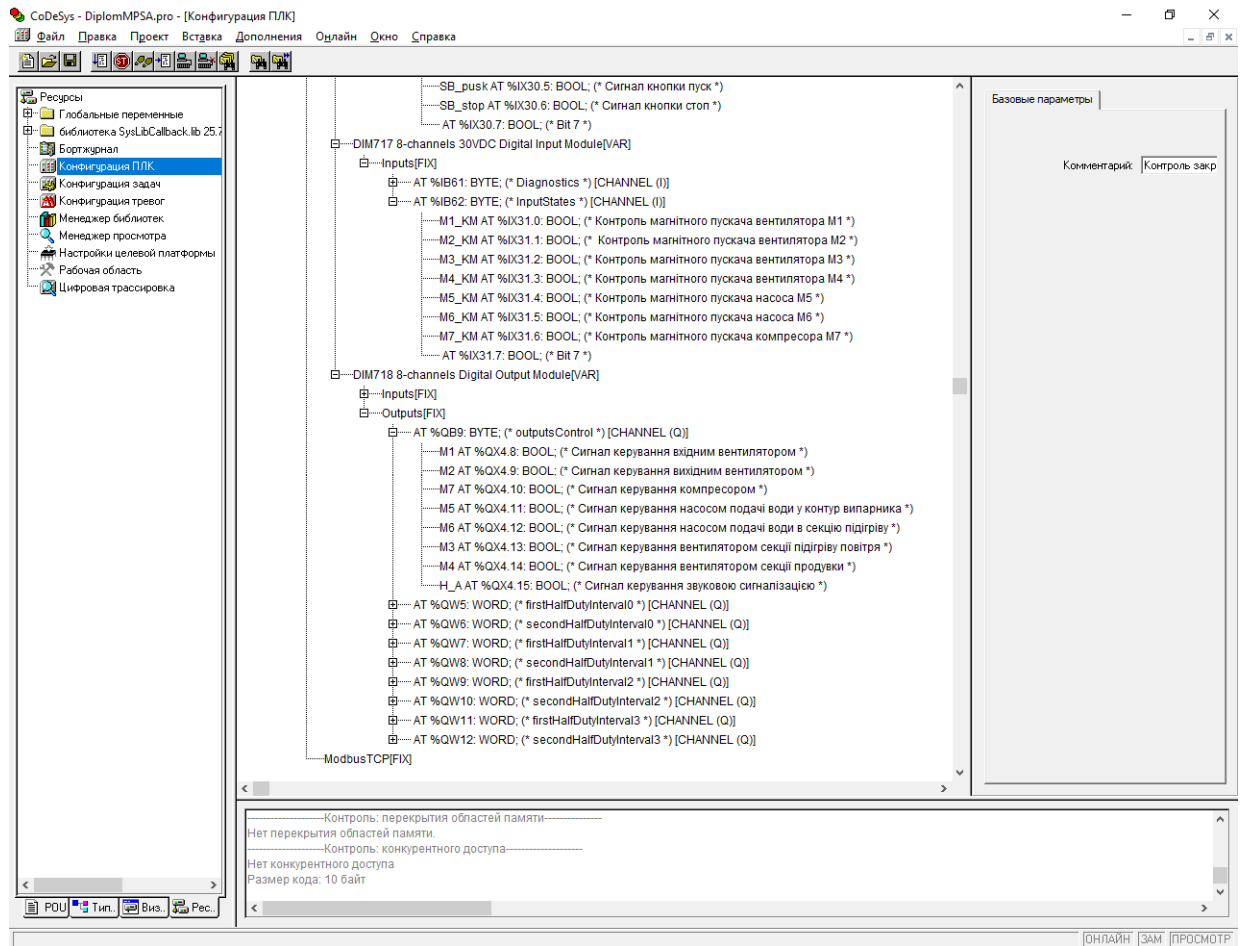


Рис. 6.9. Пример окна конфигурирования модулей ПЗО

Завершивши конфигурацію переходимо до програмної реалізації алгоритмів керування.

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

Модель САР розраховується у програмному модулі POU_100ms, який обчислюється кожну 0.1 секунди. Час обчислення задається при конфігуруванні контролера у розділі «Конфигурация задач» (рис.6.10).

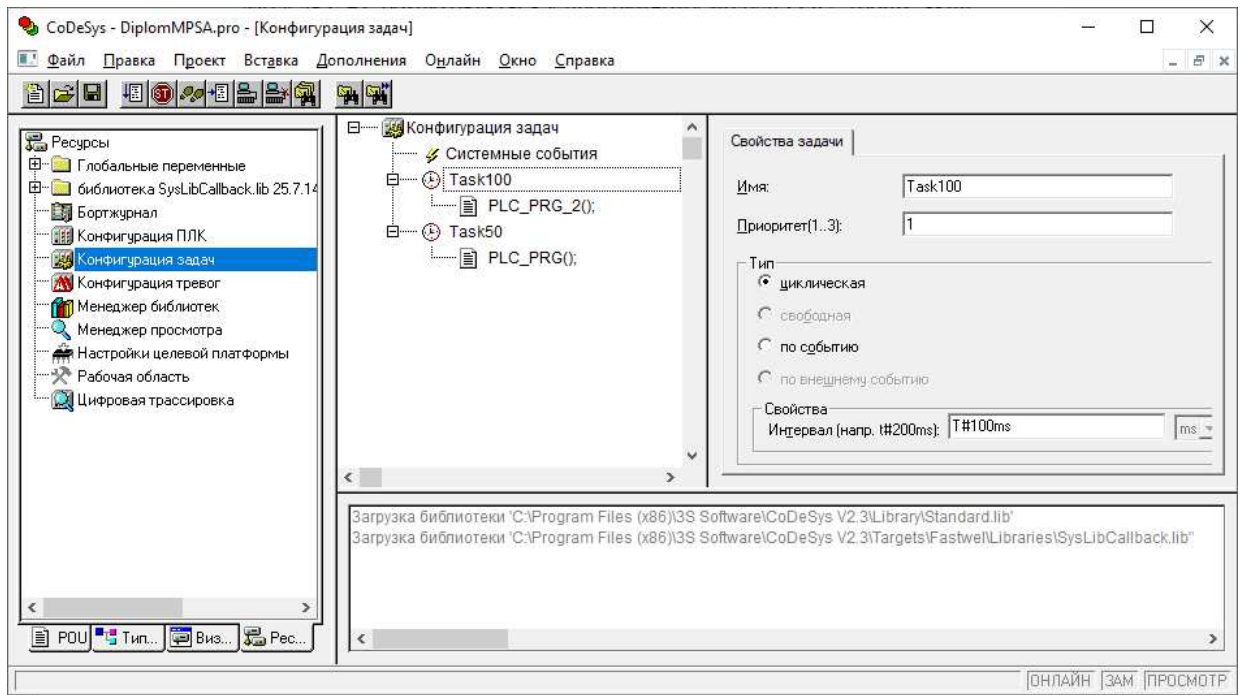


Рис.6.10. Загальний вигляд вікна проекту при конфігуруванні задач

На рис. 6.11 представлений фрагмент програми, який реалізує модель об'єкта керування та алгоритми регулювання.

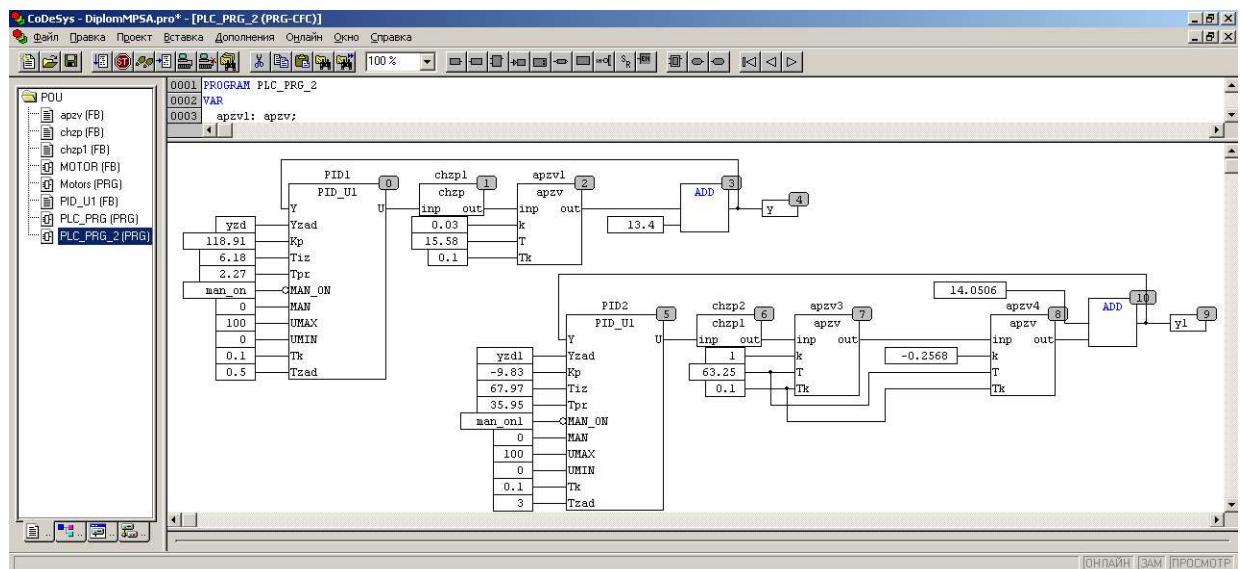


Рис. 6.11. Фрагмент програми, який реалізує модель об'єкта керування

Для реалізації моделі об'єкта керування використовувались спеціально розроблені функціональні блоки динамічних ланок: ланки запізнення та статичної аперіодичної інерційної ланки першого порядку. На рис. 6.12 – 6.14 представлені фрагменти програм реалізації цих ланок мовою ST.

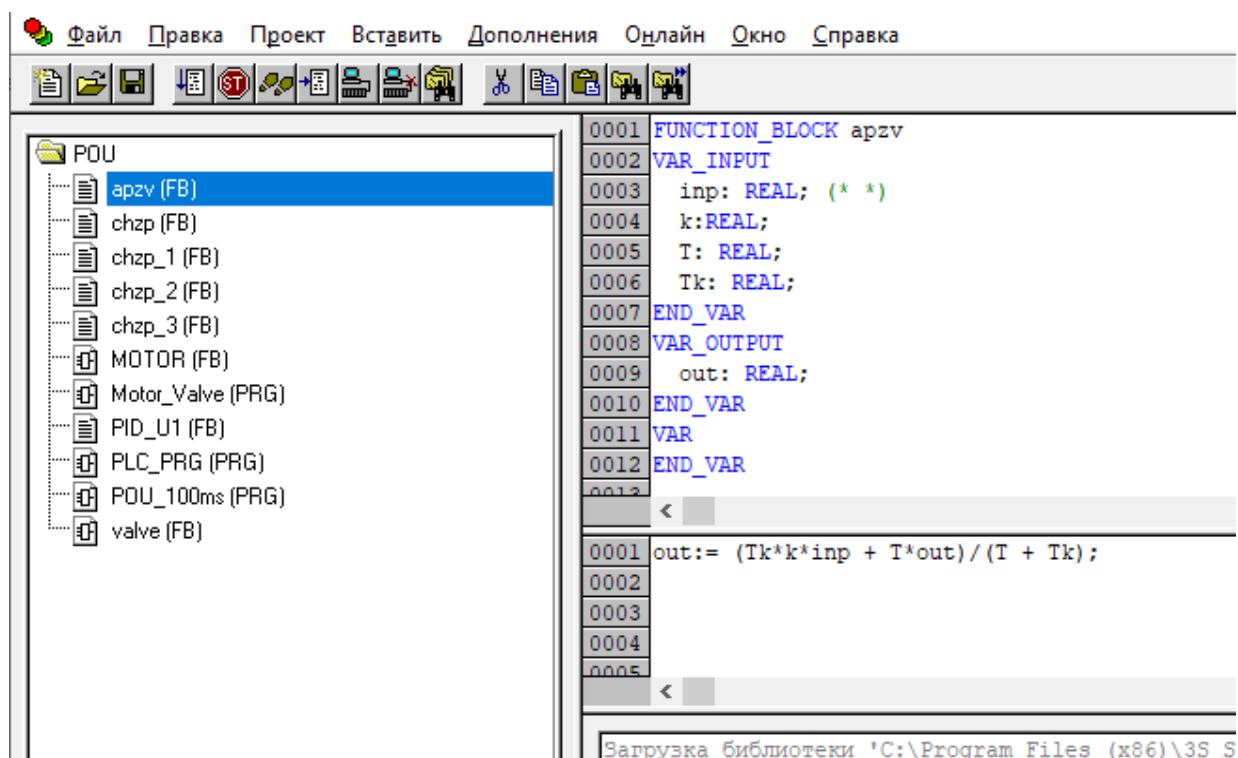


Рис. 6.12. Фрагмент програми, який реалізує статичну аперіодичну інерційну ланку першого порядку

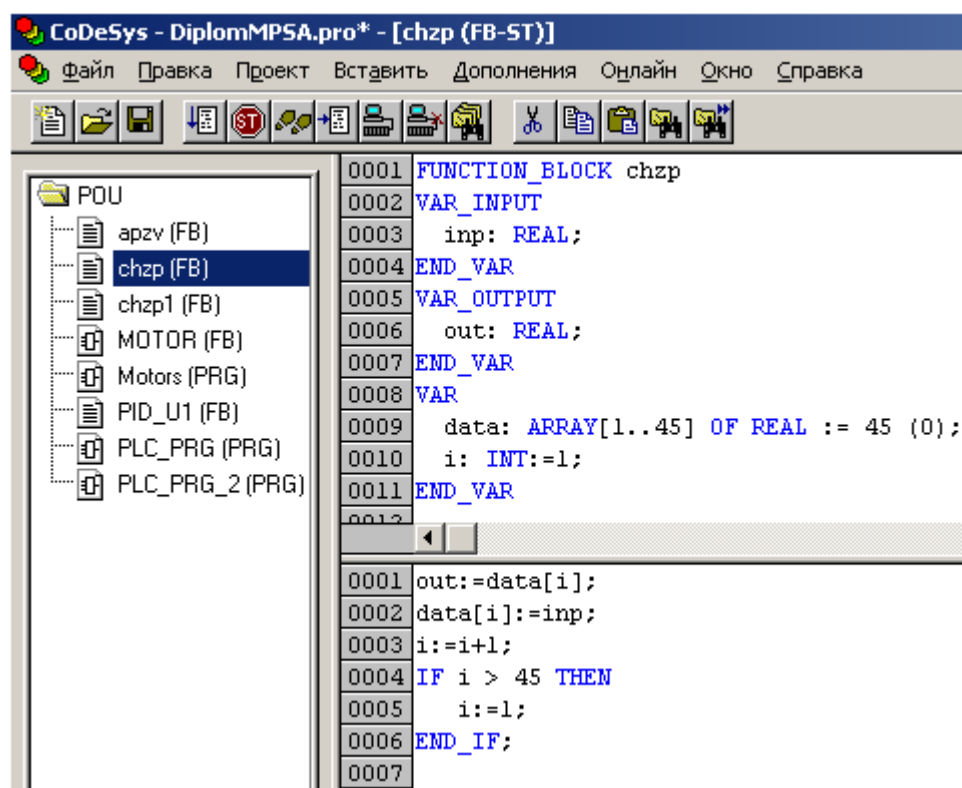


Рис. 6.13. Фрагмент програми, який реалізує ланку запізнення chzp

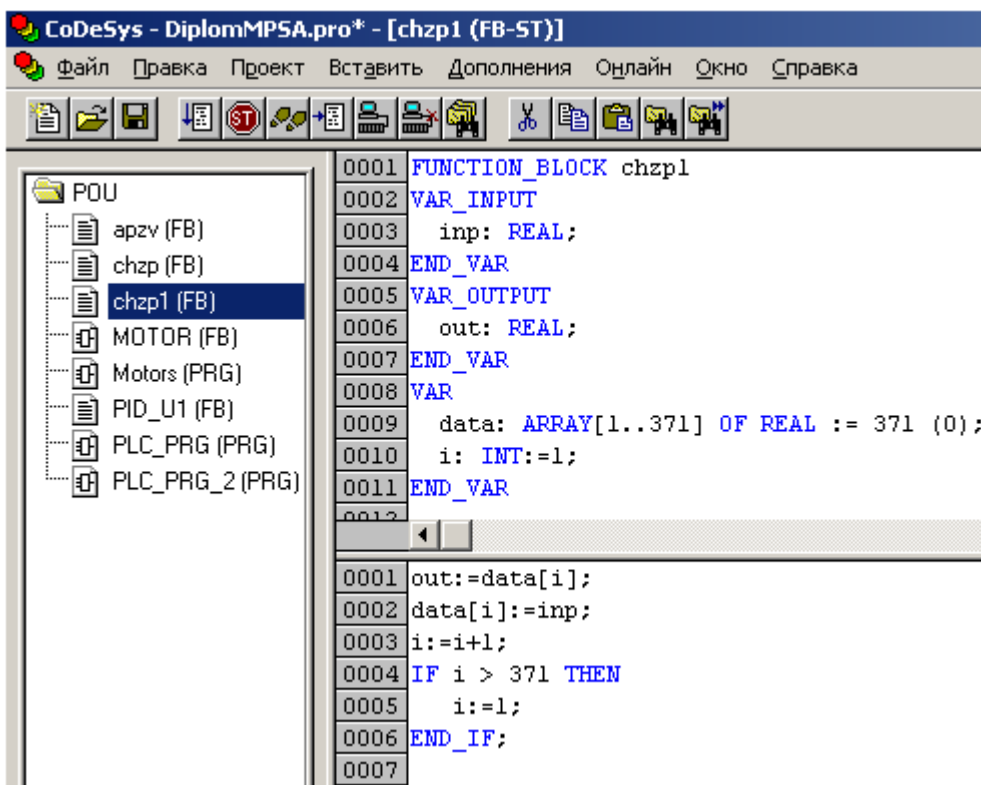


Рис. 6.14. Фрагмент програми, який реалізує ланку запізнення chzp1

Для реалізації алгоритмів регулювання використовувались спеціально розроблений функціональний блок ПІД – регулятору з інерційним задатчиком та переключенням режиму РУЧ/АВТ. Цей блок розроблений мовою ST. На рис. 6.15 представлена внутрішня структура регулятора.

Файл Правка Проект Вставить Дополнения Онлайн Окно Справка

POU	0001	FUNCTION_BLOCK PID_U1
apzv (FB)	0002	VAR_INPUT
chzp (FB)	0003	Y: REAL; (*регулируемая переменная*)
chzp_1 (FB)	0004	Yzad: REAL; (*заданное значение*)
chzp_2 (FB)	0005	Kp: REAL; (*коэфф. передачи*)
chzp_3 (FB)	0006	Tiz: REAL; (*время изодрома*)
MOTOR (FB)	0007	Tpr: REAL; (*время предварения*)
Motor_Valve (PF)	0008	MAN_ON: BOOL; (*ручной режим Вкл.\Выкл.*)
PID_U1 (FB)	0009	MAN: REAL; (*Управл. возд. в ручном режиме*)
PLC_PRG (PRG)	0010	UMAX: REAL; (*максимал. знач. управл. возд.*)
POU_100ms (PF)	0011	UMIN: REAL; (*минимал. знач. управл. возд.*)
valve (FB)	0012	Tk: REAL; (*шаг квантования*)
	0013	Tzad: REAL;
	0014	END_VAR
	0015	VAR_OUTPUT
	0016	U: REAL; (*управляющее воздействие*)
	0017	END_VAR
	0018	VAR
	0019	Ui: REAL;
	0020	Yzadd: REAL;
	0021	Up_l: REAL;
	0022	Ud: REAL;
	0023	DY: REAL;
	0024	Up: REAL;
	0025	END_VAR

```

авить Дополнения Онлайн Окно Справка
FUNCTION_BLOCK PID_U1
VAR TMRPIT
(*Ручной режим управления*)
IF MAN_ON = TRUE THEN
  U:=MAN;
  Ui:= U;
  Yzadd:= Y;
  Ud:=0;
  Up_1:=0;
ELSE
  (**ПИД- алгоритм управления **)
  (*Расчет инерционного задатчика*)
  Yzadd:= (Tk*Yzad + Tzad*Yzadd)/(Tk+Tzad);
  (*Расчет ошибки регулирования*)
  DY:= Yzadd - Y;
  (*Расчет П-составляющей*)
  Up:= Kp*DY;
  (*Расчет И-составляющей*)
  Ui:= (Tk/Tiz)*Up + Ui;
  (*Реализация ограничения И-составляющей*)
  IF Ui > UMAX THEN
    Ui:= UMAX;
  ELSIF Ui < UMIN THEN
    Ui:= UMIN;
  END_IF;
  (*Расчет Д-составляющей*)
  Ud:= (Tpr*(Up-Up_1)+0.2*Tpr*Ud)/(Tk+0.2*Tpr);
  Up_1:=Up; (*Переопределение промежуточной переменной для расчета Д-сост.*)
  (** Расчет управляющего воздействия **)
  U:= Up + Ui + Ud;
END_IF;
(*Реализация ограничения управляющего воздействия*)
IF U > UMAX THEN
  U:= UMAX;
ELSIF U < UMIN THEN
  U:= UMIN;
END_IF;

```

Рис. 6.15. Код программы ПИД – регулятора

Результаты тестування програми, яка реалізує алгоритми регулювання наведені на рис. 6.16.

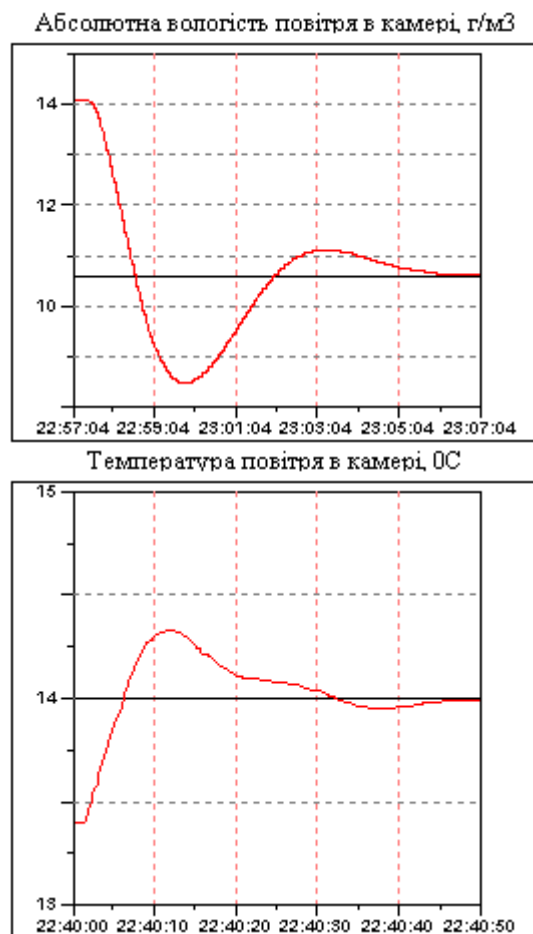


Рис. 6.16. Перехідні характеристики, отримані при тестуванні і налагодженні алгоритмів регулювання на моделі ОУ

6.5. Програмна реалізація алгоритмів логічного керування

Програмна реалізація алгоритмів логічного керування виконана в програмному модулі PLC_PRG, який обчислюється з кроком 0.05с. Фрагмент програми, що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки наведено на рис. 6.17.

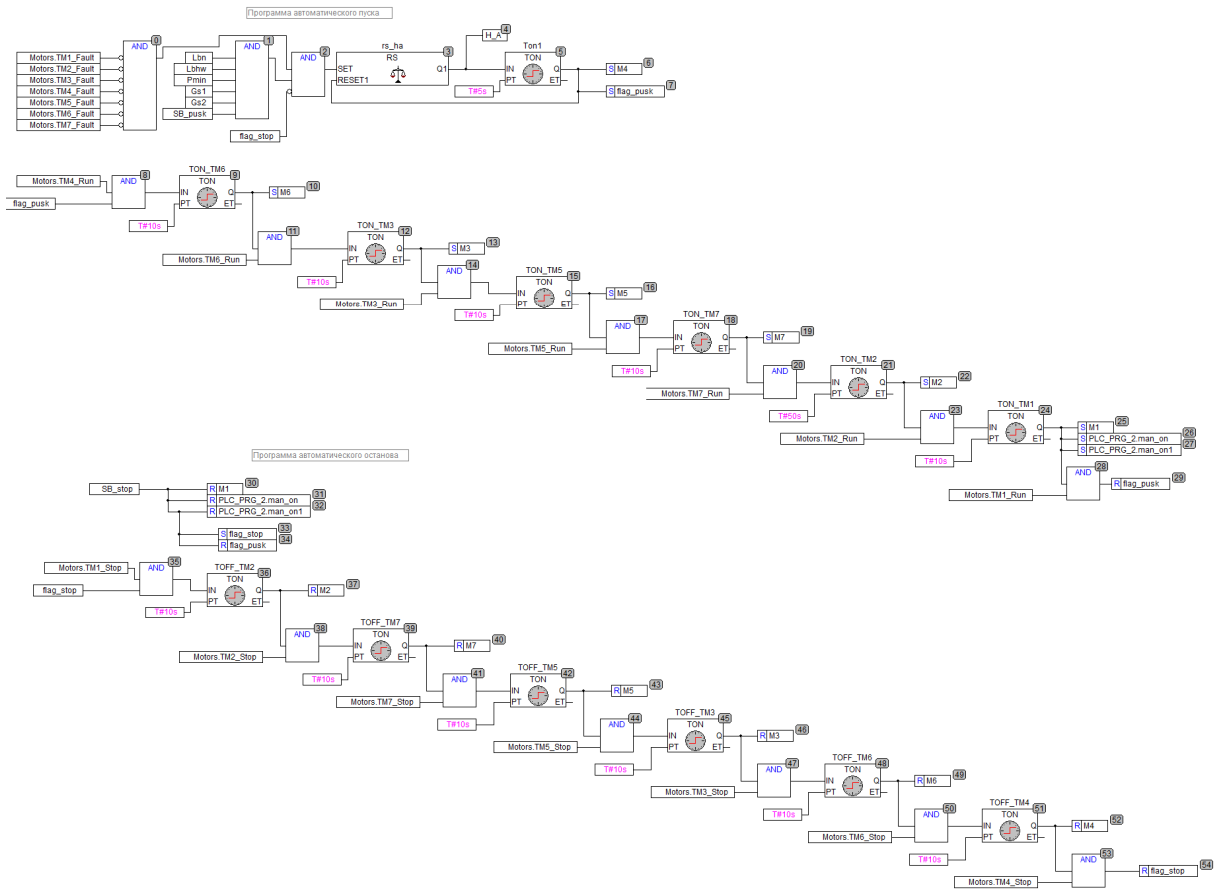


Рис. 6.17. Фрагмент програми, що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки

Програма логічного керування формує сигнали для підпрограм керування двигунами та контурами регулювання. Розрахунок підпрограм керування двигунами виконується у програмному модулі Motors (рис.6.18).

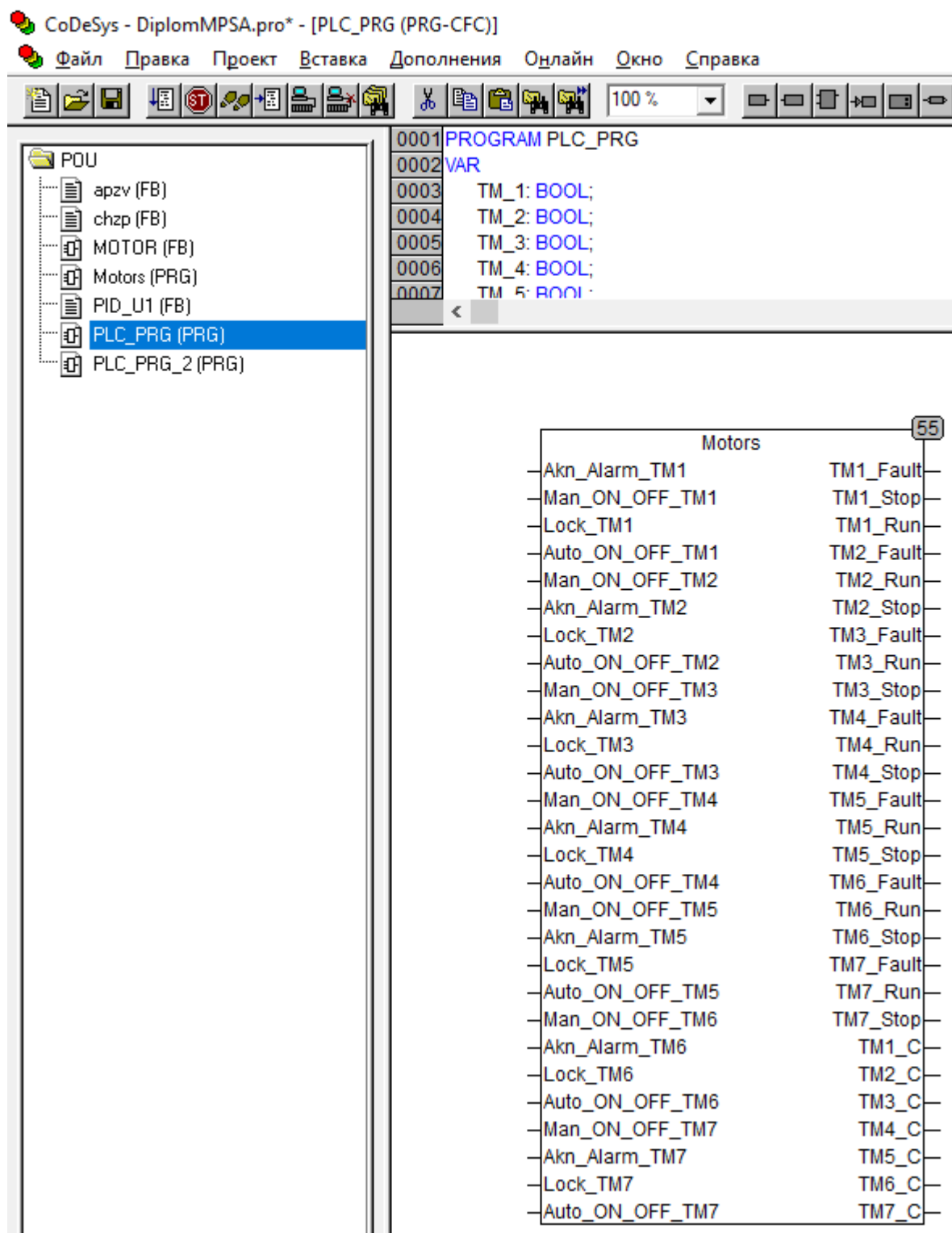


Рис.6.18. Фрагмент програми PLC_PRG з викликом модуля Motors

Внутрішня структура програмного модуля Motors наведена на рис.6.19.

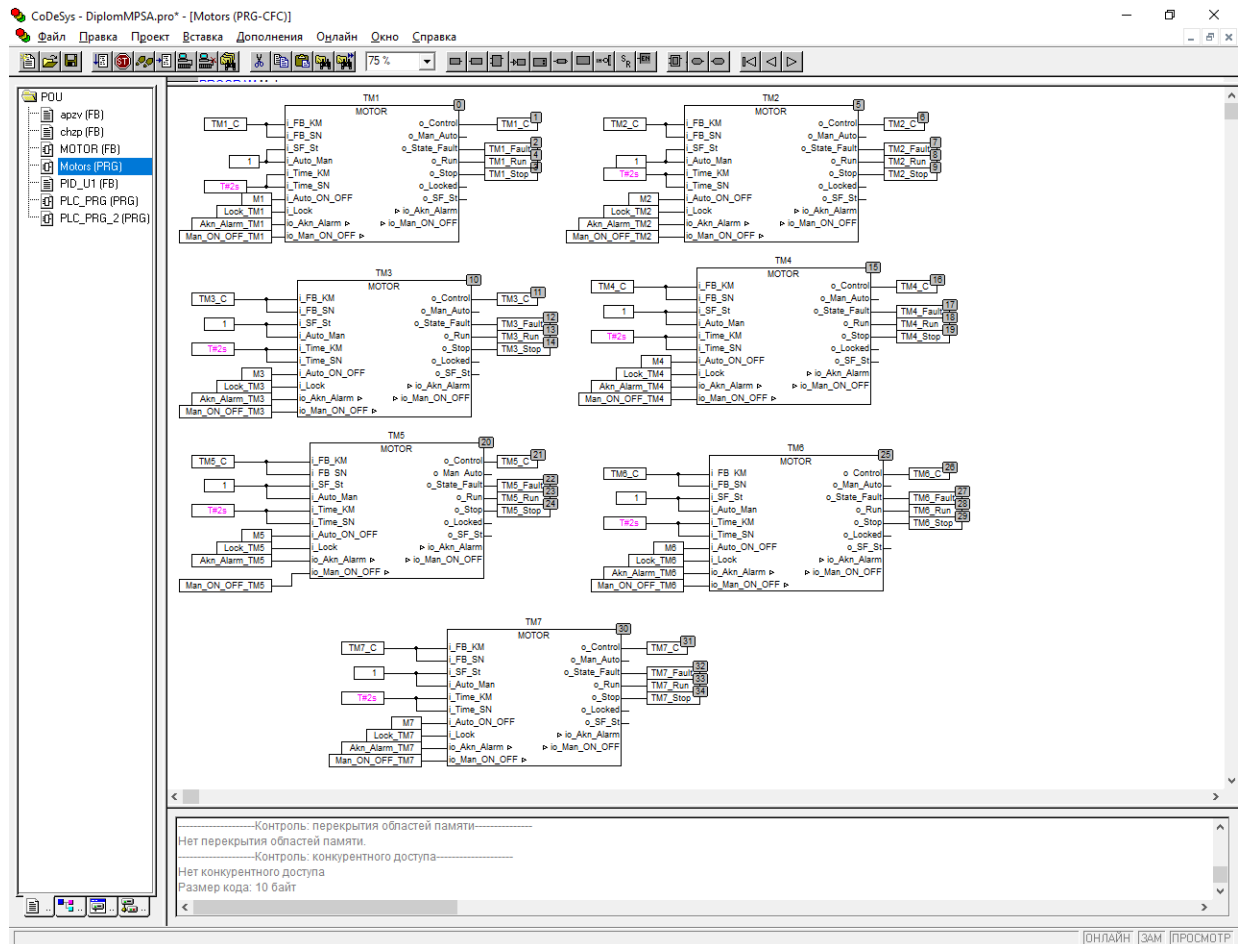


Рис.6.19. Внутрішня структура програмного модуля Motors

Декілька входів та виходів функціональних блоків керування двигунами з'єднуються з входами та виходами контролера для керування та аналізу стану двигуна.

Внутрішня структура функціонального блоку керування двигуном наведена на рис.6.20 – 6.22.

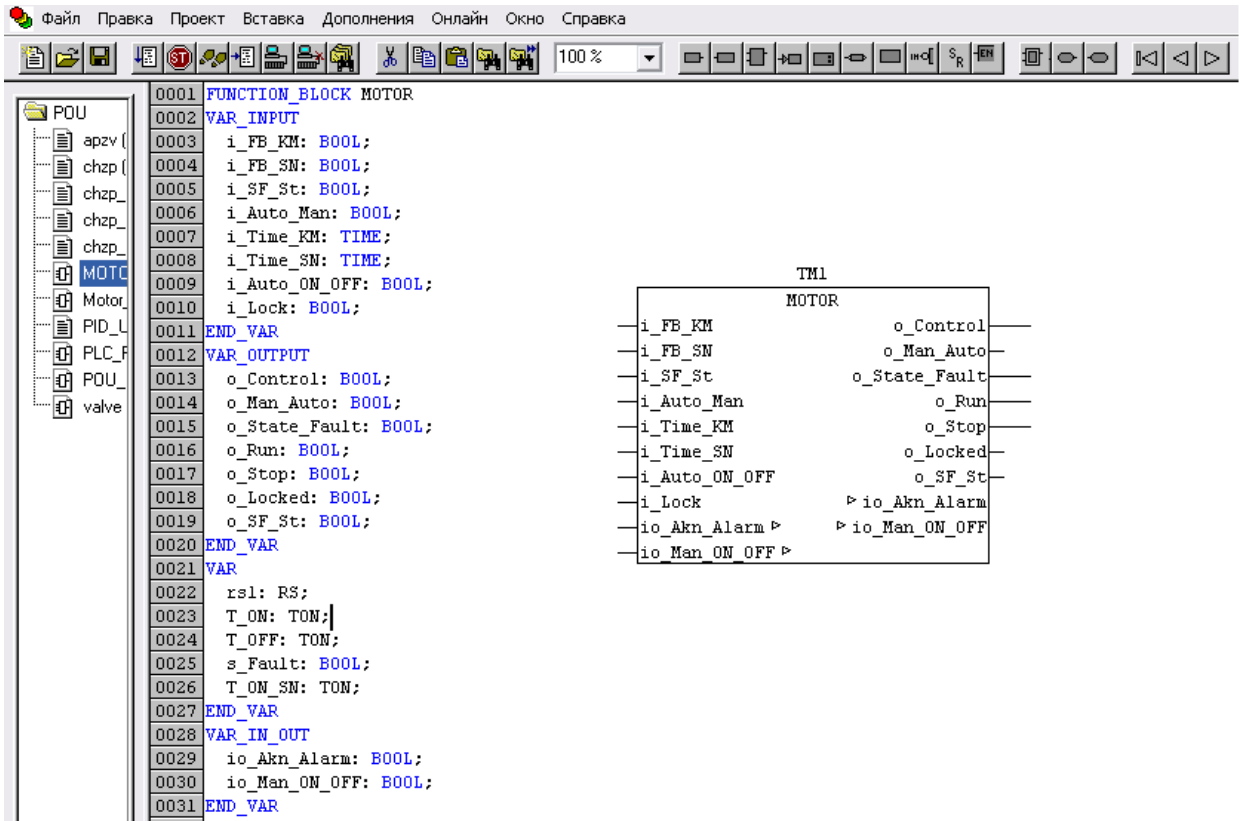


Рис.6.20. Загальний вигляд блоку керування двигуном та список змінних підпрограми що його реалізує

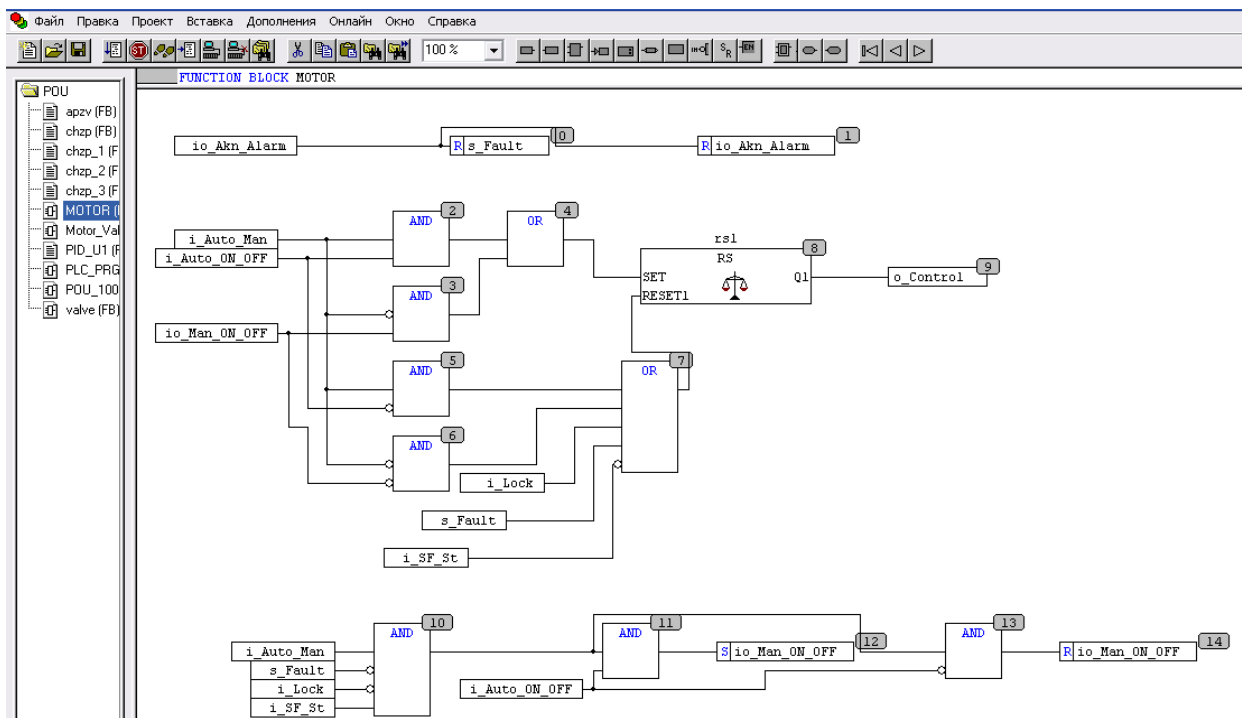


Рис. 6.21. Фрагмент підпрограми, що реалізує блок керування двигуном (початок)

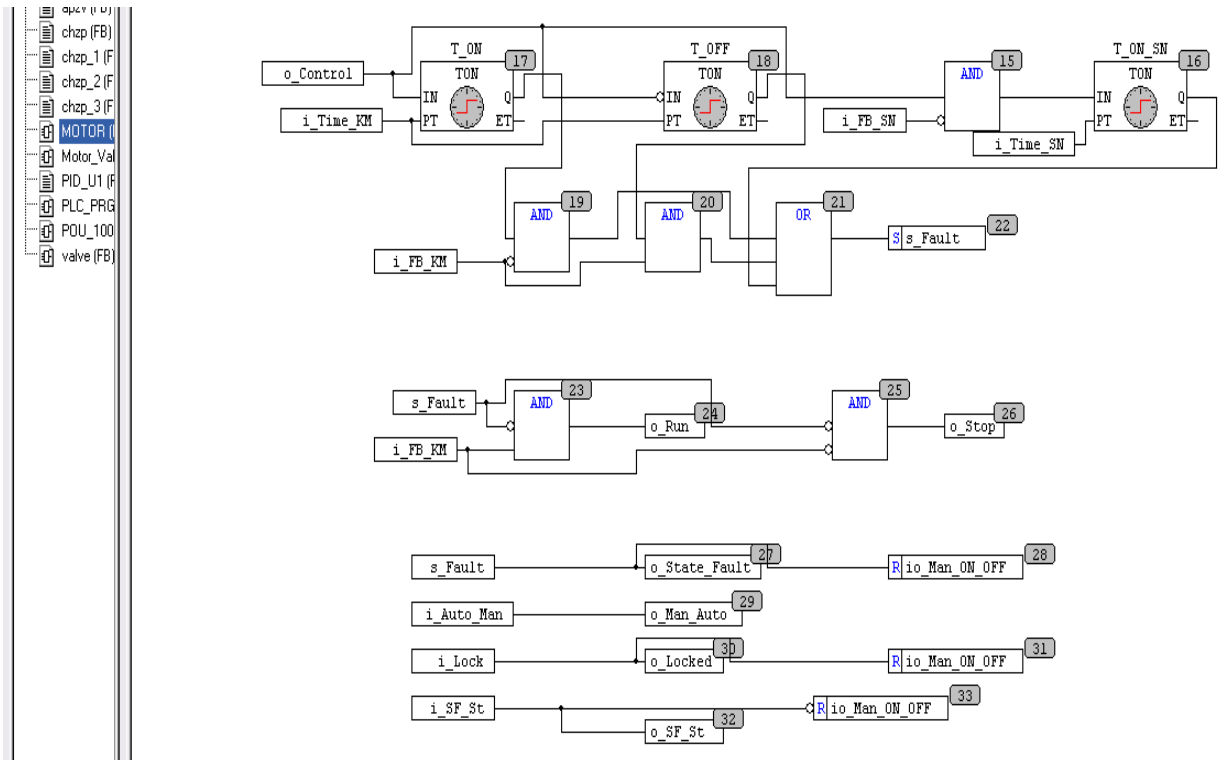


Рис. 6.22. Фрагмент підпрограми, що реалізує блок керування двигуном (кінець)

Результати тестування програми у режимі емуляції контролера, що реалізує керування пуском та зупинкою ділянки визрівання сирів наведені на рис. 6.23 та 6.24.

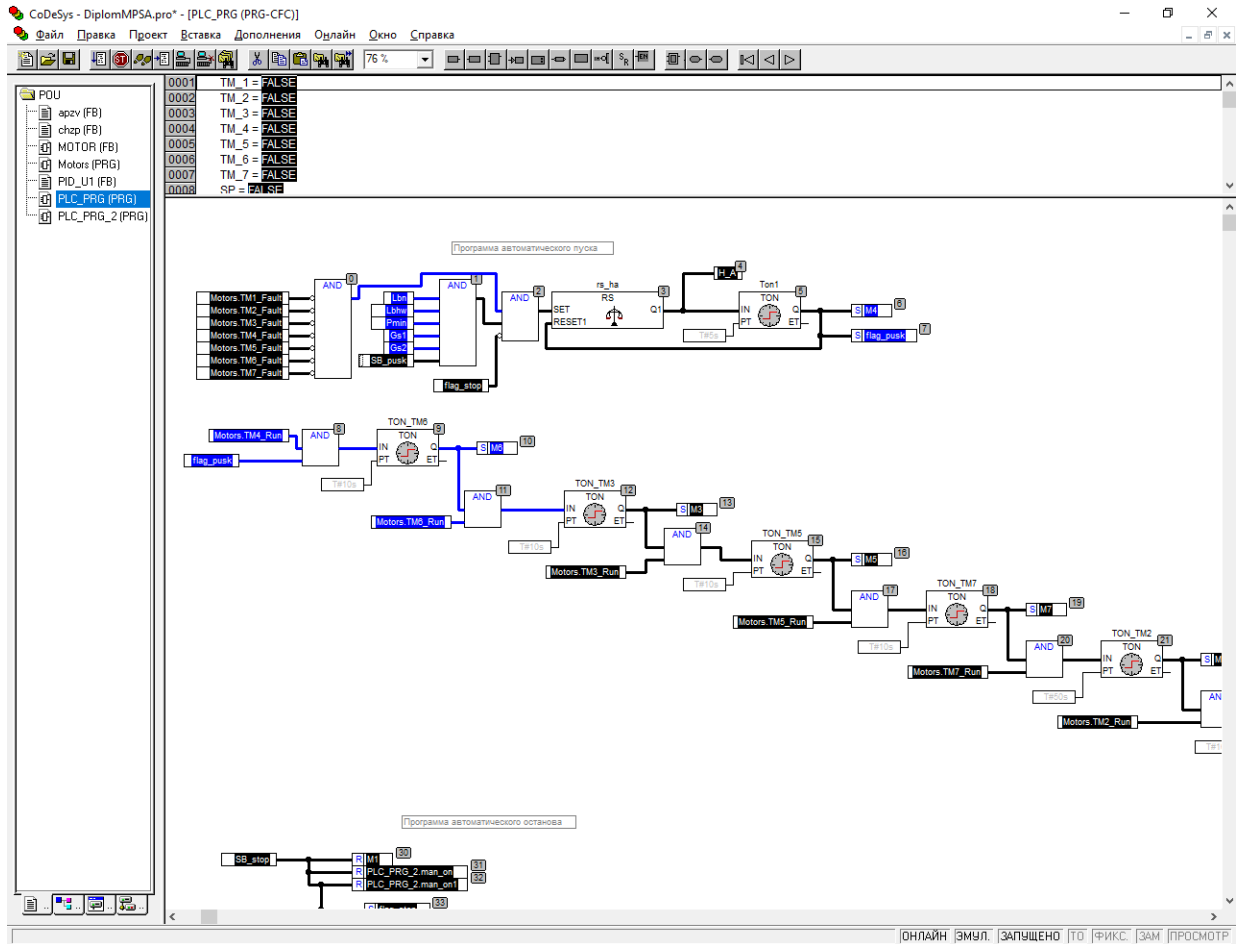


Рис. 6.23. Фрагмент програми, що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки в режимі тестування

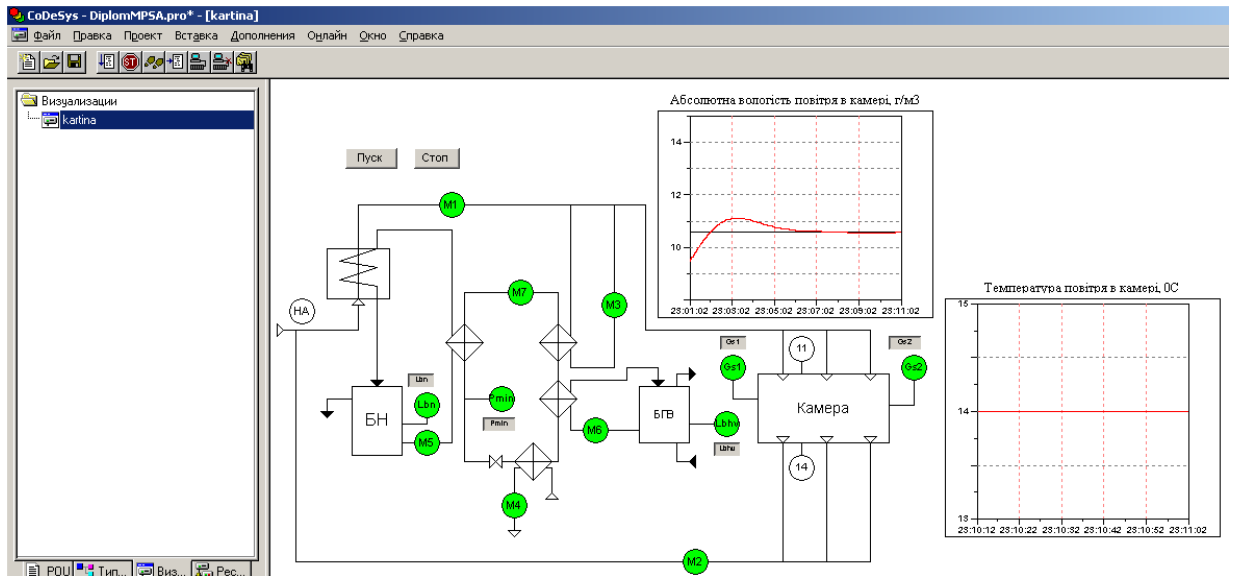


Рис. 6.24. Загальний вид мнемосхеми ділянки визрівання сирів під час роботи

6.6. 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 пакету CoDeSys 2.3, в якому розробляється ПЗ контролера. В наявності контролера 750-881 необхідності не має, тому в якості цільової платформи оберемо 3S CoDeSys SP PLCWinNT V2.4 та відзначимо необхідність завантаження символного файлу (рис. 6.25).

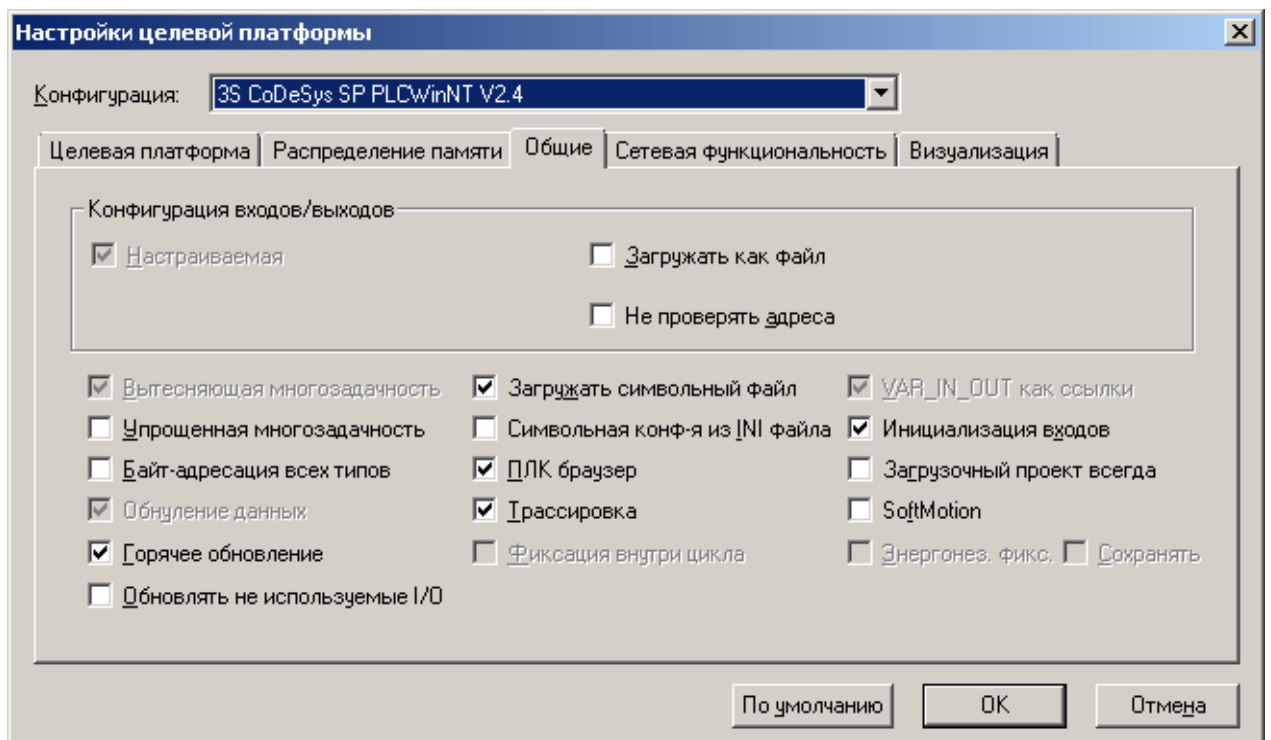


Рис. 6.25. Загальний вигляд вікна вибору цільової платформи

Проводимо конфігурацію OPC-серверу у пакеті CoDeSys 2.3, для обміну даними зі SCADA-системою. Для цього виділяємо складові програми, які потрібно включити в мережевий обмін даними (рис.6.26) та налаштовуємо параметри мережевого зв'язку (рис. 6.27).

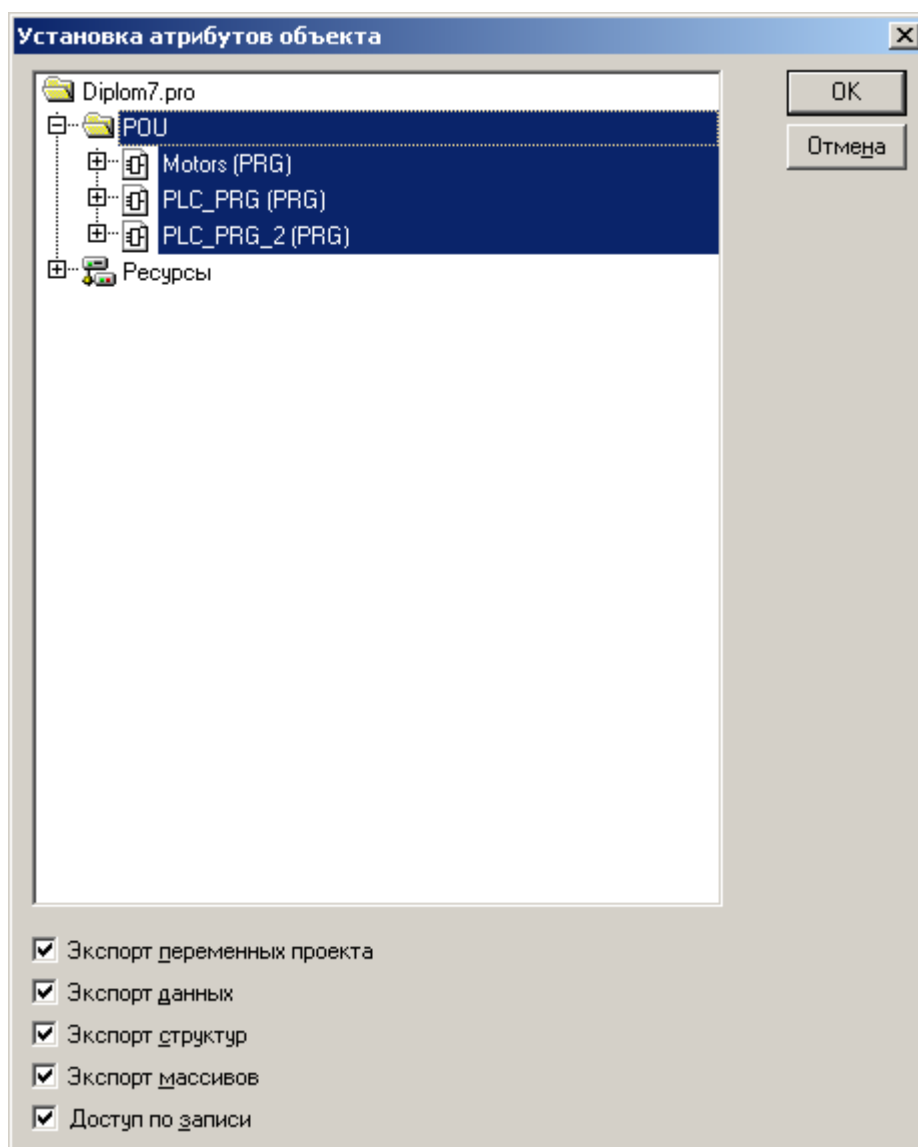


Рис. 6.26. Вікно налаштування символічного файлу для обміну даними з використанням OPC-сервера

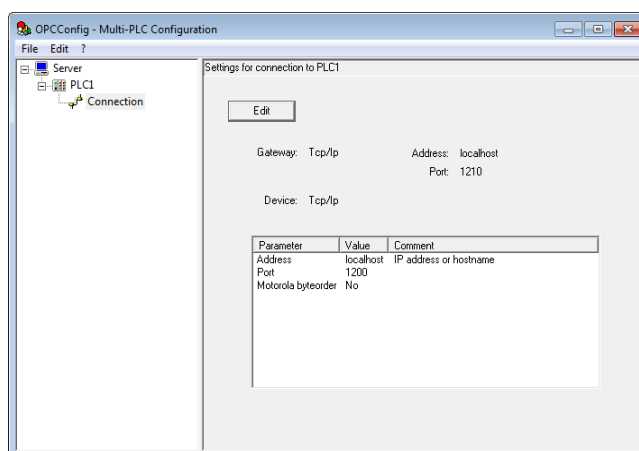


Рис. 6.27. Вікно налаштування параметрів мережевого зв'язку для OPC-сервера

У середовищі SCADA-системи WinCC Flexible проводимо підключення до OPC сервера CoDeSys 2.3 та формуємо нові теги.

На рис. 6.28 та 6.29 представлені вікна налаштування мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys та створення тегів пов'язаних з OPC сервером в SCADA системі WinCC Flexible.

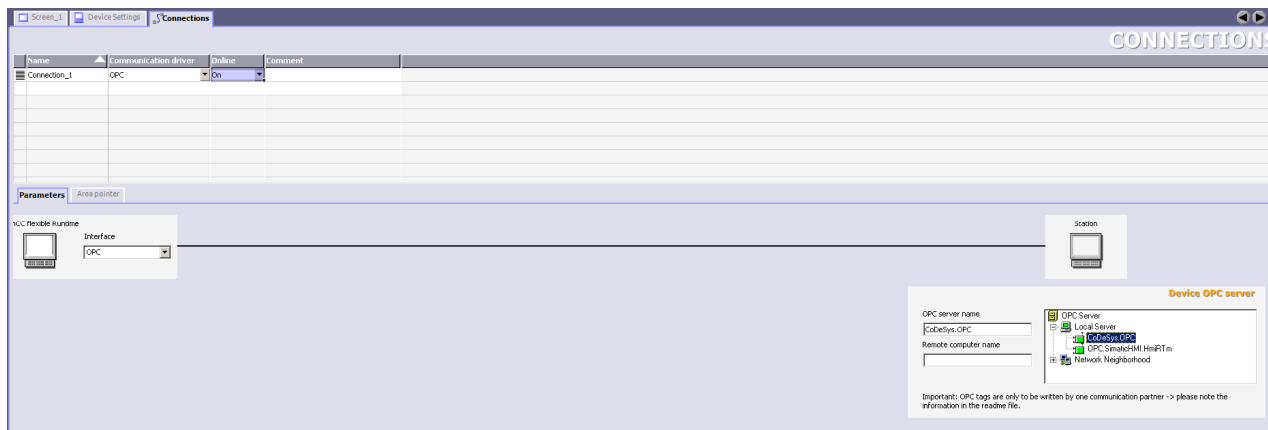


Рис. 6.28. Вікно створення мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys в SCADA системі WinCC Flexible

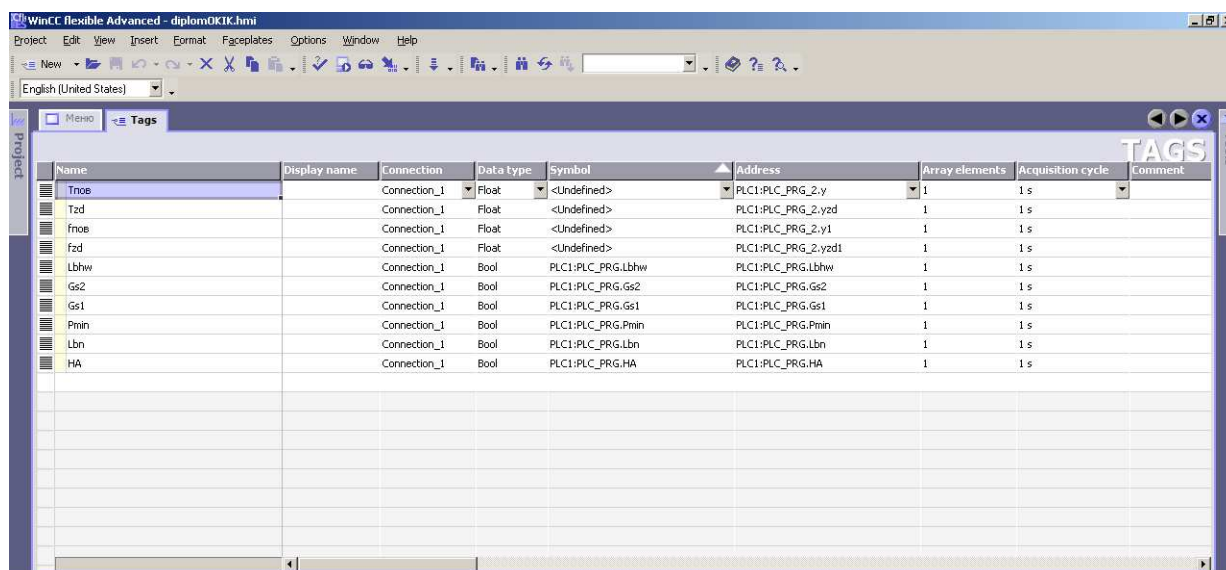


Рис. 6.29. Вікно створення тегів, пов'язаних з OPC сервером CoDeSys в SCADA системі WinCC Flexible

Результати тестування мережевого обміну даними між SCADA системою WinCC Flexible і програмою контролера створеної в пакеті CoDeSys з допомогою OPC сервера CoDeSys наведені на рис. 6.30.

Враховуючи, що перехідні процеси співпадають з наведеними на рис. 6.16, можна сказати, що вони підтвердили обмін даними.

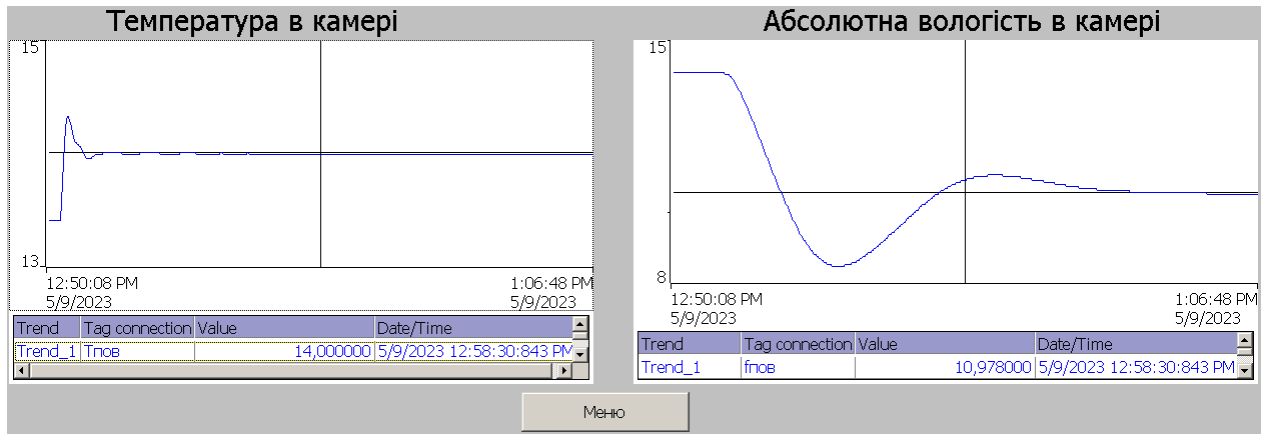


Рис. 6.30. Перехідні характеристики, отримані при тестуванні мережевого обміну даними

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

ПЛК й допоміжне устаткування доцільно розташувати в одному приміщенні компактно, тому виберемо централізовану схему розміщення модулів системи керування.

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

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

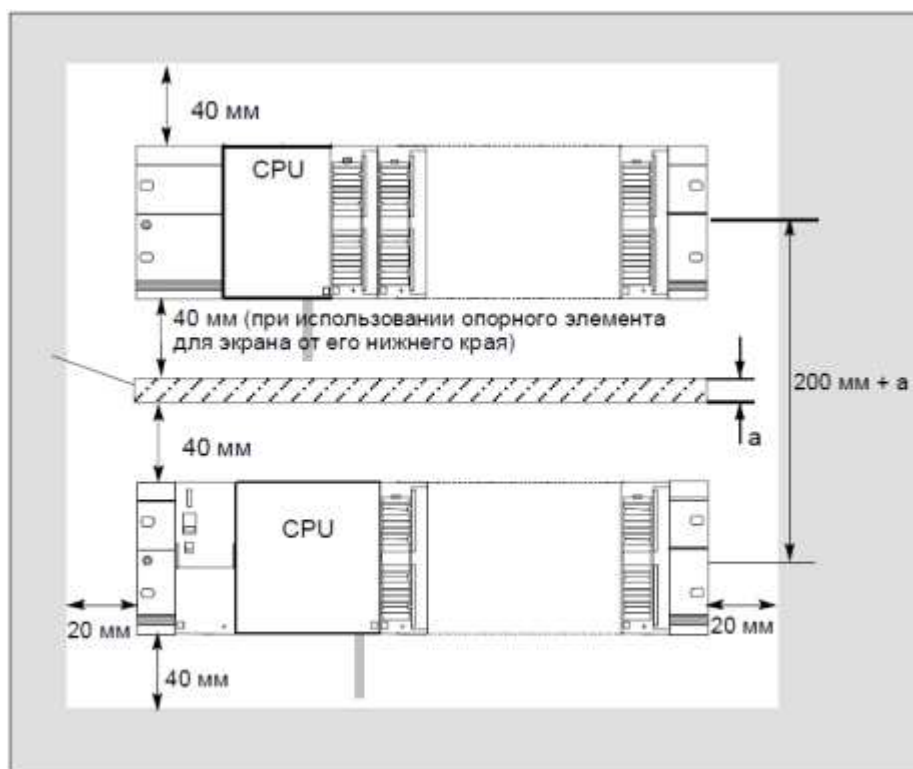


Рис. 6.31. Зазори при встановленні S7-300 у шафі

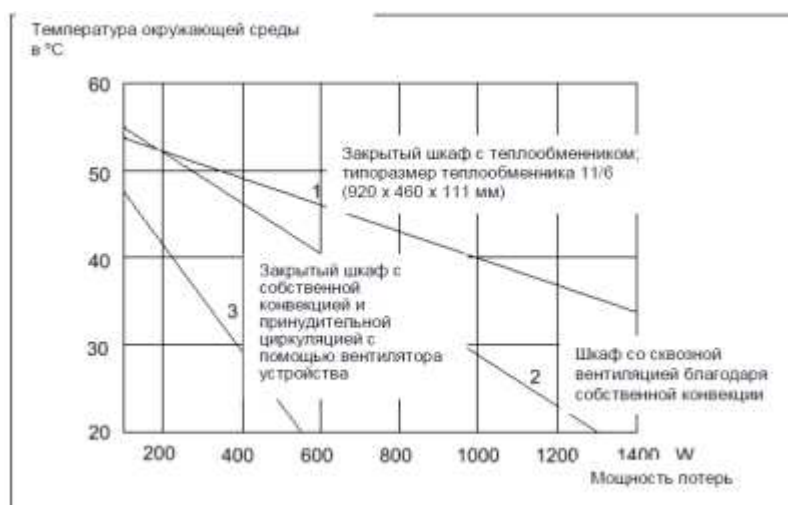


Рис. 6.32. Діаграма припустимих потужностей розсіювання

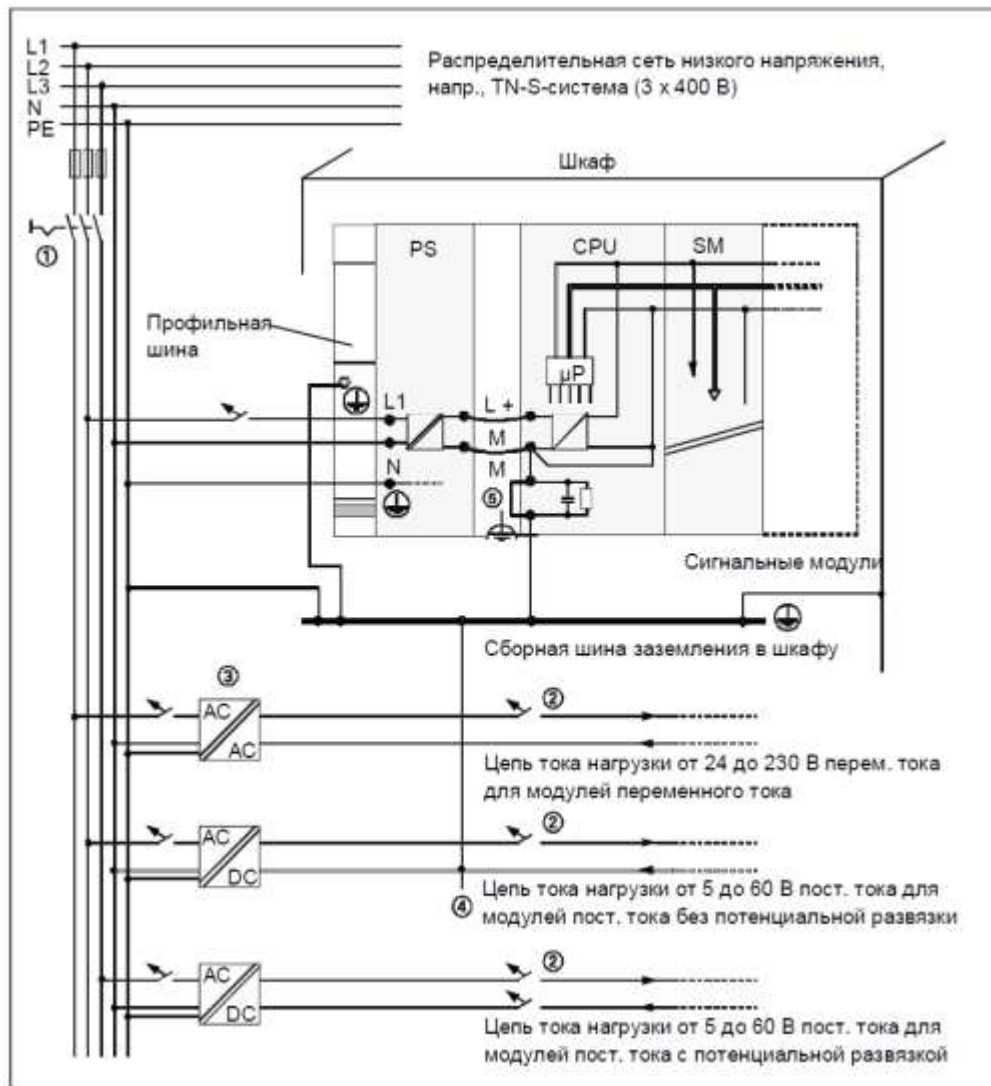


Рис. 6.33. Схема заземления в шкафу

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 розробимо на базі контролера Simatic S7-300. Для реалізації системи керування в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені: 3 аналогових входи, 2 аналогових виходи, 16 дискретних входів і 8 дискретних виходів. Виходячи з сформованої таблиці та середньої складності алгоритмів керування, для реалізації системи керування скористаємося контролером CPU 313C-2DP з модулями ПЗО SM 331 - AI8, SM 332 - AO4.



Рис. 6.34. Центральний процесор CPU 313C-2DP

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

- Мікропроцесор; 100-200 нс на виконання бінарної інструкції. Робоча пам'ять об'ємом 64 Кбайт, RAM (приблизно 20К інструкцій); для виконання завантаженої секції програми та зберігання оперативних даних.
- Мікрокарта пам'яті (до 8 Мбайт), яка у ролі завантажувальної пам'яті, а також збереження архіву проекту (з коментарями і таблицею символів), архівування даних і керування рецептами.
- Гнучкі можливості розширення; підключення до 31 модуля S7-300 (4-рядна конфігурація).
- Інтерфейс MPI; дозволяє встановлювати одночасно до 8 з'єднань з програмованими контролерами S7-300/400, програматорами, комп'ютерами та панелями операторів.

- Набір вбудованих входів і виходів; 16 дискретних входів = 24В і 16 дискретних виходів = 24В/0.5А.

Табл. 6.2 Технічні дані входів/виходів CPU

Центральные процессоры S7-300C	CPU 312C	CPU 313C-2 PtP	CPU 313C-2 DP
<i>Встроенные дискретные входы</i>			
Количество входных каналов:	10	16	16
• общее	8	12	12
• используемое технологическими функциями			
Адреса входов, устанавливаемые по умолчанию	DI124.0 ... DI125.1	DI124.0 ... DI125.7	DI124.0 ... DI125.7
Количество входных сигналов, одновременно фиксируемых триггерами:			
• горизонтальная установка:			
- при температуре до 40°C	10	16	16
- при температуре до 60°C	5	8	8
• вертикальная установка:			
- при температуре до 40°C	5	8	8
Гальваническое разделение:			
• между каналами и внутренней шиной контроллера	Есть	Есть	Есть
• между каналами	Нет	Нет	Нет
Допустимая разность потенциалов между различными цепями	-75В/-60В	-75В/-60В	-75В/-60В
Испытательное напряжение изоляции	-500В	-500В	-500В
Ток, потребляемый из цепи L+ при холостом ходе	Нет	70мА	70мА
Индикация состояний входных сигналов		1 зеленый светодиод на каждый канал	
Поддержка прерываний		• для каналов, сконфигурированных для работы в режиме	
Диагностические функции		• при использовании технологических функций (см. описа	
		• не используются для стандартных дискретных входов	
		• для технологических функций (см. описание технологи	
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:			

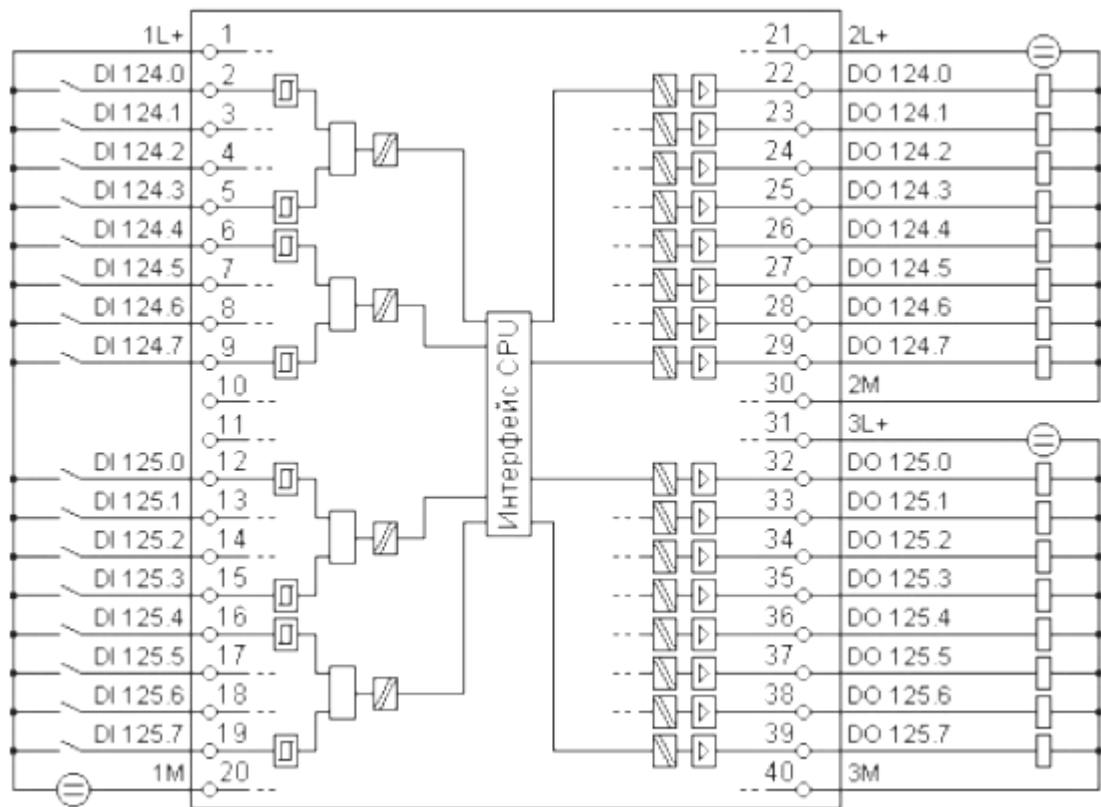


Рис. 6.35. Схеми зовнішніх підключень CPU 313C-2DP

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

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

Схемы защиты для катушек, обтекаемых постоянным током

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



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

- ① с диодом
- ② со стабилитроном

Схема с диодом/стабилитроном обладает следующими свойствами:

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

Схемы защиты для катушек, обтекаемых переменным током

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



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

- ① с варистором
- ② с RC-цепочкой

Схема с варистором обладает следующими свойствами:

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

Схема с RC-цепочкой обладает следующими свойствами:

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

Рис. 6.36. Рекомендації Siemens при підключенні дискретних виходів

Для вводу аналогових сигналів було обрано модуль вводу SM 331; AI 8 x 12 Bit (6ES7331-7KF02-0AB0). Аналоговий модуль вводу SM 331; AI 8 x 12 Bit має наступні властивості:

- 8 входів в 4 групах каналів
- роздільна здатність вимірюваної величини; встановлюється на групу (в залежності від встановленого часу інтегрування)
- 9 бітів + знак; - 12 бітів + знак; - 14 бітів + знак;

- можливість вибору виду вимірювання на групу каналів: напруга, струм, опір, температура
- довільний вибір діапазону вимірювань на групу каналів
- параметризуєме діагностування, два канали з контролем меж
- гальванічна розв'язка щодо інтерфейсу з задньої шиною

На рис. 6.37 показані деякі приклади підключення для різних видів вимірювань.

Схема подключения и принципиальная схема SM 331; AI 8 x 12 Bit

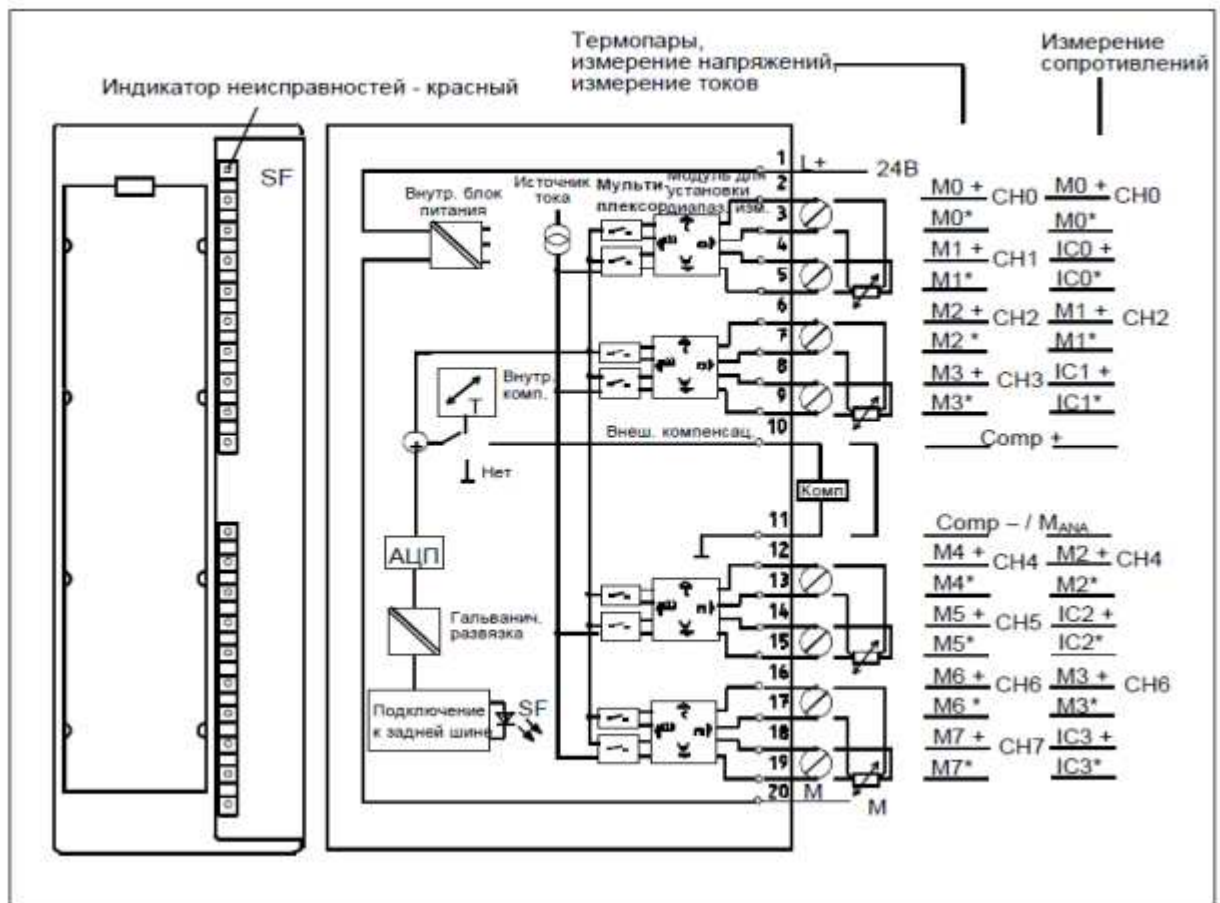


Рис. 6.37. Схема підключення і принципова схема SM 331; AI 8

У таблицях нижче представлені технічні дані модуля та огляд параметрів, що налаштовуються.

Технические данные SM 331; AI 8 x 12 Bit

Размеры и вес		Формирование аналоговых значений			
Размеры Ш x В x Г (в миллиметрах)	40 x 125 x 117	Принцип измерения	интегрирующий		
Вес	ок. 250 г	Время интегрирования/ преобразования/ разрешение (на канал)			
Особые данные модуля		• параметризуемое	Да		
Поддержка режима тактовой синхронизации	Нет	• время интегрирования в миллисекундах	2,5	$16^{2/3}$	20
Количество входов	8	• основное время преобразования включая время интегрирования в миллисекундах	3	17	22
• для датчиков сопротивления	4	дополнительное время преобразования при измерении сопротивления, в мс или	1	1	1
Длина кабеля	макс. 200 м	дополнительное время преобразования для контроля обрыва провода, в мс или	10	10	10
• экранированного	макс. 50 м при 80 мВ и для термопар	дополнительное время преобразования при измерении сопротивления и контроле обрыва провода, в мс	16	16	16
Напряжения, токи, потенциалы		• разрешающая способность в битах (вкл. область перегрузки)	9	12	12s
Номинальное напряжение питания электроники L +	= 24 В	• подавление помех для частоты f1 в Гц	400	60	50
• защита от обратной полярности	Да	• основное время реакции модуля, в мс (все каналы разблокированы)	24	136	176
Блок питания измерительных преобразователей		Сглаживание измеренных значений	Нет		
• ток питания	макс. 60 мА (на канал)				
• устойчивость к короткому замыканию	Да				
Ток постоянной величины для датчиков сопротивления	тип. 1_67 мА				
Гальваническая развязка					
• между каналами и задней шиной	Да				
• между каналами и блоком питания электроники	Да				
- не для 2- проводного преобразователя					
Допустимая разность потенциалов					
• между входами и M _{ANAL} (U _{CM})	2,5 В пост. тока				
- при сигнале = 0 В					
• между входами (U _{CM})	2,5 В пост. тока				
• между M _{ANAL} и M _{INTERNAL} (U _{ISO})	= 75 В / ~ 60 В				
Изоляция проверена при	= 500 В				
Потребление тока					
• из задней шины	макс. 50 мА				
• из источника питания нагрузки L +	макс. 30 мА (без 2- проводного преобразователя)				
Мощность потерь модуля	тип. 1 Вт				

Подавление помех, границы ошибок	
Подавление помех для $F = n$ ($f_1 \pm 1\%$), (f_1 = частота помех)	
• синфазная помеха ($U_{см} < 2,5$ В)	> 70 дБ
• противофазная помеха (пиковое значение помехи < номинального значения входного диапазона)	> 40 дБ
Перекрестная помеха между входами	> 50 дБ
Граница эксплуатационной ошибки (во всем температурном диапазоне, относительно входного диапазона)	
• потенциальный вход	80 мВ $\pm 1\%$ от 250 до 1000 мВ $\pm 0,6\%$ от 2,5 до 10 В $\pm 0,8\%$
• токовый вход	от 3,2 до 20 мА $\pm 0,7\%$
• сопротивления	150 Ом; 300 Ом; 600 Ом $\pm 0,7\%$
• термопара	Тип E, N, J, K, L $\pm 1,1\%$
• термометр сопротивления	Pt 100/Ni 100 $\pm 0,7\%$ Pt 100 climate $\pm 0,8\%$
Основная ошибка (предельная эксплуатационная ошибка при 25 °C относительно входного диапазона)	
• потенциальный вход	80 мВ $\pm 0,7\%$ от 250 до 1000 мВ $\pm 0,4\%$ 2 от 2,5 до 10 В $\pm 0,6\%$
• токовый вход	от 3,2 до 20 мА $\pm 0,5\%$
• сопротивления	150 Ом; 300 Ом; 600 Ом $\pm 0,5\%$
• термопара	Тип E, N, J, K, L $\pm 0,7\%$
• термометр сопротивления	Pt 100/Ni 100 $\pm 0,5\%$ Pt 100 climate $\pm 0,6\%$
Температурная ошибка (относительно входного диапазона)	$\pm 0,005\%/K$
Ошибка линеаризации (относительно входного диапазона)	$\pm 0,05\%$

Повторяемость (в установленном режиме 25 °C относительно входного диапазона)	$\pm 0,05\%$
Температурная ошибка внутренней компенсации	$\pm 1\%$
Состояние, прерывания, диагностика	
Прерывания	
• аппаратное прерывание при нарушении граничного значения	Параметризуемое каналы 0 и 2
• диагностическое прерывание	параметризуемое
Диагностические функции	
• индикатор групповой ошибки	параметризуемые красный светодиод (SF) возможно
• считывание диагностической информации	
Данные для выбора датчика	
Входной диапазон (номинальные значения)/ входное сопротивление	
• напряжение	± 80 мВ /10 МОм ± 250 мВ /10 МОм ± 500 мВ /10 МОм ± 1000 мВ /10 МОм $\pm 2,5$ В /100 кОм ± 5 В /100 кОм от 1 до 5 В; /100 кОм ± 10 В /100 кОм
• ток	$\pm 3,2$ мА /25 Ом ± 10 мА /25 Ом ± 20 мА /25 Ом от 0 до 20 мА; /25 Ом от 4 до 20 мА; /25 Ом
• сопротивления	150 Ом /10 МОм 300 Ом /10 МОм 600 Ом /10 МОм
• термопары	Тип E, N, J, K, L /10 МОм
• термометры сопротивления	Pt 100, Ni 100 /10 МОм
Максимальное входное напряжение для потенциального входа (разрушающий предел)	макс. 20 В длительно; 75 В в течение макс. 1 с (коэффициент заполнения 1:20)
Максимальный входной ток для токового входа (разрушающий предел)	40 мА

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

Аналоговий модуль виведення SM332; АО4x12 Bit має наступні властивості:

- 4 вихідних канали
- окремі вихідні канали можуть бути параметризовані як: потенційні виходи та струмові виходи.
- Роздільна здатність 12 Bit
- параметризуєма діагностика
- параметризуєма діагностичне переривання
- гальванічна розв'язка щодо інтерфейсу з задньою шиною і напруги на навантаженні.

Схема подключения и принципиальная схема SM 332; AO 4 x 12 Bit

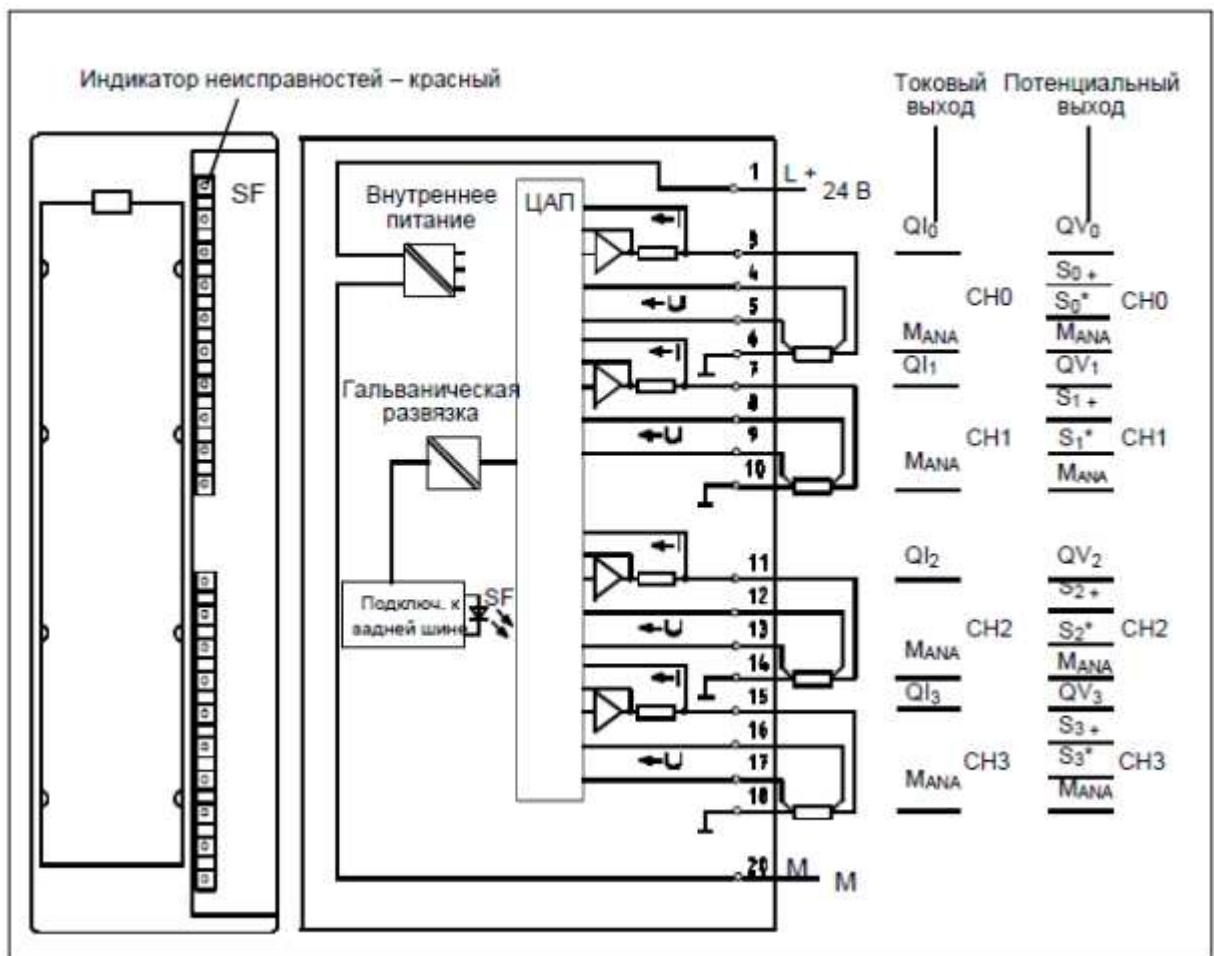


Рис. 6.38. Зовнішній вигляд і принципова схема аналогового модуля виводу SM 332; AO 4 x 12 Bit

Технические данные SM 332; АО 4 x 12 Bit

Размеры и вес		Формирование аналоговых значений		
Размеры Ш x В x Г (в миллиметрах)	40 x 125 x 117	Разрешающая способность, включая знак		
Вес	ок. 220 г	<ul style="list-style-type: none"> ± 10 В; ± 20 мА; от 4 до 20 мА; от 1 до 5 В 	11 битов + знак	
Особые данные модуля		<ul style="list-style-type: none"> от 0 до 10 В; от 0 до 20 мА 	12 битов	
Поддержка режима тактовой синхронизации	Нет	Время преобразования (на канал)	макс. 0,8 мс	
Количество выходов	4	Время установления		
Длина кабеля		<ul style="list-style-type: none"> для омической нагрузки 	0,2 мс	
<ul style="list-style-type: none"> экранированного 	макс. 200 м	<ul style="list-style-type: none"> для емкостной нагрузки 	3,3 мс	
Напряжения, токи, потенциалы		<ul style="list-style-type: none"> для индуктивной нагрузки 	0,5 мс (1 мГн) 3,3 мс (10 мГн)	
Номинальное напряжение на нагрузке L +		Подавление помех, границы ошибок		
<ul style="list-style-type: none"> защита от обратной полярности 	= 24 В Да	Перекрестная помеха между выходами	> 40 дБ	
Гальваническая развязка		Граница эксплуатационной ошибки (во всем диапазоне температур, относительно выходного диапазона)		
<ul style="list-style-type: none"> между каналами и задней шиной 	Да	<ul style="list-style-type: none"> потенциальные выходы 	± 0,5 %	
<ul style="list-style-type: none"> между каналами и блоком питания электроники 	Да	<ul style="list-style-type: none"> токовые выходы 	± 0,6 %	
<ul style="list-style-type: none"> между каналами 	Нет	Основная ошибка (предельная эксплуатационная ошибка при 25° С, относительно выходного диапазона)		
<ul style="list-style-type: none"> между каналами и напряжением на нагрузке L+ 	Да	<ul style="list-style-type: none"> потенциальные выходы 	± 0,4 %	
Допустимая разность потенциалов		<ul style="list-style-type: none"> токовые выходы 	± 0,5 %	
<ul style="list-style-type: none"> между S- и M_{ANA} (U_{CM}) 	= 3 В	Температурная ошибка (относительно выходного диапазона)	± 0,002 %/K	
<ul style="list-style-type: none"> между M_{ANA} и M_{Internal} (U_{ISO}) 	= 75 В / ~ 60 В	Ошибка линеаризации (относительно выходного диапазона)	± 0,05 %	
Изоляция проверена при		Повторяемость (в установившемся режиме 25° С, относительно выходного диапазона)	± 0,05 %	
Потребление тока		Пульсации на выходе; диапазон от 0 до 50 кГц (относительно выходного диапазона)	± 0,05 %	
<ul style="list-style-type: none"> из задней шины 	макс. 60 мА	Состояние, прерывания, диагностика		
<ul style="list-style-type: none"> из источника питания нагрузки L+ (без нагрузки) 	макс. 240 мА	Прерывания		
Мощность потерь модуля		<ul style="list-style-type: none"> диагностическое прерывание 		параметризуемое
		<ul style="list-style-type: none"> тип. 3 Вт 		
		<ul style="list-style-type: none"> диагностические функции 		параметризуемые
		<ul style="list-style-type: none"> индикатор групповой ошибки 		красный светодиод (SF)
		<ul style="list-style-type: none"> считывание диагностической информации 		возможно
		Возможность применения заменяющего значения		Да, параметризуемая

Данные для выбора исполнительного устройства		Токовый выход	
Выходные диапазоны (номинальные значения)		• напряжение холостого хода	макс. 18 В
• напряжение	± 10 В от 0 до 10 В от 1 до 5 В	Граница разрушения для прикладываемых извне напряжений/токов	
• ток	± 20 мА от 0 до 20 мА от 4 до 20 мА	• напряжение на выходах относительно $M_{\text{вых}}$	макс. 18 В длительно; 75 В в течение макс. 1 с (коэффициент заполнения 1:20)
Полное сопротивление (в номинальном выходном диапазоне)		• ток	макс. 50 мА пост. тока
• для потенциальных выходов	мин. 1 кОм	Подключение исполнительных устройств	
- емкостная нагрузка	макс. 1 мкФ	• для потенциального выхода	возможно
• для токовых выходов	макс. 500 Ом	- 4-проводное подключение (измерительная цепь)	
- при $U_{\text{см}} < 1\text{В}$	макс. 600 Ом	• для токового выхода	
- индуктивная нагрузка	макс. 10 мГн	- 2-проводное подключение	возможно
Потенциальный выход			
• защита от короткого замыкания	Да		
• ток короткого замыкания	макс. 25 мА		

Аналоговий модуль виведення SM332; AO4x12 Bit виконує контроль обриву проводу тільки для струмових виходів. Аналоговий модуль виведення SM332; AO4x12 Bit виконує перевірку на коротке замикання тільки для потенційних виходів.

6.8. Висновки

У розділі 6 розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра та програмне забезпечення системи автоматичного керування ділянкою визрівання сирів.

Була реалізована система регулювання температури та абсолютної вологості повітря в камері. При виконанні цього розділу були здобуті навички у створенні та удосконаленні блоку ПІД регулятора.

У розділі розробка програм, що реалізує алгоритм логічного керування обладнанням ділянки, був реалізований алгоритм автоматичного пуску та зупинки ділянки визрівання сирів. Тестування 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 6.7 для реалізації системи керування на контролері фірми Siemens було виконано обґрунтований вибір необхідних модулів 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 визрівання сирів повинна передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують виконання його професійних обов'язків. З урахуванням цього АРМ оператора-технолога має передбачати можливість виконання оператором наступних функцій:

- контролювати значення технологічних параметрів процесу визрівання і задавати режими керування;
- контролювати стан обладнання установки (ввімкнена, вимкнена, знаходиться в аварії і т.д.) і значення експлуатаційних параметрів установки;
- керувати запуском і зупинкою установки в ручному та автоматичному режимах керування;
- керувати окремим обладнанням установки в ручному режимі;
- контролювати виникнення порушень в роботі обладнання установки і оперативно реагувати на них.

Виходячи із вищеперерахованого, в проєкті, для реалізації АРМ оператора-технолога передбачені наступні екрани:

1) Схема установки. Основний екран із зображенням схеми установки камери визрівання дозволяє контролювати хід процесу, керувати обладнанням установки, змінювати режими, контролювати виникнення порушень в роботі установки.

2) Графіки. Екран призначений для відображення графіків зміни температури та абсолютної вологості повітря в камері.

3) Діагностичні повідомлення. Буфер діагностичних повідомлень. Архів діагностичних повідомлень. Екрани, призначені для відображення діагностичних повідомлень різних класів.

4) Умовні позначення. Екран допомоги для нових недосвідчених користувачів.

5) Налаштування САР. Екран з налаштуваннями регуляторів САР.

7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога

Екран «Меню» включає заголовок екрану і набір кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. Для перемикання використовують спеціальні системні функції (рис. 7.1).

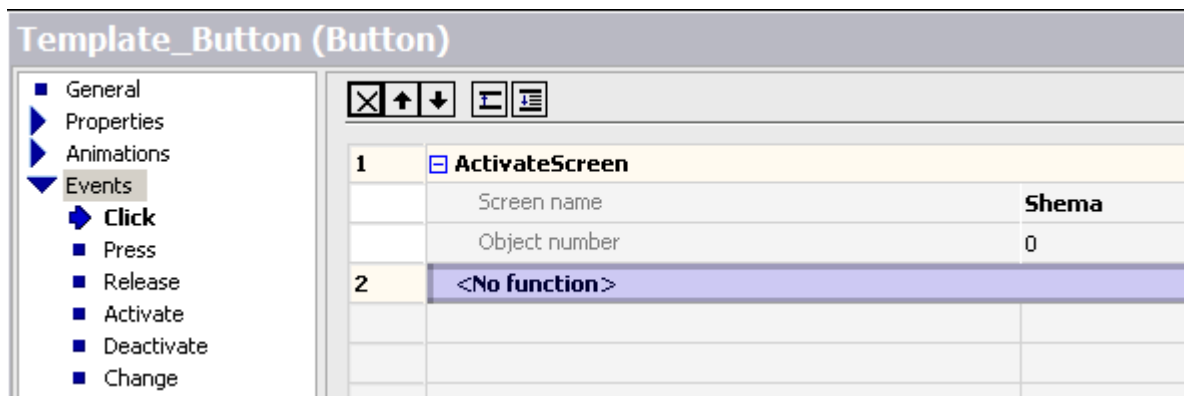


Рис. 7.1. Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

Тема екрану створена з використанням типових елементів графічного редактора системи WinCC Flexible. Вона включає логотип академії, загальну назву технологічного процесу та елементи відображення поточної дати і часу. Загальний вигляд екрану наведений на рис. 7.2.



Рис. 7.2. Загальний вигляд екрану «Меню»

7.2.1. Схема установки

Основне вікно «Схема установки» (рис.7.3) містить схематичне зображення системи визрівання сирів з нанесеними на нього елементами відображення і керування. Зображення системи визрівання створено в графічному редакторі SCADA-системи WinCC Flexible з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і керування дозволяють оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи.

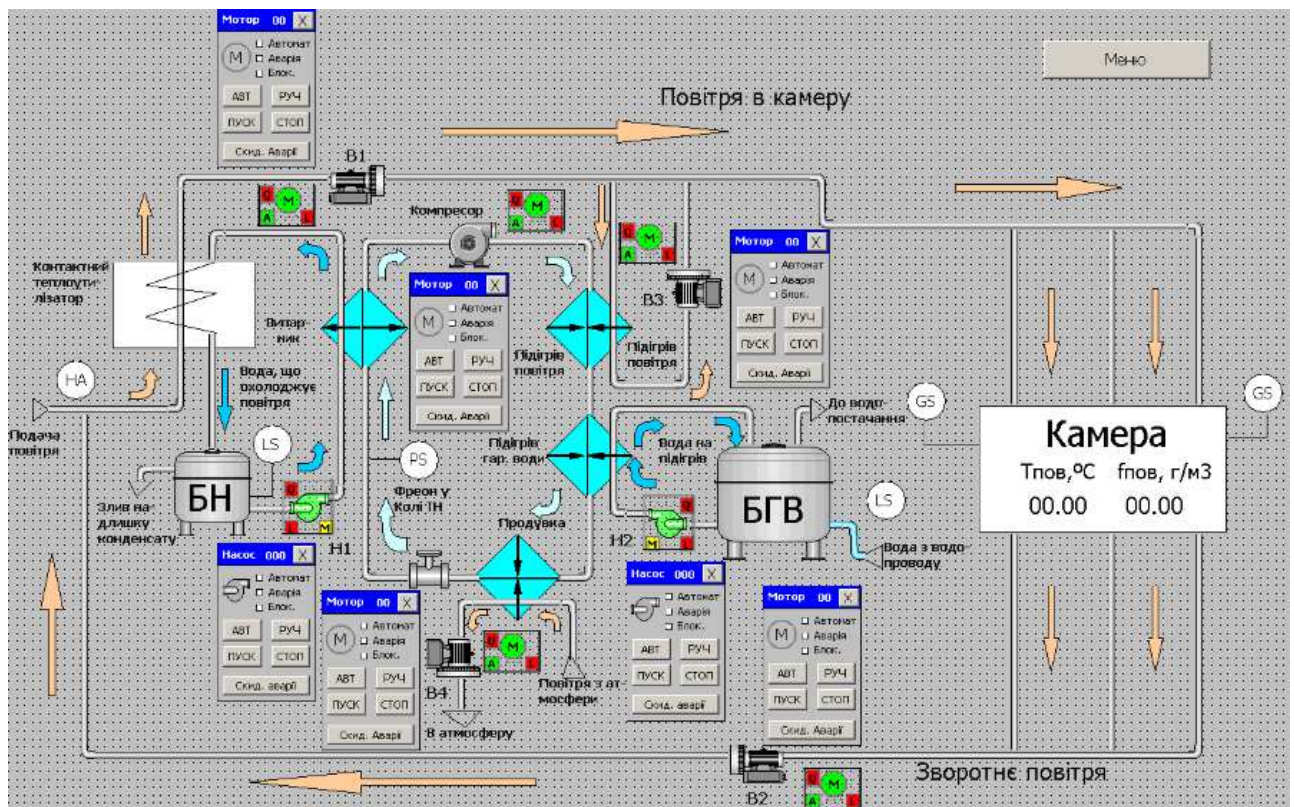


Рис. 7.3. Загальний вигляд екрану «Схема установки»

Відображення поточних значень технологічних параметрів виконується з використанням елементів «IO Field», які пов'язуються з відповідними тегами. Відображення дискретних сигналів з датчиків виконуються за допомогою елементів «Circle» за рахунок зміни їх кольору. Також зміна кольору елементів схеми установки та наявність стрілок вказують напрямок потоку енергоносіїв, індикуються включення двигунів.



Рис. 7.4. Екранна форма для контролю стану двигунів

Екранні форми підключаються до відповідних тегів в контролері і відображають стан і режим роботи обладнання.

Керувати двигунами оператор може з використанням спеціальних екранних форм керування (рис. 7.5).

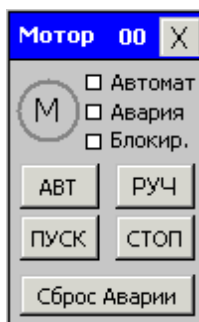


Рис. 7.5. Екранна форма для керування двигунами

Екранні форми керування також прив'язуються до тегів контролера і дозволяють оператору змінювати режим роботи (АВТ/РУЧ) двигуна, керувати їх станом, квітувати помилки при їх виникненні. На рис. 7.6 представлений приклад прив'язки тегів до екранної форми керування двигуном.

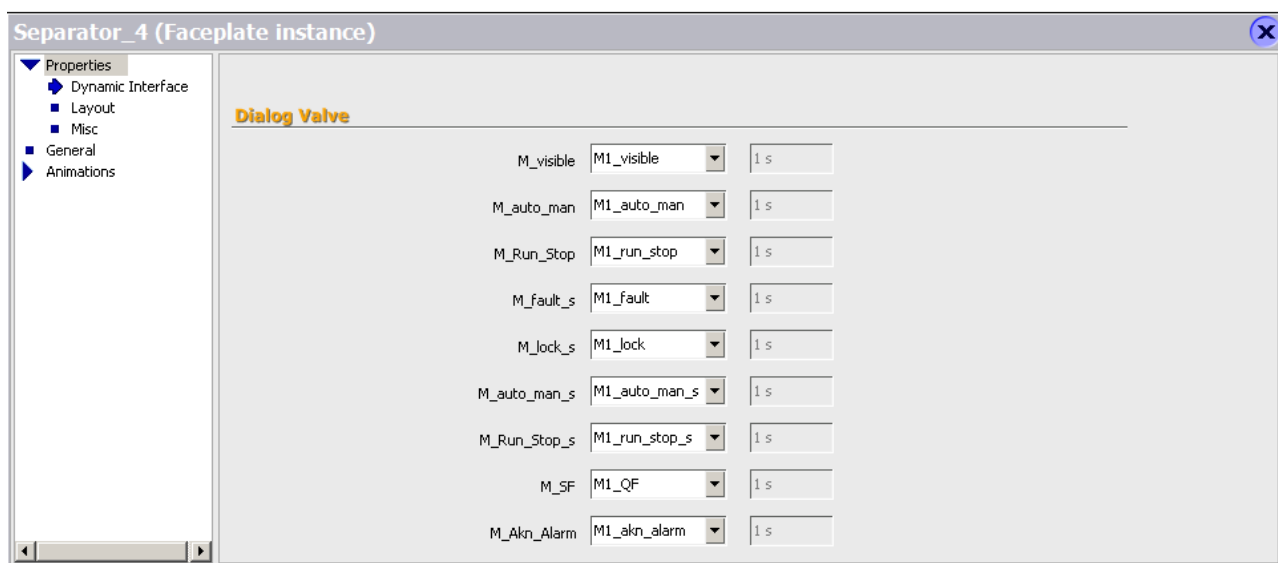


Рис. 7.6. Вікно прив'язки тегів до екранної форми керування двигуном

На рис. 7.7 представлений екран «Схема установки» при працюючій в автоматичному режимі установці без порушень режиму роботи і справному обладнанні. А на рис. 7.8 представлений екран, але з відкритими екранними формами керування двигунами. Екранні форми керування викликаються натисканням лівої кнопки миші на відповідній екранній формі контролю стану двигуна.

Детальну інформацію про екранні форми контролю стану двигунів з розшифруванням їх станів оператор може отримати в екранній формі «Умовні позначення» (рис. 7.9).

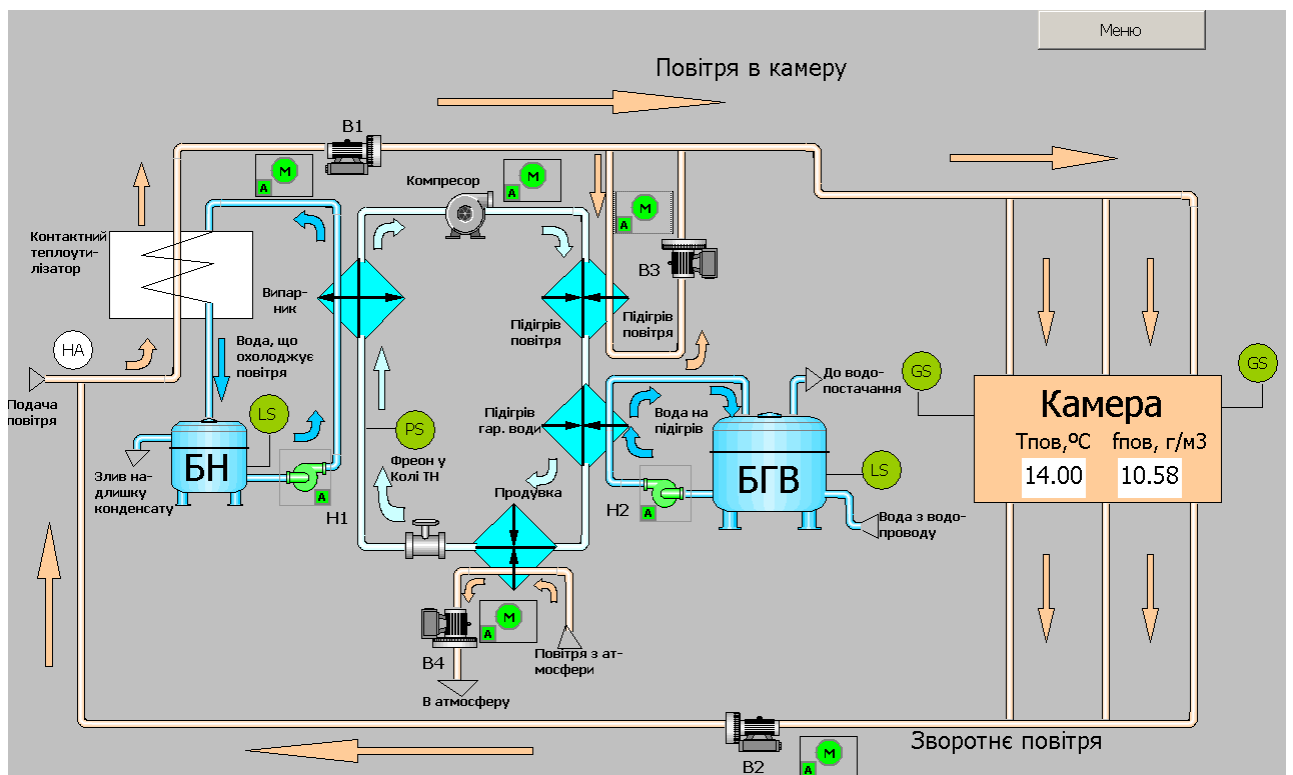


Рис. 7.7. Загальний вигляд екрану «Схема установки» при нормальній роботі

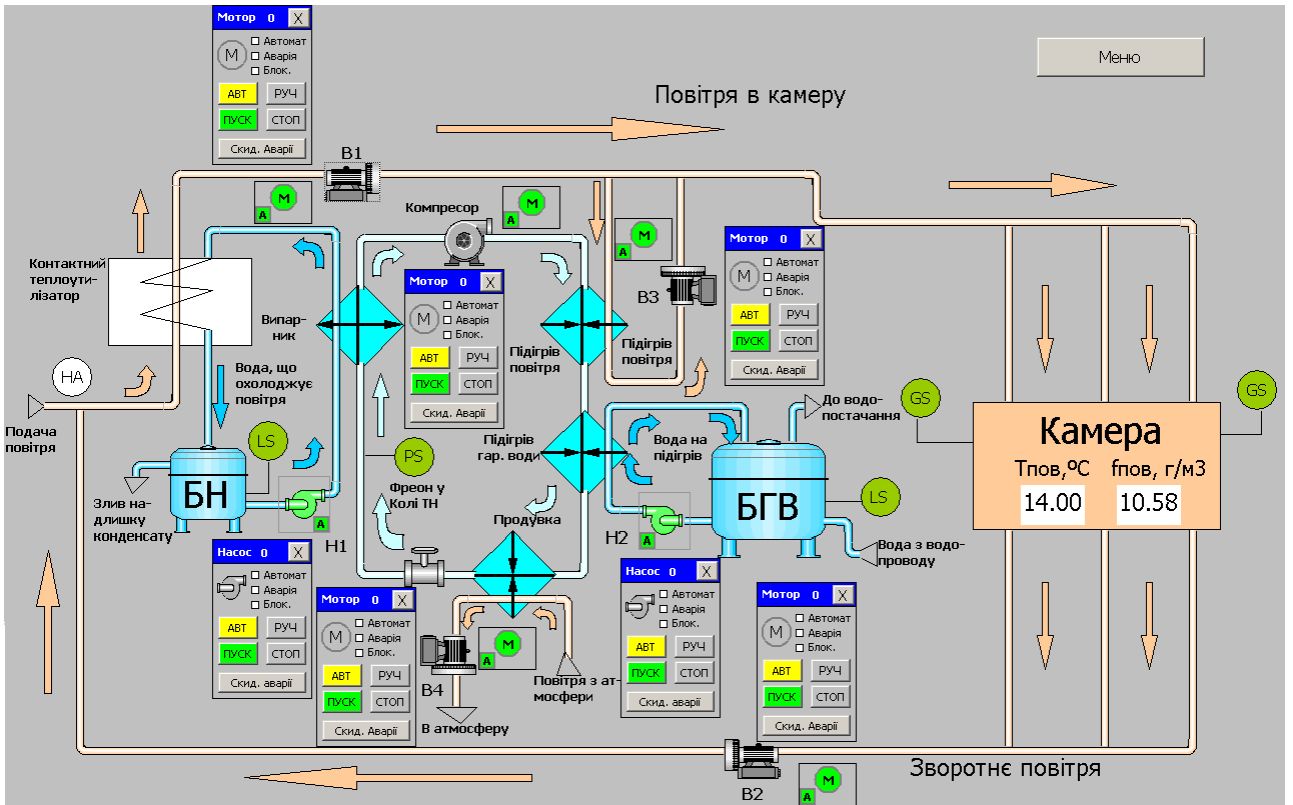


Рис. 7.8. Загальний вигляд екрану «Схема установки» при відкритих екранних формах керування двигунами

7.2.2. Умовні позначення

Екран «Умовні позначення» розроблений як вікно допомоги оператору (рис. 7.9). На цьому екрані розшифровані умовні позначення, кольору і літерні позначення, які використовуються в основному екрані «Схема установки».



Рис. 7.9. Загальний вигляд екрану «Умовні позначення»

Вивчивши умовні позначення, оператор зможе однозначно інтерпретувати поточний стан двигуна на його екранній формі. Вивчення

цього екрану особливо актуально для нових, що тільки приступили до роботи, операторів.

7.2.3. Графіки зміни технологічних параметрів

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів в проєкті передбачено екран побудови графіків зміни температури та абсолютної вологості повітря в камері. Для побудови графіків використовується елемент «Trend View» із стандартної бібліотеки SCADA-системи WinCC Flexible. На рис. 7.10 представлено екран реєстрації температури та абсолютної вологості, а на рис. 7.11 приклад налаштування елемента «Trend View» і його прив'язки до тегів контролера.

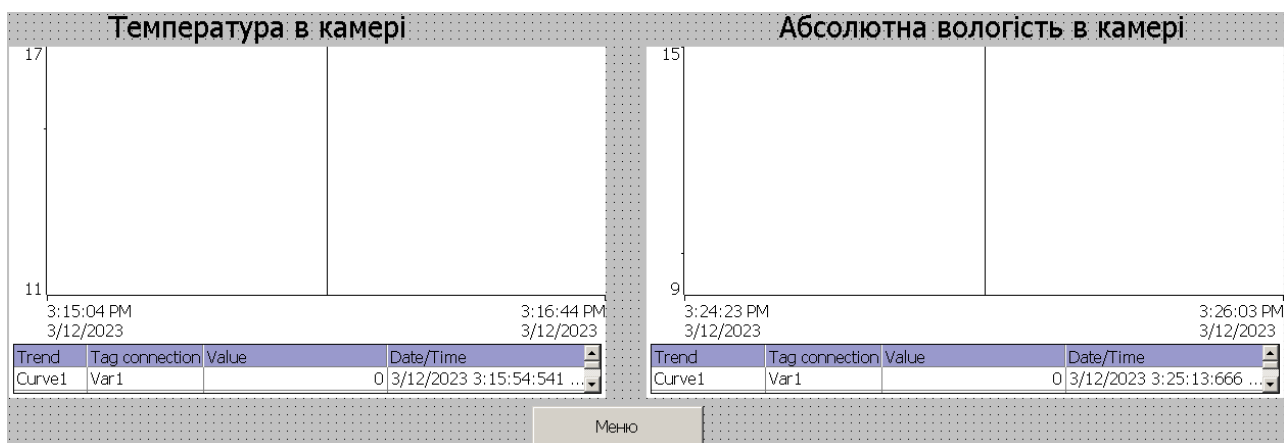


Рис. 7.10. Екран реєстрації температури та абсолютної вологості

d View)									
	Name	Line ty...	Bar wid...	Samples	D...	Trend type	Source settin...	Side	Foreground c...
☰	Trend_1	Solid	50	100	No	Realtime cyclic ... [Tнов]		Left	0, 0, 255
☰	Trend_2	Solid	50	100	No	Realtime cyclic ... [Tzd]		Left	0, 0, 0

Рис. 7.11. Приклад налаштування елемента «Trend View»

На рис. 7.12 представлені графіки параметрів під час пуску.

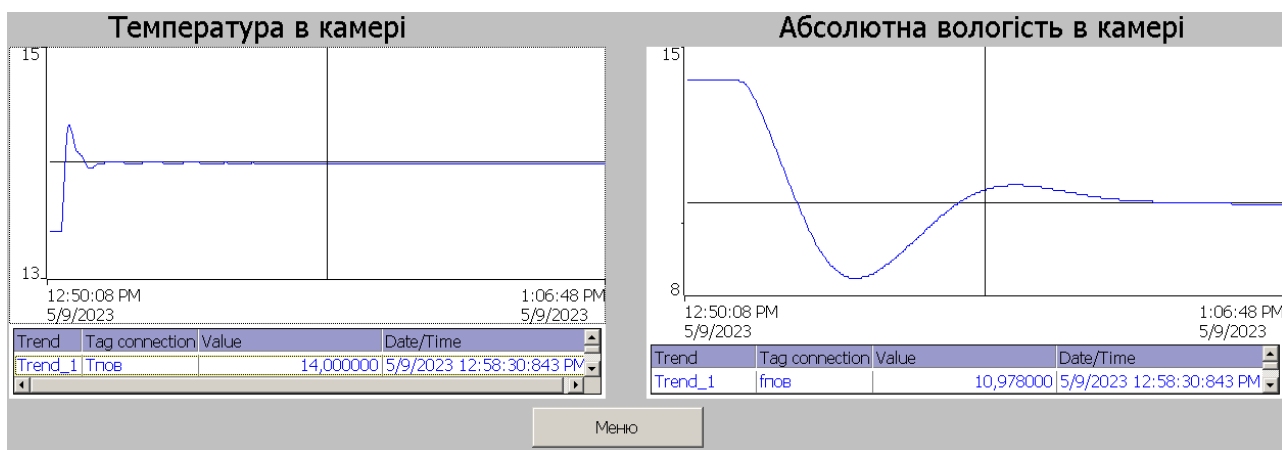


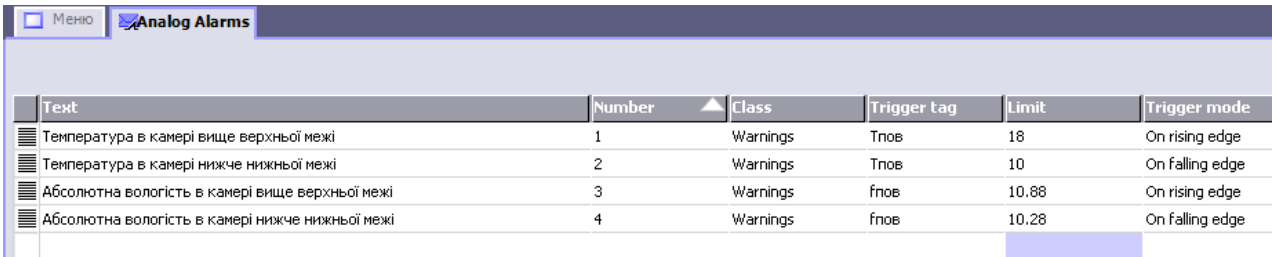
Рис. 7.12. Графік зміни параметрів

7.2.4. Діагностичні повідомлення

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і події, які виникають з обладнанням установки в проекті створена система повідомлень з використанням відповідного редактора SCADA-системи WinCC Flexible. Усі повідомлення розділені на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стани та заносяться в архів. Фрагменти списків дискретних і аналогових повідомлень, класів повідомлень представлені на рис. 7.13 – 7.15.

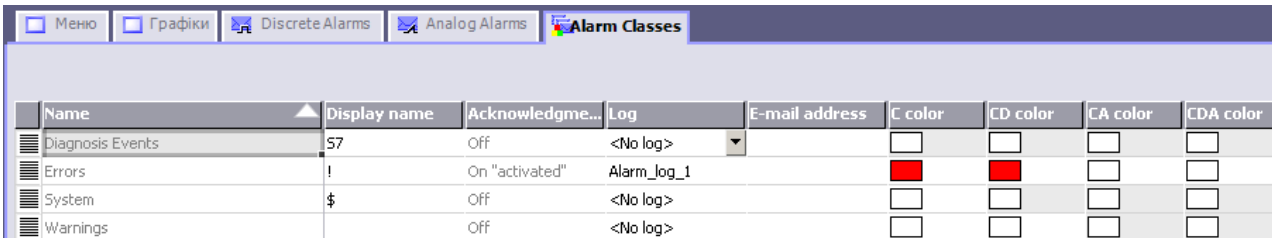
Text	Number	Class	Trigger Tag	Trigger bit	Trigger address
Вентилятор B1 включений	1	Warnings	M1_run	0	0
Вентилятор B1 виключений	2	Warnings	M1_stop	0	0
Керування вентилятором B1 заблоковано	3	Warnings	M1_lock	0	0
Помилка вентилятора B1	4	Errors	M1_fault	0	0
Вентилятор B2 включений	5	Warnings	M2_run	0	0
Вентилятор B2 виключений	6	Warnings	M2_stop	0	0
Керування вентилятором B2 заблоковано	7	Warnings	M2_lock	0	0
Помилка вентилятора B2	8	Errors	M2_fault	0	0
Вентилятор B3 включений	9	Warnings	M3_run	0	0
Вентилятор B3 виключений	10	Warnings	M3_stop	0	0
Керування вентилятором B3 заблоковано	11	Warnings	M3_lock	0	0
Помилка вентилятора B3	12	Errors	M3_fault	0	0
Вентилятор B4 включений	13	Warnings	M4_run	0	0
Вентилятор B4 виключений	14	Warnings	M4_stop	0	0
Керування вентилятором B4 заблоковано	15	Warnings	M4_lock	0	0
Помилка вентилятора B4	16	Errors	M4_fault	0	0
Насос N1 включений	17	Warnings	M5_run	0	0
Насос N1 виключений	18	Warnings	M5_stop	0	0
Керування насосом N1 заблоковано	19	Warnings	M5_lock	0	0
Помилка насоса N1	20	Errors	M5_fault	0	0
Насос N2 включений	21	Warnings	M6_run	0	0
Насос N2 виключений	22	Warnings	M6_stop	0	0
Керування насосом N2 заблоковано	23	Warnings	M6_lock	0	0
Помилка насоса N2	24	Errors	M6_fault	0	0
Компресор включений	25	Warnings	M7_run	0	0
Компресор виключений	26	Warnings	M7_stop	0	0
Керування компресором заблоковано	27	Warnings	M7_lock	0	0
Помилка компресора	28	Errors	M7_fault	0	0

Рис. 7.13. Фрагмент вікна редактора дискретних повідомлень



Text	Number	Class	Trigger tag	Limit	Trigger mode
Температура в камері вище верхньої межі	1	Warnings	Tпов	18	On rising edge
Температура в камері нижче нижньої межі	2	Warnings	Tпов	10	On falling edge
Абсолютна вологість в камері вище верхньої межі	3	Warnings	fпов	10.88	On rising edge
Абсолютна вологість в камері нижче нижньої межі	4	Warnings	fпов	10.28	On falling edge

Рис. 7.14. Фрагмент вікна редактора аналогових повідомлень



Name	Display name	Acknowledgme...	Log	E-mail address	C color	CD color	CA color	CDA color
Diagnosis Events	S7	Off	<No log>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Errors	!	On "activated"	Alarm_log_1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
System	\$	Off	<No log>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Warnings		Off	<No log>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рис. 7.15. Загальний вигляд вікна класів повідомлень

Виведення повідомлень на екран виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень. При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів. На рис. 7.16 представлений приклад екрану з елементами «Alarm View» налаштованими на вивід поточних активних робочих повідомлень і повідомлень про несправності, а на рис. 7.17 представлено вікно властивостей елемента «Alarm View», налаштоване на вивід поточних активних повідомлень про несправності, що відносяться до класу «Errors».

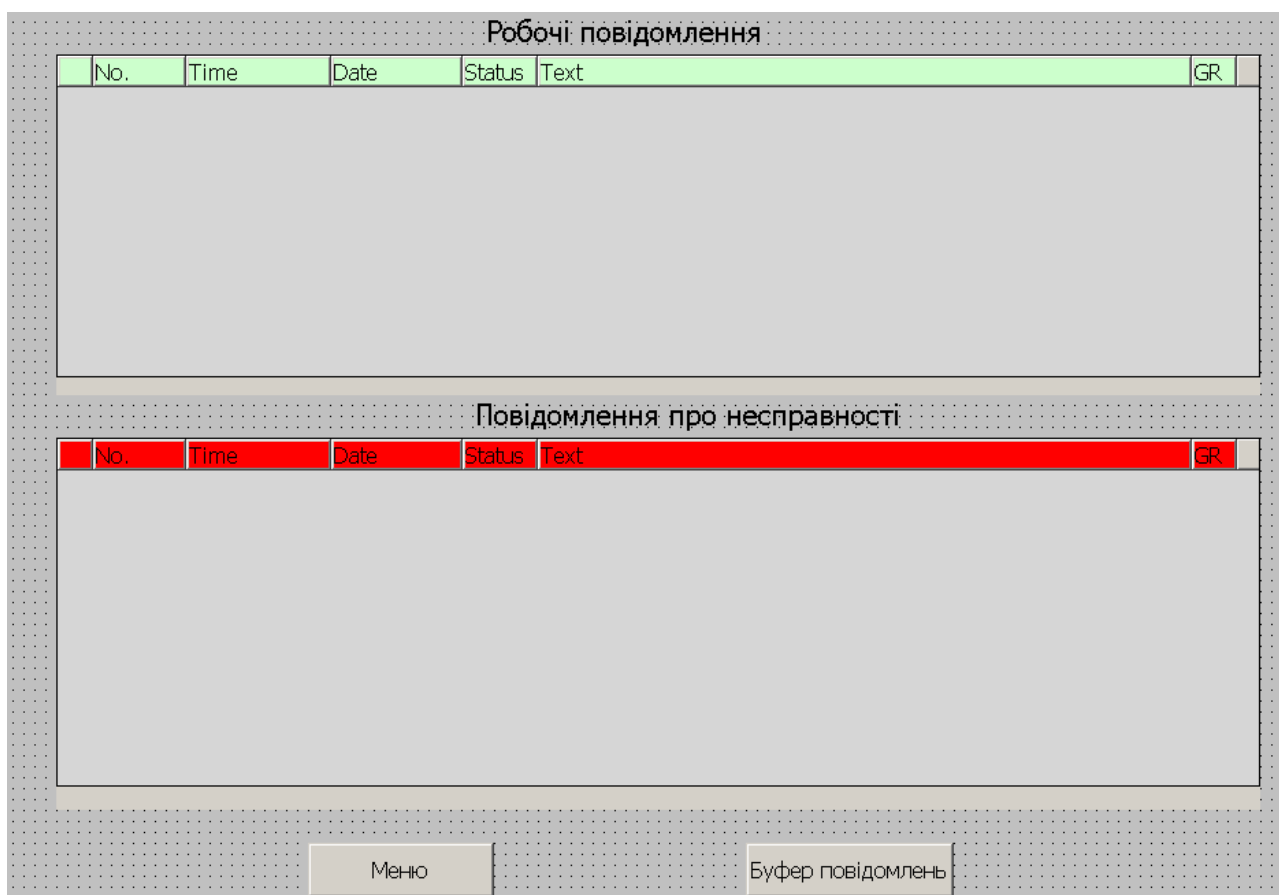


Рис. 7.16. Загальний вигляд екрану виведення поточних активних діагностичних повідомлень

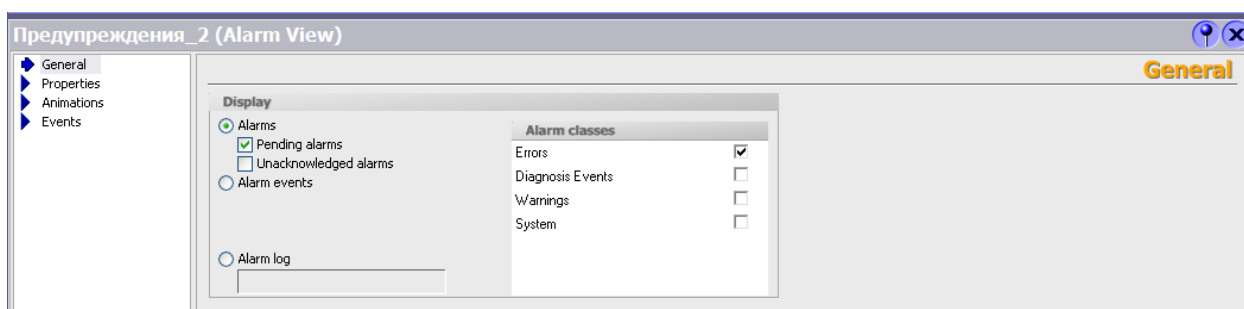


Рис. 7.17. Загальний вигляд вікна налаштування властивостей елемента виведення повідомлень «Alarm View»

Приклад екранів, призначених для виведення буфера повідомлень і вмісту архіву повідомлень, представлені на рис. 7.18, 7.19.

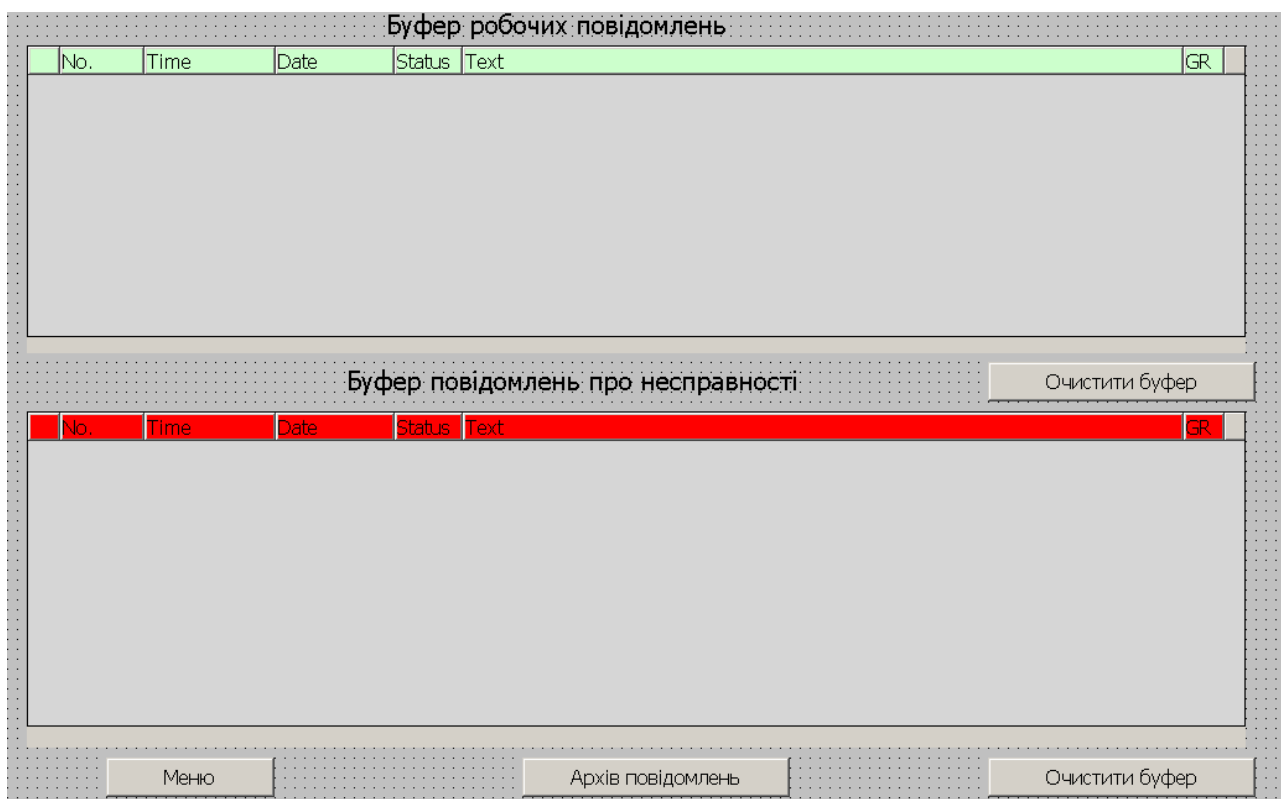


Рис. 7.18. Загальний вигляд екрану відображення вмісту буфера
діагностичних повідомлень

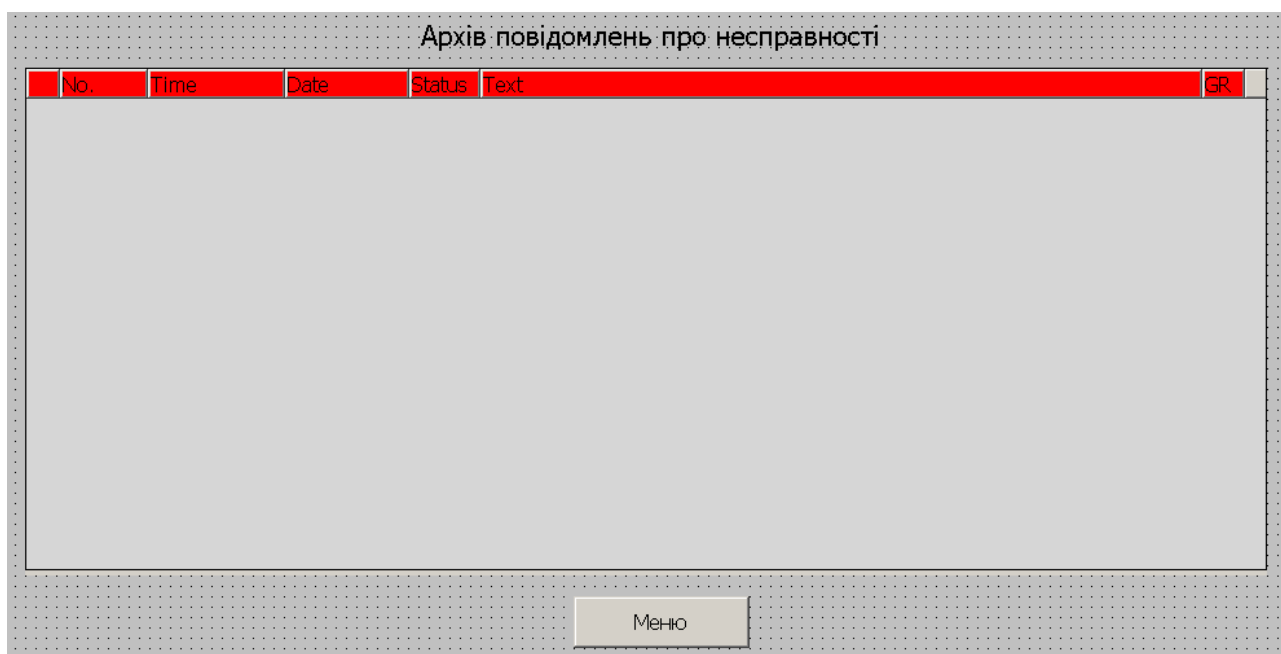


Рис. 7.19. Загальний вигляд екрану відображення вмісту архіву повідомлень
про несправності

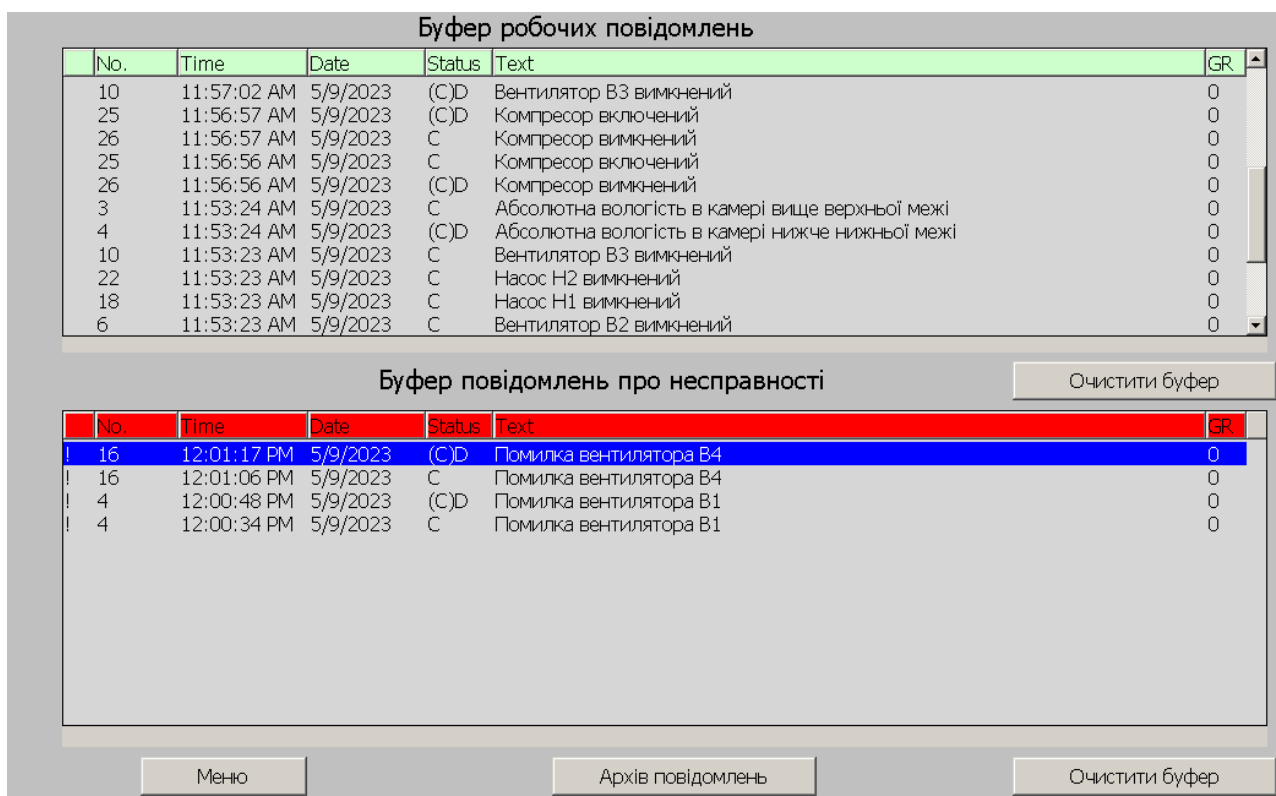


Рис. 7.21. Загальний вигляд екрану з відображенням буфера повідомлень

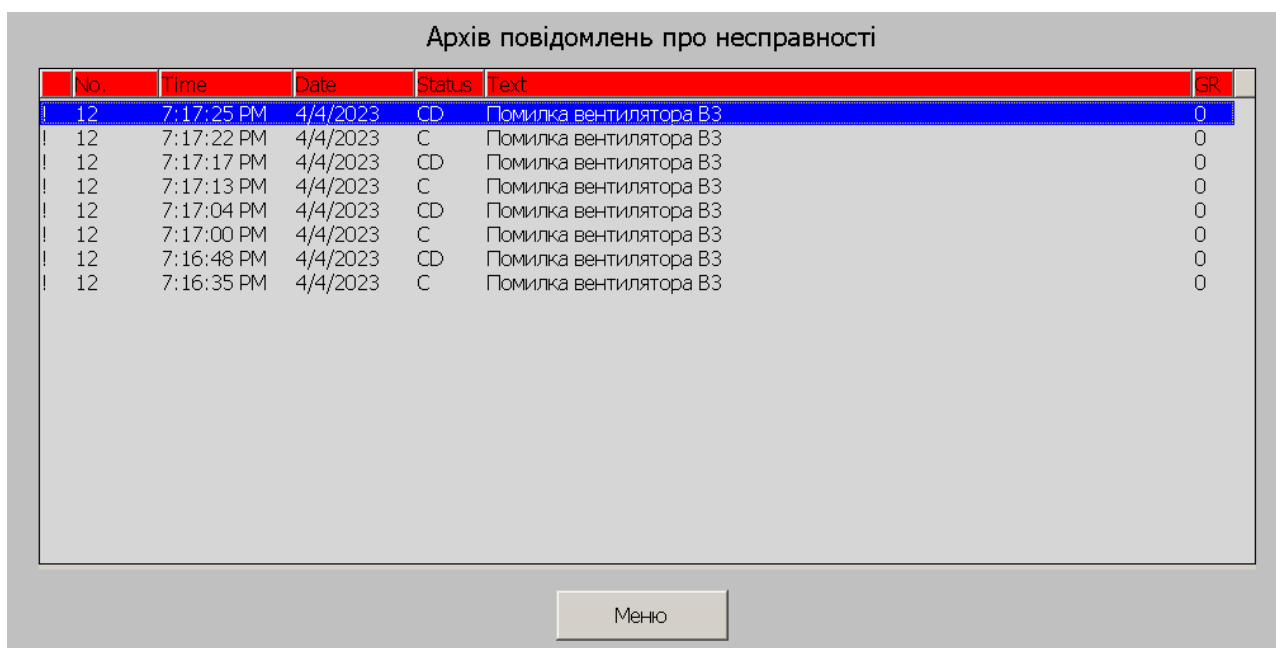


Рис. 7.22. Загальний вигляд екрану з відображенням архіву повідомлень

7.3. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САР

Робоче місце наладчика системи автоматичного регулювання повинно передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують можливість виконання його професійних обов'язків.

Виходячи з цього, екрани автоматизованого робочого місця наладчика повинні надавати можливість виконання наступних завдань:

- 1) Керувати контурами регулювання:
 - Відображати поточні та задані значення регульованих змінних;
 - Відображати поточні значення керуючих впливів;
 - Змінювати значення налаштувальних 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.

Виходячи з вищеперерахованого, в проєкті, для реалізації АРМ наладчика передбачені наступні екрани:

- 1) Налаштування САР.
- 2) Список користувачів.

Програмна реалізація цих екранів у SCADA-системі WinCC Flexible представлена в наступному пункті.

7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САР

7.4.1. Налаштування САР

Для виконання завдань налаштування контурів регулювання у проєкті передбачений екран зміни налаштувань САР (Рис. 7.23).

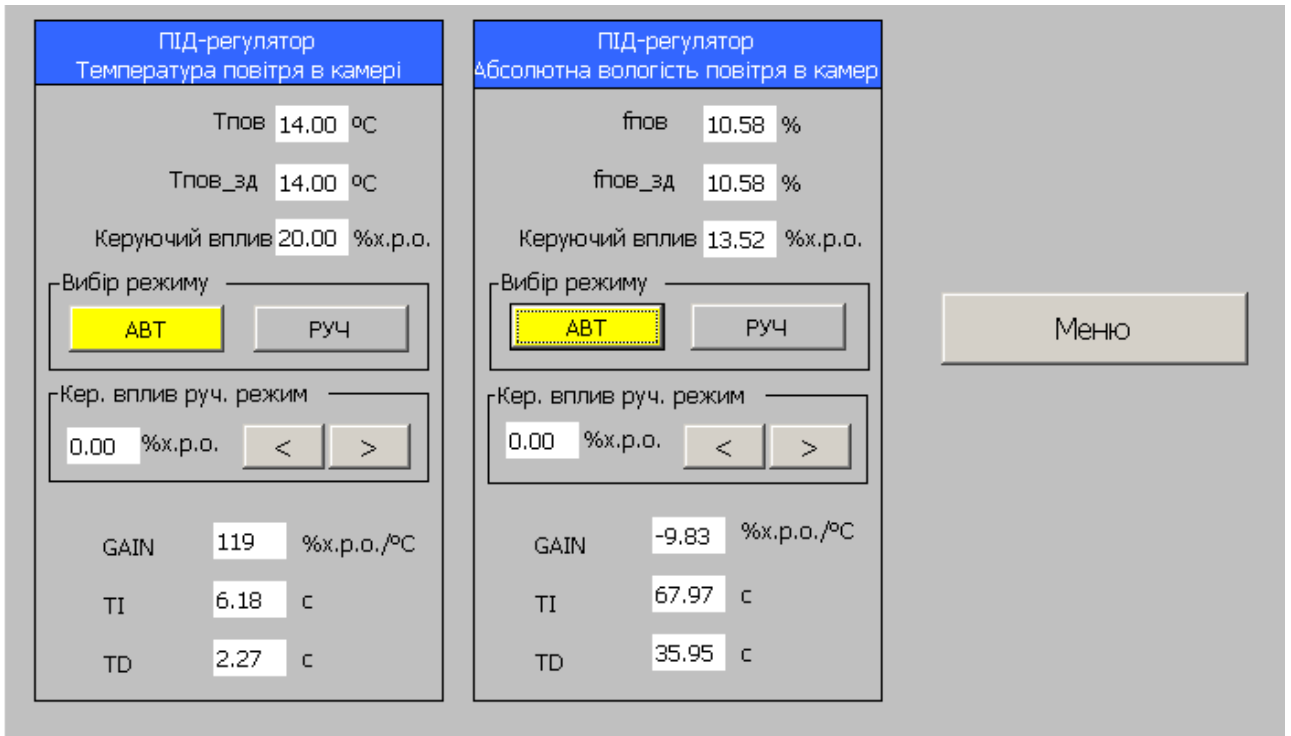


Рис. 7.23. Загальний вигляд екрану «Налаштування САР»

Екран реалізований з використанням елементів «IO Field», «Button», «Text Field» стандартної бібліотеки SCADA-системи WinCC Flexible. Всі кнопки і поля вводу/виводу прив'язані безпосередньо до тегів у контролері і дозволяють змінювати їх значення.

7.4.2. Список користувачів

Екран «Список користувачів» (Рис. 7.24) надає наладчику можливість виконувати роботу зі списком користувачів. Змінювати імена, паролі, групи існуючих користувачів. Додавати і видаляти користувачів системи. Реалізовано екран на основі елемента «User View».

User	Password	Group	Logoff time
Admin	*****	Адміністрат...	5
Dmitriy	*****	Оператор	5
Ivan	*****	Інженер	5
PLC User	*****	Unauthorized	5

Рис. 7.24. Загальний вигляд екрану «User View» при роботі програми

7.5. Висновки

При виконанні даного розділу в середовищі SCADA-системи WinCC Flexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САР визрівання сирів в камері. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи установки, здійснювати перемикання режимів керування обладнанням (АВТ/РУЧ) і керувати в ручному режимі окремим обладнанням, проводити налаштування і налагодження САР. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми.

Виконана робота дала можливість закріпити теоретичні знання і отримати практичний досвід розробки прикладного програмного забезпечення в середовищі SCADA-системи WinCC Flexible.

8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1. Характеристики технологічного об'єкта керування та основні технічні рішення

В цій роботі розглядаємо процес визрівання сирів. Об'єктом керування є камера визрівання. Основними характеристиками цього процесу є температура та абсолютна вологість в камері. Підтримання температури забезпечується за рахунок обертання вентилятора підігріву повітря, абсолютної вологості – за рахунок обертання компресора.

В таблиці 8.1 представлений перелік основних параметрів процесу:

Таблиця 8.1. Основні параметри процесу

Найменування параметра	Умовне Позначення	Діапазон Вимірювання	Допустима похибка
Температура в камері	$T_{\text{пов}}$	14 °C	$\pm 1 \dots 4$ C
Абсолютна вологість в камері	$f_{\text{пов}}$	10.58 г/м ³	$\pm 0.12 \dots 0.3$ г/м ³

Необхідно розробити комплект графічної і текстової документації.

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 є те, що вона будується як сполучена схема контролю, керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера. Контролер, що

реалізує основні функції контролю та регулювання лінії CPU-313C-2DP фірми "Siemens", обраний з програмованих моделей, оснащений інтерфейсами MPI та PROFIBUS.

Всі модулі вводу/виводу серії SIEMENS SIMATIC S7-300 та CPU монтуються на профільній шині Siemens 122 мм, як окрема конструкція в щиті оператора. Вони використовуються для підтримки регламентних значень, передачу даних на робочу станцію на базі IBM PC сумісного комп'ютера, встановленого також в ОП. Контролери даної фірми серії SIMATIC S7-300 призначені для організації взаємодії між обчислювальною системою (ПК), що реалізують функції відображення та архівації інформації й датчиками безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

прийом і дешифровку команд по каналах MPI, PROFIBUS;

введення й нормалізацію аналогових сигналів (струм, напруга – SM 331-7KF02-0AB0);

опитування стану дискретних входів та виводи дискретних сигналів, через релейні виходи (SM 323-1BL00-0AB0);

фільтрацію аналогових і дискретних вхідних сигналів;

виводи аналогових сигналів керування (SM 332-5HD01-2AB0).

Взаємодія контролера й комп'ютера (ПК) здійснюється за допомогою модуля інтерфейсного зв'язку MPI-USB (PC ADAPTER USB A2, USB CABLE 5M INCLUDED MPI KABEL, 0,3M (6GK1571-0BA00-0AA0).

Для керування установкою застосовується IBM PC сумісний комп'ютер на якому встановлена SCADA-система, що призначена для оперативного контролю, сигналізації, реєстрації параметрів. Також є можливість передачі даних на комп'ютери, що встановлені за межами ОП, за допомогою локальної мережі.

8.2. Розробка схеми автоматизації та специфікації на технічні засоби системи

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'яснює певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 (заміна ГОСТ 21.404 – 85) "Система проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах". Особливістю розробленої схеми є те, що всі функції системи розподілені між контролером та комп'ютером (ПК). Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує комплект контролерів сумісно з ПК, розташований в операторському пункті. Всі використані датчики обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20 мА), вихідні аналогові сигнали також 4...20 мА. Розглянемо перелік контурів контролю й керування наведені на схемі автоматизації за позиційними номерами контурів:

- 1, ..., 7 – керування електроприводами та контроль стану ЕД М1 – М7;
- 8 – контроль (8) та стабілізація (9) температури повітря в камері;
- 9 – контроль (10) та стабілізація (11) абсолютної вологості повітря в камері;
- 10 – контроль температури води на вході в теплоутилізатор (12);
- 11, 12 – контроль мінімального рівня в баку накопичувачі (13) та в баку з гарячою водою (14);
- 13, 14 – контроль мінімального тиску фреону в магістралі теплового насоса (15) та максимального тиску перед конденсатором (16);
- 15, 16 – контроль закриття дверей камери (17, 18).

В контурі 17 реалізована функція передпускової сигналізації, а в контурі 18 функції автоматичного пуску та зупинки лінії. В контурі 19

реалізована функція перетворення інтерфейсних зв'язків (MPI – USB) між ПК, МПК та частотними перетворювачами (ЧП) 8в, 9в.

У контурах керування приводами (1, ..., 7) 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 вентилятора М3 та компресору М7, завдяки використанню ЧП, для забезпечення стабілізації температури та абсолютної вологості повітря в камері відповідно (контури 8, 9).

У додатку 1 наведена схема автоматизації та специфікація приладів і засобів, що в ній використані.

8.3. Розробка принципової електричної схеми

На принциповій електричній схемі (наведено в додатку) показані елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені на частини. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи електричних приладів й елементів для досягнення поставлених функціональних завдань. Схема складена відповідно до вимог Держстандартів (ГОСТ):

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.701. ЕСКД. Схеми. Види й типи. Загальні вимоги до виконання

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702. ЕСКД. Правила виконання електричних схем;

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.709. ЕСКД. Система маркування ланцюгів в електричних схемах.

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.710. ЕСКД. Позначення умовні, буквено-цифрові, які вжиті на електричних схемах.

Особливістю принципової електричної схеми контролю й керування, є те, що вона будується як сполучена схема контролю,

керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера.

При необхідності пуску електродвигуна в дистанційному режимі при включеному 2-QF, ключ 2-SA переводять у положення 1, після чого натисканням кнопки «Пуск» (замикаючої) 2-SB3 забезпечують подачу живильної напруги (220 В фаза – нейтральний провід) на котушку контактора 2-КМ, що замикає головні контакти 2-КМ і двигун починає обертатися. Додатковий контакт 2-КМ1 (замикаючий), який шунтує кнопку 2-SB3, також замикається в момент подачі напруги на котушку, що забезпечує так назване «самопідхоплення» роботи електродвигуна і дозволяє операторові відпустити пускову кнопку, через 1-3 секунди після натискання. Факт роботи електродвигуна перевіряється при наявності світлової сигналізації по зміні світіння індикатора.

Подібне рішення, є захистом від провалу 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) 2-SB2, розташовану на щиті оператора або аналогічну кнопку 2-SB1, розташовану по місцю (поблизу електропривода). При знеструмленні контактора 2-КМ, його головні контакти розмикаються, і двигун зупиняється.

При роботі в автоматичному режимі ключ вибору 2-SA переводять у положення 3, при цьому при спрацьовуванні контакту 2К автоматичного пристрою (реле) котушка 2-КМ магнітного пускача отримує живлення (220 В), у результаті чого спрацьовують головні контакти пускача і двигун починає обертатися. Зупинка двигуна відбувається при розмиканні контакту 2К, а також, при необхідності, оператор має можливість самостійно його зупинити використовуючи кнопки «Стоп», як описано вище.

Для полегшення читання таких схем на них приводять діаграму роботи ключа вибору режиму.

Для захисту від перевантаження електропривода по моменту, що крутить, у схемі використовується контакт муфти граничного моменту 2-SQ, а для захисту по токовому навантаженню контакти теплового реле 2-KK.

Контур 1, 4, 5, 6 реалізує аналогічні функції пуску та зупинки для М1, М4, М5, М6.

Контур 3, 7 реалізує аналогічні функції пуску та зупинки для М3, М7, але для цих двигунів передбачене регулювання обертів від ЧП, яке реалізоване у контурах 8 та 9 відповідно.

Розглянемо роботу контуру 8 стабілізації температури в камері.

На схемі показано підключення аналогового сигналу від датчика температури в камері (8а) та вихідного аналогового сигналу для керування частотним перетворювачем (8в). При реалізації уведення аналогового сигналу використаний принцип струмової петлі, тобто "+" від датчика 8а (дріт 8-21) підключений до клеми "1" (+AI) БРУ-7 для відображення поточного значення на цифровому міліамперметрі, який вбудований в БРУ, із клеми 2 (-AI) дротом 8-22 сигнал подається на аналоговий вхід (03) модуля 6ES7331-7KF02-0AB0, а замикається петля з'єднанням аналогового виходу (02) модуля 6ES7331-7KF02-0AB0 з "-" джерела живлення проводом 902.

Вихідний аналоговий сигнал подається від клем 03 та 06 модуля 6ES7332-5HD01-0AB0 дротами 8-26 через контакти "21", "20" поступає на дріт 8-24 (в автоматичному режимі) та по ньому на клему 4 частотного перетворювача (8в). Аналогічно в дистанційному режимі аналоговий сигнал подається від ручного задатчика БРУ-7 від кл.9 через контакти, що переключають (кл.15 та 14), при цьому кл.10 з'єднана з загальним «-» схеми (дріт 902). Для перетворення сигналу,

що керує 4-20 мА, який виходить з МПК та БРУ, у сигнал 0-10В, який ЧП приймає як вхідний (керуючий) використаний опір 8R (2.2 кОм).

Схема самого ЧП розроблена для варіанту використання із збереженням наявного магнітного пускача ЗПМ (З-КМ).

Додатковий контакт автоматичного вимикача 3-QF1, застосований для реалізації функції «Enable» (готовності до включення), контакт ЗКМЗ застосований для включення ЧП, а кнопка 3-SB4 реалізує функцію «Reset». ЧП через клеми 1-2 та 3-4 підключений дротами А (+) та В (-) до перетворювача 19.

Контур 9 працює аналогічно 8.

Також на ПЕС показано введення аналогового сигналу в контролер від датчику температури 10а, який вимірює температуру води, що циркулює через теплоутилізатор.

Живлення усіх датчиків і щитових приладів здійснюється від джерел показаних на схемі електроживлення.

Крім того, на схемі показана організація вихідних дискретних сигналів від універсальних дискретних модулів SM 323-1BL00-0AA0, що забезпечує керування приводами насосів та ввід/вивід дискретних сигналів. За допомогою цього модуля реалізовані схеми керування у автоматичному режимі через проміжні реле (1К – 7К) та сигналізації з використанням світлодіодів та опорів, що обмежують струм.

Схема звукової передпускової сигналізації (дзвоник НА) включає ключ 17-SA та реле 17К. Переведенням 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 перетворювач інтерфейсів 19 пристроїв, що мають інтерфейсний зв'язок: МПК та ЧП (8в, 9в).

У додатку 2 наведена специфікація електроприладів та засобів, що використані в схемі принциповій електричній та сама схема.

8.4. Розробка принципів електричних схем живлення

Схема електрична принципова живлення розробляється з урахуванням необхідності безперебійного живлення найбільш відповідальних споживачів системи автоматизації електроенергії, 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 керування, що реалізована на них. На схемі представлено електроживлення приладів, перетворювачів, ПК і контролера. Уведення живлення здійснюється від розподільного пункту живлення (наявного силового щита). У системі зроблений вузол для зручності та безпеки виконання ремонтних робіт (розетки з живленням 36 В) та освітлення, які живляться напругою до 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 блоку стабілізованого живлення «ОВЕН» БП 60-Д4-24. Живлення щитових приладів типу БРУ-7 здійснюється напругою 220 В.

Для запобігання з'єднання лінії індивідуального заземлення із заземленням корпусів електрообладнання необхідно забезпечити ізолювання корпусу джерела живлення G1.

Живлення комплекту ПК здійснюється напругою 220 В від UPS. Всі ланцюги живлення (220В) приладів захищені автоматичними вимикачами, установленими в щиті оператора SF1, ..., SF3, а ланцюги

живлення (24В) приладів вимикачами SA4, SA5 та запобіжниками з плавкими вставками FU4,...,FU6.

У схемі передбачений принцип маркування проводів (по рекомендаціях "ВНДПКІ" "Харчопромавтоматика"), що передбачає: дроти зі змінною напругою 220В, 36В маркувати номерами 8XX, а дроти з постійною напругою 24В, 36В маркувати номерами 9XX.

У додатку 3 наведена принципова електрична схема живлення та специфікація для неї.

8.5. Висновки

В результаті виконання розділу розроблені основні документи технічного забезпечення системи автоматизації процесу визрівання сирів. В результаті виконання отримані навички з розробки проектної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК та сучасних пристроїв автоматизації.

9. ПОПЕРЕДНЄ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ

9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

В даному розділі буде обґрунтована економічна доцільність впровадження варіантів розробленої системи автоматизації. Вибір технічних засобів автоматизації та розробка технічної структури мікропроцесорного ядра САК (Siemens) були виконані у розділах №5 та №6. Для розрахунку економічних показників впровадження варіантів модернізованої АСК будуть враховані ціни на придбання комплексу технічних засобів, датчиків температури та вологості, реле рівня та тиску, виконавчих механізмів та кабельної продукції.

Таблиця. 9.1. Витрати на придбання засобів автоматизації

Найменування	Тип, марка	Кількість, шт	Вартість з ПДВ, грн	
			За од.	Сума
Реле тиску	PS4-W1	2	630	1260
Датчик температури	ТСП-У-1-43-Pt100	2	547	1094
Реле рівню	RM22LA32MR	2	2300	4600
Датчик вологості	UAFT/A-ID	1	2700	2700
Реле закриття дверей	HYUNDAI SANTA FE CM 2010-2012 93560- 25100	2	38	76
Частотний перетворювач	Elettronica Santerno Sinus K 4T	2	4000	8000

Блок ручного керування	БРУ-7	2	5000	10000
КБЗ	24-19	2	520,8	1041,6
Контролер програмувань	SIMATIC S7-300,CPU312C	1	18013,38	18013,38
Модуль аналогового вводу	SM 331-7KB02-0AB0	1	18000	18000
Модуль аналогового виводу	SM 332-5HD01-0AB0	1	14000	14000
Модуль дискретного вводу/виводу	SM 323-1BL00-0AA0	1	25000	25000
Перетворювач інтерфейсів	ADAM 4561	1	4014	4014
Перетворювач інтерфейсів	6GK1571-0BA00-0AA0	1	14334,3	14334,3
Блок живлення	PS 307	1	4840	4840
Персональний комп'ютер		1	20000	20000
Магнітний пускач з тепловим реле	ПМА 3221	7	3400	23800
Дзвоник електричний	ABB KB1-4010	1	50	50
Кнопки	KME 4201	7	55	385
Кнопки	ELFIN 22	2	96	192
Автоматичний вимикач триполюсний	E.MCB.PRO.60.3.C 6 NEW, 6A	6	167,24	1003,34

Автоматичний вимикач триполюсний	DZ47-60 3P 4.5KA C, 10A	1	89,8	89,8
Перемикач	ELFIN 22	8	78,72	629,76
Реле проміжне	DRM 270024	8	125	1000
Світлосигнальна арматура у зборі	010BA9SLR24	13	24	312
Вимикач автоматичний	BA47-29M, 6A	1	73,69	73,69
Вимикач автоматичний	BA47-29M, 5A	2	86,39	172,78
Трансформатор	ТСБ3-220/36В, 400 Вт	1	1400	1400
Розетка двополюсна	РШ-0-2, 5А	1	87	87
Розетка триполюсна	РШ-0-3, 10А	2	110	220
Вимикач	ПВ-1-16, 16А	5	73	365
Запобіжник із плавкою вставкою	ПТ, 0,5А	3	38	114
Запобіжник із плавкою вставкою	ПТ, 2А	1	43	43
Запобіжник із плавкою вставкою	ПТ, 3А	7	48	336
Запобіжник із плавкою вставкою	ПТ, 0,16А	3	20	60
Запобіжник із плавкою вставкою	ПТ, 12А	1	56	56
Блок живлення	«ОВЕН» БП60Б-	1	6120	6120

	Д4-24, 24В, 60Вт			
Джерело безперебійного живлення (UPS)	Power Must 800VA	1	6000	6000
Щит	SCHROFF CONSEPTLIN E EMC 600x600x420мм	1	31754,65	31754,65
Клемна колодка	conta-conect SRK	30	12	360
DIN- рейка		3м	90	270
Проф.шина		0,5м	717	358,5
Короб монтажний		9м	72	648
Провод монтажний	ПВ3*05	87м	2,62 за 1м	227,94
Кабель контрольний мідний	ВВГнг5x4,0	74м	39,85	2948,9
Кабель контрольний мідний	КВВГ5x1,5	34м	19,33	657,22
Кабель контрольний мідний	ВВГ4x2,5	20м	22,38	447,6
Кабель контрольний мідний	КВВГ4x1,0	30м	10,83	324,9
Дріт з'єднувальний	ПВСн 2*1	90м	4	360
Труба стальна (вод.- газ. провід)	MP20x2,5	280м	3	840

Дріт з'єднувальний мідний	ПРТО1*4	20м	6	120
Всього				229700,36

Сумарні капітальні інвестиції, які підприємство повинне буде вкласти для впровадження засобів автоматизації, дорівнює сумі витрат на придбання, монтаж і налагодження засобів автоматизації. Знайдемо суму первинних інвестицій для альтернативних варіантів реалізації системи керування за формулою:

$$I_{САК} = (C_{прсак} + C_{прсак} * K_M + C_{прсак} * H_T / 100 + C_{прсак} * H_{Тр} / 100) + (C_{прсак} + C_{прсак} * H_T / 100 + C_{прсак} * H_{Тр} / 100) * H_{Зс} / 100 = C_{прсак} * 1,16513 \quad (9.1)$$

$C_{прсак}$ - оптова вартість засобів автоматизації з ПДВ, яка складає 229700,36 грн;

$K_M = 0,1$ – коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи;

$H_T = 0,25\%$ – норматив відрахувань на тару та упакування;

$H_{Тр} = 5\%$ – норматив відрахувань на транспортні витрати;

$H_{Зс} = 1,2\%$ – норматив відрахувань на заготівельно-складські витрати

$$I_{САК} = 229700,36 * ((1 + 0,1 + 0,0025 + 0,05) + (1 + 0,0025 + 0,05) * 0,012) = 229700,36 * 1,16513 = 267630,78 \text{ грн}$$

Модернізація системи автоматичного регулювання здійснюється за рахунок власних коштів підприємства.

9.2. Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості

В результаті модернізації процесу визрівання брак продукції не повинен перевищувати 0,5% ($K_{бр2}$) (брак продукції до модернізації 5% ($K_{бр1}$)).

Ціна за 1т продукції – 200000 грн ($C_{од.пр}$). Продуктивність камери визрівання – 0,087 т/діб (Π). Час роботи – 365 діб в рік (T).

1) Визначаємо обсяг виробництва:

$$OB_{рік} = \Pi * T = 0,087 * 365 = 31,755 \text{ т/рік} \quad (9.2)$$

2) Визначимо кількість браку до і після модернізації:

$$Br_1 = OB_{\text{рік}} * K_{\text{бр1}} = 31,755 * 0,05 = 1,588 \text{ т} \quad (9.3)$$

$$Br_2 = OB_{\text{рік}} * K_{\text{бр2}} = 31,755 * 0,005 = 0,16 \text{ т} \quad (9.4)$$

3) Визначимо обсяг реалізованої продукції до і після модернізації:

$$OP1 = (OB_{\text{рік}} - Br_1) * Ц_{\text{од.пр}} = (31,755 - 1,588) * 200000 = 6033400 \text{ грн} \quad (9.5)$$

$$OP2 = (OB_{\text{рік}} - Br_2) * Ц_{\text{од.пр}} = (31,755 - 0,16) * 200000 = 6319000 \text{ грн} \quad (9.6)$$

4) Визначимо заміну амортизаційних відрахувань за рахунок модернізації САР:

$$\Delta A = IC_{\text{САК}} * H_a = 267630,78 * 0,5 = 133815,39 \text{ грн} \quad (9.7)$$

$H_a = 50\%$ – норма річних амортизаційних відрахувань для засобів автоматизації

5) Визначимо річну зміну повної собівартості продукції за рахунок модернізації САР:

$$\Delta C_{\text{п}} = \Delta A = 133815,39 \text{ грн} \quad (9.8)$$

6) Визначимо приріст прибутку підприємства за рахунок впровадження САР:

$$\Delta \Pi = (Br_1 - Br_2) * Ц_{\text{од.пр}} - \Delta A = (1,588 - 0,16) * 200000 - 133815,39 = 151784,61 \text{ грн} \quad (9.9)$$

7) Визначимо приріст чистого прибутку:

$$\Delta \text{ЧП} = (\Delta \Pi - \Delta A) * (1 - \Pi_{\text{п}}) = (151784,61 - 133815,39) * 0,82 = 14734,76 \text{ грн} \quad (9.10)$$

$\Pi_{\text{п}} = 18\%$ – податок на прибуток

8) Визначимо приріст чистого грошового потоку:

$$\text{ЧГП} = \Delta \text{ЧП} + \Delta A = 14734,76 + 133815,39 = 148550,15 \text{ грн} \quad (9.11)$$

9.3. Висновки

Виходячи з розрахунків, проект модернізації САК є інвестиційно вигідним, тому що приріст чистого прибутку більше нуля та складає 14734,76 грн. Також при цьому чистий грошовий потік за період реалізації проекту більше нуля і дорівнює 148550,15 грн.

ВИСНОВОК

У ході виконання роботи була розроблена САК процесу визрівання сирів в камері з використанням парокомпресійного теплового насосу.

Для підвищення економічної вигоди процесу впроваджено глибоку утилізацію тепла, що забезпечується використанням парокомпресійного теплового насосу із застосуванням конденсаційного теплообмінника теплоутилізатора. Проведена ідентифікація каналів регулювання моделями першого та другого порядків. Розроблена математична модель ОК виявилася достатньо адекватною реальному об'єкту.

Був виконаний оптимальний параметричний синтез САР і розроблені алгоритми автоматичного керування та САР базової структури.

Для реалізації алгоритмів логічного керування і регулювання була 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.

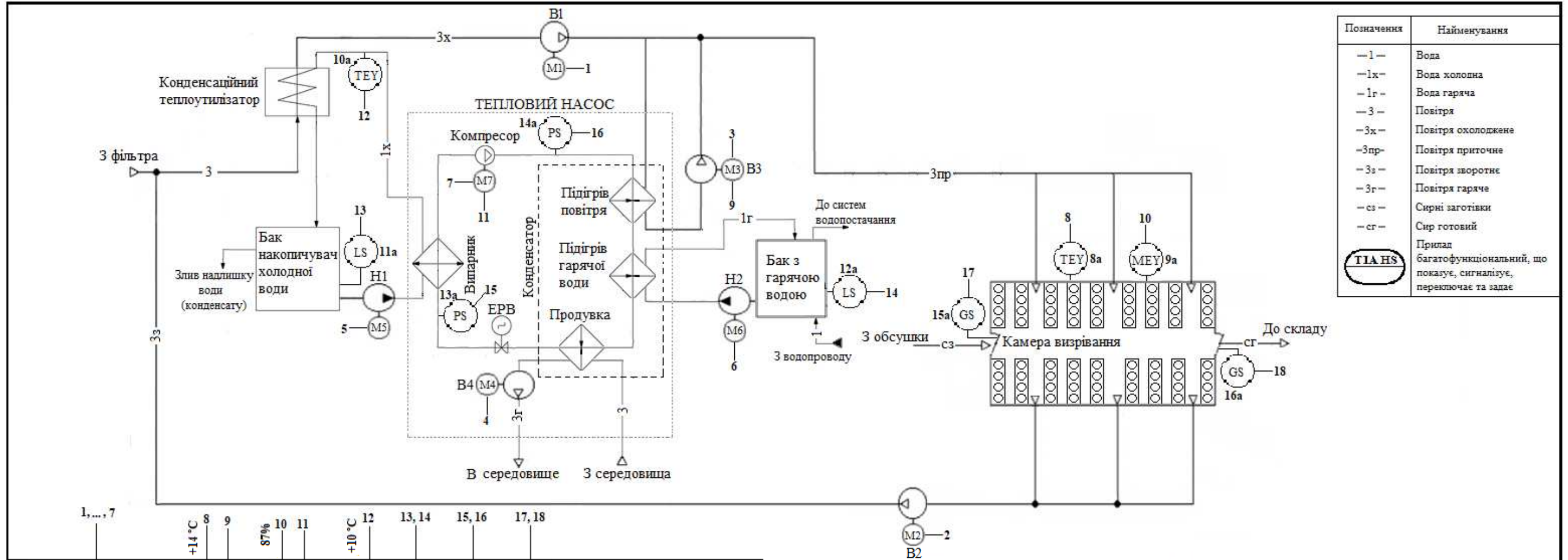
Було проведено економічне обґрунтування щодо впровадження розробленої комплексної САК.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ковальчук Д. А. Енергоефективне автоматичне керування утилізацією тепла продуктів згоряння газових котелень в умовах застосування парокompресійних теплових насосів. – Київ: НУБіП, 2021. – 181 с.
2. Остроумов Л. А., Садова Т. Н., Єрмолаєв В. А. Форми зв'язку вологи у сирах з пліснявою. – Красноярськ: КрасГАУ, 2011. – 5 с.
3. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування» частина 1, для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2007. - 112 с.
4. 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.
5. 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.Світий - Одеса: ОНАХТ, 2020 р. – 110 с.
6. Скаковський Ю.М. Методичні вказівки до виконання індивідуальної самостійної роботи за дисципліною "Автоматизація технологічних процесів та виробництв" для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання / Ю.М. Скаковський – Одеса: ОНАХТ, 2019, – 33 с. (електр. версія).
7. Конспект лекцій з курсу “Проектування систем автоматизації (Ч.1)” для бакалаврів 6.050202 всіх форм навчання / Укладач Ю. М. Скаковський. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – 76 с.
8. Конспект лекцій з курсу “Проектування систем автоматизації (Ч.2)” для бакалаврів 6.050202 всіх форм навчання/ Укладач Ю. М. Скаковський. – Одеса: ОНАХТ, 2017. – 116 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Схема автоматизації та специфікація на технічні засоби системи



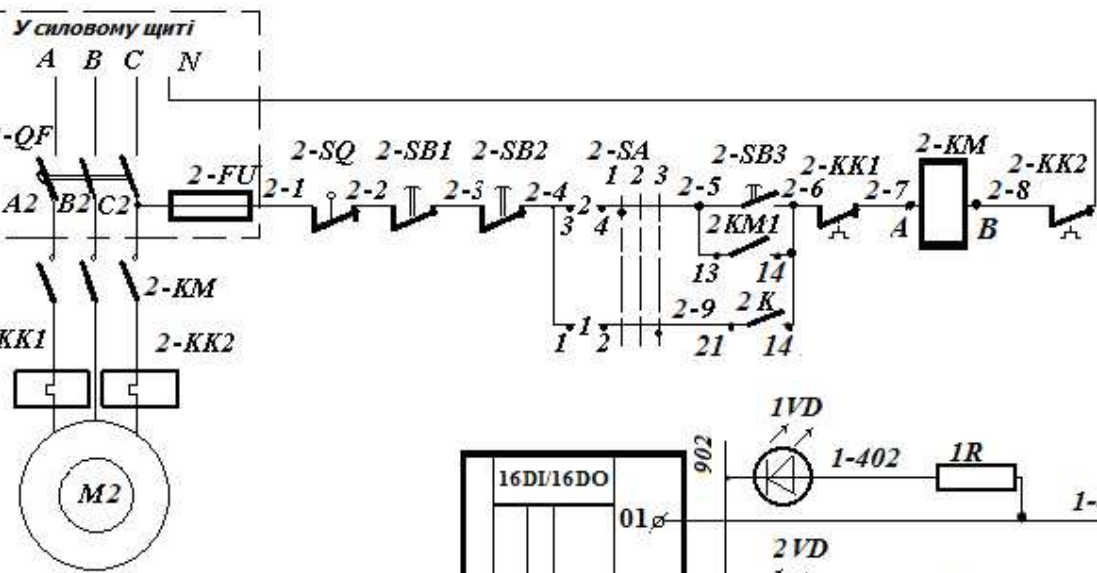
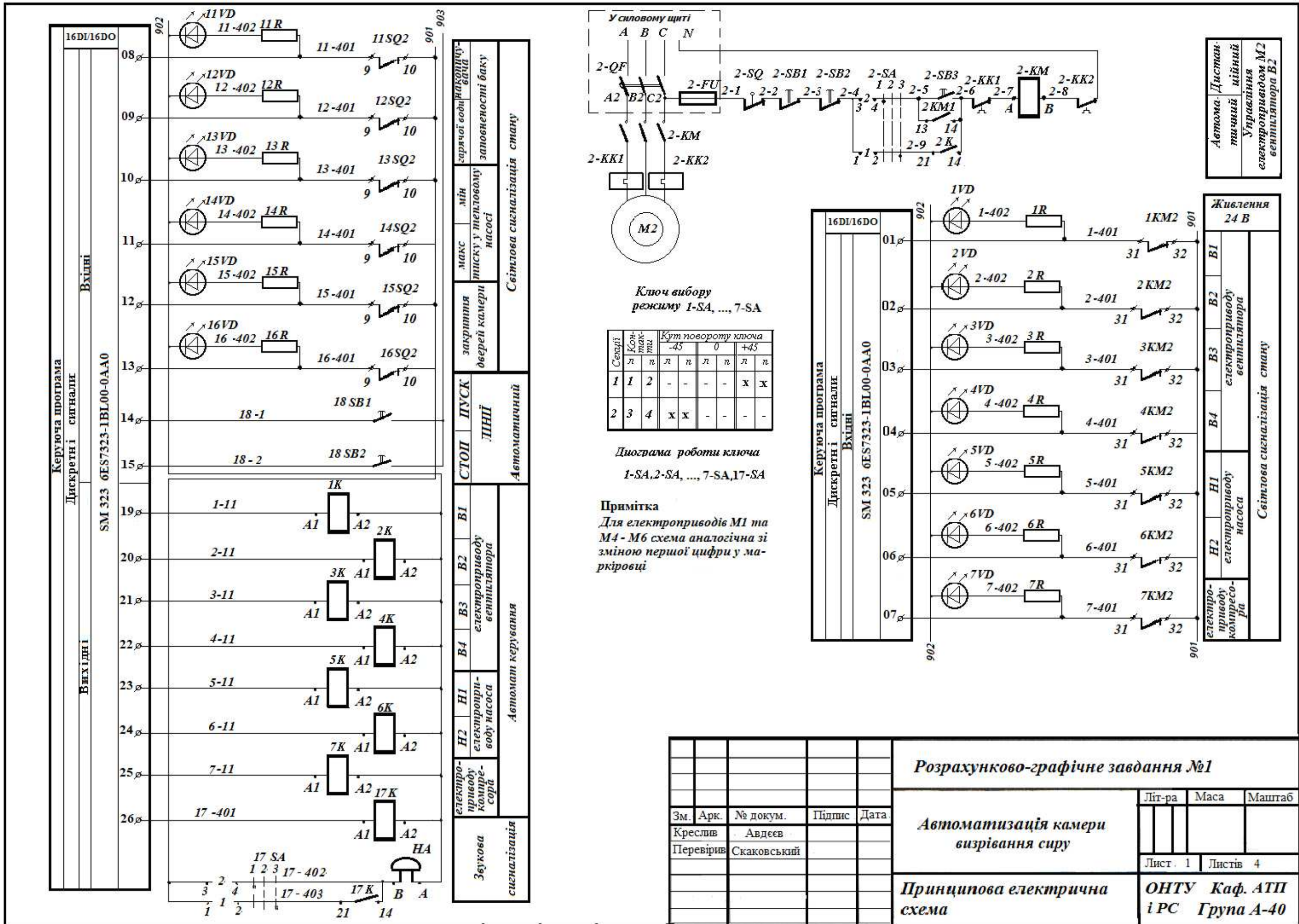
Позначення	Найменування
-1-	Вода
-1х-	Вода холодна
-1г-	Вода гаряча
-3-	Повітря
-3х-	Повітря охолоджене
-3пр-	Повітря приточне
-3з-	Повітря зворотне
-3г-	Повітря гаряче
-сз-	Сирні заготовки
-сг-	Сир готовий
	Прилад багатифункціональний, що показує, сигналізує, переключає та задає

Найменування контурів	ПК		МПК		ЩИТ ОПЕРАТОРА		Прилади
	У	Р	У	С	У	С	
Керування та контроль стану приводів М1 - М7							1SB1, 7SB1
Контроль та стабілізація температури в камері							8в SY, 9в SY
Контроль та стабілізація абсолютної вологості в камері							86 TIA HS, 96 MIA HS
Контроль температури води на вході в теплоутилізатор							11VD, 12VD
Контроль мінімального рівня в баках							13VD, 14VD
Контроль максимального та мінімального тисків в тепловому насосі							15VD, 16VD
Контроль закриття дверей камери							17SA HS, 18SB1 H, 18SB2 H
Передускова звукова сигналізація							19 UY
Автоматичний ПУСК - СТОП камери							20 UY
Забезпечення зв'язку з контролером та ПК							

					Розрахунково-графічне завдання №1				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація камери визрівання сиру		Літ-ра	Маса	Маштаб
Креслив		Авдеев							
Перевірив		Скаковський					Лист 1	Листів 2	
					Схема автоматизації				
					ОНТУ Каф. АТП і РС Група А-40				

Поз. позначення	Найменування	К-ст ь	Примітка
	<u>Перелік приладів на схемі автоматизації</u>		
	<u>Прилади за місцем</u>		
8в, 9в	Частотний перетворювач Elettronica Santerno Sinus K 4T, вх.сигнал 0...10 В, потужність 5 кВт	2	
8а, 10а	Датчик температури ТЕРА (ТСП гр.100П), живл. 24 В, вих.4-20 мА, 0-100 °С, потужність перетворювача 0,8 Вт	2	
9а	Універсальний датчик вологості UAFT/A-ID, діапазон 0 – 50 г/м ³ , живл. 15-36 В, вих. сигнал 4...20 мА	1	
11а, 12а	Датчик реле рівня RM22LA32MR, живл. 24-240 В	2	
13а, 14а	Датчик реле тиску PS4-W1, живл. 24/230 В	2	
15а, 16а	Датчик закриття дверей HYUNDAI SANTA FE CM 2010-2012 93560-25100, ланцюг живл. 24 В	2	
	<u>Прилади на щиті оператора</u>		
8б, 9б	Блок ручного управління БРУ-7, жив. 220 В, 8Вт, вх. сигн. 4-20 мА, з КБЗ -24-19	2	
19	Модуль ADAM 4561 перетворювач інтерфейсів USB- RS485	1	
МПК	Контролер програмований SIMATIC S7-300, CPU313C-2DP	1	
	Модуль аналогового вводу SM 331-7KF02-0AB0	1	8AI
	Модуль аналогового виводу SM 332-5HD01-0AB0	1	4AO
	Модуль дискретного вводу-виводу SM 323-1BL00-0AA0	1	16DI/ 16DO
	Блок живлення PS 307, AC100/240V, DC 24V,5A	1	
20	PC ADAPTER USB A2 (SM USB to MPI) , USB CABLE 5M INCLUDED MPI KABEL, 0,3М (6GK1571-0BA00-0AA0)	1	з каб. 5м
	<u>Технічні засоби в операторському пункті</u>		
ПК	Персональний комп'ютер в комплекті	1	
РГЗ №1з ПСА	Специфікація до схеми автоматизації		Лист 2

Додаток Б. Принципові електричні схеми та специфікація на технічні засоби

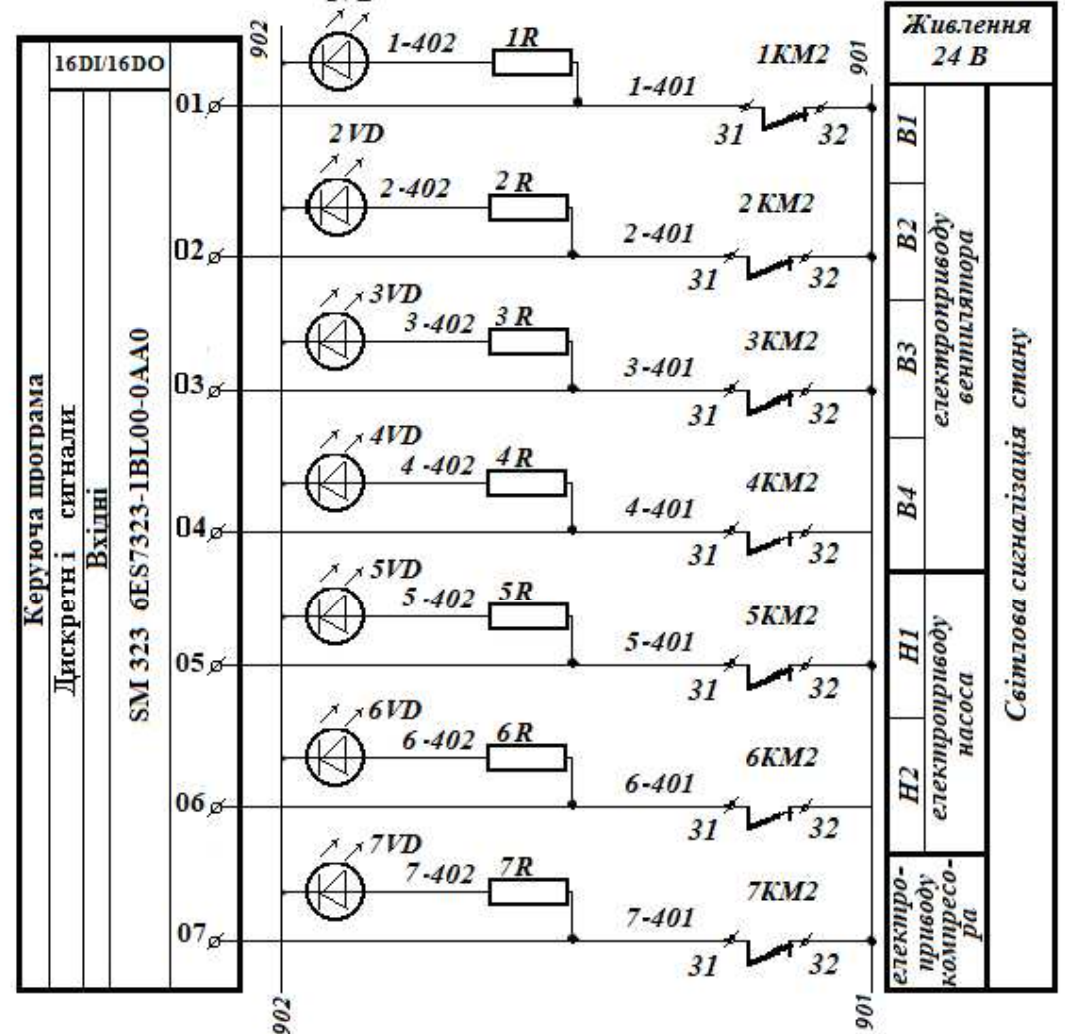


Ключ вибору режиму 1-SA, ..., 7-SA

Секції	Кон-так-ти		Кут повороту ключа					
	л	п	-45	0	+45	л	п	
1	1	2	-	-	-	x	x	
2	3	4	x	x	-	-	-	

Діаграма роботи ключа 1-SA, 2-SA, ..., 7-SA, 17-SA

Примітка
Для електроприводів M1 та M4 - M6 схема аналогічна зі зміною першої цифри у маркіровці



Автоматизація камери
визрівання сиру

Управління електроприводом M2 вентилятора В2

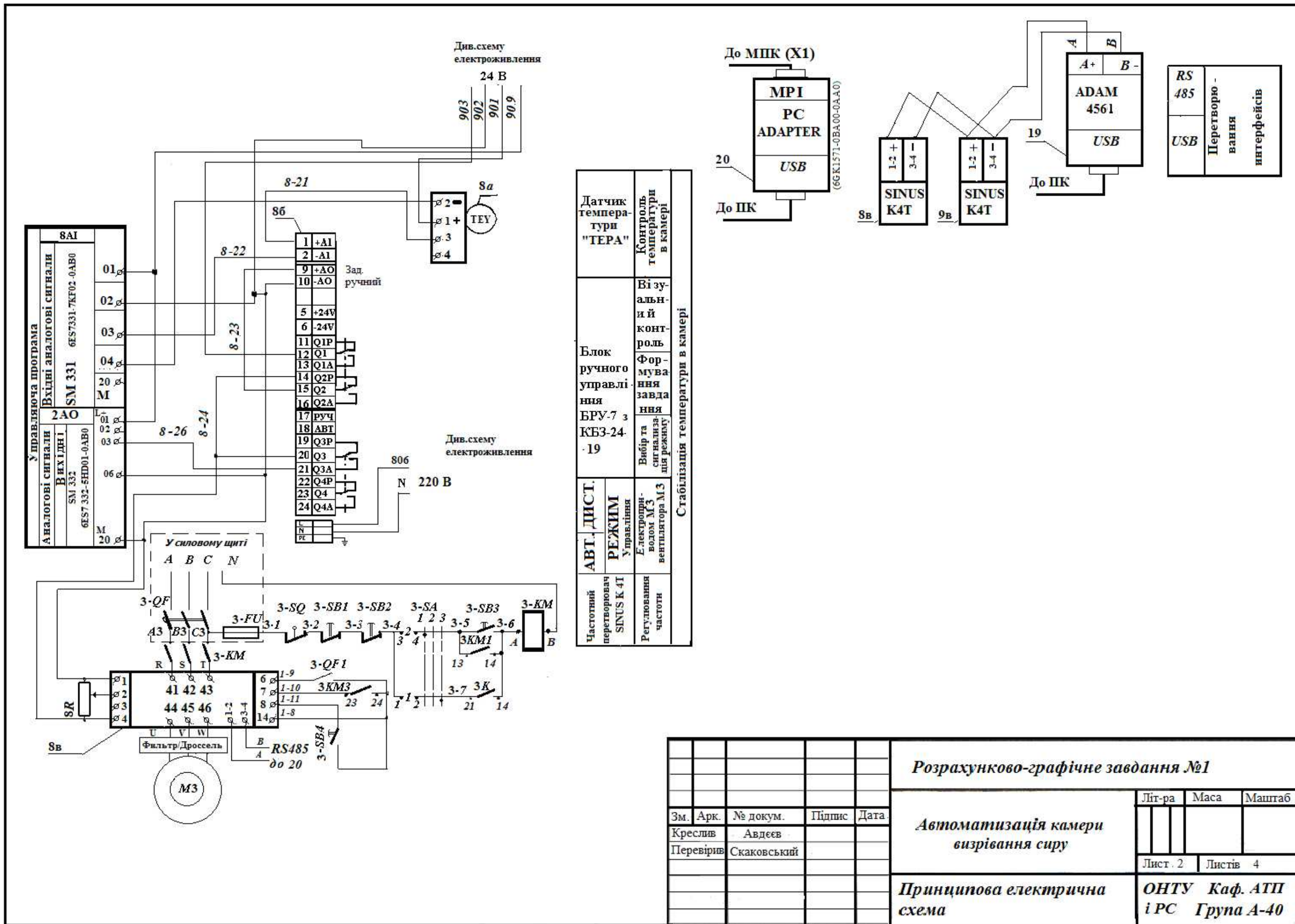
Живлення 24 В

В1 В2 В3 В4 Н1 Н2

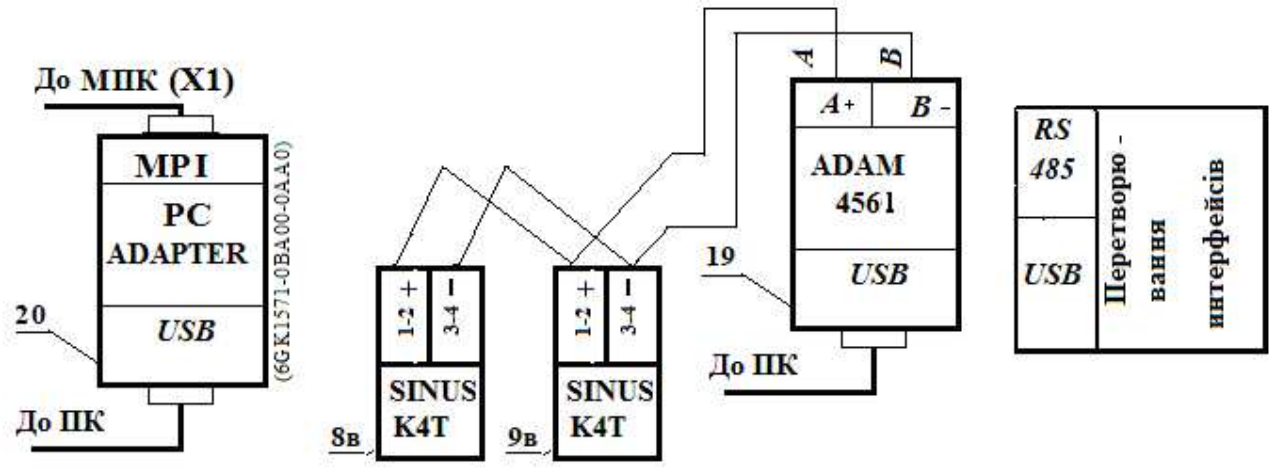
електроприводу насоса
електроприводу вентилятора
електроприводу насоса

Світлова сигналізація стану

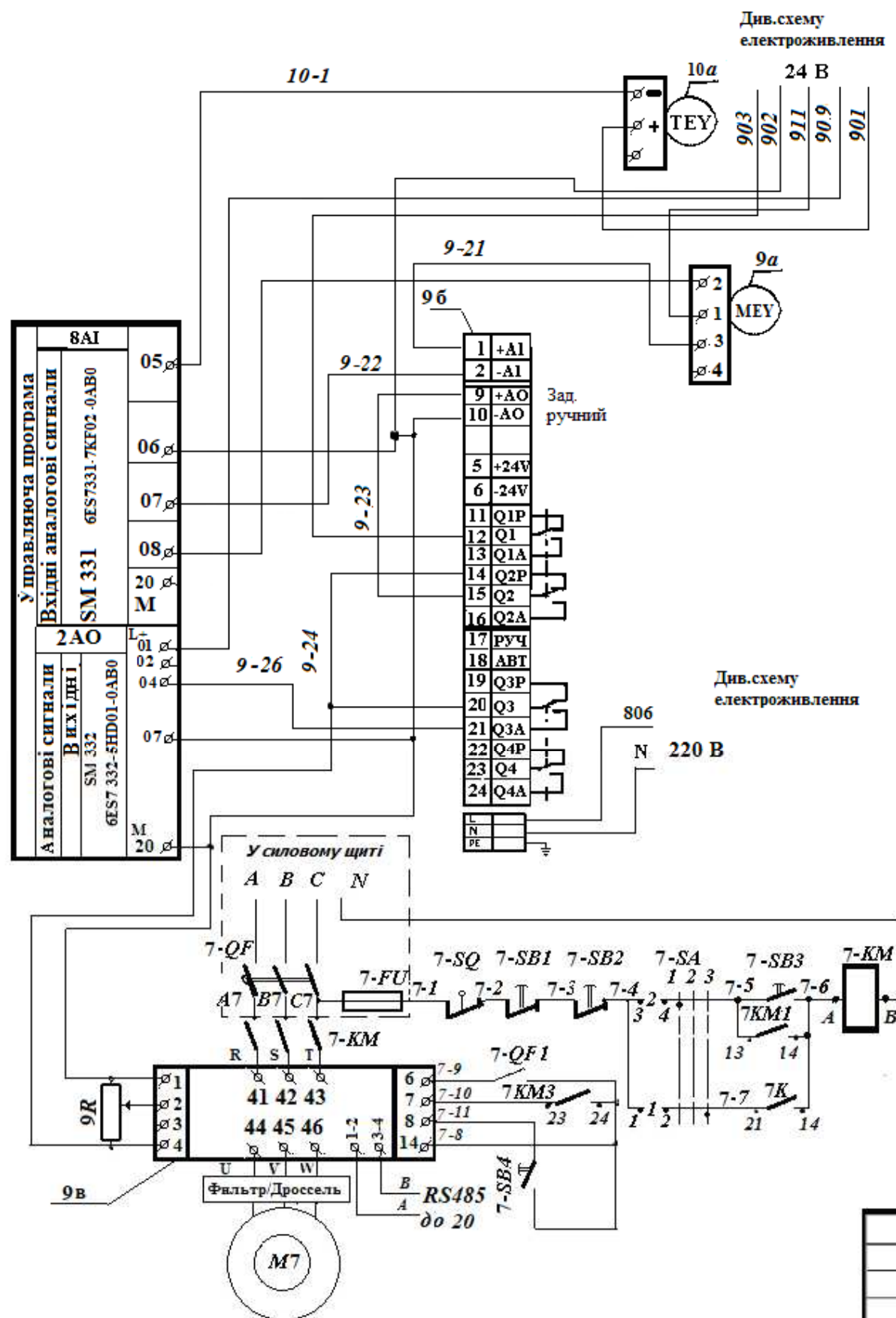
Розрахунково-графічне завдання №1					Літ-ра	Маса	Маштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Креслив		Авдеев					
Перевірів		Скаковський					
Автоматизація камери визрівання сиру					Лист 1	Листів 4	
					Принципова електрична схема		



Датчик температури "ТЕРА"	Контроль температури в камері
Блок ручного управління БРУ-7 з КБЗ-24-19	Візуальний контроль формування завдання
АВТ. ДИСТ. РЕЖИМ	Вибір та налаштування режиму
Частотний перетворювач SINUS K 4T	Електроприводом М3 вентилятора М3
Регулювання частоти	Стабілізація температури в камері



					Розрахунково-графічне завдання №1		
					Літ-ра		
					Маса		
					Маштаб		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація камери визрівання сиру		
Креслив		Авдеев					
Перевірів		Скаковський					
					Лист 2		
					Листів 4		
					Принципова електрична схема		
					ОНТУ Каф. АТП і РС Група А-40		



Датчик "ТЕРА"	Контроль температури води на вході теплотутилізатора
---------------	--

Універсальний датчик вологості UAFT/A-ID	Контроль абсолютної вологості в камері
--	--

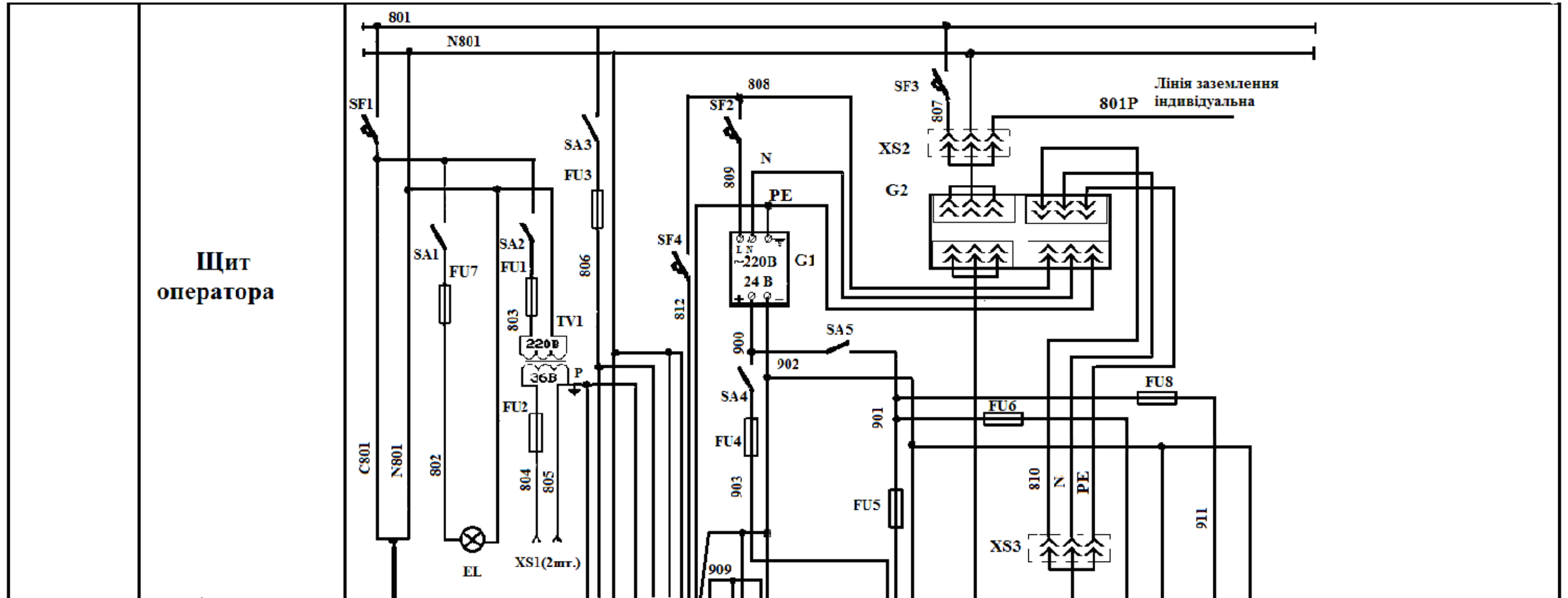
Блок ручного управління БРУ-7 з КБЗ-24-19	Візуальний контроль формувальних завдань
	Вибір та сигналізація режиму

Частотний перетворювач SINUS K 41	АВТ. ДИСТ. РЕЖИМ
Регулювання частоти	Управління Електроприводом М7 компресора
	Стабілізація абсолютної вологості в камері

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Креслив		Авдеев		
Перевірів		Скаковський		

Розрахунково-графічне завдання №1				
Автоматизація камери визрівання сиру		Літ-ра	Маса	Маштаб
		Лист 4	Листів 4	
Принципова електрична схема		ОНТУ Каф. АПІ і РС Група А-40		

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
<u>Перелік приладів на принциповій</u>			
<u>електричній схемі</u>			
<u>Прилади за місцем</u>			
1KM, ..., 7KM	Магнітний пускач ПМА 3221, з тепловим реле, контакти 2з, 1р	7	існуючі
1SB1, ..., 7SB1	Кнопки КМЕ 4201, 1 р	7	
3SB4, 7SB4	Кнопка ELFIN 22, 1з, чорна	2	
8R, 9R	Резистор змінний високоточний 2,2 кОм, СП5	2	
HA	Дзвоник електричний АВВ KB1-4010 24В, 8А	1	
1SQ, ..., 7SQ	Реле граничного моменту	7	існуючі
<u>Прилади в силовому щиті</u>			
1QF, ..., 6QF	Автоматичний вимикач триполюсний Е.МСВ.ПРО.60.3.С 6 NEW, 6А	6	існуючі
7QF	Автоматичний вимикач триполюсний DZ47-60 3Р 4.5КА С, 10А	1	існуючий
1FU, ..., 7FU	Запобіжник із плавкою вставкою ВПТ, струм 3А	7	існуючі
<u>Прилади на щиті оператора</u>			
1SA, ..., 7SA, 17SA	Перемикач ELFIN 22 на 3 положення, 020SAMONW	8	
1SB3, ..., 7SB3 18SB1, 18SB2	Кнопка ELFIN 22, 1з, зелений штовкач, (Пуск)	9	
1SB2, ..., 7SB2	Те ж, 1р, червоний штовкач, (Стоп)	7	
1K, ..., 7K, 17K	Реле проміжне, DRM 270024, 24В	8	
1VD, ..., 7VD, 11VD, ..., 16VD	Світлосигнальна арматура у сборі ELFIN 22, 24В пост. струм 16 мА, світлодіод червоний, 010BA9SLR24,	13	
1R, ..., 16R	з опорами 1,2 кОм у комплекті	16	
РГЗ №1з ПСА	Специфікація до принципової електричної схеми	Лист	
		4	



Характеристика електричного приймача	Позиція				8б	9б	МПК				Схема сигналізації та управління	ПК		8а, 10а	9а	
	Тип	Увід живлення від ненавантаженого фідера	Внутрішнє освітлення	Електроінструмент переносне освітлення	БРУ-7	БРУ-7	PS 307	Модулі ПЗО			Схема сигналізації та управління	Системний блок і монітор	Принтер	Датчики температури "ТЕРА"	Універсальний датчик вологості UAFT/A-ID	
	Номинальна напруга, В	~ 220В	~ 220В	~ 36 В	~ 220В	~ 220В	24 В				24 В	~ 220В	~ 220В	24В	24В	
	Споживана потужність ВА (Вт)	1612	25	400	8	8	120	20	1,0	3,0	3,5	10	800	100	1,6	0,48
	Місце установки	Щит оператора										Операторський пункт		За місцем		

ПРИМІТКА

Корпус джерела живлення G1 ізолювати від корпусу щита

					<i>Розрахунково-графічне завдання №1</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Автоматизація камери визрівання сиру</i>		
Креслив		Авдеев					
Перевірів		Скаковський					
					<i>Принципова електрична схема живлення</i>		
					Літ-ра	Маса	Маштаб
					Лист 1	Листів 2	
					<i>ОНТУ Каф. АТП і РС Група А-40</i>		

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, SF3	Те ж, 5А	2	
EL	Патрон косий настінний Е27 ФнП-03	1	
TV1	Трансформатор ТСБ3-220/36В, 400 Вт	1	
XS1	Розетка РШ-0-2- двополюсна, 5А	1	
XS2, XS3	Розетка РШ-0-3- триполюсна, 10А	2	
SA1, ..., SA5	Вимикач, ПВ-1-16, 16А	5	
FU1	Запобіжник із плавкою вставкою, ПТ, 2А	1	
FU2	Те ж, 12А	1	
FU4, FU5, FU7	Те ж, 0,5А	3	
FU3, FU6, FU8	Те ж, 0,16А	3	
G1	Блок живлення стабілізов., «ОВЕН» БП60Б-Д4-24, 24В, 60Вт	1	
G2	Джерело безперебійного живлення (UPS) Power Must 800VA	1	
РГЗ №1з ПСА	Специфікація до принципової електричної схеми живлення	Лист	
		2	