

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**на тему: “Автоматизація технологічного процесу виробництва
сухого молока із застосуванням контролерів Schneider Electric M340
для ПАТ "Бродівський завод сухого знежиреного молока"”**

Виконав: студент гр. Акт-42Сп
Спеціальності 174 – „Автоматизація, комп’ютерно-
інтегровані технології та робототехніка”
(шифр і назва)

Каличак Ярослав Ігорович _____
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Лиса О.В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: д.т.н., проф. Власовець В.М.
(Прізвище та ініціали)

ЛЬВІВ-2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Спеціальність 174 – „Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та
робототехніка”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ ____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

_____ Каличак Ярослав Ігорович _____

1. Тема роботи: Автоматизація технологічного процесу виробництва сухого
молока із застосуванням контролерів Schneider Electric M340 для ПАТ
"Бродівський завод сухого знежиреного молока"

Керівник роботи Лиса Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.

Затверджені наказом по університету від 25 лютого 2025 року № 123/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 16.06.2025 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта процесу виробництва
сухого молока; 2. Функціональні ознаки технологічного процесу виробництва
сухого молока; 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу виробництва сухого молока як об’єкта
керування

2. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації та
технічних засобів автоматизації

3. Розрахунок системи автоматичного регулювання

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проекрованої системи автоматизації
Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу: Тема, автор, керівник роботи. Сушильний агрегат СДА- 250. Принципова схема струменевої розпилюючої сушарки для виробництва сухого молока. Технологічна карта процесу сушіння молока. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами сушарки. Спрощена оптимальна функціональна схема автоматизації розпилюючої сушарки. Схеми підключення технічних засобів і модулів. Графік залежності між значеннями другої інтегральної оцінки якості J_2 і параметром налаштування автоматичного регулятора. Графік кривої розгону САР із ПІД-регулятором при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 15%.. Графік кривої розгону САР із ПІД-регулятором при зміні завдання регулятора на 10 °С.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	Лиса О.В., доцент кафедри інформаційних технологій		
4	Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки		

7. Дата видачі завдання 8 вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При мітка
1	Написання першого розділу та означення головних завдань роботи	08.09.24-25.12.24	
2	Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків	26.12.24-01.02.25	
3.	Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи	02.02.25-11.04.25	
4.	Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці	12.04.25-21.04.25	
5.	Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи	22.04.25-21.05.25	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації	22.05.25-01.06.25	
7.	Завершення роботи в цілому	02.06.25-16.06.25	

Студент _____ Каличак Я.І.
(підпис)

Керівник роботи _____ Лиса О.В.
(підпис)

Автоматизація технологічного процесу виробництва сухого молока із застосуванням контролерів Schneider Electric M340 для ПАТ "Бродівський завод сухого знежиреного молока". Каличак Я. І. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Львів, ЛНУВМБ ім. С.З.Гжицького, 2025.

56 с. текст. част., 15 рис., 6 табл., 28 літ. джерел.

Текстова частина включає вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел.

У першому розділі проведено аналіз технологічного процесу виробництва сухого молока як об'єкта автоматизованого керування. Подано опис етапів процесу, визначено номінальні значення основних технологічних параметрів і допустимі межі їх відхилень, а також побудовано структурну схему взаємозв'язку між цими параметрами.

Другий розділ містить технічне обґрунтування вибору засобів автоматизації. Розроблено спрощену оптимальну функціональну схему автоматизації, здійснено вибір первинних перетворювачів, виконавчих механізмів і мікропроцесорного обладнання. Описано логіку роботи ПЛК Schneider Electric M340 та принципову схему зовнішніх з'єднань.

У третьому розділі виконано розрахунок системи автоматичного регулювання. Обґрунтовано вибір її структури, розраховано параметри моделі та проведено налаштування регуляторів. Досліджено перехідні процеси в системі за оптимальних налаштувань ПД-регулятора.

У четвертому розділі розроблені заходи з охорони праці і навколишнього середовища.

У п'ятому розділі розраховано економічну ефективність від впровадження запропонованої системи автоматизації.

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, мікропроцесорний контролер, закон регулювання, моделювання, крива розгону, Matlab.

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розглянуто автоматизацію процесу виробництва сухого знежиреного молока на ПАТ «Бродівський завод сухого знежиреного молока» із застосуванням ПЛК Schneider Electric M340. Описано технологічний процес, визначено ключові параметри керування, обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації та розроблено функціональну схему. Проведено моделювання системи автоматичного регулювання та налаштування ПІД-регулятора. Робота спрямована на підвищення ефективності та надійності керування технологічним процесом. Наведено опис контурів регулювання технологічних параметрів та специфікацію на технічні засоби автоматизації.

THE SUMMARY

The qualification work considers the automation of the skimmed milk powder production process at PJSC "Brodiv Skimmed Milk Powder Plant" using the Schneider Electric M340 PLC. The technological process is described, key control parameters are determined, the choice of technical means of automation is justified, and a functional diagram is developed. The automatic control system is simulated and the PID controller is set up. The work is aimed at increasing the efficiency and reliability of the technological process control. A description of the control loops of technological parameters and a specification for technical means of automation are given.

Зміст

Вступ.....	5
1. Аналіз технологічного процесу виробництва сухого молока як об'єкта керування	8
1.1. Опис технологічного процесу виробництва сухого молока.....	8
1.2. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень	16
1.3. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта керування	18
2. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації та технічних засобів автоматизації	20
2.1 Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта	20
2.2. Вибір первинних перетворювачів та виконавчих механізмів	21
2.3. Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації	26
2.4. Опис програми функціонування мікропроцесорного контролера МЗ40.....	29
2.5. Опис принципової електричної схеми зовнішніх з'єднань контролера МЗ40.....	33
3. Розрахунок системи автоматичного регулювання.....	36
3.1. Вибір структури та розрахунок параметрів моделі	36
3.2. Розрахунок параметрів налаштування автоматичних регуляторів	41
3.3. Дослідження перехідних процесів в САР при оптимальних параметрах налаштування ПД-регулятора.....	46
3.4. Опис функціональної схеми автоматизації.....	49
3.5. Специфікація на засоби автоматизації.....	52
4. Охорона праці	56
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці.....	56
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці...	57
4.3. Пожежна безпека.....	59
5. Розрахунок економічної ефективності проекрованої системи автоматизації.....	61
Висновок.....	64
Список використаних джерел.....	66

Вступ

У сучасних умовах підвищення ефективності харчової промисловості України неможливе без широкого впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами. Особливо це актуально для підприємств молочної галузі, де важливими факторами є якість продукції, енергоефективність виробництва, стабільність технологічних параметрів та зниження впливу людського фактора.

ПАТ «Бродівський завод сухого знежиреного молока» є одним із провідних підприємств у регіоні з виробництва сухого молока, яке широко використовується як сировина в кондитерській, хлібопекарській та інших харчових галузях. Проте на окремих етапах технологічного процесу, зокрема під час випаровування та сушіння молока, досі зберігається ручне або малоефективне керування, що призводить до втрат енергії, коливань у якості готової продукції та додаткових виробничих витрат.

Метою даної дипломної роботи є розробка та обґрунтування автоматизованої системи управління технологічним процесом виробництва сухого молока із застосуванням програмованого логічного контролера Schneider Electric Modicon M340. Обрана система дає змогу забезпечити точне регулювання параметрів процесу, гнучке налаштування технологічних режимів, візуалізацію роботи обладнання, накопичення і аналіз технологічних даних.

У роботі проведено аналіз існуючого стану виробництва, сформовано функціональні вимоги до автоматизованої системи, розроблено її структурну та функціональну схеми, обґрунтовано вибір обладнання та засобів автоматизації, виконано техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження проєкту. Окремо приділено увагу питанням охорони праці, виробничої безпеки та екологічним аспектам.

Актуальність теми зумовлена необхідністю переходу молокопереробних підприємств до енергоефективних цифрових технологій, що є запорукою конкурентоспроможності та сталого розвитку вітчизняної харчової промисловості.

Під технологічним процесом розуміють впорядковану послідовність операцій, які виконуються над вхідною сировиною в одному або декількох апаратах з метою отримання готової продукції, що відповідає заданим показникам якості.

Основна мета керування технологічним процесом полягає у забезпеченні досягнення оптимальних значень певного критерію, яким можуть виступати як технологічні, так і техніко-економічні показники — зокрема продуктивність, якість продукції, витрати ресурсів тощо. Керуючі впливи на об'єкт здійснюються шляхом зміни параметрів матеріальних або енергетичних потоків, у результаті чого відбувається зміна значення обраного критерію ефективності.

Сьогодні для реалізації процесів керування широко використовуються автоматизовані системи керування (АСК), що представляють собою людино-машинні комплекси. Вони здатні автоматично збирати, аналізувати і використовувати інформацію для забезпечення стабільності та ефективності технологічних процесів.

До ключових переваг таких систем належать зменшення впливу людського фактору, скорочення штату обслуговуючого персоналу, зниження витрат на сировину та енергоресурси, а також покращення якості кінцевої продукції. Сучасні АСК виконують низку функцій: моніторинг і керування параметрами процесу, обробка та збереження даних, формування повідомлень про аварійні ситуації, створення звітів та графіків.

Інженери з автоматизації при впровадженні таких систем стикаються з вибором відповідного апаратного забезпечення. На ринку представлено широкий асортимент промислових контролерів як іноземного, так і вітчизняного виробництва. Хоча продукція українських компаній також заслуговує на увагу, її інтеграція в автоматизовані системи вимагає адаптації до специфіки конкретного технологічного процесу.

Мікропроцесорні контролери ефективно застосовуються як у безперервних, так і у періодичних технологічних процесах. Вони забезпечують перетворення аналогової інформації з первинних вимірювальних приладів у цифровий формат, виконують керування відповідно до закладених алгоритмів та забезпечують взаємодію з оператором через інтерфейсні засоби.

Зокрема, процес сушіння молока вимагає високоточного контролю температури, тиску, вологості та інших параметрів, тому автоматизація цього етапу з

використанням мікропроцесорного контролера є доцільною. Це дозволяє досягти стабільної якості продукції при оптимальному використанні ресурсів.

Об'єктом даного дослідження є технологічний процес виробництва сухого знежиреного молока, який розглядається з позиції впровадження сучасної системи автоматизації на основі контролерів Schneider Electric.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СУХОГО МОЛОКА ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1. Опис технологічного процесу виробництва сухого молока

Сушіння є одним із ключових етапів обробки твердих матеріалів, який полягає у видаленні вологи шляхом її випаровування та відведення утвореної пари. При цьому в речовині відбувається перенесення тепла і дифузійне переміщення вологи. Тривалість процесу сушіння визначається інтервалом часу, який необхідний для пониження вмісту вологи в матеріалі від початкового значення M_n до кінцевого M_k .

Одним з традиційних способів сушіння цільного молока є розпилююча струменева сушарка. У переважній більшості в промисловості використовуються розпилюючі сушарки з дисковим розпиленням молока. При розпилюючому способі сушіння тривалість сушіння і перебування матеріалу в сушильній камері складає 5-30 секунд в залежності від способу видалення висушеного продукту з башти. Як сушильний агент в розпилюючих сушарках використовується підігріте повітря з температурою 160-190°C. Підігрівання повітря може здійснюватися від парових котлів встановлених в котельнях підприємств, або відтеплообмінників з газовими установками.

Сушіння в розпилюючій сушарці проходить два етапи: на першому етапі здійснюється попередня обробка молока, воно згущується до рівня вмісту твердих речовин 45-55 %. На другому етапі концентрат подається в сушильну башту для кінцевого висушування.

Процес кінцевого висушування проходить в 3 стадії:

- розпилювання концентрату на дуже дрібні краплі;
- попадання розпиленого концентрату в потік теплого повітря, в якому швидко випаровується волога;
- відділення частинок сухого молока від сушильного агента (підігрітого повітря).

Випаровування вологи є необхідною виробничою стадією для отримання високоякісного сухого молока. Сухе молоко, продукт вироблене без попереднього

згущення має дуже маленькі частинки, характеризується низькою обробкою і коротким терміном зберігання.

Сушіння може бути одно-, дво- або триступінчастим, коли декілька сушарок різних типів працюють послідовно.

На даний час на підприємствах молочної промисловості широко використовують розпилюючі сушарки таких типів як: "ЦТР-500", виробництва Німеччини; ВРА-4 та ВРС-5 виробництва Чехії. Серед вітчизняних сушильних установок можна виділити форсункову установку типу ОСВ-1 продуктивністю 1000 кг випаруваної з молока води за годину та інші. На рисунку 1.1 показано загальний вигляд сушильного агрегата типу СДА-250.

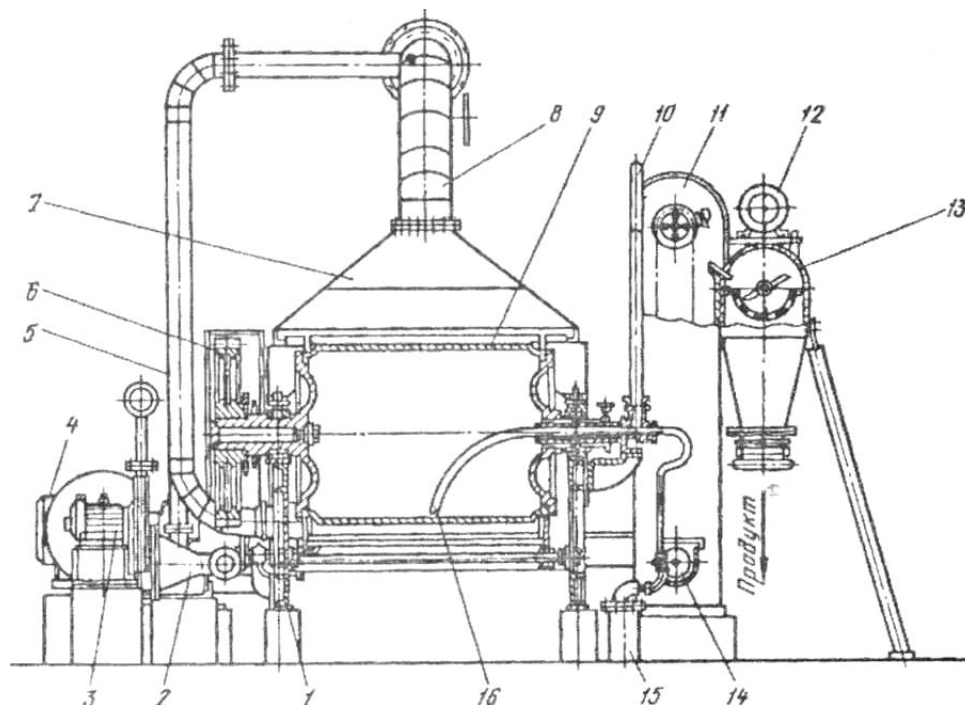


Рис.1 .1. Сушильний агрегат СДА- 250: 1 — станина; 2,5 — повітропроводи; 3 — електродвигун вентилятора; 4 — електродвигун вальців; 6 — привідний механізм; 7 — витяжний патрубок; 8 — механізм відведення пари; 9 — вальці; 10 — патрубок для впускання пари; 11— елеватор; 12 — електродвигун дробарки; 13 — дробарка; 14—шнек; 15 – конденсатовідвідник; 16 – патрубок для відводу конденсату.

Сушильні установки для розпилюючого сушіння молочних продуктів вперше були створені і знайшли промислове застосування на початку ХХ століття. До

особливостей цих установок можна віднести сушіння згущеного молока до заданого вологовмісту в сушильній башті. Установа подібного типу приведена на рис. 1.2 і включає вертикальну циліндрову сушильну башту 8, оснащену форсунковим або дисковим розпилювачем, а також системи підготовки і подачі сушильного агента, очищення відпрацьованого повітря і подачі вихідного продукту. Система підготовки і подачі сушильного агента, як правило, складається з тканинного або сітчастого фільтра 2 і калорифера 4, що забезпечують відповідно очищення і підігрівання технологічного повітря, а також нагнітального вентилятора 3, призначеного для його подачі в сушильну башту. Для очищення відпрацьованого повітря, що витягується з башти вентилятором, використовуються циклон 7 або тканинні фільтри. У систему подачі вихідного продукту входить накопичувальний резервуар для зберігання вихідного продукту, ємність для води, призначена для запуску і зупинки установки, а також насос 1, що забезпечує подачу продукту до розпилювача.

Збір готового продукту з сушильної башти і циклону, а також його подача на фасування здійснюється за допомогою системи пневмотранспорту 9 або транспортерами різних видів (гвинтовими чи вібраційними). Для відсівання з готового продукту некондиційних частинок (грудок) зазвичай використовується сито 6.

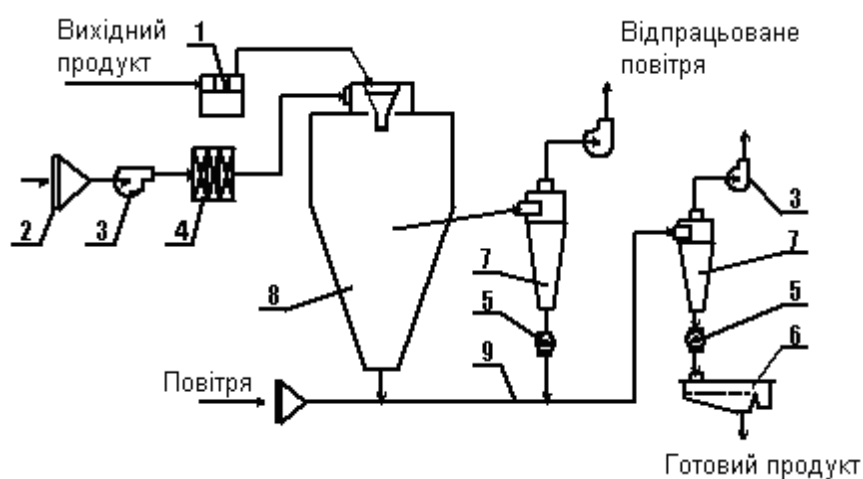


Рис.1.2. Принципова схема струменевої розпилюючої сушарки для виробництва сухого молока: 1 - насос; 2 - фільтр; 3 – вентилятор; 4 – калорифер; 5 – живильник шлюзовий; 6 – сито вібраційне; 7 – циклон; 8 – сушарка розпилююча; 9 – лінія пневмотранспорту.

Наведемо технічний опис сушарки типу VRC-5, яку широко використовують для отримання сухого молока.

Розпилююча сушарка типу VRC-5 складається з таких основних частин:

- фільтрація, нагрівання і підведення сушильного агента (підігрітого повітря);
- сушильна камера;
- витяжний трубопровід із сушильної камери;
- охолоджуюче обладнання;
- підведення продукту і миючих засобів;
- електротехнічна частина.

Фільтрація, нагрівання і підведення сушильного агента

Повітря з навколишнього середовища всмоктується через фільтр із змінними фільтраційними вставками. Фільтр з'єднаний за допомогою трубопроводу з всмоктуючим входом вентилятора, який підключений до високотемпературного теплообмінника.

Теплообмінник складається з камери згоряння і батареї тонкостінних нержавіючих трубок, в яких протікає суміш продуктів згоряння з повітрям.. В камері згоряння вмонтована газовий пальник.

Теплообмінник з'єднаний з розподільчою спіраллю сушарки трубопроводом, який термічно ізолюваний мінеральним волокном, закритим алюмінієвим листом.

Сушильна камера

Сама сушильна камера зварена із циліндричної і конусної частини і стелі з розподільчою спіраллю сушильного середовища. Циліндрична і конусна частини складаються із панелей, які при монтажі зварюються в одне ціле.

В розподільчій спіралі в центрі розташований конусний регулятор потоку повітря, який обладнаний двома рядами регулюючих лопаток. Налагодженням лопаток можна регулювати потік повітря так, щоб простір камери був максимально використаний і одночасно перешкоджати налипанню порошку сухого молока на стелю сушильної камери. В циліндричній частині камери розміщені двері. Стеля камери обладнана заслінками. На циліндричній і конусній частині розміщені пневматичні молотки, які служать для обстукування камери.

В центрі внутрішнього конуса встановлено розпилюючий агрегат.

В нижній частині сушильної камери вмонтовано інтегруюче флюїдне дно (ІФД) з спеціальною перфорованою решіткою, яка забезпечує рух порошку сухого молока вперед. В ІФД вмонтовані над і під решіткою контрольні і очищувальні отвори. Циліндрична і конусна частини термічно ізольовані мінеральним волокном, покритим нержавіючими листами.

Система обдування стін сушильної камери складається з установки для обробки сушильного агента. Вона складається з вузла фільтрації, вузла змішування гарячого і холодного повітря, вентилятора і трубопроводу повітря.

Витяжний трубопровід із сушильної камери

Витяжний трубопровід розміщений в конусній частині камери в середині ІФД, яким відводиться використаний сушильний агент у відділювальну систему.

Відділювальна система складається із циклона в нижній частині закритого роторним живильником.

Циклон підключений до всмоктуючого вузла витяжного вентилятора трубопроводом. Всмоктуючий вузол виводить очищений відпрацьований сушильний агент (повітря) в атмосферу.

Система повернення порошку сухого молока забезпечує повернення уловлених частинок порошку в циклонному відділювачі назад в сушильний процес. Вона складається із повітряного фільтра, установки для подачі підігрітого повітря, роторного живильника, розміщеного під циклонним відділювачем і транспортного трубопроводу, який виходить в зону розпилення.

Охолоджуюча система

Охолоджуюче обладнання потрібне для охолодження висушеного продукту, який підводиться із сушильної камери у вхідну горловину вібраційного жолоба. Завдяки вібрації сухе молоко проходить через шар решіток і продувається охолоджуючим повітрям. Підведення і відведення охолоджуючого середовища забезпечує установка для обробки повітря. Система має два кола охолодження. По одному повітря проходить через тканинний фільтр, вентилятор і трубопровід у

вібраційний жолоб. А по другому- повітря спочатку подається в охолоджуючу батарею, а вже потім у вібраційний жолоб.

Сушильне обладнання працює під вакуумом (розрідженням). Напірний вентилятор забезпечує транспортування нагрітого повітря в сушарку. Витяжний вентилятор забезпечує розрідження і відсмоктування відпрацьованого повітря.

Свіже повітря, яке всмоктується напірним вентилятором, проходить через тканинний фільтр, де воно очищається і вентилятором через газовий високотемпературний теплообмінник і розподільну спіраль входить в сушарку. Розподільна спіраль забезпечує рівномірне розподілення сушильного середовища до диску всередині сушильної камери.

Вологий матеріал переправляється насосом із ємності в розпилюючий агрегат, де за допомогою диску розпилюється в сушильну камеру.

В камері відбувається змішування молока з гарячим повітрям. Відбувається інтенсивне випаровування - перша стадія сушіння.

Молоко падає на ІФД, де матеріал досушується повітряним середовищем з низькою температурою – друга стадія сушіння. Висушений продукт виходить з ІФД в охолоджений жолоб. В першій секції вібраційного жолоба відбувається охолодження порошку сухого молока температурою навколишнього середовища, а в другій - кінцеве охолодження потоком повітря, яке виходить з холодильної установки до кінцевої температури. Із вібраційного жолоба порошок поступає в систему пневмотранспорту і в бункер для зберігання.

Висушений продукт, який частково виводиться з сушарки разом із потоком повітря, поступає в циклон, де відділяється від відпрацьованого повітря.

Відділення малих частинок порошку сухого молока від повітряного середовища забезпечує механічний циклонний пиловловлювач. А повітряний потік виводиться витяжним вентилятором в атмосферу.

Для покращення потоку сушильного агента в сушарці застосована система обдування стін (повітряна мітла), яка разом з системою пневматичного обстукування не дає відкладатися частинкам сухого молока на стінках камери.

Вдосконалення конструкцій струменевих розпилюючих сушарок здійснюється за такими напрямками:

- оптимізація геометричних співвідношень їх розмірів, модернізація вузлів розподілення потоків підігрітого повітря;
- покращення конструкцій комплектуючих виробів у складі сушильних установок (розпилювачів, гомогенізаторів, шлюзових живильників, систем підігріву і очищення повітря, арматури, мийних систем, систем контролю і управління).

Подальша модернізація може здійснюватися в основному в області систем контролю і управління через швидку заміну елементної бази. Завдяки високій надійності і відносній простоті устаткування такі сушильні установки забезпечують ефективне виробництво сухого цільного і знежирене молоко.

Система підігрівання теплоносія включає калорифер непрямого нагріву, що працює на рідкому паливі (мазуті) і призначена для підігрівання повітря, що подається в сушарку. Крім мазуту для підігрівання повітря може використовуватись природний газ. Охолодження продукту до заданого значення на виході із сушарки здійснюється за допомогою повітря, охолодженого в теплообміннику крижаною водою, що подається в систему пневмотранспорту.

Отриманий готовий продукт характеризується такими властивостями:

- дрібний розмір частинок;
- висока насипна густина;
- низьку швидкість розчинення.

Крім сухого молока такі сушарки застосовують також для отримання деяких видів сухої сироватки.

Переваги розпилюючої струменевої сушарки, над іншими типами сушарок:

1. Процес сушіння протікає надзвичайно швидко (15-30 с), Завдяки миттєвому сушінню і невисокій температурі розпилених частинок молока висушений продукт має необхідні показники якості (відсутня денатурація білків, окислення, втрати вітамінів, тощо). Крім сушіння молока їх можна застосовувати

для сушіння харчових продуктів, біологічних і фармацевтичних препаратів і інших термочутливих матеріалів.

2. При сушінні розпиленням легко регулювати і змінювати в потрібному напрямку якісні показники готового продукту в залежності від умов сушіння. Можна регулювати і змінювати у визначених межах об'ємну вагу сухого порошку, величину частинок, їхню кінцеву вологість і температуру.

3. У результаті сушіння виходить готовий продукт, що зазвичай не вимагає подальшого подрібнення і має підвищену розчинність.

4. При застосуванні сушіння методом розпиленням можна значно скоротити технологічний цикл одержання сухого продукту.

5. Розпилюючі сушарки мають високу продуктивність і не потребують значної кількості обслуговуючого персоналу.

6. Продукт, що висушується, у процесі сушіння не стикається з поверхнями сушарки доти, доки він не висохне до потрібного значення вологості. При застосуванні інших способів сушіння продукт може контактувати з металевими поверхнями сушарки.

7. Такі сушарки можна застосовувати для сушіння липких аморфних продуктів, які треба одержати у подрібненому стані, оскільки їх не можна подрібнити за допомогою розмелювання. Відмітимо, що в камері сушарки одночасно знаходиться небагато продукту, тому не може бути псування його великої кількості при виникненні непередбачуваних зупинок сушарки.

8. В таких сушарках не відбувається винесення пилу готового висушеного продукту у виробничі приміщення цеху, що надзвичайно важливо при сушінні шкідливих для людського організму речовин.

Відмітимо також і недоліки, які має такий метод сушіння:

- великі питомі габарити сушильної установки при сушінні з початковою температурою повітря 180-190°C;
- порівняно дороге і складне устаткування для розпилення розчинів і виділення висушеного продукту з відпрацьованого сушильного агента;

- підвищена витрата електроенергії, обумовлена витратами на розпилення розчину і збільшеною витратою повітря;

Незважаючи на вказані недоліки, сушіння розпиленням є економічно доцільним. Вартість сушіння зменшується із збільшенням продуктивності сушарки.

Результатом проведення даного технологічного процесу є отримання сухого молока.

При відсутності втрат матеріальний баланс матиме вигляд:

$$G_{\text{мол.}} = G_{\text{води}} + G_{\text{сух.мол.}}$$

$G_{\text{мол.}}$ – кількість молока перед сушаркою;

$G_{\text{води}}$ – кількість води на виході з сушарки;

$G_{\text{сух.мол.}}$ – кількість сухого молока.

1.2. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень

На протікання технологічного процесу сушіння в розпилюючих струменевих сушарках впливають такі параметри: розрідження (вакуум) в сушарці, тиск природного газу або мазуту (в залежності від застосовуваного палива) для підігрівання повітря; температура повітря на вході в сушарку, повітряне обдування сушарки, кількість сухого молока на виході з сушарки, витрата повітря після холодильника. Ефективність технологічного процесу в сушарці залежить також від температури молока на вході в сушарку та його якісний склад. На протікання процесу сушіння впливають температура, атмосферний тиск і вологість навколишнього середовища.

Для того щоб отримати сухе молоко на виході з сушарки вологістю до 4% потрібно підтримувати задані значення технологічних параметрів. Одним із основних параметрів є температура повітря на вході в розпилюючу сушарку. Якщо температура буде перевищувати допустиме значення, то молоко буде підгоряти. При занадто низькій температурі не зможемо досягнути заданого показника вологості в 4%. Для

протікання процесу необхідно постійно подавати повітря для обдування стінок для уникнення того, щоб молоко не прилипало до стінок башти. Необхідно також забезпечувати тиск в сушарці не більше 0,15 кПа для створення розрідження. Для досягнення заданої вологості продукту на виході із сушарки необхідно контролювати температуру молока на виході з сушарки, тому що вологість прямопропорційно залежить від значення цієї температури. Значення температури повинно становити 100 °С. Для забезпечення оптимального режиму спалювання і недопущення виникнення аварійної ситуації необхідно контролювати тиск природного газу в газовій установці. При виході значення тиску за допустимі межі необхідно здійснити відсікання подачі газу і зупинити протікання процесу.

З метою визначення впливу різних режимних факторів проводяться спеціальні дослідження з допомогою яких визначаються експлуатаційні значення технологічних параметрів, яких слід дотримуватися для досягнення оптимального протікання технологічного процесу. Назви технологічних параметрів, їх номінальні значення та можливі межі відхилення від цих значень заносять в технологічну карту, яка наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Технологічна карта процесу сушіння молока

№	Назва параметру	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустимі відхилення
1	Рівень води в ємності	м	3,5	± 0,25
2	Рівень молока в ємності	м	3,5	± 0,25
3	Витрата молока перед сушаркою	кг/год	3000	±500
4	Витрата палива	м ³ /год	250	±50
5	Тиск палива	Па	12000	±2000
6	Температура повітря на вході в сушарку	°С	185	±5
7	Температура повітряного для обдування	°С	82	±10
8	Розрідження в сушарці	Па	150	±20
9	Температура повітря в ІФД	°С	86	±10
10	Температура молока на виході з сушарки	°С	100	±5

12	Розрідження у вібраційному жолобі	Па	200	± 30
13	Температура повітря після холодильника	$^{\circ}\text{C}$	13	± 2
14	Вологість сухого молока	%	4	$\pm 0,1$
15	Витрата сухого молока	кг/год	1500	± 200

1.3. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта керування

Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами сушарки наведена на рис. 1.3

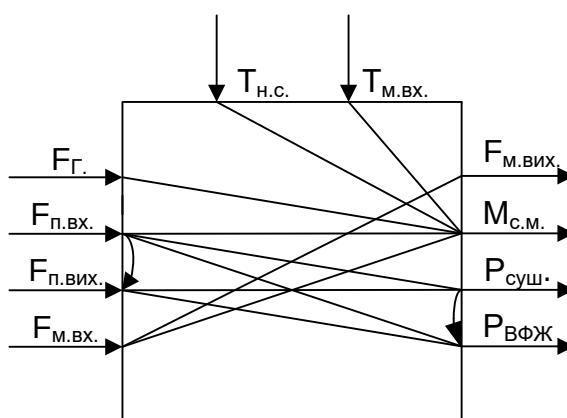


Рис. 1.3. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами сушарки

Вхідні величини:

$F_{Г.}$ – витрата палива (природного газу);

$F_{П.ВХ.}$ – витрата повітря на вході в сушарку;

$F_{П.ВИХ.}$ – витрата повітря на виході з циклона;

$F_{М.ВХ.}$ – витрата молока на вході в сушарку.

Вихідні величини:

$F_{М.ВИХ.}$ – витрата молока на виході з вібраційного жолоба;

$M_{С.М.}$ – вологість сухого молока після вібраційного жолоба;

$P_{суш.}$ – розрідження в сушарці;

$P_{ВФЖ}$ – розрідження у вібраційному жолобі.

Збурюючі величини:

$T_{н.с.}$ - температура навколишнього середовища;

$T_{м.вх.}$ -температура молока на вході в сушарку.

Основним параметром для отримання готового продукту заданої вологості є температура молока на виході з сушильної башти. Для підтримання його в певних межах необхідно змінювати витрату повітря перед теплообмінником і перед ІФД.

Температуру повітря на вході в сушарку регулюють зміною витрати палива перед камерою спалювання.

Для уникнення виникнення аварійної ситуації і можливого зупинення процесу сушіння необхідно контролювати тиск в камері спалювання. При відхиленні значень тиску від заданих необхідно перекривати подачу палива. Для забезпечення оптимальних техніко-економічних показників доцільно вимірювати витрату палива, масову витрату молока на вході і на виході з сушарки.

Для уникнення недогрівання або перегрівання молока необхідно регулювати температуру повітря для обдування корпусу сушарки і температуру повітря в ІФД.

Необхідно забезпечити певне значення рівня води шляхом періодичного підкачування чистої води. Доцільно також здійснювати сигналізація верхнього і нижнього рівня води. При досягненні верхнього значення рівня води у відстійнику повинен спрацювати сигналізатор верхнього рівня. В цьому випадку запірний клапан на лінії подачі закривається і рівень води зменшується доти, доки не спрацює сигналізатор нижнього рівня. Тоді відкриється запірний клапан і рівень води збільшуватиметься. За аналогією забезпечується дискретне керування рівня молока.

2 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта

Схеми автоматизації процесу сушіння молока зазвичай можуть відрізнятися в залежності від використання того чи іншого виду палива. Наприклад, для сушіння можуть використовувати як паливо торф, інші вторинні джерела тепла або гріюча пару. Тому тут необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між витратою палива і повітря, яке подається в камеру спалювання. Також можна застосовувати сушарки з іншими видами розпилювачів крім дискових (наприклад, форсунковими).

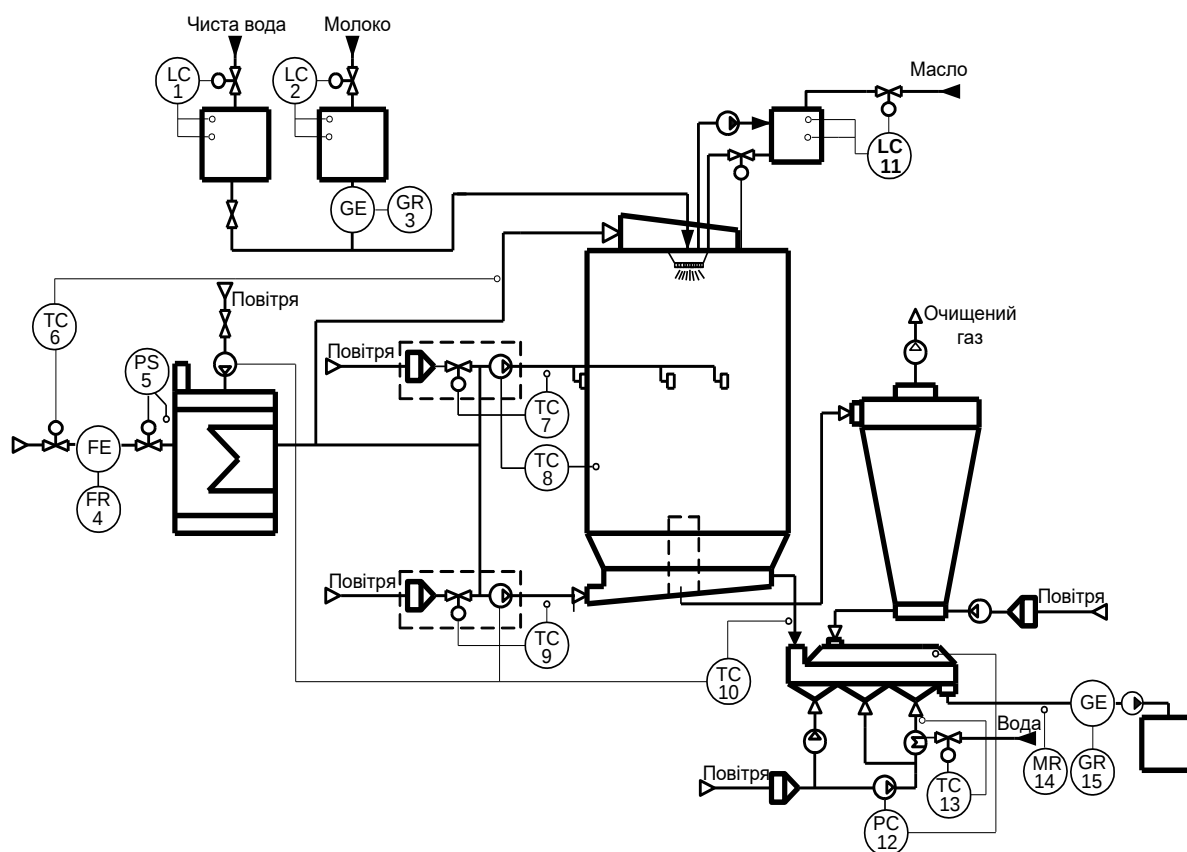


Рис. 2.1. Спрощена оптимальна функціональна схема автоматизації розпилюючої сушарки

На основі виконаного аналізу сушарки як об'єкта регулювання і враховуючи конкретні умови її роботи та накладені обмеження на протікання процесу, синтезуємо оптимальну схему автоматизації. Така схема враховує конкретні умови роботи

сушарки і забезпечує функціональні, технічні та метрологічні вимоги до системи автоматизації. Схема повинна також забезпечити необхідні показники якості перехідного процесу всіх контурів регулювання та її функціональні ознаки. Спрощена оптимальна функціональна схема автоматизації розпилюючої сушарки зображена на рисунку 2.1.

В даній функціональній схемі автоматизації (ФСА) передбачено такі контури вимірювання, дискретного керування і регулювання:

1. Контур дискретного регулювання рівня води в ємності.
2. Контур дискретного регулювання рівня молока в ємності.
3. Контур вимірювання масової витрати молока перед сушаркою.
4. Контур вимірювання об'ємної витрати палива (газу) перед газовою установкою.
5. Контур захисту тиску газу перед газовою установкою.
6. Контур регулювання температури повітря на вході в сушарку.
7. Контур регулювання температури повітряного обдуву.
8. Контур регулювання розрідження в сушарці.
9. Контур регулювання температури повітря в ІФД.
10. Контур регулювання температури молока на виході з сушарки.
11. Контур дискретного керування рівня мастила для змащування підшипників.
12. Контур регулювання розрідження у вібраційному жолобі.
13. Контур регулювання температури повітря після холодильника.
14. Контур вимірювання вологості сухого молока.
15. Контур вимірювання масової витрати сухого молока.

2.2. Вибір первинних перетворювачів та виконавчих механізмів

Вибір первинних перетворювачів та виконавчих механізмів виконано для кожного контуру регулювання, вимірювання, сигналізації та захисту.

Контур дискретного регулювання рівня води в ємності

Для підтримування рівня води у ємності використано триканальний сигналізатор рівня типу ОВЕН САУ-М6.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення	220В частотою 50 Гц
- Кількість каналів контролю рівня	3
- Допустиме навантаження на контактні реле	4А
- Температура навколишнього середовища	1-50 °С
- Атмосферний тиск	86-106,7 кПа
- Ступінь захисту	IP44

Давач рівня поплавковий ОВЕН ПДУ-1.1 горизонтальний.

Технічні характеристики:

- Тиск	до 15 бар
- Температура	-40..+105 °С

Для регулювання подачі витрати води необхідно змінювати положення кульових клапанів фірми CAMOZZI. За допомогою електроприводу АЕ 40. Крутний момент на вихідному валі становить 39 Н·м, а кут повороту 90°; робочий тиск 0-40 бар; робоча температура 25-55°С. Захист IP 65. Напруга живлення при частоті 50 Гц становить 230 В змінного струму з допустимим відхиленням $\pm 10\%$.

-Контур дискретного регулювання рівня молока в ємності

Для дискретного регулювання рівня молока в ємності застосовано такі ж технічні засоби, як і для регулювання рівня води.

Контур вимірювання масової витрати молока перед сушаркою

Для вимірювання масової витрати рідини застосовано витратомір фірми Siemens типу SITRANS FC MASSFLO MASS 6100.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення	напруга постійного струму 9 ... 24 В
- Діапазон переналагодження	0 ... 65 кг / год
- Похибка вимірювання	$\pm 0,1\%$ від діапазону переналагодження
- Допустиме значення тиску	32 бар
- Вихідний сигнал	пасивний 4-20 мА

- Ступінь захисту IP 66
- Внутрішній діаметр труби 20 мм
- Температура -50...+125°C

Контур вимірювання об'ємної витрати газу перед газовою установкою

Первинним перетворювачем витрати служить диференціальна напірна трубка Піто - Прандля тип 0635 2045.

Вона складається з внутрішньої трубки, що сприймає повний тиск потоку, і зовнішньої кільцевої частини, яка сприймає через бокові отвори статичний тиск потоку. Діапазон швидкості вимірюваного газового потоку 1-60 м/с. Середній коефіцієнт перетворення динамічного тиску трубки у всьому діапазоні швидкостей - 0,95...1,05. Відносної похибки - $\pm 3,0 \%$. Маса 0,8 кг; довжина трубки 500 мм; зовнішній діаметр трубки 7,0 мм.

Для вимірювання витрати газу застосовано дифманометр фірми SIEMENS SITRANS P, серія DS III FF.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення напруга постійного струму 9 ... 24 В
- Діапазон переналагодження 0-20 мбар
- Допустиме значення тиску 32 бар
- Похибка вимірювання $\pm 0,25\%$ від діапазону переналагодження
- Вихідний сигнал пасивний 4-20 мА
- Ступінь захисту IP 65
- ***Контур захисту тиску газу перед газовою установкою***

Для контролю тиску газу перед газовою установкою вибрано давач-реле тиску газу ДРДМ-15-ДИ.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення 220 В
- Діапазон переналагодження 0,5-15 кПа
- Похибка вимірювання $\pm 1\%$ від діапазону переналагодження
- Робоча температура -40...+60°C
- Вихідний сигнал пасивний 4-20 мА

- Ступінь захисту IP 54

Для відсікання природного газу при спрацюванні реле тиску застосовано відсікаючий клапан фірми Pietro Fiorentini SCN.

- **Контур регулювання температури повітря на вході в сушарку**

Для вимірювання температури застосовано термоперетворювач опору фірми Siemens типу TH100.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення напруга постійного струму 9 ... 24 В
- Діапазон переналагодження -200...350°C
- Чутливий елемент платиновий (опір при 0° C – 100 Ом)
- Похибка вимірювання $\pm 0,15\%$ від діапазону переналагодження
- Вихідний сигнал пасивний 4-20 мА
- Ступінь захисту IP 40

Для зміни витрати газу перед газовою установкою застосовано електропневматичний перетворювач типу Samson 3767. Він перетворює аналоговий сигнал керування від мікроконтролера у пневматичний для керування пневматичним виконавчим механізмом. Вхідним є струмовий сигнал 4-20 мА. Вихідним – уніфікований пневматичний сигнал 0,2...1,0 ат.

Контур регулювання температури повітряного обдуву

Для вимірювання цієї температури також застосуємо термоперетворювач опору фірми Siemens типу TH100 з наведеними вище технічними характеристиками.

призначений Для управління електричним виконавчим механізмом вибрано пускач безконтактний реверсивний типу ПБР-2М. Вхідний сигнал 24 В. Вхідний опір не менше 750 Ом. Максимальний комутований струм 4 А. Напруга живлення 220В.

Для переміщення регулюючих органів застосовано електричний виконавчий механізми типу МЕО на який подаються командні сигналами від регулюючих і керуючих пристроїв. Для даного технологічного процесу вибрано МЕО–100/10-0,25. Обертний момент 100 Нм, час повного ходу вихідного валу 10 с. Номінальний повний хід вихідного валу 0,25 оберту. Наявність блоку сигналізації положення вихідного валу типу БСПТ-10М 0-20 мА.

Контур регулювання розрідження в сушарці

Для вимірювання розрідження в сушарці застосовано вимірювальний перетворювач диференційного тиску типу SITRANS P, серія DS III HART.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення напруга постійного струму 9 ... 24 В
- Діапазон переналагодження 1-20 мбар
- макс. доп. знач. стат. тиску 32 бар
- Похибка вимірювання $\pm 0,25\%$ від діапазону переналагодження
- Вихідний сигнал пасивний 4-20 мА
- Ступінь захисту IP 65

Для регулювання швидкості помпи подачі застосовано трифазний частотний перетворювач фірми Danfoss типу VLT Micro FC51-132F0022.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення трифазна 380 В
- Потужність 2,2кВт
- Вихідна частота 0-400 Гц

Контур регулювання температури повітря в ІФД

Для вимірювання температури використано ті ж технічні засоби, що і для вимірювання температури в наведених вище контурах

Контур регулювання температури молока на виході з сушарки

Застосовано ті ж технічні засоби, що і для вимірювання температури в наведених вище контурах.

Контур дискретного керування рівня мастила для змащування підшипників

Для підтримування рівня мастила в ємності застосовано триканальний сигналізатор рівня типу OVEN CAУ-M6. Для регулювання подачі витрати мастила необхідно змінювати положення кульових клапанів фірми CAMOZZI з електроприводом типу AE 40.

Контур регулювання розрідження у вібраційному жолобі

Для вимірювання розрідження використано вимірювальний перетворювач диференційного тиску типу SITRANS P, серія DS III HART. Для регулювання

продуктивності помпи використано трифазний частотний перетворювач фірми Danfoss VLT Micro FC51-132F0022.

Контур регулювання температури повітря після холодильника

Застосовано ті ж технічні засоби, що і для вимірювання температури в наведених вище контурах.

- Контур вимірювання вологості сухого молока

Для вимірювання вологості сухого молока вибрано вологомір типу Microdar 114.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення напруга постійного струму 9 ... 24 В
- Діапазон переналагодження 0-20 %
- Температура середовища -5...95°C
- Похибка вимірювання $\pm 0,05\%$ від діапазону переналагодження
- Вихідний сигнал пасивний 4-20 мА
- Ступінь захисту IP 54

Контур вимірювання масової витрати сухого молока

Для вимірювання масової витрати сухого молока застосовано витратомір фірми Siemens типу SITRANS FC MASSFLO MASS6100.

Для керувати електроприводом застосовано проміжні реле фірми Schneider Electric ZELIO RSB 1A120BD з одним перекидним контактом. Маса 0,014 кг.

2.3. Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації

Для керування процесом застосовано програмований логічний контролер (ПЛК) фірми Schneider Electric типу M340. В контролері M340 передбачено нові рішення, які максимально відповідають вимогам сучасного приладобудування.

Контролер має невеликі габарити, але має достатній внутрішній об'єм пам'яті і високу продуктивність і може забезпечити вирішення задач будь-якої складності. Висока швидкість обробки інформації у двійкових одиницях поєднується зі здатністю виконувати цілочисельні обчислення і операції з плаваючою комою.

Використовуючи операційну систему M340, користувач може адаптувати контролер до наявного в нього обладнання, а не навпаки.

Завдяки великому об'єму пам'яті у M340 відпадає необхідність оптимізації процесів, тому що процесор має 8 Мбайт пам'яті, де можна зберігати понад 70 тисяч інструкцій програми. В комплекті з процесором поставляється флеш-картка типу SD, яка здатна для зберігання архіву програми. Таким чином, необхідності в розширенні пам'яті, як правило не виникає.

M340 дає змогу реалізувати різні завдання з врахуванням індивідуальних особливостей задач замовника, які можуть бути такими:

- функції рахунку імпульсів, які реалізуються за допомогою двох модулів: 2 канали до 60 кГц або 8 каналів до 10 кГц;
- 32-бітовий рахунок;
- час циклу 1 мс;
- 2 регістри захоплення і рефлексивні функції з реакцією менше 200 мкс;
- розширені конфігуруючі функції: фільтрація по кожному входу, широкий вибір рефлексивних функцій, генератор імпульсів, обмежувач вільного ходу;
- конфігуруючі функції розрахунку і вимірювання.

Керування сервоприводом або частотним приводом виконується командами MFB, які видаються на привід через шину CANopen і керуючими приводами Altivar для асинхронних електродвигунів Lexium або IctA з метою їх управління.

Бібліотека функцій регулювання є стандартною в пакеті Unity. Мова функціональних блок-схем забезпечує глибоке програмування з сучасним графічним інтерфейсом. Існує також можливість оптимізації і контролю алгоритму керування. Крім традиційних регуляторів типу ПД або ПІ, бібліотека включає в себе багато додаткових функцій і елементів, а саме:

- автоналаштування регулятора;
- дво- або трипозиційний регулятор, ПІ-регулятор типу «гарячий/холодний», каскадний ПД-регулятор;
- генератор функцій зміни алгоритму керування;
- переключення структури ПД/ПІ;
- модуляцію продовження імпульсу;
- масштабування параметрів і ряд інших можливостей.

До персонального комп'ютера можна підключитися з допомогою простого високошвидкісного інтерфейсу USB, яким обладнаний любий сучасний процесорний модуль від Schneider Electric. Підключення можливе і через Ethernet, в режимі «точка-точка» або через локальну мережу.

М340 дозволяє завжди «тримати» об'єкти замовника в межах досяжності. До установок можна підключитися за допомогою модема (RTC, GSM/GPRS, Radio) або ADSL. В залежності від технології підключення доступні:

- загрузка або вигризка програми;
- віддалена діагностика через WEB-сервер;
- запис і читання файлів даних

Для виконання бакалаврської роботи обрано я CPU P34 2020. На рисунку 2.2 показано лицьва панель контролера.

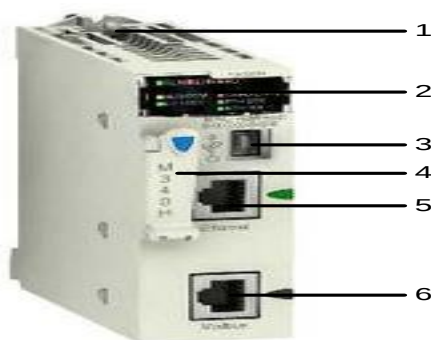


Рис. 2.2. Лицьова панель контролера

На лицьовій панелі вдосконалених процесорних модулів BMX P34 2020 передбачені наступні засоби індикації і гнізда:

1. Гвинт для надійного кріплення модуля на монтажну шасі.
2. Блок індикацій, який в залежності від моделі може мати 8 або 10 світлових індикаторів.
3. Гніздо USB mini-B для підключення програмного терміналу.
4. Відсік під картку пам'яті для зберігання резервної копії програми.
5. Гніздо RJ45 для підключення кабеля Ethernet TCP/IP 10BASE-T/100BASE-TX .
6. Гніздо RJ45 для підключення кабеля інтерфейсу Modbus або кабеля сигнального режиму.

На задній панелі розміщені два поворотних перемикачі присвоєння IP адреси.

Адреси можна присвоїти одним з трьох способів:

- адреса присвоюється двома перемикачами;
- адреса присвоюється в параметрах налаштування програми;
- адреса присвоюється сервером Ethernet TCP/IP BOOTP.

Для забезпечення необхідної кількості аналогових та дискретних входів/виходів в роботі обрано такі модулі розширення:

- BMXAMI 0800 – 2 модулі аналогового вводу.
- BMXAMO 0410 – модуль аналогового виводу.
- BMXAMM 0600 – модуль аналогового вводу/ виводу.
- BMX DDI 1602 – модуль вводу дискретних сигналів
- BMX DDO 1602 – модуль виводу дискретних сигналів.
- BMX DDM 16022 – змішаний модуль вводу/виводу дискретних сигналів.

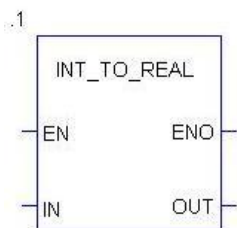
Кількість входів/виходів контролерів, яка використовується у схемі автоматизації процесу виробництва сухого молока: 15 аналогових входів, 5 аналогових виходів, 10 дискретних входів, 16 дискретних виходів.

2.4. Опис програми функціонування мікропроцесорного контролера M340

Програма функціонування процесу виробництва сухого молока написана за алгоритмами, для кожного контуру автоматизації з врахуванням особливостей контролера. Розробка програми відбувалася за допомогою програмного пакету фірми Schneider Electric Unity Pro XL V4.0.

Контур вимірювання тиску газу перед газовою установкою

Значення витрати поступає на аналоговий вхід контролера. Спочатку обробляється за допомогою блоків INT_TO_REAL, SCALING, LAG.

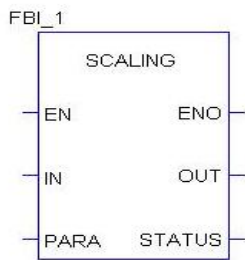


1) Перетворення сигналу з формату Integer у формат Real. Для цього існує блок Integer_to_Real.

- IN – вхід аналогового сигналу у форматі Integer.
- OUT – вихід сигналу у форматі Real.

Масштабування здійснюється за формулою:

$$OUT = (IN - in_min) \cdot \frac{(out_max - out_min)}{(in_max - in_min)}.$$



2) Масштабування сигналу. Для цього існує блок SCALING.

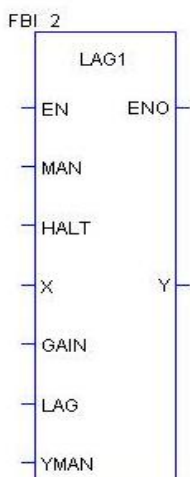
При підключенні цього блока необхідно його налаштувати на необхідний діапазон.

- IN – аналоговий сигнал у форматі Real, який потрібно масштабувати.

- PARA – тип даних. PARA включає в себе 4 змінних у форматі Real і одну змінну, яка називається Clip в форматі bool.

PARA – Para_SC:

- in_min – вхідний мінімальний сигнал;
- in_max – вхідний максимальний сигнал;
- out_min – мінімальне масштабоване значення;
- out_max – максимальне масштабоване значення;
- clip – залежно від значення визначає чи здійснювати обрізання входу (1 – обрізання здійснюється, 0 – обрізання не здійснюється).
- OUT – масштабована величина у форматі Real.
- STATUS – статусне слово.



3) Фільтрування масштабованого сигналу. Для масштабування використовуємо блок LAG.

-MAN – дискретний вхід, який визначає режим роботи.

-HALT – фіксація виходу (1 – вихід фіксується на попередньому значенні).

-X – вхідна величина у форматі Real.

-Gain – коефіцієнт фільтрування.

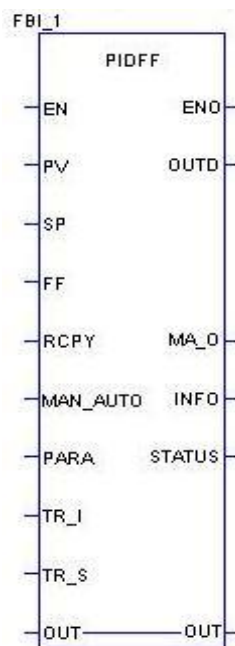
-LAG – стала часу фільтрування у форматі Time.

-YMAN – значення вихідного сигналу в ручному режимі, формат Real.

-Y-значення відфільтрованого масштабованого сигналу. На виході із блоку LAG отримуємо відфільтрований сигнал ROZRZABRFILTR. Тиск газу перед газовою установкою не регулюється, а тільки підлягає вимірюванню і реєстрації.

Контур регулювання температури сушильної установки

Обробляється сигнал температури за допомогою блоків INT_TO_REAL, SCALING, LAG після чого подається на блок регулювання PIDFF, за допомогою якого і здійснюється регулювання. Вихід з регулятора OUT_PIDFF поступає на блок MS, який призначений для ручного керування, а потім вихідний сигнал з блоку MS OUT_MSFF обробляється в аналоговий сигнал CHASTRIDYN, який подається на електропневматичний перетворювач. Послідовність виконання операцій наведена нижче.



1) Регулятор. Для регулювання використано блок PIDFF.

- PV – поточне значення параметра
- SV – завдання
- FF – додатній зворотній зв'язок
- RCPY – застосовується для пере присвоювання виходу регулятора на початок розрахунку
- MAN_AUTO – перемикач Ручний/Автоматичний
- TR_I – значення виходу в дистанційному режимі.
- TR_S – перехід в дистанційний режим керування
- OUTD – різницевий вихід

- MA_O – Режим роботи (ручний чи автоматичний)

- STATUS – статусне слово

- INFO – INFO_PIDFF:

▪ dev – величина розузгіднення;

▪ out_ff – вихід значення FF;

- PARA – Para_PIDFF;

▪ id – застосовується для автоналаштування регулятора;

▪ PV_inf – обмеження вхідного сигналу за мінімумом;

▪ PV_sup – обмеження вхідного сигналу за максимумом;

▪ Out_inf – обмеження виходу за мінімумом;

▪ Out_sup – обмеження виходу за максимумом;

▪ Rev_div – напрям дії виконавчого механізму;

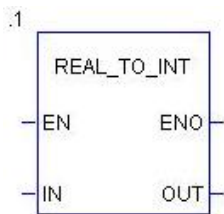
- Mix_par – вибір структури регулятора (змішана чи паралельна);
- Aw_tune – корекція виходу регулятора;
- En_rcpy – активування пересилання виходу регулятора на вхід;
- Kp – коефіцієнт передачі; Ti – стала часу інтегрування;
- Td – стала часу диференціювання; Kd – коефіцієнт диференціювання;
- PV_dev – параметр, який визначає від якої вхідної величини буде працювати диференційна складова (Д-складова);
- Bump – параметр для переходу з автоматичного в ручний режим (ударний чи безударний);
- Bumpless – безударний перехід;
- Dbang – зона нечутливості;
- Gain_k – параметр зміни меж зони нечутливості;
- Ovt_att – змінює завдання, яке поступає на П-складову;
- Autbias – ручна компенсація статичної похибки в П-регуляторі;
- Out_min – обмеження виходу по мінімуму;
- Out_max – обмеження виходу по максимуму;
- Out_rate – параметр задавання зміну виходу.



2) Вихід з регулятора поступає на блок MS, який призначений для ручного керування.

- IN – вхід регулятора, який застосовується в автоматичному режимі;
- FORC – параметр, який визначає застосування перемикача (MA_FORC чи MA_AUTO);
- TR_I – величина дистанційного керування;
- TR_S – перехід в дистанційне керування;
- OUTD – інкримінований вихід;
- OUT – абсолютний вихід;
- MA_O – режим роботи (ручний чи автоматичний);
- STATUS – статусне слово;
- PARA – Para_MS;

- Out_min – обмеження виходу по мінімуму;
- Out_max – обмеження виходу по максимуму;
- Outbias – значення компенсації;
- Use_bias – застосування компенсації;
- Bumpless – параметр для визначення режиму переходу (ударний чи безударний).



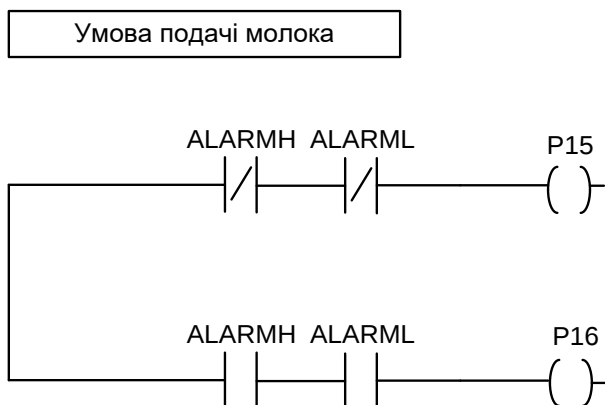
3) Блок для перетворення сигналу з формату Real у формат Integer. Перетворення здійснюється за допомогою блока REAL_TO_INT.

- IN – число у форматі Real;

- OUT – число у форматі Integer;

Контур регулювання рівня молока у ємності

Регулювання рівня молока у ємності здійснюється за допомогою сигналізатора положення. Якщо спрацьовує верхній давач рівня, то відповідно дискретний сигнал ALARMH поступає на контролер (при цьому також і працює нижній давач і подається сигнал ALARML). Після чого з дискретного виходу контролера сигнал подається на електропривід, який закриває клапан подачі для того, щоб рівень в ємності знизився до рівня спрацювання нижчого давача ALARML



Інші контури описуються за аналогією до наведених вище контурів.

2.5. Опис принципової електричної схеми зовнішніх з'єднань контролера

M340

Розглянемо схеми підключення вимірювальних перетворювачів:

- три вимірювальних перетворювачі диференціального тиску SIEMENS SITRANS P серія DS III;
- вимірювальний перетворювач різниці тисків SIEMENS SITRANS P серія DS III FF;
- 5 термоелектричних перетворювачів SIEMENS SITRANS TH100;
- 2 витратоміри Siemens SITRANS FC MASSFLO;
- вологомір Microdar 114.

Перетворювачі диференціального тиску SIEMENS SITRANS P серія DS III, перетворювач різниці тисків SIEMENS SITRANS P серія DS III FF, і термоелектричні перетворювачі SIEMENS SITRANS TH100 відносяться до пасивних приладів. Відповідно одна з клем живиться напругою 24В, а інша під'єднується до аналогових входів модуля аналогових ввідів BMX AMI0800. На кожний аналоговий вхід використовуються по дві клеми, тому що вхідні сигнали є струмові. Схема підключення витратоміра Siemens SITRANS FC MASSFLO відрізняється тим, що це двоканальний прилад. На кожний із каналів потрібно по дві клеми одного аналогового виходу (одна струмова, інша - спільна точка). Також живлення приладу підключається двома провідниками (один на +24 В, інший- на 0 В).

В автоматизації сушильної установки використовуються також 3 триканальних сигналізатори рівня ОВЕН САУ-М6. Напруга живлення 220 В змінного струму. Напруга перемикання реле 24В. Сигнали з датчиків рівня подаються на дискретні входи змішаного модуля вводу/виводу дискретних сигналів BMX DDM16022.

В схемі автоматизації передбачено застосування двох частотних перетворювачів. Живлення підключається до трьох ліній (L1, L2, L3). Аналоговий сигнал 0-10 В поступає на вхід частотного перетворювача (клема 60 (55 клема -спільна точка). Дискретний сигнал пуску частотних перетворювачів поступає на клеми 18 (20 клема-спільна точка). Дискретний сигнал на контролер поступає з клеми 1(2- спільна точка) на змішаний модуль вводу дискретних сигналів BMX DDI1602.

Схема підключення електроприводів – однофазна. Напруга живлення 220 В. Дві клеми через ключі підключаються до одної лінії живлення. Відповідно в залежності

від того, яке з двох реле спрацює, буде визначатися напрямку руху електроприводу. Програмовані реле підключаються до дискретних виходів модуля виводу дискретних сигналів BMX DDO1602.

Пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М живиться напругою 220В

Електричний виконавчий механізм МЕО подає аналоговий вхідний сигнал на модуль аналогових входів/виходів BMX АММ 0600. Сигнал більше/менше подається з сигналу змішаного модуля вводу/виводу дискретних сигналів BMX DDM16022.

3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1. Вибір структури та розрахунок параметрів моделі

У даному розділі досліджується система автоматичного регулювання (САР) температури молока на виході із сушарки. Регулююча дія – стрибкоподібна зміна витрати теплоносія (підігрітого повітря) на 15%. Збурення – стрибкоподібна зміна витрати молока на 7%,

Функція передачі каналом збурення:

$$W(p) = \frac{1.1}{(21p + 1)^2}$$

Вимоги до якості процесу регулювання:

Допустиме максимальне динамічне відхилення $A_1 = 9^\circ\text{C}$.

Допустима похибка регулювання $\Delta = 0,5^\circ\text{C}$.

Допустимий час регулювання $t_p = 350$ с.

Зміна завдання -10°C . Ступінь коливальності – $m = 0.35$.

Друга інтегральна оцінка по регулюючій дії – мінімальна.

Для розрахунку вибраної САР була отримана експериментальна крива розгону при стрибкоподібній зміні витрати теплоносія на 15%.

Таблиця 3.1

Значення температури для кривої розгону, отримані при стрибкоподібній зміні витрати теплоносія на 15%

Час, с	Температура, °C
0	80
7.5	80.5
30	84
60	90
96	95
144	98.4
180	99.3
216	99.7
232	99.9
240	100

Побудуємо експериментальну криву розгону при стрибкоподібній зміні витрати теплоносія та розрахункову криву розгону із заданих значень

експериментальних точок за формулою $y_1(t_j) = k(t_j) + y_1(t_j - t_i)$. Для цього використаємо програмне середовище Matlab.

```

clc
%znahmodeli
'Побудова заданої кривої розгону'
t=[0 7.5 30 60 96 144 180 216 232 240];
dy=10;
T=[80 80.5 84 90 95 98.4 99.3 99.7 99.9 100];
figure(1); plot(t,T,'o'); grid;
xlabel('t,c'); ylabel('T,^oC');
title('Zadanakrivarozgonu');
'Знаходження моделі у вигляді послідовного з'єднання аперіодичних ланок з
одинаковими сталими часу'
'1. Нормування заданої кривої розгону'
T_n=max(T);
T_n=100;
dT=T_n-min(T)
h_e=(T-min(T))/dT;
h_e1=0.5; h_e2=0.9;
t_05=60;
t_09=138.4;
figure(2); plot(t,h_e,'-ob',t_05,h_e1,'r-o',t_09,h_e2,'r-o'); grid;
xlabel('t , h(t)^e'); ylabel('h(t)^e');
title('Normovana kriva rozgonu');;

'2. Знаходження відношення t_05/t_09'
vidn=t_05/t_09
'Оскільки відношення лежить в межах 0.43-0.68, то знаходимо значення T і n'
T1=t_05/1.68
T2=t_09/3.89
'Вибираємо сталу часу в межах від T1 до T2'
T0=(T1+T2)/2
n=2;
'3. Знаходження теоретичної кривої розгону моделі'
h_1=1-exp(-t./T0).*(1+t./T0);
t1=[0:1:240];
h_2=1-exp(-t1./T0).*(1+t1./T0);
figure(3); plot(t1,h_2,'-b',t,h_e,'r-*'); grid;
xlabel('t , h(t).^e'); ylabel('h(t).^e');
title('Nakladannja teoretichnoi i zadanoi Krivoi rozgonu');
'4. Перевірка адекватності моделі'
[D j]=max(abs(h_1-h_e))
delta=D*100

```

'Оскільки відносна похибка розрахунків $\sim 3\%$, то вважаємо, що модель знайдено правильно'

'5. Запишемо модель у вигляді функції передачі'

$k = dT/dy$

$W_1 = tf(k, [T0 \ 1])$

$W_2 = tf(1, [T0 \ 1]);$

$W_p = W_1 * W_2$

$h1 = h_e * 20 + 80;$

$h2 = h_1 * 20 + 80;$

`figure(4); plot(t, h2, '-b', t, h1, 'ro'); grid;`

`xlabel('t , c'); ylabel('T, ^oC');`

`legend('rozrahovana kryva rozgonu', 'eksperementalna kryva rozgonu')`

Результат виконання програми:

1. нормування заданої кривої розгону

$dT = 20$

2. Знаходження відношення t_{05}/t_{09}

$vidn = 0.4335$

Оскільки відношення лежить в межах 0.43-0.68, то знаходимо значення T і p

$T1 = 35.7143$

$T2 = 35.5784$

Вибираємо сталу часу в межах від $T1$ до $T2$

$T0 = 35.65$

3. Знаходження теоретичної кривої розгону моделі

4. Перевірка адекватності моделі

$D = 0.0092$

$j = 10$

$\delta = 0.9211$

$k = 2$

Transfer function:

2

$1271 \ s^2 + 71.29 \ s + 1$

В результаті отримаємо криву розгону (рисунок 3.1).

На рисунку 3.2 наведено графік нормованої експериментальної кривої розгону, отриманої при стрибкоподібній зміні витрати теплоносія на 15% з нанесеними значеннями часу t_{05} і t_{09} , а на рисунку 3.3 -. експериментальна та розрахована криві розгону по температурі молока на виході з теплообмінника, отримані зміною витрати теплоносія на 15%.

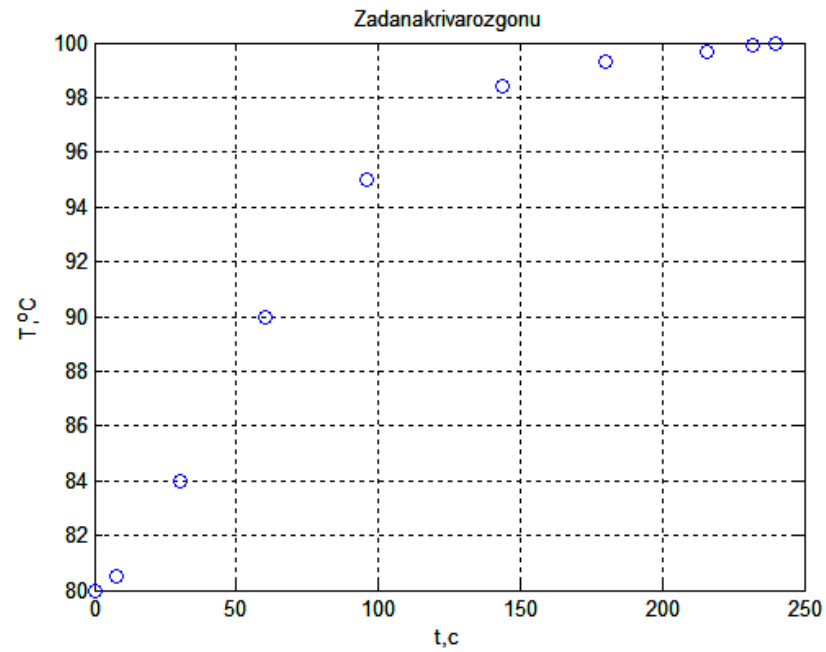


Рис.3.1. Графік експериментальної кривої розгону, отриманої при стрибкоподібній зміні витрати теплоносія на 15%.

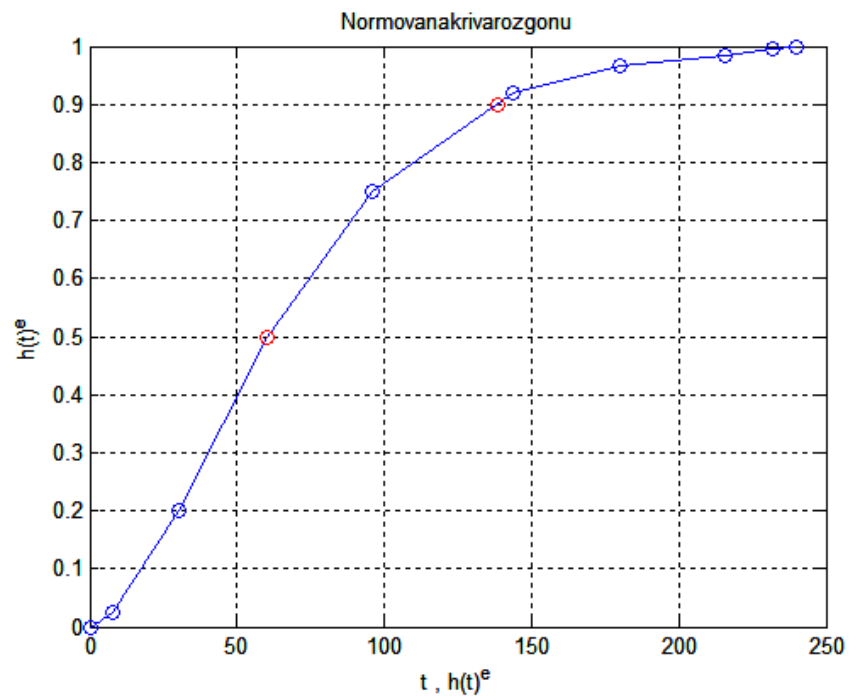


Рис.3.2. Графік нормованої експериментальної кривої розгону, отриманої при стрибкоподібній зміні витрати теплоносія на 15% з нанесеними значеннями часу t_{05} і t_{09}

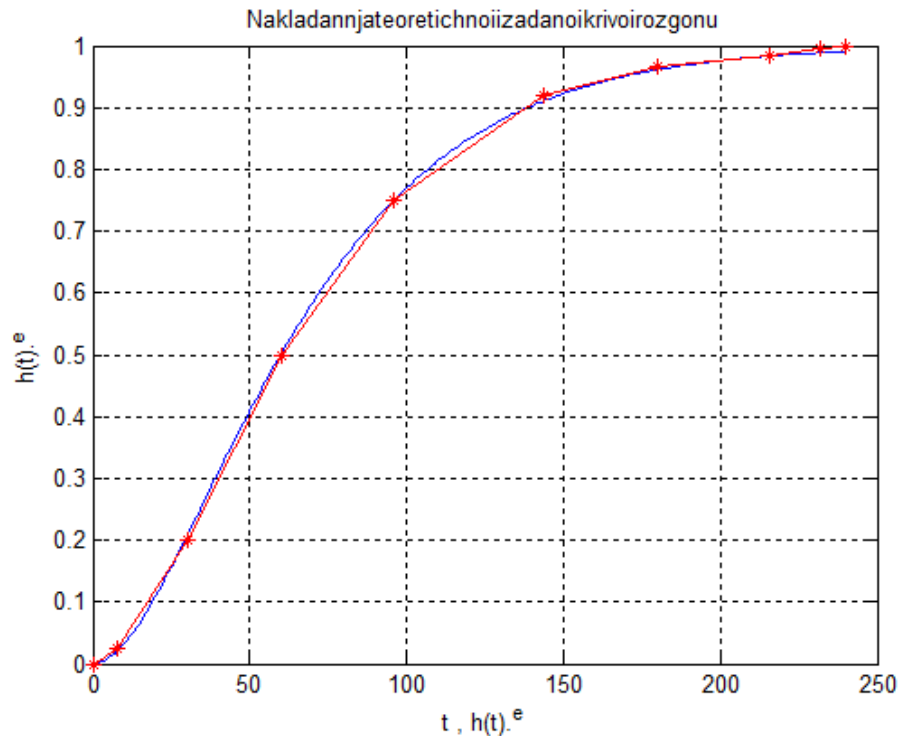


Рис.3.3. Експериментальна та розрахована криві розгону по температурі молока на виході з теплообмінника, отримані зміною витрати теплоносія на 15%
— - розрахована; * – експериментальна

Виходячи з результатів обчислень параметрів математичної моделі, робимо висновок, що функція передачі об'єкта регулювання:

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)^2}$$

де:

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y^e(\infty) - y_n}{\Delta x} = \frac{20}{10} = 2 \frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$$

$$T = 35,65 \text{ с.}$$

Отже, функція передачі досліджуваного об'єкта каналом зміни витрати теплоносія на 15%— температура молока на виході з теплообмінника матиме вигляд:

$$W_{OP}(p) = \frac{1,7}{(35,65p + 1)^2}$$

Перевірка адекватності динамічної моделі OP

Точність апроксимації вважається задовільною, якщо зведена похибка

$\delta = \Delta \times 100\%$ не перевищує 3%. Для нашого випадку $\delta = 0,9211\%$

Оскільки зведена похибка $\delta < 3\%$ ($\delta = 0,9211\%$), то визначена функція передачі задовільняє вимогам до точності.

3.2. Розрахунок параметрів налаштування автоматичних регуляторів

Значення параметрів налаштування регулятора наближено знаходять за спрощеною методикою, яка базується на припущенні про можливість опису досліджуваного об'єкта через відомі функції передачі ланок системи (аперіодична першого порядку, інтегруюча, диференційна, запізнення). Якщо функції передачі відсутні, то для знаходження оптимальних параметрів налаштування регулятора необхідно застосувати або метод розширених частотних характеристик або метод розрахунку параметрів за показником коливальності M .

Розрахунок оптимальних параметрів налаштування за методом розширених частотних характеристик базується на амплітудо-фазовому критерії стійкості

Розширена частотна характеристика з відомою функцією передачі визначається заміною в ній оператора Лапласа:

$$p = -mw \pm iw,$$

де w – кругова частота; $m = \alpha / \beta$ – ступінь коливальності (характеризує запас стійкості); α – абсолютне значення дійсної частини комплексного кореня характеристичного рівняння; β – значення уявної частини комплексного кореня характеристичного рівняння.

Умова забезпечення заданого запасу стійкості формулюється на основі амплітудно-фазового критерію стійкості Найквіста, в якому застосовуються розширені частотні характеристики розімкнутої системи автоматичного регулювання

$$W_{pc}(m, iw) = W_{op}(m, iw)W_p(m, iw) = -1$$

де $W_{op}(m, iw)$ - розширена амплітудно-фазова характеристика (АФХ) об'єкта регулювання, $W_p(m, iw)$ - розширена АФХ регулятора.

В якості закону регулювання регулятора вибираю ПД-регулятор.

Функція передачі ПД-регулятора має вигляд:

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{i3}p} + T_{\partial}p,$$

де k_p - коефіцієнт передачі регулятора; T_{i3} - час ізодрому; T_d - час диференціювання.

В загальному випадку границя заданого запасу стійкості є деякою поверхнею в тривимірному просторі параметрів налаштування $k_p, \frac{k_p}{T_{i3}}, T_d$. Якщо один з параметрів зафіксувати, то розрахунок зводиться до визначення двох інших параметрів. Задавшись часом диференціювання T_d значення двох інших параметрів ПД-регулятора $k_p, \frac{k_p}{T_{i3}}$ можна розрахувати за наведеними формулами:

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_{i3}} = \frac{\omega \sqrt{m^2 + 1} [m \cos \gamma(m, \omega) - \sin \gamma(m, \omega)]}{A_{op}(m, \omega)} + \omega^2 (1 + m^2) T_d \\ k_p = \frac{\sqrt{m^2 + 1} \cos \gamma(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)} + 2 T_d m \omega \end{cases},$$

де $\gamma(m, \omega) = \text{ABS}[\varphi_{op}(m, \omega)] + \arctg m - \pi$

Для заданого m в площині параметрів $k_p, \frac{k_p}{T_{i3}}$ треба побудувати границю області запасу стійкості, а вже з неї визначити оптимальні значення параметрів налаштування $(k_p)_{\text{опт}}, (\frac{k_p}{T_{i3}})_{\text{опт}}$.

Програма для знаходження ω^, ω^{**} – частот, що відповідають параметрам налаштування ПД-регулятора*

```
%omega
clear;clc;
w=[0:0.01:0.1];
K=2; T1=35.65;
m=0.35;
p=-m.*w+i.*w;
W_op=K./((T1.*p+1).^2);
Fi_op=phase(W_op);
Fi_op1=atan(imag(W_op)./real(W_op));
plot(w,Fi_op,'r',[0 0.1],[-pi/2+atan(m) -pi/2+atan(m)],[0 0.1],[-pi -pi]), grid
xlabel('w, rad/sec'),ylabel('fi, rad')
```

Графік розширеної фазо-частотної характеристики досліджуваного об'єкта наведено на рисунку 3.4.

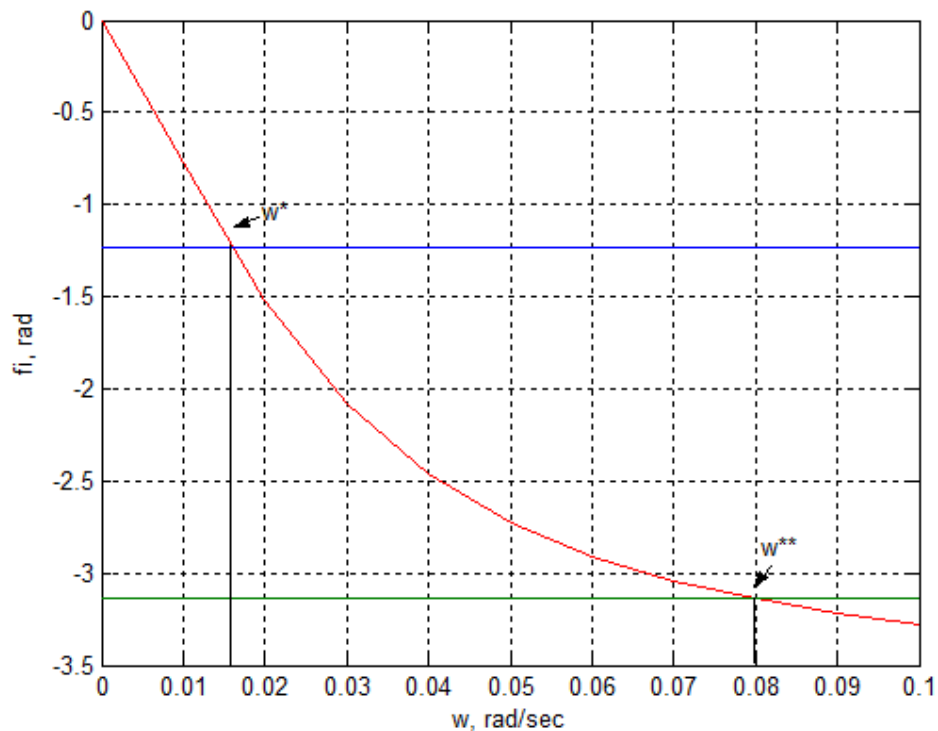


Рис.3.4. Графік розширеної фазо-частотної характеристики досліджуваного об'єкта: $\omega^* = 0,0162 \text{ рад/с}$, $\omega^{**} = 0,0802 \text{ рад/с}$

Змінюючи частоту в діапазоні $(\omega^*; \omega^{**})$ побудуємо криву області границі запасу стійкості і з неї - оптимальні параметри налаштування ПІД-регулятора.

Програма в середовищі Matlab для знаходження оптимальних параметрів налаштування регулятора при другій мінімальній інтегральній оцінці перехідного процесу під час зміни витрати теплоносія на 15%.

```
%maxparam
clear,clc;
w=[0.0162:0.002:0.0802];
T=35.65; k=2; m=0.35;
p=-m.*w+i.*w;
Wop=k./((T.*p+1).^2);
fi=phase(Wop);
Aop=abs(Wop);
kp_Tiz=-((m^2+1).*sin(fi).*w)./Aop;
kp=(-cos(fi)-m.*sin(fi))./Aop;
figure(1)
plot(kp,kp_Tiz,2.1719,0.0378,'*'),grid
xlabel('kp'),ylabel('kp/Tiz')
[kp_TizMAX s]=max(kp_Tiz)
kpM=kp(s)
w0=w(s)
```

Результат виконання програми наведені на рисунку 5.5.

kp_TizMAX = 0.0381

s = 20

kpM = 2.0333

w0 = 0.0542

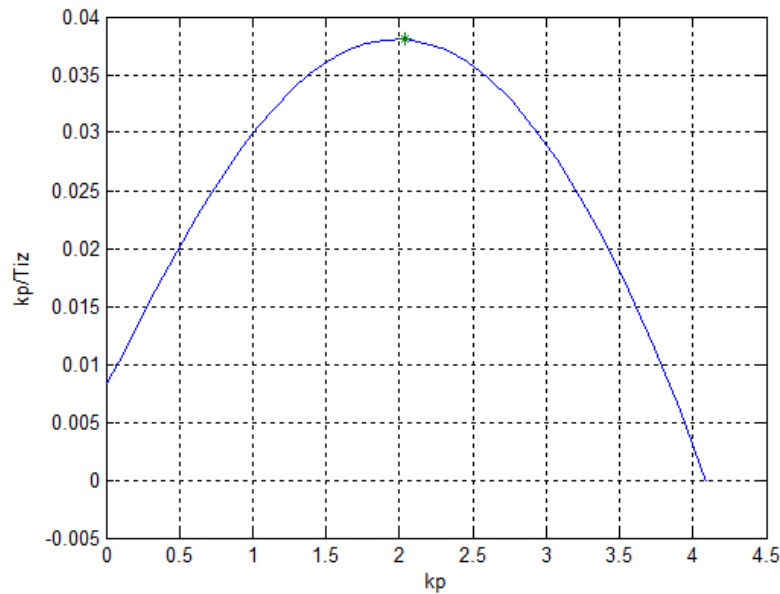


Рис.3.5. Границя області заданого запасу стійкості САР температури молока з ПІД-регулятором

```

clear,clc
T=35.65; k=2; m=0.35; Td=0.5;
w=[0.0162:0.001:0.0542];
p=-m*w+i*w;
Wor=k./(T*p+1).^2;
fi=phase(Wor);
Aor=abs(Wor);
hama=abs(fi)+atan(m)-pi;
kp_Ti=w.*sqrt(m^2+1).*(m*cos(fi)-sin(fi)).*(1./Aor)+w.^2*(1+m^2)*Td;
kp=-sqrt(m^2+1)*cos(fi).*(1./Aor)+2*Td*m.*w;
for i=1:length(w)
    t=[0:0.02:300];
    Wop1=tf(k,[T 1]);
    Wop2=tf(1,[T 1]);
    Wop=Wop1*Wop2;
    War1=tf(kp(i),[1]);
    War2=tf(kp_Ti(i),[1 0]);
    War3=tf([Td 0],[0 1]);
    War=War1+War2+War3;
    Wcap=Wop/(1+Wop*War);
    y=step(Wcap,t)*10;
    q=trapz(t,y.^2);
    S(i)=q;
    J2min=min(S);
    if S(i)==J2min;
        kp_Tiopt=kp_Ti(i);
        kpopt=kp(i);
    end
end
end
kpopt

```

```

kp_Tiopt
J2min
figure(1);plot(kp, kp_Ti,kpopt,kp_Tiopt,'*');grid;
xlabel('kp'); ylabel('kp/Ti');
figure(2);plot(kp,S,kpopt,J2min,'*');grid;
xlabel('kp'); ylabel('J2');
Wop1=tf(k,[T 1]);
Wop2=tf(1,[T 1]);
Wop=Wop1*Wop2;
War1=tf(kpopt,[1]);
War2=tf(kp_Tiopt,[1 0]);
War3=tf([Td 0],[0 1]);
War=War1+War2+War3;
Wcap=Wop/(1+Wop*War);
Wcap1=minreal(Wcap);
y=step(Wcap1,t)*10;
figure(3);plot(t,y);grid;
xlabel('t,c'); ylabel('h,mm');title('Perehidnuyproces');
Результат виконання програми:
kpopt = 1.2242
kp_Tiopt =0.0155
J2min =2.2186e+003

```

Графік залежності між значеннями другої інтегральної оцінки якості J_2 і параметром налаштування автоматичного регулятора наведено на рисунку 3.6.

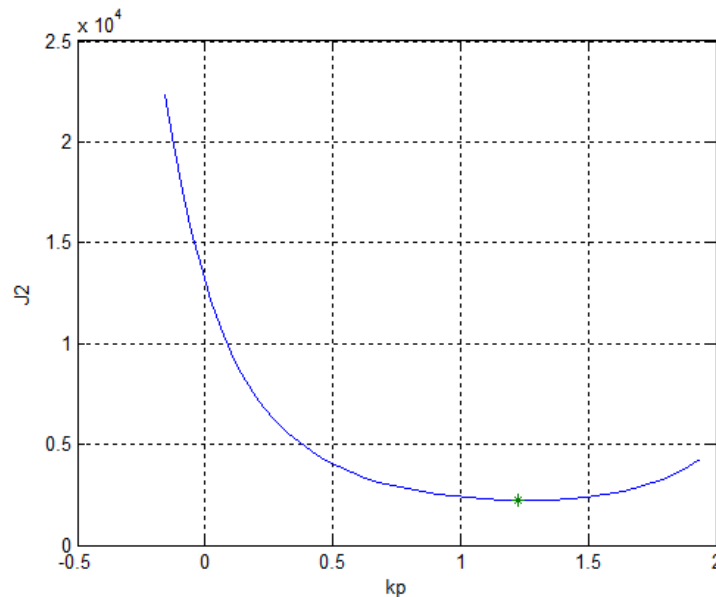


Рис.3.6. Графік залежності між значеннями другої інтегральної оцінки якості J_2 і параметром налаштування автоматичного регулятора

Функція передачі ПД-регулятора:

$$W_{\text{пд}}(p) = 1,2242 + \frac{0.0155}{p} + 0,5p$$

3.3. Дослідження перехідних процесів в САР при оптимальних параметрах налаштування ПД-регулятора

Моделювання САР температури молока на виході з теплообмінника здійснюється методом структурного моделювання з допомогою програмного пакету Matlab. Синтез САР здійснюється з використанням типових структурних ланок.

Передавальна функція об'єкта дослідження за регулюючою дією:

$$W_{OP}(p) = \frac{2}{(35,65p + 1)^2}$$

Передавальна функція об'єкта дослідження за збуренням:

$$W_{OP3}(p) = \frac{1,1}{(21p + 1)^2}$$

Передавальна функція ПД-регулятора:

$$W_{ПД}(p) = 1,2242 + \frac{0,0155}{p} + 0,5p$$

Структурна схема моделювання САР температури, реалізована в середовищі SIMULINK наведена на рисунку 3.7.

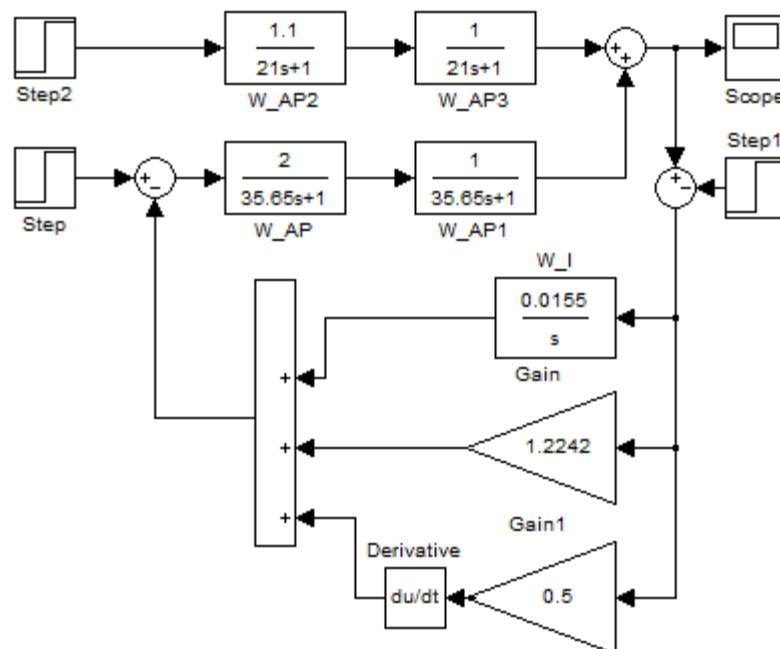


Рис.3.7. Структурна схема моделювання САР, реалізована в середовищі
SIMULINK

За параметрами налаштування ПД-регулятора в середовищі Simulink виконуємо дослідження САР при дії максимальної стрибкоподібної зміни регулюючої дії на 15%, стрибкоподібній зміні збурення на 7% та зміні завдання регулятору на 10 °С.

Результати дослідження САР при дії максимальної стрибкоподібної зміни регулюючої дії на 15% наведені на рисунку 3.8.

Максимальне динамічне відхилення $A_1=8$, 57°С задовольняється (A_1 задане 9°С).

Час регулювання $t_p=292$ с із встановленою похибкою $\Delta=\pm 0,5$ °С задовільняється (t_p задане=350с). Робимо висновок, що вимоги до якості процесу регулювання виконуються.

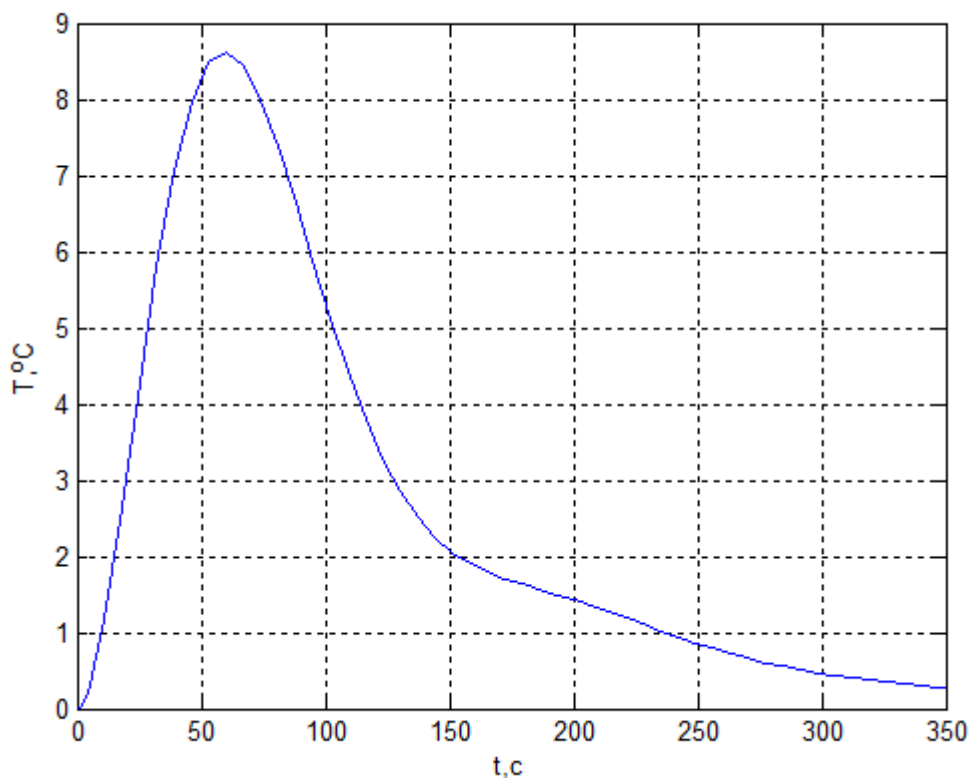


Рис.3.8. Графік кривої розгону САР із ПД-регулятором при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 15%.

Результати дослідження САР при дії максимальної стрибкоподібної зміни за збурення на 7 % наведені на рисунку 3.9.

Згідно рисунка 3.9 максимальне динамічне відхилення $A_1=3,28\text{ }^{\circ}\text{C}$ при заданому значенні ($A_{1\text{задане}}=9^{\circ}\text{C}$); час регулювання $t_p=107\text{ с}$ із похибкою $\Delta=\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ задовольняється ($t_{p\text{задане}}=350\text{ с}$). Отже, вимоги до якості процесу регулювання виконуються.

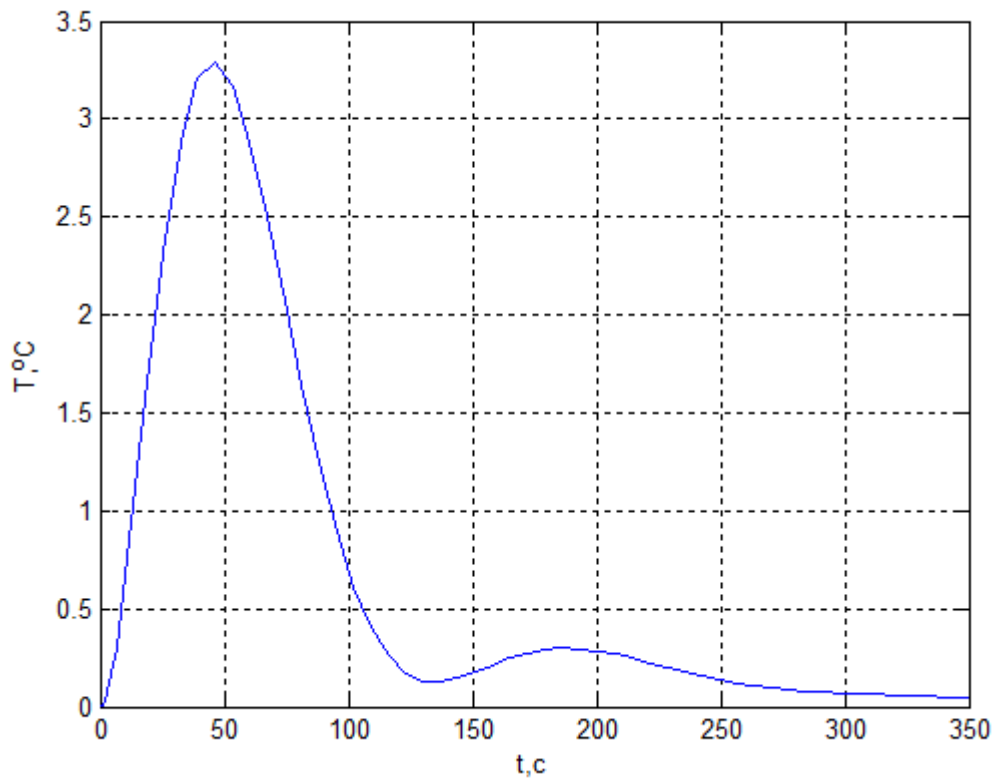


Рис.3.9. Графік кривої розгону САР із ПД-регулятором при стрибкоподібній зміні витрати молока на 7%

Результати дослідження САР при зміні завдання регулятора на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ наведені на рисунку 3.10.

Максимальне динамічне відхилення $A_1=0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ задовольняється ($A_{1\text{задане}}=9^{\circ}\text{C}$).

Час регулювання $t_p=160\text{ с}$ із заздалегідь встановленою похибкою $\Delta=\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ задовільняється ($t_{p\text{задане}}=350\text{с}$). Отже, вимоги до якості процесу регулювання виконуються.

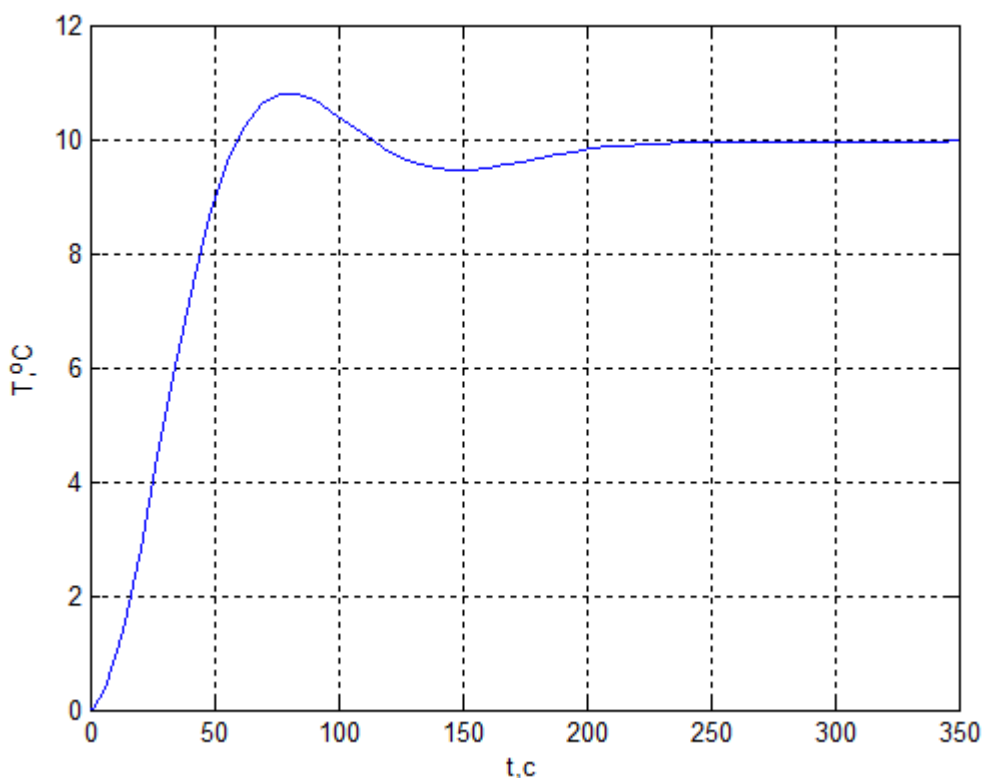


Рис.3.10. Графік кривої розгону САР із ПІД-регулятором при зміні завдання регулятора на 10 °С

3.4. Опис функціональної схеми автоматизації

Контур дискретного керування рівня води в ємності

Підтримання значення рівня води у ємності здійснюється за допомогою двох поплавкових давачів рівня фірми ОВЕН ПДУ 1.1 і сигналізатора рівня фірми ОВЕН САУ-М6 (поз. 1-1). На їх виході формуються два дискретних сигнали, які подаються на вхід контролера. Вихідний дискретний сигнал контролера поступає на вхід електроприводу фірми CAMOZZI типу AE 40 (поз. 1-2).

Контур дискретного керування рівня молока в ємності

Дискретне керування рівня молока у ємності здійснюється аналогічно до підтримання рівня води в ємності.

Контур вимірювання масової витрати молока перед сушаркою

Масова витрата молока вимірюється витратоміром фірми Siemens SITRANS FC MASSFLO (поз. 3-1,3-2). Вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА з витратоміра

подається на вхід контролера і в ньому реєструється значення масової витрати молока.

Контур вимірювання об'ємної витрати газу перед газовою установкою

Витрата газу вимірюється первинним вимірювальним перетворювачем витрати діафрагмою камерною ДК6-50 (поз. 4-1). Сигнал про значення витрати подається на вхід вимірювального перетворювача різниці тисків фірми SIEMENS SITRANS P серія DS III FF (поз. 4-2). Аналоговий вихідний сигнал 4-20мА з перетворювача подається на вхід контролера для реєстрування отриманого значення витрати газу.

Контур захисту тиску газу перед газовою установкою

Тиск газу контролюється давачем реле тиску ДРДМ-15-ДИ (поз. 5-1), вихідний дискретний сигнал напругою 24 В з давача подається на вхід контролера де і реєструється значення тиску газу. Сигнал з контролера подається на відсічний клапан фірми Pietro Fiorentini SCN (поз. 5-2, 5-3).

Контур регулювання температури повітря на вході в сушарку

Температура вимірюється за допомогою вимірювального перетворювача температури SIEMENS TH100 (поз. 6-1, 6-2). Аналоговий сигнал 4-20 мА з виходу перетворювача подається на вхід контролера. На виході контролера формується керуючий аналоговий сигнал, який подається на вхід електропневматичного перетворювача фірми Samson 3767 (поз. 6-3).

Контур регулювання температури повітряного обдування

Значення цієї температури вимірюється за допомогою вимірювального перетворювача SIEMENS TH100 (поз. 7-1, 7-2), а його вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА подається на вхід контролера, де відбувається його подальше опрацювання. На виході контролера формується сигнал, який подається на вхід безконтактного реверсивного пускача ПБР-2М (поз. 7-3). На ньому вихідний сигнал підсилюється і подається на електричний виконавчий механізм МЕО-100/10-0,25-У (поз. 7-4), який змінює ступінь відкриття регулюючого органу 500ч939нж.

Контур регулювання розрідження в сушарці

Розрідження в сушарці вимірюється за допомогою вимірювального перетворювача диференціального тиску SIEMENS SITRANS P серія DS III (поз. 8-1).

Вихідний аналоговий сигнал значенням 4-20 мА з нього подається на вхід контролера для його подальшого опрацювання. На виході з контролера формується аналоговий сигнал, який подається на вхід частотного перетворювача фірми Danfoss VLT Micro FC51(поз. 8-2).

Контур регулювання температури повітря в ІФД

Значення температури в ІФД вимірюється за допомогою вимірювального перетворювача SIEMENS TH100 (поз. 9-1, 9-2), аналоговий сигнал 4-20 мА з якого подається на вхід контролера, для його подальшого опрацювання. На виході з контролера формується аналоговий сигнал, який подається на вхід безконтактного реверсивного пускача ПБР-2М (поз. 9-3), там аналоговий сигнал підсилюється і подається на електричний виконавчий механізм МЕО-100/10-0,25-У (поз. 9-4), який змінює ступінь відкриття регулюючого органу 500ч939нж.

Контур регулювання температури молока на виході з сушарки

Температура вимірюється за допомогою вимірювального перетворювача SIEMENS TH100 (поз. 10-1, 10-2), аналоговий сигнал 4-20 мА з нього подається на вхід контролера для його подальшого опрацювання. Вихідний аналоговий сигнал з контролера подається на вхід частотних перетворювачів фірми Danfoss VLT Micro FC51(поз. 10-3, 10-4) які регулюють продуктивність вентилятора.

Контур дискретного керування рівня мастила для змащування підшипників

Рівень мастила контролюється Підтримання значення рівня масла у ємності здійснюється двома поплавковими давачами рівня фірми ОБЕН ПДУ 1.1 і сигналізатором рівня фірми ОБЕН САУ-М6 (поз. 11-1). Сформовані з давачів два дискретних сигнали подаються на вхід контролера. Вихідний дискретний сигнал з контролера подається на електропривід фірми CAMOZZI типу АЕ 40 (поз. 11-2).

Контур регулювання розрідження у вібраційному жолобі

Розрідження у вібраційному жолобі вимірюється перетворювачем тиску SIEMENS SITRANS P серія DS III (поз. 12-1) з аналоговим вихідним сигналом 4-20 мА який подається на вхід контролера для його подальшого опрацювання. Вихідний аналоговий сигнал з контролера подається на вхід частотного перетворювача фірми Danfoss VLT Micro FC51(поз. 12-2).

Контур регулювання температури повітря після холодильника

Регулювання температури після холодильника здійснюється аналогічно до регулювання температури в інших контурах.

Контур вимірювання вологості сухого молока

Вимірювання вологості сухого молока здійснюється вимірювальним перетворювачем Microradar 114 (поз. 14-1, 14-2). Аналоговий вихідний сигнал 4-20 мА з перетворювача подається на вхід контролера де реєструється значення вологості.

Контур вимірювання масової витрати сухого молока

Витрата сухого молока вимірюється витратоміром фірми Siemens SITRANS FC MASSFLO (поз. 15-1,15-2). Аналоговий вихідний сигнал 4-20 мА з витратоміра подається на вхід контролера де реєструється значення масової витрати молока.

3.5. Специфікація на засоби автоматизації

Специфікація на засоби автоматизації наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Специфікація на засоби автоматизації

№ п/п	№ позиції	Технологічний параметр, його номінальне значення	Місце встановлення	Назва та коротка технічна характеристика	Тип	Кількість	Приймач
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1-1, 2-1, 11-1	Рівень води в ємності 3-3,5м Рівень молока в ємності 3-3,5м Рівень мастила 0,5-1м	по місцю	Триканальний сигналізатор рівня Температура навколишнього середовища 1-50°C Напруга живлення 220 В частотою 50 Гц. Кількість каналів 3. Містить поплавковий давач рівня горизонтальний Тиск до 15 бар. Температура -40..+105 °C	ОВЕН САУ-М6 ОВЕН ПДУ-1.1	3	
2	1-2, 2-2, 11-2		по місцю	Електропривід поворотний двопозиційний(відкрито/закрито), кут повороту 90°, крутний момент 39Н*м Напруга живлення 230 В (±10%), частота 50/60Гц. Робоча температура 25°-55°C. Захист IP 65 Клапан кульовий двоходовий серії 101, робоча температура -20°-150°C, робочий тиск 0-40 бар, крутний момент 19 Н*м	CAMOZZI Тип AE 40	3	

3	3-1, 15-1	Масова витрата молока перед сушаркою 3000кг/год. Масова витрата сухого молока 1500 кг/год	по місцю	Витратомір. Діапазон переналагодження масової витрати 0 ... 5000 кг / год. Похибка переналагодження витрати:0,1%; Температура -50 ... +125 ° С. Вихідний сигнал 4-20 мА.	Siemens SITRANS FC MASSFLO MASS6100DI	2	
4	4-1	Об'ємна витрата газу перед газовою установкою 250 м ³ /год	по місцю	Діафрагма камерна. Діаметр 50 мм. Умовний тиск P _y =0.6 мПа.	ДК6-50	1	
5	4-2		по місцю	Вимірювальний-перетворювач різниці тисків. Вихідний сигнал 4...20 мА. Діапазон переналагодження 0-1 бар. Похибка переналагодження ±0,25% від діапазону переналагодження	SIEMENS SITRANS P серія DS III FF	1	
6	5-1	Тиск газу перед газовою установкою 12КПа	по місцю	Давач реле тиску. Вихідний сигнал 24 В. Температура середовища-40-60°C. Напруга живлення 220 В частотою 50 Гц. Ступінь захисту IP 54	ДРДМ-15-ДИ	1	
7	5-2		по місцю	Відсічний клапан. Температура природного газу -20-60°C. Температура навколишнього середовища -40-60°C.	Pietro Fiorentini SCN	1	
8	6-1, 6-2, 7-1, 7-2, 9-1, 9-2, 10-1, 10-2, 13-1, 13-2	Температура повітря на вході в сушарку 185°C, температура повітряного обдування 82°C, температура повітря в ІФД 86°C, температура молока на виході з сушарки 100°C, температура повітря після холодильника 13°C	по місцю	Термоперетворювачі опору з номінальною статичною характеристикою Pt 100. з вбудованим перетворювачем в уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА. Клас допуску А. Діапазон вимірювання -200-350°C	SIEMENS TH100	5	

9	6-3		по місцю	Електропневматичний перетворювач. Вхідний аналоговий сиг. 4-20 мА , вихідний пневматичний сигнал на 0,2-1бар. Температура навколишнього середовища: -20...+80°C.	Samson 3767	1	
10	7-3, 9-3, 13-3		на щиті	Пускач безконтактний реверсивний Вхідний сигнал постійного струму 24 В. Максимальний комутований струм 4 А. Напруга живлення 220В частотою 50 Гц.	ПБР-2М	3	
11	7-4, 9-4, 13-4		по місцю	Електричний виконавчий механізм, номінальний крутний момент на вихідному валу 100 Н м, номінальний час повного ходу вихідного валу 10с, номінальний повний хід вихідного валу 0,25об, Живлення:220 В, 50 Гц, потужність 60 ВА, однообертовий з струмовим давачем положення. Регулюючий клапан, Матеріал корпусу сірий чавун. Електричний привід. Умовний діаметр Dy1 = 500мм, Dy2 = 100мм. Умовний тиск P _y = 0.6 МПа.	МЕО-100/10-0,25-У 500ч939нж, 100ч939нж	3	
12	8-2, 10-3, 10-4, 12-2		по місцю	Частотний трифазний перетворювач. Потужність 0,18 - 22 кВт. Вихідна частота 0-400Гц. Цифрові входи - 5 (PNP або NPN). Імпульсні входи - 1 (20-5000 Гц). Аналогові входи - 2 (0-10 В, 0/4-20мА). Аналогові виходи - 1 (0/4-20мА).	Danfoss VLT Micro FC51-132F0022	4	
13	8-1, 12-1	Розрідження сушарці 15Па, розрідження вібраційному жолобі 20Па	в по місцю	Вимірювальний перетворювач диференціального тиску. Вихідний сигнал 4...20 мА. Діапазон переналагодження 1-20 мбар Максимально допустиме значення тиску 32бар. Похибка вимірювання ±0,25% від діапазону переналагодження Ступінь захисту IP 65	SIEMENS SITRANS P серія DS III HART	2	

14	14-1, 14-2	Вологість сухого молока	по місцю	Вимірювальний перетворювач вологості. Вихідний сигнал 4...20 мА. Напруга живлення 9 ... 24 В постійного струму. Діапазон переналагодження 0-20%. Температура навколишнього середовища -5...95°C Похибка вимірювання $\pm 0,05\%$ від діапазону переналагодження Ступінь захисту IP 54	Microradar114	1	
15	P1-P6			Проміжне реле Напруга живлення 24 В, один перекидний контакт, маса 0,014кг	Schneider Electric ZELIO RSB 1A120BD	6	
16				Блок живлення однофазний. Вхідна напруга 220 В Вихідна напруга 24В. Потужність 1200 Вт. Частот 50-60 Гц.,	Schneider Electric CPS200	1	
17				Мікропроцесорний контролер. Живлення 24 В.	Schneider Electric M340	1	
18				Модуль аналогового вводу, 8 вхідних сигналів значеннями $\pm 10\text{В}$, $0...10\text{В}$, $0...5\text{В}$, $0...20\text{мА}$, $4...20\text{мА}$,	BMX AMI0800	2	
19				Модуль аналогового виходу, 4 вихідних сигнали значеннями $\pm 10\text{В}$, $0...20\text{мА}$, $4...20\text{мА}$.	BMX AMO0410	1	
20				Модуль аналогового вводу/виходу 4 вхідні сигнали значеннями $\pm 10\text{В}$, $4...20\text{мА}$.	BMX AMM0600		
21				Модуль виводу дискретних сигналів, 16 вхідних сигналів	BMX DDI1602	1	
22				Модуль виводу дискретних сигналів, 16 вихідних сигналів.	BMX DDO1602	1	
23				Змішаний модуль вводу/виводу дискретних сигналів, 8вхідних/8вихідних сигналів	BMX DDM16022	1	

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці

Організація належних умов охорони праці на підприємствах харчової промисловості, зокрема на ПАТ «Бродівський завод сухого знежиреного молока», є важливою передумовою забезпечення безпечної діяльності персоналу та відповідності продукції санітарним нормам.

Процес виробництва сухого знежиреного молока включає етапи приймання молока, його нормалізації, пастеризації, згущення, сушіння та пакування. Кожен з цих етапів вимагає суворого дотримання санітарно-гігієнічних вимог, особливо щодо чистоти обладнання, повітряного середовища, умов праці та поводження з продуктом.

На підприємстві впроваджено систему санітарної обробки обладнання відповідно до нормативів ДСТУ та вимог НАССР. Для миття і дезінфекції трубопроводів, сушильних камер та резервуарів застосовуються централізовані СІР-системи (cleaning in place), що мінімізують контакт працівника з хімічними речовинами і забезпечують високу якість очищення.

У виробничих приміщеннях регулярно проводиться вологе прибирання та кварцування. Встановлені санітарні шлюзи на вході до технологічних зон, працівники забезпечені спецодягом, змінним взуттям та засобами особистої гігієни.

На робочих місцях дотримуються допустимі рівні мікрокліматичних параметрів відповідно до ДСН 3.3.6.042-99. Встановлені системи вентиляції та кондиціонування повітря, що забезпечують відведення пари, надлишкового тепла та підтримання комфортних умов.

У процесі роботи обладнанням із підвищеним рівнем шуму (наприклад, сушильні установки) передбачено використання індивідуальних засобів захисту органів слуху. Показники шуму та вібрацій на робочих місцях не перевищують гранично допустимих норм згідно з ДСН 3.3.6.037-99.

Контроль за освітленням здійснюється відповідно до СНіП II-4-79: забезпечується достатній рівень природного та штучного освітлення в цехах, на пультах управління та зонах технічного обслуговування обладнання.

Працівники проходять обов'язкові медичні огляди та мають санітарні книжки. На території підприємства функціонує медичний пункт, забезпечено доступ до питної води, душових, гардеробних та їдальні.

Виробнича санітарія і гігієна праці на ПАТ «Бродівський завод сухого знежиреного молока» відповідають чинним санітарним нормам та правилам. Автоматизація технологічного процесу за допомогою ПЛК Schneider Electric M340 сприяє зниженню контакту персоналу з небезпечними зонами, покращенню умов праці та підвищенню рівня безпеки виробництва.

4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці

З метою підвищення рівня безпеки праці, зниження ризиків професійних захворювань та нещасних випадків, а також з урахуванням специфіки технологічного процесу виробництва сухого знежиреного молока на ПАТ «Бродівський завод сухого знежиреного молока», доцільно впровадити низку організаційно-технічних заходів.

1. Організаційні заходи

1.1. Регулярне навчання і перевірка знань з охорони праці. Проводити інструктажі (вступний, первинний, повторний, позаплановий) та щорічне навчання з охорони праці для всіх працівників. Важливо приділяти особливу увагу персоналу, що працює з автоматизованими системами та електрообладнанням.

1.2. Призначення відповідальних осіб. Закріпити відповідальних осіб за дотриманням вимог охорони праці в кожному цеху. Створити оперативну групу з реагування на надзвичайні ситуації.

1.3. Медичний контроль і психофізіологічна оцінка. Забезпечити щорічне проходження медичних оглядів працівниками, особливо тими, хто задіяний на ділянках з підвищеним шумом, температурою або використанням хімічних речовин.

1.4. Розробка інструкцій і безпечних маршрутів пересування. Оновити і затвердити інструкції з безпечної експлуатації обладнання, створити схеми безпечної евакуації, встановити вказівники.

2. Технічні заходи

2.1. Автоматизація небезпечних операцій. Застосування програмованого логічного контролера Schneider Electric M340 дозволяє значно знизити участь людини в небезпечних або шкідливих процесах — сушінні, дозуванні та транспортуванні порошкового молока. Це мінімізує ризик опіків, уражень електричним струмом або вдихання пилу.

2.2. Застосування захисного обладнання і блокувань. На обладнанні мають бути передбачені:

- аварійні кнопки «СТОП»;
- блокування при відкриванні кожухів і люків;
- світлові та звукові сигнали про стан обладнання.

2.3. Вдосконалення вентиляції та аспірації. У сушильному відділенні необхідно забезпечити потужну вентиляцію та аспіраційні системи для зменшення запиленості повітря. Рекомендується встановлення локальних витяжних пристроїв у місцях утворення сухих частинок молока.

2.4. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Забезпечити працівників сертифікованими засобами індивідуального захисту:

- респіраторами (для захисту від пилу);
- шумозахисними навушниками (в сушильному відділенні);
- термостійким спецодягом (при обслуговуванні теплового обладнання);
- гумовими рукавичками (при роботі з хімічними речовинами).

2.5. Моніторинг параметрів середовища. Рекомендується впровадження системи автоматичного контролю за мікрокліматичними параметрами (температура, вологість, рівень пилу) з виведенням даних на центральний пульт або НМІ-панель. Це дозволить оперативно реагувати на відхилення та знижувати ризики для здоров'я персоналу.

Впровадження зазначених організаційно-технічних заходів дозволить не лише забезпечити відповідність вимогам чинного законодавства у сфері охорони праці, але й підвищити загальну ефективність виробництва за рахунок зменшення аварійності, зниження витрат на лікарняні та підвищення мотивації працівників. Автоматизація

процесів на базі Schneider Electric M340 виступає як ключовий елемент модернізації й безпеки виробництва.

4.3. Пожежна безпека

Пожежна безпека на підприємствах харчової промисловості, зокрема на ПАТ «Бродівський завод сухого знежиреного молока», є одним з пріоритетних напрямів забезпечення безпечних умов праці та захисту матеріальних цінностей. Технологічні процеси виробництва сухого молока супроводжуються нагріванням, утворенням пилу та використанням електроенергії, що потребує підвищеної уваги до питань запобігання пожежам.

У межах підприємства потенційно небезпечними у пожежному відношенні є наступні об'єкти та процеси:

- Сушильні установки, де можливе перегрівання обладнання та накопичення легкозаймистого пилу сухого молока;
- Електрощитові приміщення, де може виникнути коротке замикання;
- Склади пакувального матеріалу, що містять паперову та поліетиленову тару;
- Технологічні установки з електронагрівачами або ТЕНами.

Організаційні заходи протипожежного захисту

1. Протипожежний інструктаж. Усі працівники підприємства проходять обов'язкові вступні, первинні та періодичні інструктажі з пожежної безпеки. Для персоналу, який обслуговує електрообладнання та сушильні установки, передбачено спеціальне навчання і практичні тренування.

2. Протипожежний режим. На підприємстві діє затверджений протипожежний режим: заборонено паління в приміщеннях, використання несправного електрообладнання та зберігання легкозаймистих речовин у несанкціонованих місцях. Усі робочі місця обладнані табличками з правилами пожежної безпеки та схемами евакуації.

3. Навчання добровільної пожежної дружини (ДПД). На підприємстві організовано ДПД, яка проходить щорічні навчання та відпрацювання дій у разі пожежі.

Технічні заходи протипожежного захисту

1. Засоби виявлення та оповіщення. У цехах встановлені автоматичні пожежні сповіщувачі (теплові та димові), які підключені до централізованої системи оповіщення. При спрацюванні системи працівники отримують звуковий сигнал тривоги.

2. Первинні засоби пожежогасіння. Приміщення оснащено вогнегасниками відповідно до вимог ДБН В.2.5-56:2014. У доступних місцях розміщено порошкові та вуглекислотні вогнегасники, а також пожежні щити з рукавами, баграми, відрами.

3. Системи автоматичного пожежогасіння. У приміщеннях електрощитових та сушильного відділення рекомендовано встановити автоматичні системи газового або порошкового пожежогасіння. Це дозволить ефективно реагувати на загоряння без шкоди для обладнання.

4. Захист електрообладнання. Електрообладнання встановлюється з урахуванням вимог ПУЕ (Правил улаштування електроустановок) і має автоматичний захист від перевантаження та короткого замикання. Контролери Schneider Electric M340 мають модулі безпечного відключення та аварійного зупинення обладнання при позаштатних ситуаціях.

Дотримання пожежної безпеки на ПАТ «Бродівський завод сухого знежиреного молока» є складовою частиною загальної системи охорони праці. Комплекс організаційних та технічних заходів, зокрема автоматизація критичних ділянок за допомогою ПЛК Schneider Electric M340, дозволяє оперативно виявляти небезпеку, зменшити ризики займання та забезпечити безпечну евакуацію працівників у разі пожежі.

5. ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Проект впровадження автоматизованої системи керування на базі контролерів Schneider Electric M340 у виробництво сухого знежиреного молока на ПАТ «Бродівський завод сухого знежиреного молока» має на меті не лише технічне вдосконалення процесів, а й досягнення економічного ефекту. У цьому розділі розглянуто доцільність проекту з точки зору економії ресурсів, зниження витрат і підвищення ефективності виробництва.

Таблиця 5.1:

Кошторис витрат на автоматизацію

№	Найменування обладнання	Кількість	Орієнтовна вартість за од., грн	Сума, грн
1	Schneider Electric M340	1	85 000	85 000
2	Модулі вводу/виводу (AMI0800 – 2 шт, AMO0410, AMM0600, DDI1602, DDO1602, DDM16022)	7	12 000	84 000
3	HMI панель Schneider Magelis	1	30 000	30 000
4	Реле Schneider ZELIO RSB 1A120BD	6	600	3 600
5	Блок живлення Schneider CPS200	1	2 000	2 000
6	Приводи Danfoss VLT Micro FC51	4	10 000	40 000
7	Датчики температури Siemens TH100	5	1 800	9 000
8	Датчики тиску Siemens SITRANS P DS III (HART + FF)	3	14 000	42 000
9	Витратомір Siemens SITRANS FC MASS6100DI	2	25 000	50 000
10	Рівнемір Microradar114	1	15 000	15 000
11	Вентильні блоки Samson 3767	1	7 500	7 500
12	Камоззі AE 40	3	1 200	3 600
13	Засувки ПБР-2М	3	2 500	7 500
14	Засувки 500ч939нж, 100ч939нж	3	4 000	12 000
15	Механізми електроприводу МЕО-100/10	1	12 000	12 000
16	Датчики тиску Pietro Fiorentini SCN	1	7 000	7 000
17	Датчики тиску ДРДМ-15-ДИ	1	6 000	6 000
18	Ваговий датчик ДК6-50	1	8 000	8 000
19	ПДУ-1.1 (ОВЕН)	3	2 000	6 000
20	САУ-М6 (ОВЕН)	1	5 000	5 000
21	Щитове обладнання, комплектуючі, монтаж, ПЗ	—	—	40 000
	Разом	—		489 200 грн

Вартість монтажних робіт складається з витрат на матеріали, енергію, основну і додаткову заробітну плату і накладні витрати. Транспортні витрати становитимуть 25 % від вартості КВПіА.

Отже, кошторис витрат на автоматизацію буде: $K=489200$ грн.

1. Транспортні витрати

Згідно з прийнятим нормативом, транспортні витрати становлять 25% від вартості КВПіА:

$$489\,200 \times 0,25 = 122\,300 \text{ грн}$$

2. Монтажні роботи

До складу монтажних витрат входять:

- вартість монтажних матеріалів — 30 000 грн;
- енерговитрати на монтаж — 8 000 грн;
- заробітна плата монтажників (основна + додаткова) — 25 000 грн;
- накладні витрати — 15 000 грн.

Загальна сума витрат на монтаж: 78 000 грн.

Таблиця 5.2

Загальні інвестиційні витрати на впровадження

Стаття витрат	Сума, грн
Вартість обладнання	489 200
Транспортні витрати	122 300
Монтажні роботи (матеріали, ЗП, тощо)	78 000
Загальні витрати	689 500

Таблиця 5.3

Економічний ефект

Джерело економії	Орієнтовна економія, грн/рік
Зниження енергоспоживання	50 000
Зменшення втрат сировини та браку	40 000
Оптимізація персоналу (–1 оператор)	100 000
Зменшення простоїв і втрат часу	25 000
Підвищення продуктивності	25 000
Разом економія на рік	240 000 грн

Розрахунок строку окупності

$$T = K_{\text{загальні}} / E_{\text{річна}} = 689\,500 / 240\,000 \approx 2,87 \text{ року}$$

Проект автоматизації технологічного процесу сушіння молока є економічно доцільним, незважаючи на підвищення загальних інвестицій до 689 500 грн. Строк окупності системи становить менше 3 років, що відповідає стандартам галузі для проєктів такого масштабу.

У подальшому система забезпечить стабільну економію ресурсів, підвищення ефективності та якості продукції, а також стане фундаментом для цифрової трансформації підприємства.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі було досліджено технологічний процес сушіння молока за допомогою сушильної установки VRC-5, визначено основні фактори, що впливають на протікання процесу, описано матеріальний баланс. На основі аналізу технологічного процесу як об'єкта керування розроблено оптимальну функціональну схему автоматизації, вибрано сучасні технічні засоби автоматизації, для її реалізації. Розроблено специфікацію на технічні засоби автоматизації.

Для регулювання технологічних параметрів вибрано мікропроцесорний контролер Schneider Electric M340, який забезпечує оптимальне регулювання процесу та його сигналізацію, сформульовано та реалізовано алгоритм роботи системи.

Виконано розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання температури молока на виході з сушарки. Перехідні процеси САР досліджувалися трьома каналами: при зміні регулюючої дії на 15%; при зміні збурення величини на 7 % і зміні завдання автоматичному регулятору на 10°C.

На основі експериментальної кривої розгону було знайдено передавальну функцію об'єкта регулювання каналом регулюючої дії, яка має вигляд:

$$W_{OP}(p) = \frac{2}{(35.65p + 1)^2}.$$

Зведена похибка апроксимації кривої розгону становить 0,9211%. На базі одержаної математичної моделі була розрахована одноконтурна САР.

$$\text{Передавальна функція об'єкта регулювання за збуренням: } W_{OP3}(p) = \frac{1,1}{(21p + 1)^2}.$$

$$\text{Передавальна функція ПД-регулятора: } W_{ПД}(p) = 1,2242 + \frac{0,0155}{p} + 0,5p.$$

Дослідивши перехідний процес САР із оптимальними параметрами налаштування ПД-регулятора було отримано такі показники якості перехідного процесу:

При зміні температури теплоносія на 15%:

- максимальне динамічне відхилення $A_1 = 8,57^\circ\text{C}$ задовільняється ($A_{1\text{задане}} = 9^\circ\text{C}$).

- час регулювання $t_p=292$ с із заздалегідь встановленою похибкою $\Delta=\pm 0,5^\circ\text{C}$ задовільняється ($t_{\text{рзаданє}}=350$ с).

При стрибкоподібній зміні витрати молока на 7%:

- максимальне динамічне відхилення $A_1=3,28^\circ\text{C}$ задовільняється ($A_{1\text{заданє}}=9^\circ\text{C}$).

- час регулювання $t_p=107$ с із заздалегідь встановленою похибкою $\Delta=\pm 0,5^\circ\text{C}$ задовільняється ($t_{\text{рзаданє}}=350$ с).

При зміні завдання регулятора на 10°C :

- максимальне динамічне відхилення $A_1=0,8^\circ\text{C}$ задовільняється ($A_{1\text{заданє}}=9^\circ\text{C}$).

- час регулювання $t_p=160$ с із заздалегідь встановленою похибкою $\Delta=\pm 0,5^\circ\text{C}$ задовільняється ($t_{\text{рзаданє}}=350$ с).

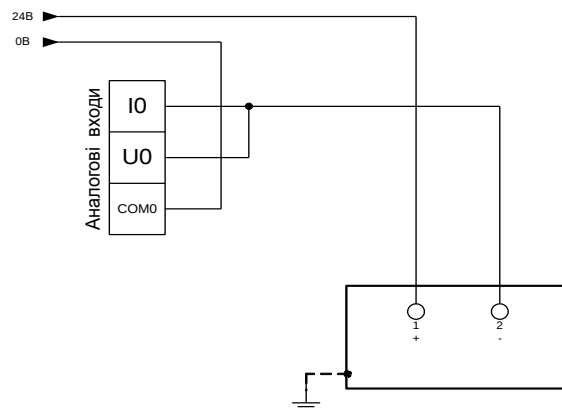
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. Автоматизація виробничих процесів/ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський О.К., Ляшук О.Л. - Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011.-344 с.
3. Безвесільна О.М.. Толочко Т.О. "Технічні засоби автоматизації: навчальний посібник". – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.
4. Бурау Н. І., Півторак Д. О. "Теорія автоматичного управління: практикум". – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 57 с.
5. Батрак В. Г., Стукало В. М. Автоматизація технологічних процесів: навч. посібник. – Київ: Каравела, 2016. – 320 с.
6. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
7. Грінберг Л. М., Коган В. І. Автоматизація технологічних процесів харчової промисловості. – К.: Вища школа, 2016. – 320 с.
8. ДСТУ 3132-95. Молоко та молочні продукти. Терміни та визначення. – К.: Держспоживстандарт України, 1995.
9. ДСТУ 4273:2003. Молоко сухе. Технічні умови. – К.: Держспоживстандарт України, 2003..
10. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.1992 № 2694-XII. – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
11. Ковальчук М. О. Моделювання і проектування САР у харчовій промисловості: навч. посіб. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – 180 с.
12. Колесніков О.В. *Контролери і системи автоматизації*. – К.: Ліра-К, 2021. – 352 с.
13. Леонтьєв О. Є. "Теорія автоматичного керування: навчальний посібник". – Суми: Сумський державний університет, 2024.
14. Наказ Держгірпромнагляду № 21 від 01.02.2005 р. "Правила охорони праці для працівників молочної промисловості".
15. Наказ МНС № 1417 від 30.12.2014 "Правила пожежної безпеки в Україні". – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-1>
16. Нелінійні та дискретні системи автоматичного керування. Курс лекцій : навчальний посібник / укладачі : Б. І. Приймак. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с.
17. Офіційний сайт Schneider Electric – <https://www.se.com/ua/>
18. Офіційний сайт Siemens Automation – <https://new.siemens.com>
19. Пархоменко І. В. Автоматизовані системи управління технологічними процесами. – Харків: ХНАМГ, 2020. – 234 с.

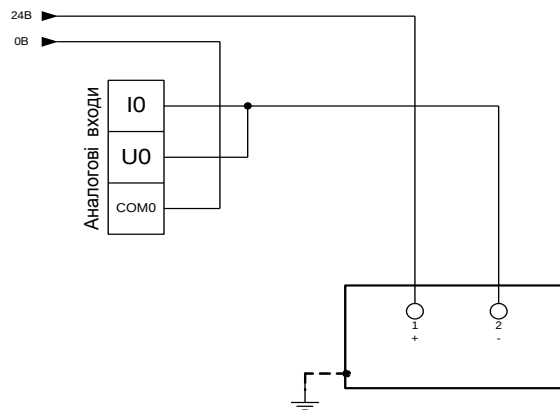
20. Платформа автоматизації Modicon M340. Каталог.
21. Пономаренко М. П., Назаренко А. О. Основи проектування автоматизованих систем керування. – К.: Либідь, 2020. – 244 с.
22. Пухальський А.О., Грищенко В.В. *Автоматизація технологічних процесів харчової промисловості*. – К.: Центр учбової літератури, 2019. – 296 с.
23. Сидоренко В. В. Основи автоматизації технологічних процесів. – Львів: Новий світ–2000, 2021. – 276 с.
24. CAMOZZI Automation. *Пневматичні елементи CAMOZZI – Технічний каталог*. – Італія, 2021.
25. Danfoss. *VLT® Micro Drive FC 51 – Operating Guide*. – Danfoss Drives, 2020.
26. OVEN. *CAУ-M6, ПДУ-1.1 – Керівництво користувача*. – НВП ОБЕН, 2022
27. Schneider Electric. *Modicon M340 Programmable Automation Controller - User Manual*. – Edition 12/2020.
28. Siemens AG. *SITRANS P DS III – Operating Instructions*. – 2021.

Схеми підключення технічних засобів і модулів.

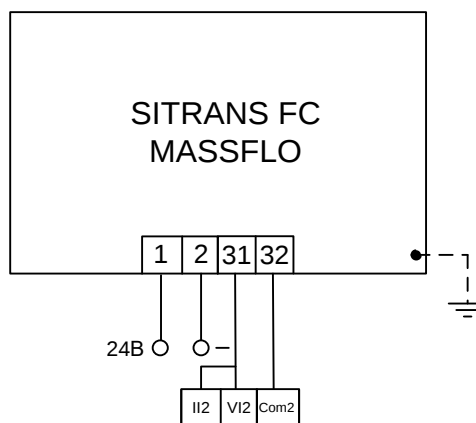
- вимірювальний перетворювач диференціального тиску SITRANS P, серія DSIII:



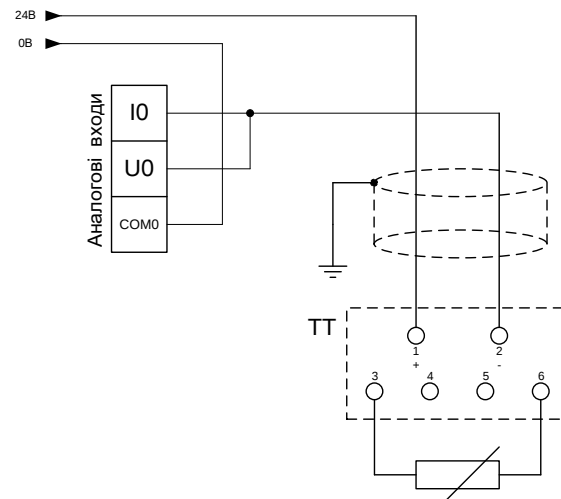
- вологомір Microradar 114:



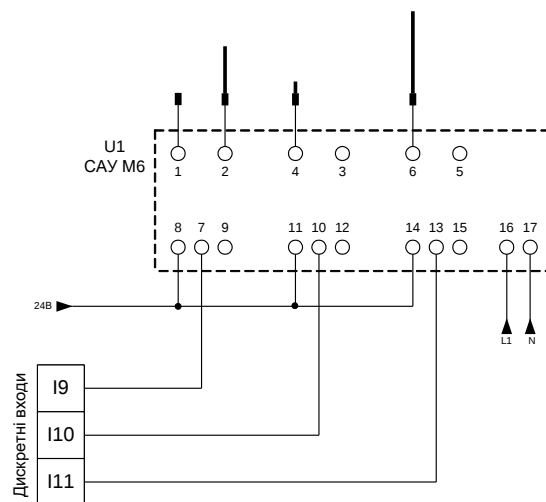
- витратомір Siemens SITRANS FC MASSFLO



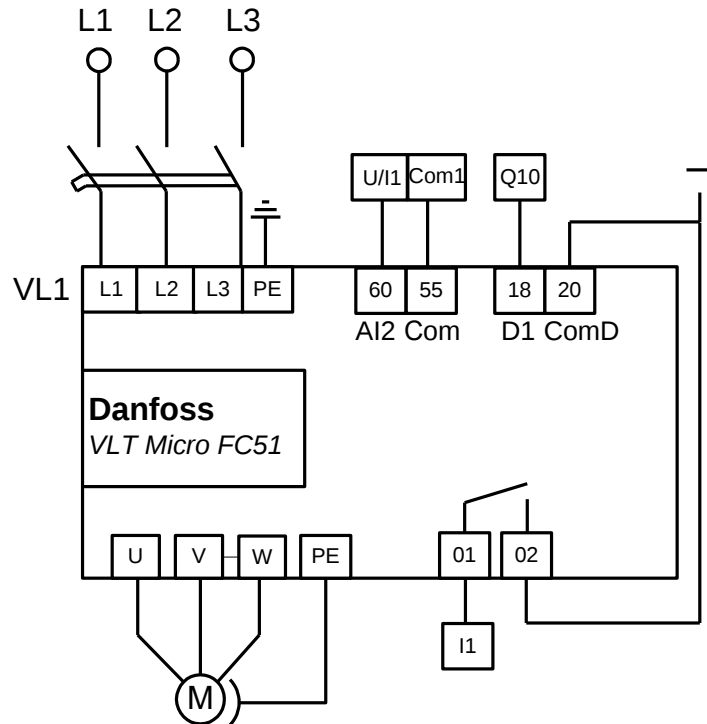
- термоперетворювач опору



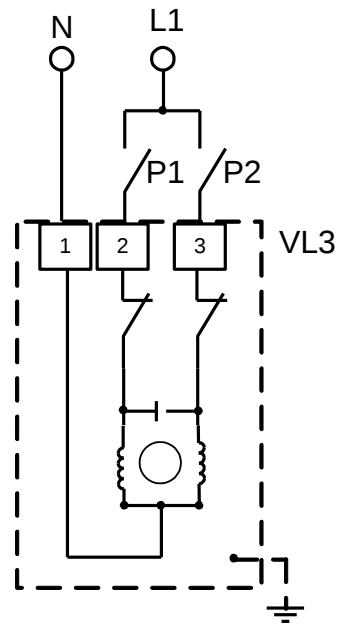
- триканальний сигналізатор рівня фірми ОВЕН САУ-М6



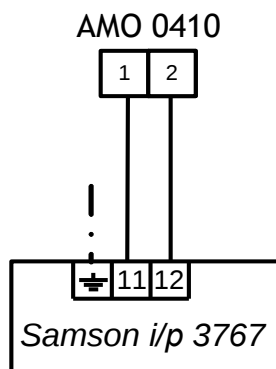
- частотний перетворювач Danfoss VLT Micro FC51



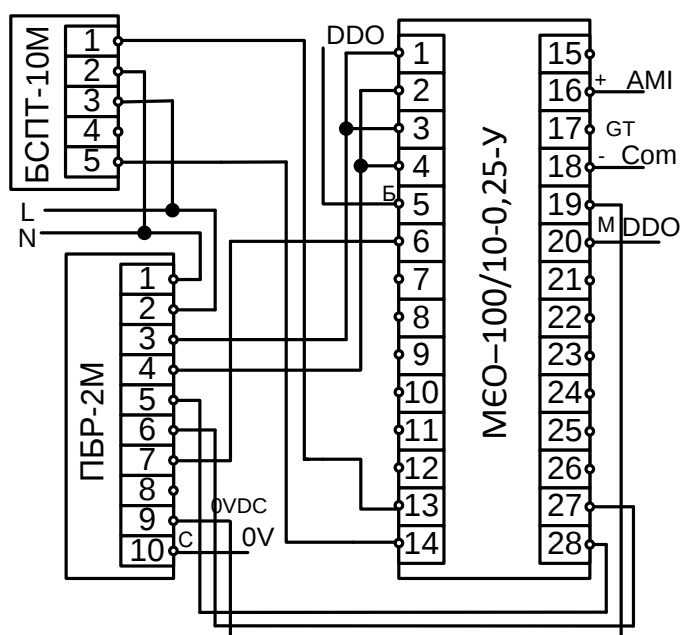
- електропривід поворотний двопозиційний CAMOZZI Тип AE 40



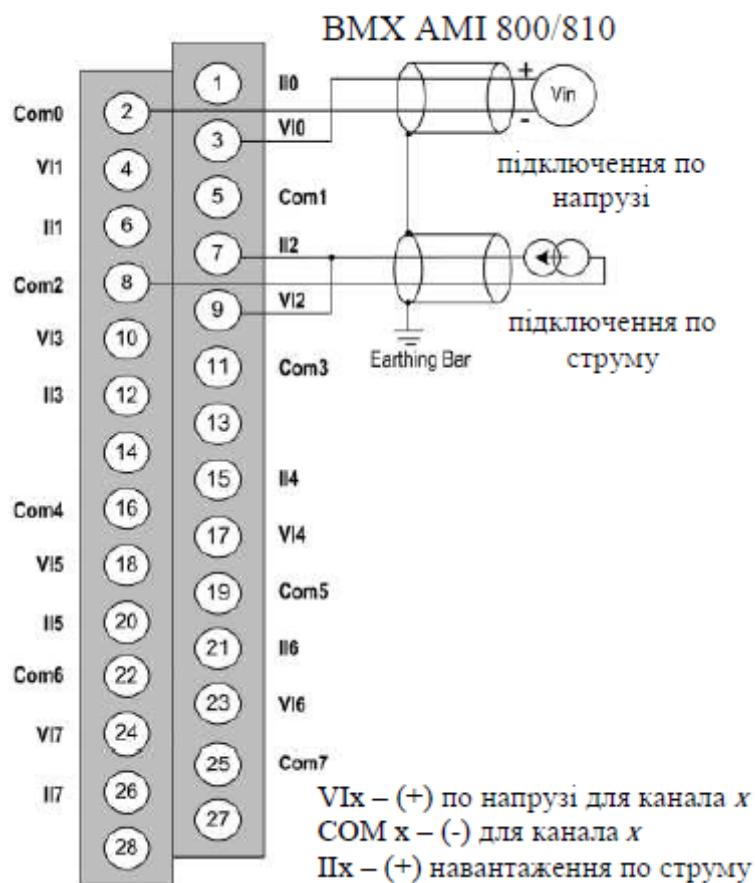
- електропневматичний перетворювач Samson 3767.



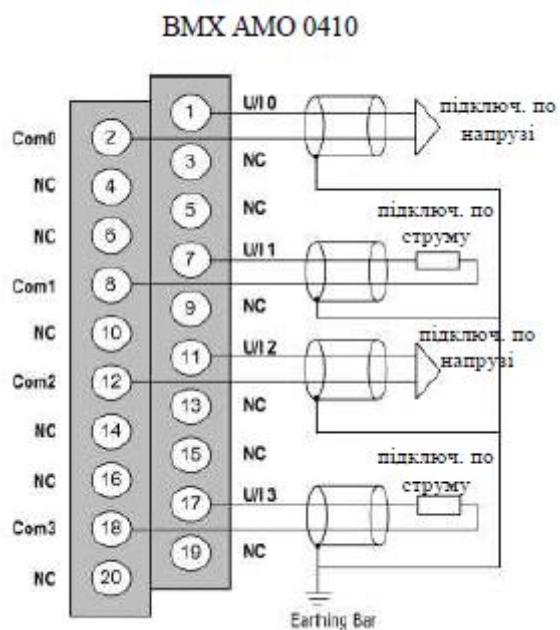
- пускач безконтактний реверсивний ПБР-2М, електричний ВМ МЕО



- модуль аналогового вводу ВМХ АМІ 0800

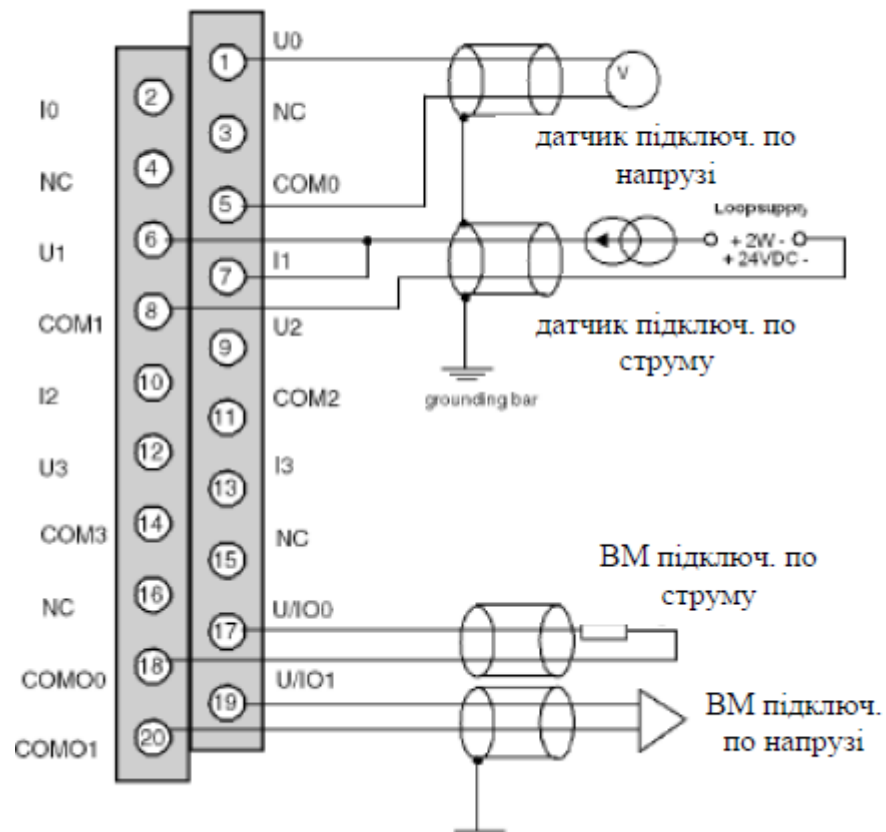


- модуль аналогового виводу BMX АМО 0410



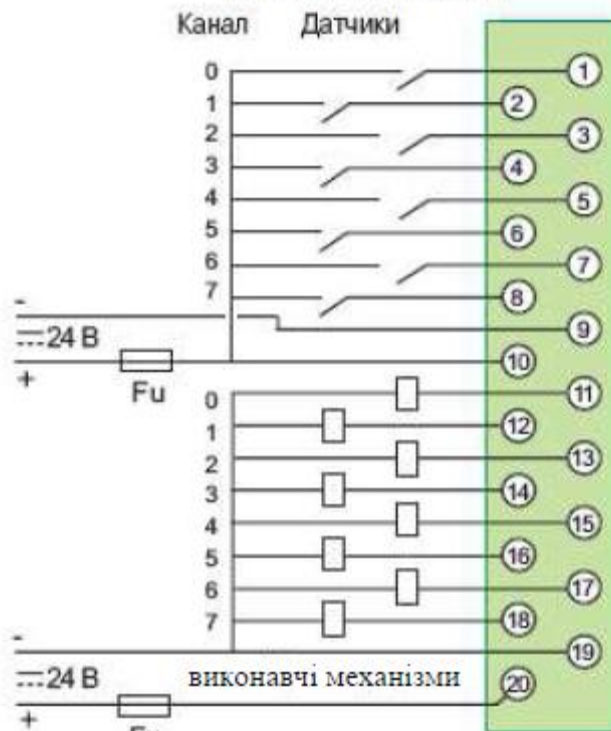
- модуль аналогового виводу/виводу BMX АММ 0600

BMX AMM 0600



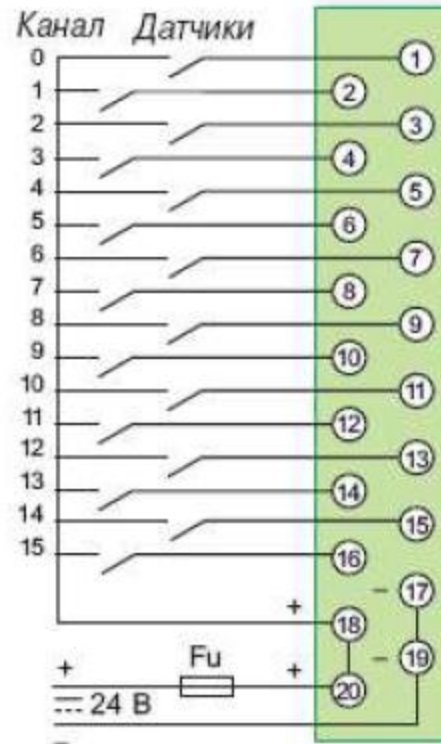
- змішаний модуль вводу/виводу дискретних сигналів BMX DDM 16022

BMX DDM 16022



- модуль вводу дискретних сигналів BMX DDI 1602

BMX DDI 1602 (DC)



- модуль виводу дискретних сигналів BMX DDO1602

BMX DDO 1602 (DC)

