

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ  
ТА ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ**

**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **“Автоматизація процесу фільтрування дріжджової  
суспензії у виробництві пресованих дріжджів”**

Виконав: студент гр. Акт-51з  
Спеціальності 151 – „Автоматизація та  
комп’ютерно-інтегровані технології”  
(шифр і назва)

Ковтко Олег Іванович

(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)

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ-2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ  
ТА ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
Спеціальність 151 – „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту

Ковтко Олег Іванович

1. Тема роботи: «Автоматизація процесу фільтрування дріжджової суспензії у виробництві пресованих дріжджів»

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

Затверджені наказом по університету від 25 квітня 2023 року № 118/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 06.03.2024 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта процесу фільтрування дріжджової суспензії у виробництві пресованих дріжджів; 2. Функціональні ознаки технологічного процесу фільтрування дріжджової суспензії; 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування

2. Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання

3. Розрахунок та моделювання 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. Технологічна схема процесу фільтрування дріжджової суспензії. Схема установки з барабанним вакуум-фільтром. ФСА фільтрування дріжджової суспензії на барабанному вакуум-фільтрі. Блок-схема системи автоматичного керування процесом фільтрування дріжджової суспензії. Схема під'єднання зовнішніх кіл центрального процесора CPU 314C-2DP DI8xDC24V AO2x12Bit. Програма функціонування мікропроцесорного контролера Siemens Simatic S7-300. Спрощена структурна схема зведеної одноконтурної САР вологості з допоміжним ПІ-регулятором. Схема каскадної САР з основним ПІ- та допоміжним ПІ-регуляторами, складена у середовищі SIMULINK.

6. Консультанти з розділів:

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

7. Дата видачі завдання 25 квітня 2023 р.

### **КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	25.02.23- 25.06.23	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	26.06.23- 01.10.23	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	02.10.23- 11.12.23	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці</i>	12.12.23- 21.01.24	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	22.01.24- 01.02.24	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	02.02.24- 21.02.24	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	22.03.24- 06.03.24	

Студент \_\_\_\_\_ Ковтко О.І.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Лиса О.В.  
(підпис)

УДК 631.365.2

Автоматизація процесу фільтрування дріжджової суспензії у виробництві пресованих дріжджів. Ковтко О.І. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Дубляни, ЛНУП, 2024.

82 с. текст. част., 29 рис., 4 табл., 22 літ. джерел, 2 додатки.

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

У вступі висвітлено суть процесу фільтрування дріжджової суспензії у виробництві пресованих дріжджів, обґрунтовано необхідність його автоматизації.

В першому розділі подано опис технологічного процесу, описано матеріальний та тепловий баланс процесу, наведені теоретичні основи технологічного процесу фільтрування дріжджової суспензії, проаналізовано фактори, що впливають на технологічний процес, складено структурну схему взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта.

В другому розділі виконано технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації та технічних засобів автоматизації, описано програму функціонування мікропроцесорного контролера Siemens Simatic S7-300 та принципову електричну схему зовнішніх з'єднань контролера Siemens Simatic S7-300.

У третьому розділі виконано розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання: вибрано структуру моделі, розраховано параметри моделі, розраховано параметри настроювання автоматичного регулятора, описано схеми автоматизації, подано специфікацію засобів автоматизації.

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

В бакалаврській кваліфікаційній роботі вирішено питання автоматизації технологічного процесу фільтрування дріжджової суспензії у виробництві пресованих дріжджів. Проведено опис технологічного процесу, виконано аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації. Розроблено блок-схему системи автоматичного керування процесом фільтрування дріжджової суспензії та відповідні засоби автоматизації, описано програму функціонування мікропроцесорного контролера Siemens Simatic S7-300. Досліджено перехідні процеси в системі автоматичного регулювання при оптимальних параметрах настроювання ПІ-регулятора. В роботі розроблено заходи з охорони праці та навколишнього природного середовища і розрахована економічна ефективність проектованої системи автоматизації.

## THE SUMMARY

In the bachelor's qualification work, the issue of automation of the technological process of filtering yeast suspension in the production of pressed yeast is solved. The description of the technological process was carried out, the analysis of the technological process as an object of automation was performed. The block diagram of the system of automatic control of the process of filtering yeast suspension and the corresponding means of automation have been developed, the program of the operation of the Siemens Simatic S7-300 microprocessor controller has been described. Transient processes in the automatic control system with optimal PI controller setting parameters were investigated. In the work, measures for labor and environmental protection were developed and the economic efficiency of the projected automation system was calculated.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b>	6
<b>1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування</b>	9
1.1. Опис технологічного процесу фільтрування дріжджової суспензії у виробництві пресованих дріжджів	9
1.2. Опис технологічної схеми процесу	16
1.3. Матеріальний та тепловий баланс технологічного об'єкту	17
1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень	19
1.5. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта регулювання	21
<b>2. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми та технічних засобів автоматизації</b>	22
2.1. Вибір функціональної схеми автоматизації	22
2.2. Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації	24
2.3. Розробка блок-схеми системи автоматичного керування процесом фільтрування дріжджової суспензії	27
2.4. Опис програми функціонування мікропроцесорного контролера Siemens Simatic S7-300	27
2.5. Опис принципової електричної схеми зовнішніх з'єднань контролера Siemens Simatic S7-300	33
<b>3. Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання</b>	35
3.1. Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання	35
3.2. Розрахунок параметрів налаштування автоматичного регулятора	42
3.3. Дослідження перехідних процесів в САР	54
3.4. Опис функціональної схеми автоматизації	60
3.5. Специфікація на засоби автоматизації	63

<b>4. Охорона праці</b>	<b>65</b>
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці	65
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці	66
4.3. Пожежна безпека	71
<b>5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації</b>	<b>73</b>
<b>Висновки</b>	<b>79</b>
<b>Список використаних джерел</b>	<b>83</b>
<b>Додатки</b>	<b>85</b>

## ВСТУП

Дедалі ширше використання методів автоматизації технологічних процесів безпосередньо впливає на економію витрат і підвищення якості продукції, що робить її основним рушієм зростання промислового виробництва. Наразі цей сектор розвивається за рахунок інвестицій у модернізацію, автоматизацію та розвиток виробництва.

Під технологічним процесом розуміють сукупність технологічних операцій, які проводяться над вхідним продуктом в одному або декількох апаратах з метою отримання продуктів, які відповідають заданим показникам якості.

Сучасне підприємство поряд з повністю автоматизованими або роботизованими лініями включає в себе і окремі напівавтономні ділянки - системи блокування і аварійного захисту, системи подачі води і повітря, очисні споруди, вантажно-розвантажувальні та складські термінали тощо. Функції автоматизованого управління для них виконують програмно-технічні комплекси (ПТК). Вони будуються з використанням апаратно-програмних засобів, до яких відносяться засоби вимірювання та контролю і виконавчі механізми, об'єднані в промислові мережі і керовані промисловими комп'ютерами за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

Мета керування технологічним процесом полягає в забезпеченні оптимального значення критерію керування, під яким розуміють технологічний або техніко-економічний показник (продуктивність виробництва, якість продукції, тощо), який характеризує технологічний об'єкт керування в цілому і приймає числові значення в залежності від керуючих дій, що подаються на нього – цілеспрямованих змін вхідних матеріальних і енергетичних потоків.

У даній роботі розглянемо питання автоматизації фільтрування дріжджової суспензії у виробництві пресованих дріжджів. Буде розглянуто технологічний механізм процесу фільтрування, можливі види автоматизації процесу фільтрування, їхні переваги та недоліки.



Фільтруванням називають процес розділення неоднорідних систем із дисперсною твердою фазою за допомогою пористих перегородок, що затримують тверді дисперсні частинки і вільно пропускають рідке середовище.

Процеси розділення неоднорідних систем широко застосовують харчові, хімічні, фармацевтичні галузі промисловості для отримання цінного осаду внаслідок хімічних перетворень чи біологічних процесів або очищеного від домішок фільтрату.

Розрізняють такі види фільтрування:

- згущення – відділення твердої фази від рідкої не у вигляді осаду, а у вигляді висококонцентрованої (згущеної) суспензії;
- фільтрування з утворенням шару осаду на фільтрувальній перегородці;
- освітлення – фільтрування рідин з незначним вмістом твердої фази.

Рушійною силою процесу фільтрування є різниця тисків над поверхнею рідини і під фільтрувальною перегородкою. У залежності від способу створення рушійної сили розрізняють фільтрування:

- вакуумне – під дією різниці атмосферного тиску і розрідження;
- гідростатичне – під дією тиску стовпа рідини;
- напірне – під дією надлишкового тиску на середовище.

Промислові фільтри поділяються за режимом роботи на фільтри періодичної і безперервної дії, а за значенням робочого тиску – на вакуум-фільтри і фільтри, які працюють під тиском.

Класифікація фільтрів за цими принципами і конструктивними особливостях зображена на рисунку В.1.

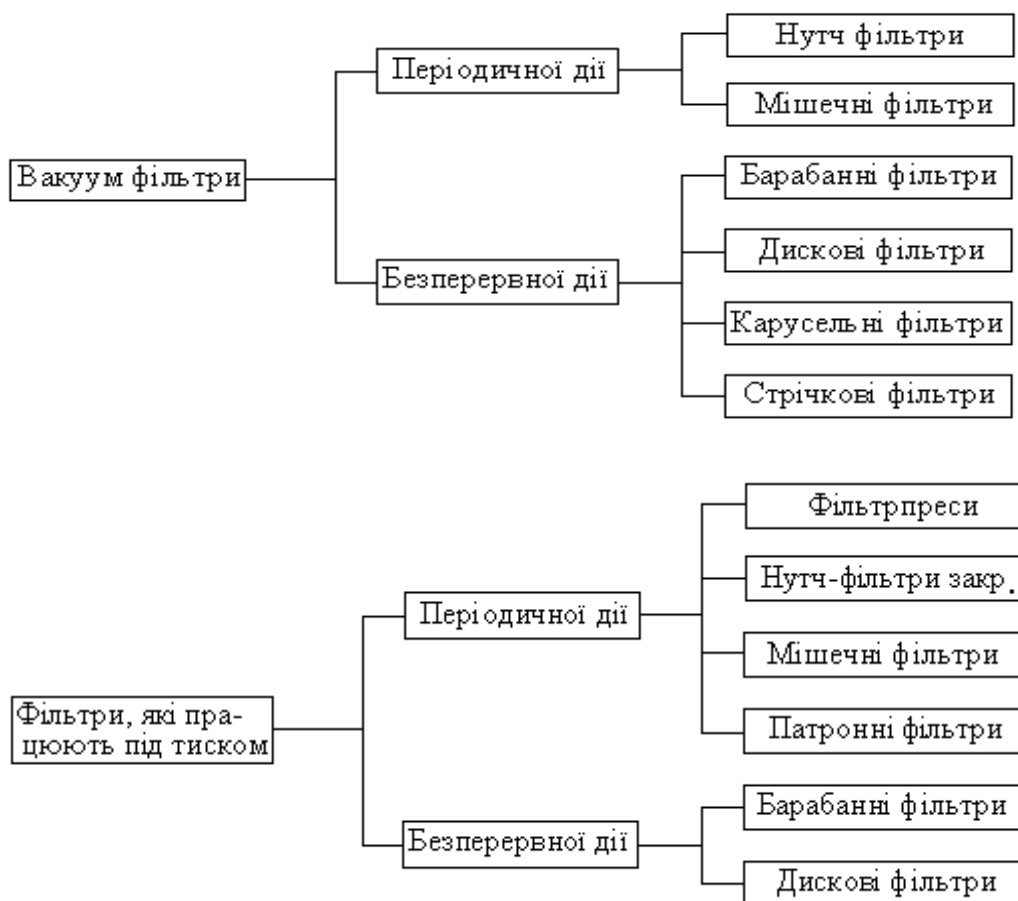


Рис. В. 1. Класифікація фільтрів

**Мета роботи** - розроблення системи автоматичного керування процесом фільтрування дріжджової суспензії.

**Об'єктом дослідження** є процес фільтрування дріжджової суспензії у виробництві пресованих дріжджів із застосуванням вакуумних фільтрів.

## 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

### 1.1. Опис технологічного процесу фільтрування дріжджової суспензії у виробництві пресованих дріжджів

Дріжджове виробництво засноване на здатності дріжджових клітин (мікроорганізмів) рости і розмножуватися. В основі технології хлібопекарських дріжджів на дріжджових заводах лежать біохімічні процеси, пов'язані з перетворенням поживних речовин культурального середовища при активній аерації в клітинну речовину дріжджів. При аерації дріжджі окислюють цукор живильного середовища до води і діоксиду вуглецю (аеробне дихання). Теплова енергія, що виділилася при цьому, використовується дріжджами для синтезу клітинної речовини та в обмінних процесах. В аеробних умовах в субстраті накопичуються значно більші біомаси, ніж при анаеробному диханні.

Склад і концентрація поживного середовища для культивування дріжджів обумовлює швидкість їх розмноження і кінцевий вихід продуктів. Для конструктивного і енергетичного обміну дріжджів використовують цукор, азотисті сполуки, зольні елементи і кисень повітря.

Хлібопекарські дріжджі культивують на мелясних середовищах, розбавлених водою. Цукор такого середовища легко засвоюється дріжджами. Теоретичний вихід біомаси дріжджів з 75 % вологовмістом знаходиться в межах 97 ... 117 % по відношенню до маси меляси, що містить 46 % цукру. У заводських умовах вихід дріжджів становить лише 68 ... 92 %. Процес отримання хлібопекарських дріжджів на дріжджових заводах складається з таких стадій:

- приготування живильного середовища;
- вирощування маткових і товарних дріжджів;
- виділення товарних дріжджів з дріжджової суспензії;
- формування та упаковка пресованих дріжджів;
- сушка дріжджів.

Дріжджова промисловість виробляє пресовані та сушені дріжджі. В основному вони використовуються в хлібопекарській промисловості для розпушування тіста. Крім того, їх застосовують у вітамінній промисловості як сировина для отримання вітамінів D і B<sub>2</sub>, в медичній - для отримання ряду лікарських препаратів, нуклеїнових кислот і різних ферментів, у мікробіологічній - для приготування поживних середовищ, а також в сільському господарстві при вирощуванні молодняку великої рогатої худоби, на птахофермах і в рибоводних господарствах.

Остаточне виділення дріжджів відбувається в основному на вакуум-фільтрах, а на деяких підприємствах - на фільтрпресах. Вакуум-фільтри мають більш високу продуктивність, полегшують працю робітників, забезпечують кращі санітарні умови на підприємствах. В даній роботі будуть розглянуті питання автоматизації вакуумних фільтрів.

Фільтрують дріжджі через спеціальну тканину бельтинг, яку надягають на барабан вакуум-фільтра. Виділення дріжджів здійснюють таким чином. Спочатку готують фільтруючу тканину. Із загального рулону фільтрувальної тканини відрізають шматок, рівний по довжині кола барабана вакуум-фільтра, із запасом 20-30 см. Тканина злегка зволожують водою і, не допускаючи зморшок, натягують на барабан.

У форсунки подають воду для рясного змочування фільтрувальної тканини. Одночасно включають вакуум-насоси. Під дією розрідження волога тканина щільно прилягає до поверхні барабана. Якщо розрідження при цьому становить 13-20 кПа, то, вакуум-фільтр готовий до роботи і після цього починають подавати охолоджене дріжджове молоко зі збірника дріжджового молока у ванну вакуум-фільтра. Під час пуску і в період роботи в ньому підтримують максимальний рівень дріжджового молока. Під дією вакууму дріжджові клітини присмоктуються до фільтрувальної тканини, одягненою на барабан вакуум-фільтра, утворюючи по всій поверхні щільний шар дріжджів, який знімають за допомогою спеціального ножа, встановленого на фільтрувальній установці. Зайву вологу і піну знімають спеціальною накладкою з щільної гуми.

Ефективність роботи вакуум-фільтрів залежить від температури дріжджового молока, концентрації дріжджів в ньому, якості фільтрувального матеріалу, значення вакууму, а також від проведення технологічного процесу. Добре фільтрується дріжджове молоко при концентрації дріжджів не менше 600 г/л, охолодженні його до 2-8 °С, постійному рівні дріжджового молока у ванні вакуум-фільтра, використанні добре промитої фільтрувальної тканини та проведенні технологічного процесу відповідно до затверджених режимів, не допускаючи порушень параметрів процесів і режимів подачі поживних середовищ.

Схема фільтрувальної установки (рис.1.1) включає в себе окремі апарати, які забезпечують барабанний вакуум-фільтр матеріальними потоками, що необхідні для його функціонування.

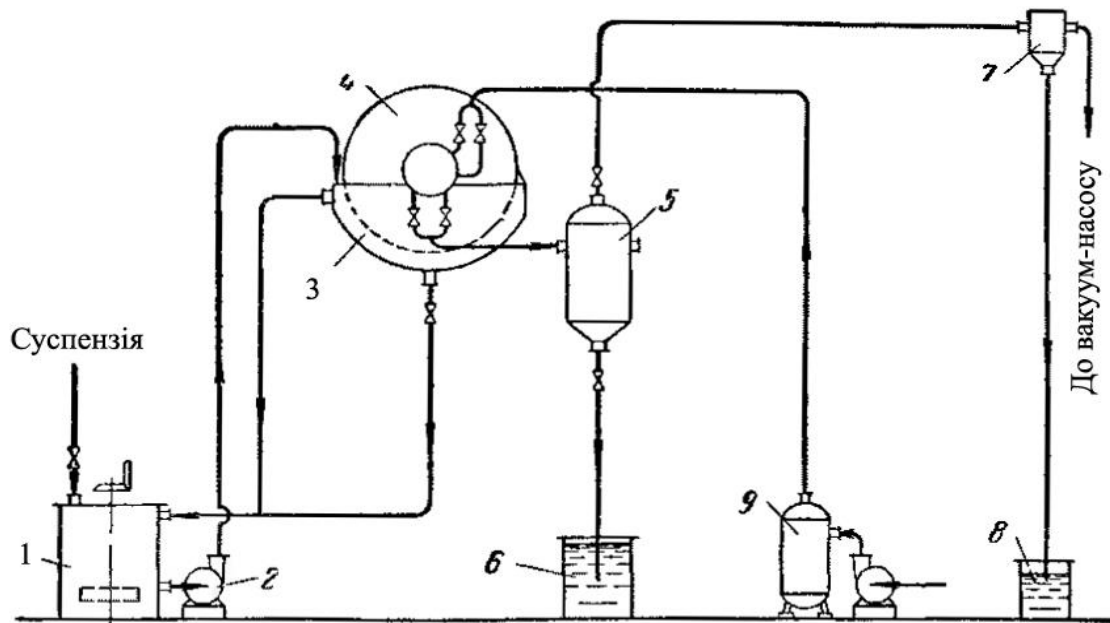


Рис.1.1. Схема установки з барабанним вакуум-фільтром: 1 – апарат для перемішування суспензії, 2 – відцентровий насос, 3 – ємність для суспензії, 4 – барабанний вакуум-фільтр, 5 – сепаратор, 6 – збірник, 7 – пастка, 8 – збірник, 9 – компресор

Суспензія з апарату 1 відцентровим насосом 2 подається в ємність 3 барабанного вакуум-фільтра 4. Фільтрат і промивна рідина під дією вакууму направляється в спільний сепаратор 5 для відділення від повітря яке поступило у фільтр в час операції зневоднення і промивки. Рідина із сепаратора 5 по вертикальній трубі висотою не менше 9 м під дією гідростатичного тиску потрапляє в збірник 6.

Повітря із сепаратора 5 поступає в пастку 7 для відділення від захоплених капель рідини, після чого видаляється вакуум-насосом із системи. Рідина з пастки 7 стікає в збірник 8 також під дією гідростатичного тиску. Стиснуте повітря подається в фільтр з допомогою компресора 9.

Найбільш широке застосування в різних галузях промисловості отримали відкриті барабанні вакуум-фільтри з зовнішньою поверхнею фільтрування.

Будова типового вакуум-фільтра подана на рис. 1.2.

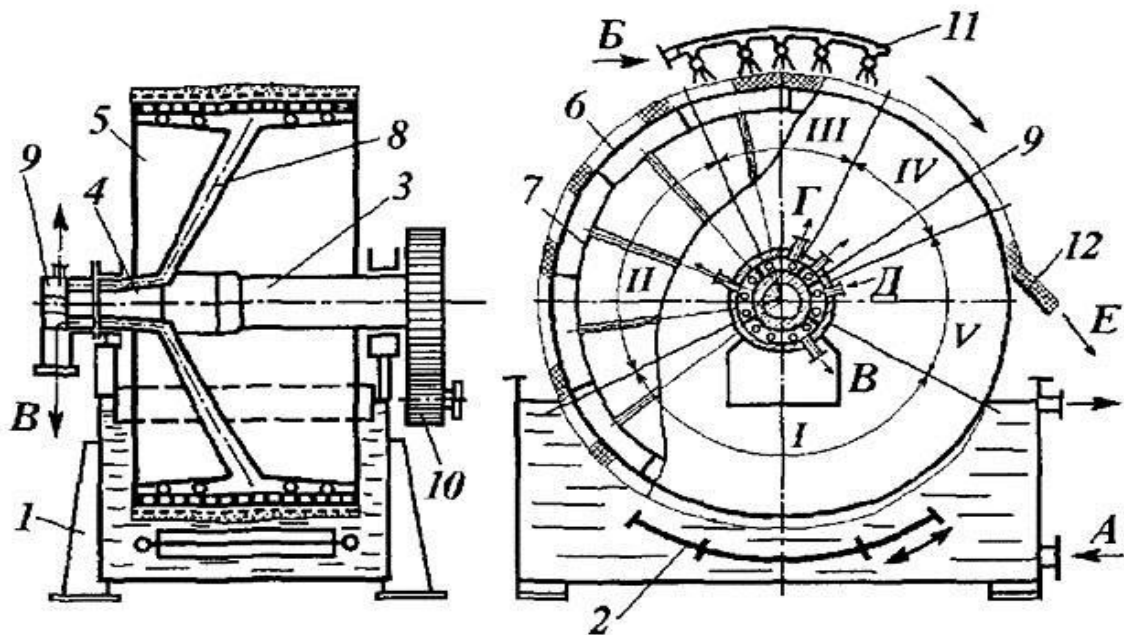


Рис. 1.2. Барабанний вакуум-фільтр із зовнішньою поверхнею фільтрування: А - подача суспензії; Б - подача промивної води; В - відведення фільтрату; Г - відведення промивної води; Д - подача стиснутого повітря; Е - зняття осаду; І - зона фільтрації; ІІ - зона просушування; ІІІ - зона промивання осаду; ІV - зона просушування; V - зона знімання осаду і регенерації тканини; 1 - станина - корпус; 2 - мішалка; 3 - вал; 4 - порожниста цапфа; 5 - барабан; 6 - перфорований корпус барабана; 7 - суцільний корпус; 8 - відвідна труба; 9 - розподільна головка; 10 - редуктор приводу; 11 - колектор промивної води; 12 - ніж для знімання осаду

Фільтр має станину 1, на якій установлений корпус-корито, усередині корита змонтована мішалка 2 гойдального типу. У корпусі над коритом на валі 3 за допомогою цапф установлений фільтрувальний барабан 5, що має зовнішній перфорований корпус 6 і суцільний внутрішній корпус 7, між стінками барабана встановлені радіальні перегородки, що розділяють вільний простір між стінками на окремі секції, кількість яких становить від 12 до 24 в залежності від діаметра

барабана. Кожна секція барабана за допомогою відвідних трубок 8 сполучена з порожнистою цапфою 4, до торця якої примикає нерухома розподільна головка 9 (рис. 1.3), що також складається з окремих камер. Камери розподільної головки сполучені з джерелом стиснутого повітря, із приймальною ємністю промивних вод, із збірником фільтрату, що приєднані до вакуумної лінії. Таким чином, при обертанні барабана кожна секція фільтра через відвідні трубки з'єднується з камерами розподільної головки, відповідно в цих секціях буде створюватися або вакуум, або надлишковий тиск. Протилежна цапфа валу через редуктор 10 з'єднана з електроприводом. У фільтраційних барабанах довжиною більше ніж 4 м встановлюють дві розподільні головки.

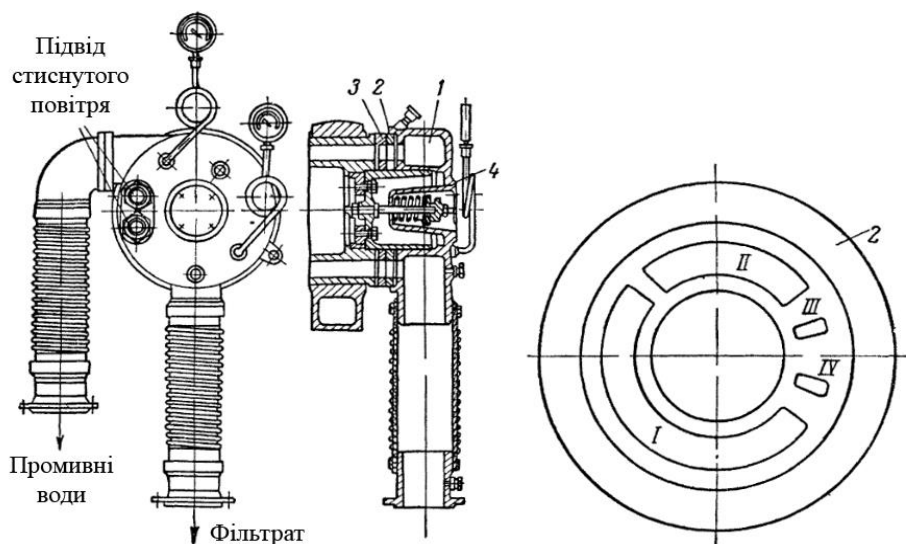


Рис.1.3. Розподільна головка: 1 – нерухомий корпус, 2 – розподільна шайба, 3 – чарункова шайба, 4 – пружина

Зовнішня поверхня барабана покрита фільтрувальною тканиною, над барабаном змонтований промивний пристрій 11.

Барабан занурений у корито із суспензією на 0,3 – 0,4 своєї поверхні і обертається навколо своєї осі з частотою 0,1 - 3,0 об/хв. Через вакуумну камеру розподільчої головки розрідження в ній поширюється по трубах 8 на секції фільтра, занурені в суспензію, при цьому через фільтрувальну тканину просмоктується фільтрат і по відвідних трубах відводиться в збірник фільтрату, а на поверхні тканини відкладається прошарок осаду і таким чином відбувається процес фільтрування. З поворотом барабана кожна фільтрувальна секція послідовно

проходить зони фільтрування (I), просушування осаду (II), промивання осаду водою (III), другу зону просушування осаду (IV) та зону знімання осаду і регенерації тканини (V). Осад відокремлюється ножом 12 у зоні знімання, тканина регенерується, а потім процес повторюється з тією самою послідовністю.

У тих випадках, коли фільтрат і промивна рідина є леткими рідинами і можуть утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші, фільтрувальний барабан розмішують у герметичному корпусі, заповненому інертним газом під тиском 2 - 4 атм, у цьому випадку не тільки збільшується швидкість фільтрування, але і поліпшуються технологічні і санітарні умови роботи.

Переваги барабанних вакуум-фільтрів:

- 1) універсальність, тобто придатність для обробки різноманітних суспензій;
- 2) можливість виготовлення з матеріалів, стійких в хімічно-активних середовищах;
- 3) простота обслуговування;
- 4) відносно добрі умови промивки осаду.

Недоліки:

- 1) невелика фільтруюча поверхня і порівняно висока вартість;
- 2) складність герметизації;
- 3) необхідність перемішування суспензії в кориті;
- 4) віддаленість розподільної головки від фільтруючої поверхні.

Фільтри безперервної дії розроблені таким чином, щоб окремі операції циклу фільтрування автоматично, незалежно одна від іншої чергувалися і проходили у такому порядку:

а) подача суспензії – суспензія надходить в резервуар фільтра де контактує з фільтрувальною поверхнею;

б) власне фільтрування – в занурених секторах барабана суспензія під впливом вакууму надходить до поверхні фільтрувальної тканини сектора де відбувається поділ, в результаті якого очищений фільтрат проходить через фільтрувальну тканину і по колектору, підведених до сектору надходить в приймач фільтрату, а



тверді частинки осідають на поверхні фільтрувальної тканини сектора утворюючи шар осаду;

в) підсушування осаду – по ходу обертання барабана утворився шар осаду, що вийшов з корита і зневоднюється за допомогою вакууму аж до підходу до зони промивання;

г) промивання вологого осаду – промивну рідину заливають на поверхню осаду у вигляді шару або розбризкують, причому промивна рідина під дією перепаду тиску проходить через пори осаду, витісняючи з них рідку фазу і змішується з нею;

д) просушування та віддування осаду – перед зоною знімання закінчується зневоднення осаду, який до цього моменту досяг необхідної вологості, відключається вакуум і починається зворотне продування повітрям, завдяки чому зневоднений осад розпушується і краще відходить при зніманні від фільтрувальної поверхні сектора барабана;

е) зняття осаду з тканини – зневоднений розпушений осад по ходу обертання підходить до знімного пристрою (ніж) за допомогою якого відбувається його зняття з поверхні барабана;

ж) регенерація фільтрувальної тканини – до сектора барабана подається стиснуте повітря яке продуває фільтрувальну тканину тим самим очищаючи її пори від залишків осаду.

Осад знімають з фільтрувальної поверхні різними способами. З допомогою ножа (рис. 1.4, а) знімають осад товщина якого не менше 8 – 10 мм. Для зняття тонших шарів (2 – 4 мм) застосовують безкінечні шнури, огинаючи барабан (рис.1.4, б), з яких осад скидається при перегині через валик. Тонкі і мазкі шари осаду знімають притисненими до поверхні барабану гумовим валиком (рис.1.4, в), на який переходить осад і потім знімається валиком меншого діаметру. Зняття дуже тонких шарів осаду (<2 мм) відбувається нескінченним сходячим полотном (рис. 1.4, г). Полотно проходить через систему роликів. На перший ролик осад налипає і знімається з нього ножем, після чого полотно промивається і повертається до барабану. Рух полотна відбувається за рахунок його тертя до поверхні барабана.

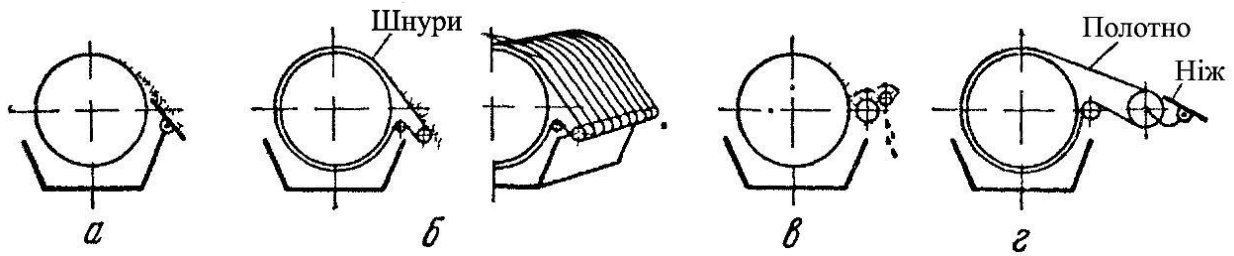


Рис.1.4. Способи зняття осаду: а – ножем, б – безкінечними шнурами, в – гумовим валиком, г – сходячим полотном.

## 1.2. Опис технологічної схеми

Робота установки здійснюється таким чином:

Згущене на стадії сепарування до концентрації 450-650 г/л і охолоджене до 2 °С дріжджове молоко подають у збірник, де воно постійно перемішується мішалкою щоб запобігти осіданню дріжджів.

Тоді відцентровим насосом з об'ємною продуктивністю 6 м<sup>3</sup>/год дріжджове молоко зі збірника подають у ванну вакуум-фільтра, де його рівень підтримують на постійному значенні 0,25 м.

Барабан вакуум-фільтра з діаметром 1,8 м та довжиною 2,65 м занурений у дріжджову суспензію на 0,15 м і обертається навколо своєї осі з частотою 20 об/хв. Через вакуумну камеру розподільчої головки розрідження, яке створюється вакуум-насосом потужністю 30 кВт і становить 60 кПа, в ній поширюється по трубах на секції фільтра, занурені в суспензію.

З поворотом барабана кожна фільтрувальна секція послідовно проходить зони фільтрування (I), просушування осаду (II), промивання осаду водою (III), другу зону просушування осаду (IV) та зону знімання осаду і регенерації тканини (V).

При цьому через фільтрувальну тканину просмоктується фільтрат і по відвідних трубах відводиться в сепаратор з барометричною трубою для розділення рідкої та газоподібної фази. А на поверхні барабана вакуум-фільтра утворюється щільний шар дріжджів, який знімають ножем, встановленим на фільтрувальній установці.

В зоні промивання на осад з форсунок розбризкується холодна вода яка під дією вакууму проходить через пори осаду, витісняючи з них залишки фільтрату і тим

самим підвищується якість продукту. Тиск води не повинен бути надто високим, щоб запобігти змиванню осаду, а також його надмірній вологості.

У зоні знімання осаду і регенерації тканини до секцій подається стиснуте повітря яке продуває фільтрувальну тканину і розпушує шар осаду. Зневоднений розпушений осад по ходу обертання підходить до знімного пристрою (ножа) за допомогою якого відбувається його зняття з поверхні барабана.

Утворений дріжджовий осад з вологістю 40-44 % поступає в екструдер – машину для формування пластичних матеріалів, шляхом надання їм форми, за допомогою продавлювання через профілювальний інструмент – екструзійну головку. В результаті ми отримуємо готовий продукт який ріжуть на шматки і пакують.

### 1.3. Матеріальний баланс технологічного процесу

Нехай розділенню підлягає система, яка складається із речовини А (суцільна фаза) та завислих в ній твердих частинок В (дисперсна фаза). Введемо позначення:

$G_{см}, G_{осв}, G_{ос}$  – кількість початкової суміші, освітленої рідини і отриманого осаду відповідно, кг;

$X_{см}, X_{осв}, X_{ос}$  – вміст речовини В в початковій суміші, в освітленій рідині і в осаді, масові долі.

При відсутності втрат в процесі розділення рівняння матеріального балансу матиме вигляд:

- по загальній кількості речовини:

$$G_{см} = G_{осв} + G_{ос} \quad (1.1)$$

- по дисперсній фазі (речовині В):

$$G_{см} X_{см} = G_{осв} X_{осв} + G_{ос} X_{ос} \quad (1.2)$$

Спільний розв'язок рівнянь (1.1) та (1.2) дозволяє визначити кількість освітленої рідини  $G_{осв}$  та кількість осаду  $G_{ос}$ , отриманих при заданій кількості речовини в осаді та освітленій рідині:

$$G_{осв} = [G_{см} (X_{ос} - X_{см})] / (X_{ос} - X_{осв}) \quad (1.3)$$

$$G_{oc} = [G_{cm} (X_{cm} - X_{ocv})]/(X_{oc} - X_{ocv}) \quad (1.4)$$

Вміст завислих частинок в освітленій рідині і в осаді вибирають в залежності від конкретних технологічних умов процесу розділення. При цьому вміст речовини в освітленій рідині часто обмежується певною нижньою межею.

Про тепловий баланс у процесі фільтрування є сенс згадувати тільки тоді, коли йде мова про температуру підшипників вакуумного насоса, що не може перевищувати рекомендовані граничні показники для забезпечення безаварійної і стабільної роботи агрегату при високих обертах барабану, що є характерних для протікання цього процесу. Температура у самому фільтрі не контролюється, оскільки вона не впливає на хід технологічного процесу. Технологічна карта процесу наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

### Технологічна карта процесу фільтрування дріжджової суспензії

№ п/п	Назва параметра	Позначення	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустиме відхилення
1	Витрата суспензії	F	м <sup>3</sup> /год	6	± 0,05
2	Рівень суспензії в ємності	L <sub>1</sub>	м	2,5	± 0,2
3	Густина суспензії	ρ	кг/ м <sup>3</sup>	1100	± 20
4	Температура суспензії	T	°C	2	±1
5	Рівень суспензії у ванні вакуум-фільтра	L <sub>2</sub>	м	0,25	± 0,02
6	Вологість осаду	M	%	42	± 2
7	Мутність фільтрату	Q	мг/л	100	+10
8	Розрідження	P	кПа	60	± 0,5
10	Тиск промивної води	P <sub>в</sub>	МПа	0,4	± 0,01
11	Тиск повітря	P <sub>п</sub>	МПа	0,8	± 0,02

#### **1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень**

Процес фільтрування проводиться з метою повного вилучення твердої фази з рідини, тому показником ефективності процесу є вологість отриманого осаду, а метою керування – підтримання її на заданому значенні.

В реальних умовах виробництва на барабанний вакуум-фільтр можуть впливати численні збурення у вигляді зміни початкової концентрації дріжджів в суспензії, густини суспензії та в'язкості рідкої фази. Перевищення цих параметрів за допустимі значення може призвести до ущільнення осаду у нижній частині ванни, що негативно впливатиме на процес фільтрування і зниження його ефективності. І навпаки, при зниженні – призвести до підвищення мутності фільтрату і виведення частини цільового продукту разом з ним оскільки опір шару осаду буде недостатнім. Всі ці збурення визначаються технологічним режимом попереднього процесу, тому виключити їх при керуванні процесом фільтрування неможливо, їх значення тільки контролюють.

Найбільш збурюючою дією є зміна витрати дріжджового молока, що поступає у ванну вакуум-фільтра оскільки збільшення витрати суспензії призводить до збільшення вологості осаду.

Вихідними величинами є вологість осаду і продуктивність за осадом. Обидва параметри контролювати важко, тому основною вихідною величиною фільтра вважають рівень дріжджового молока, який в більшості випадків стабілізують зміною витрати суспензії на вході в барабанний вакуум-фільтр.

Значення вакууму встановлюють максимальним для даного процесу, щоб досягти мінімально можливої вологості осаду і максимальної продуктивності за осадом.

Частота обертання барабана впливає як і на вологість осаду, так і на продуктивність вакуум-фільтра за осадом.

Вплив перелічених факторів на ефективність процесу фільтрування враховується при виборі та розміщенні пристроїв для регулювання вологості осаду,

регулювання рівня в установці та витрати суспензії, виборі і обґрунтуванні систем автоматичного регулювання.

Для досягнення оптимального протікання технологічного процесу проводять аналіз на основі технологічного регламенту, наукових досліджень, правил експлуатації технологічної апаратури, вимог до якості продукту та правил охорони довкілля. За результатами аналізу встановлюють номінальні значення параметрів та їх допустимі відхилення.

Витрата суспензії і початкова концентрація дріжджів в суспензії мають дуже велике значення для процесу. Максимальне значення витрати суспензії становить  $6 \text{ м}^3/\text{год}$ . Допускаються відхилення витрати, але не нижче  $5,95 \text{ м}^3/\text{год}$  і не вище  $6,05 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Номінальне значення рівня дріжджового молока у ванні вакуум-фільтра становить  $0,25 \text{ м}$ . Для підтримання якості вихідного продукту, рівень у ванні потрібно підтримувати на заданому значенні протягом всього процесу з похибкою  $\pm 0,02 \text{ м}$ .

Велику роль для процесу фільтрування відіграє розрідження у вакуум-лінії, оскільки як воно впливає на продуктивність і вологість осаду, його встановлюють максимальним  $60 \text{ кПа}$  і підтримують постійним.

Згідно вимог до якості фільтрування мутність фільтрату повинна бути не більше  $100 \text{ мг/л}$ . Допускаються відхилення мутності за встановлене значення, але не вище  $110 \text{ мг/л}$ .

Частота обертання барабана підтримується постійною і становить  $20 \text{ об/хв}$ , оскільки як привід використовується асинхронний двигун.

Саме при таких значеннях технологічних параметрів ми досягнемо оптимальних результатів.

### 1.5. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта регулювання

Структурна схема барабанного вакуум-фільтра як об'єкта керування зображена на рис. 1.5.

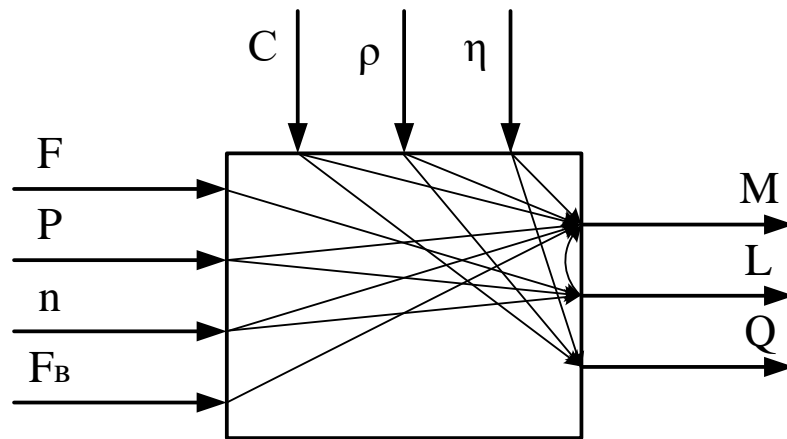


Рис. 1.5. Структурна схема барабанного вакуум-фільтра

Вхідні величини:

- $F$  – витрата суспензії;
- $P$  – значення розрідження у вакуум лінії;
- $n$  – частота обертів барабану;
- $L$  – рівень суспензії у ванні вакуум-фільтра.

Збурюючі величини:

- $C$  – концентрація твердих частинок в суспензії;
- $\rho$  – густина дріжджового молока;
- $\eta$  – кінематична в'язкість рідкої фази.

Вихідні величини:

- $M$  – вологість дріжджів;
- $L$  – рівень дріжджового молока у ванні вакуум-фільтра;
- $Q$  – мутність фільтрату.

## 2. ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 2.1. Вибір функціональної схеми автоматизації

Побудова схем автоматизації процесу фільтрування зводиться до забезпечення необхідної ефективності процесу (мінімально можлива вологість осаду). Як було сказано раніше, у фільтрі цю умову визначають багато факторів, але основними серед них є рівень суспензії (дріжджового молока) у ванні, витрата суспензії, концентрація твердої фази в ній та гранулометричний склад а також частота обертання барабана і витрата промивної води. Але в багатьох випадках концентрація твердої фази та гранулометричний склад суспензії визначаються технологічним режимом попереднього процесу, тому усунути їх при керуванні процесом фільтрування неможливо. Потрібно врахувати, що вакуум-фільтр є складним об'єктом управління, оскільки присутній істотний взаємозв'язок між різними чинниками. Наприклад, частота обертання барабана вакуум-фільтра зумовлює, з одного боку, його продуктивність, з іншого, вологість осаду. Варто відмітити вузький діапазон можливих регулюючих дій, що зв'язане зі збільшенням вологості осаду при значному збільшенні швидкості обертання. З технологічних міркувань приймаємо, що для вакуум-фільтра найважливішими параметрами є вологість осаду і рівень суспензії у ванні. Ці два параметри є пов'язані між собою, тому доцільно застосувати каскадну систему автоматичного регулювання вологості осаду з корекцією по рівню суспензії у ванні барабанного вакуум-фільтра. Такий контур дозволить забезпечити кращі показники регулювання. Тому приймаємо найбільш раціональний канал управління вологості осаду – зміну продуктивності насоса подачі суспензії до ванни фільтра, а коректуючий регулятор дозволить швидко усунути вплив збурення по зміні рівня суспензії. Приймаємо, що вакуум у системі завжди підтримується максимальним допустимим для забезпечення високої продуктивності роботи вакуум-фільтра. Запропонована схема автоматизації барабанного вакуум-фільтра зображена на рисунку 2.1.



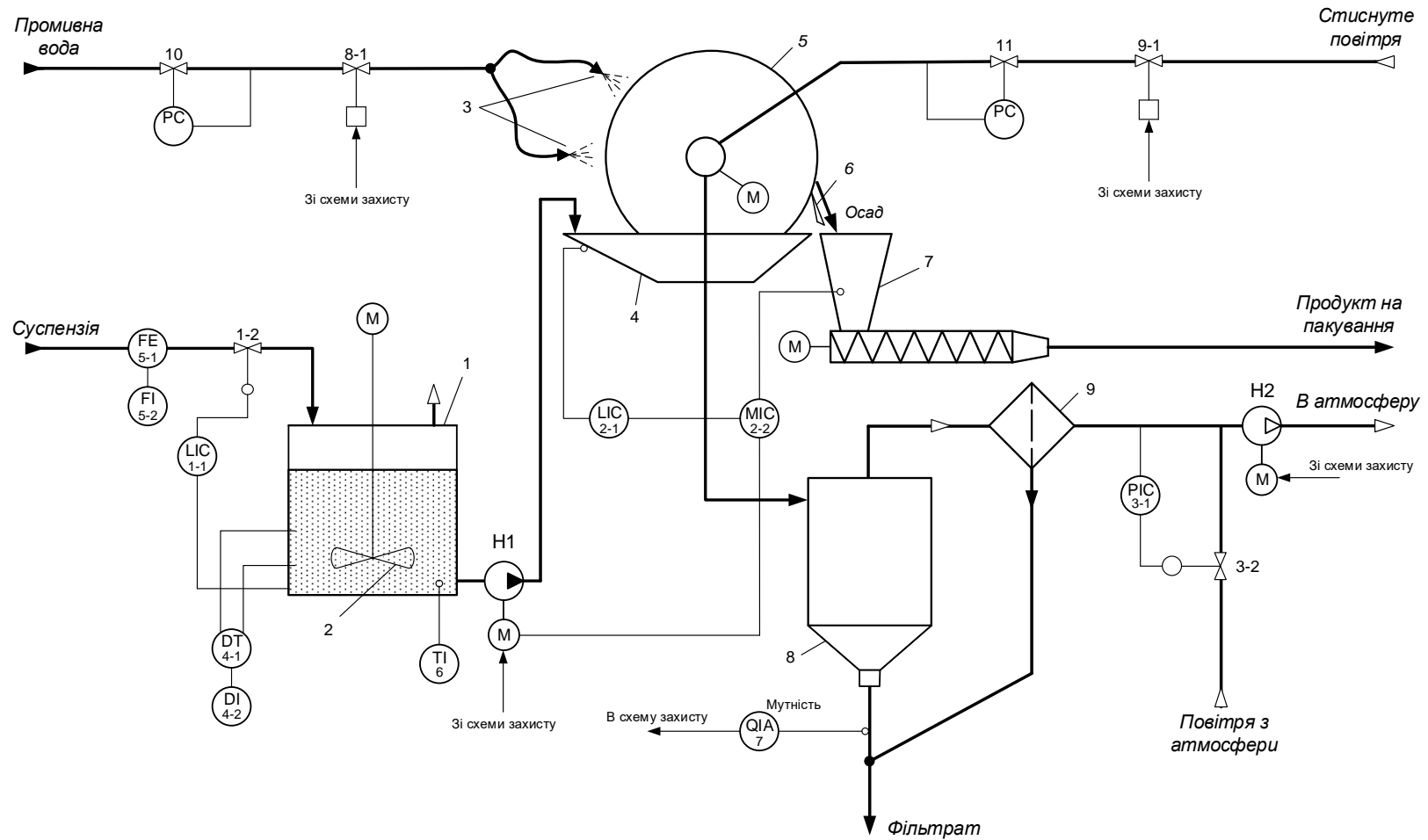


Рис. 2.1. ФСА фільтрування дріжджової суспензії на барабанному вакуум-фільтрі:

1 – ємність, 2 – мішалка, 3 – форсунки, 4 – ванна барабанного вакуум-фільтра, 5 – барабан вакуум-фільтра, 6 – ніж, 7 – екструдер, 8 – сепаратор з барометричною трубою, 9 – повітряний фільтр, 10, 11 – регулятори прямої дії, H1 – відцентровий насос, H2 – водокільцевий вакуум-насос.

## 2.2. Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації

Для керування даним технологічним процесом обираю програмований мікропроцесорний контролер SIEMENS SIMATIC S7-300.

Програмовані контролери SIEMENS SIMATIC S7-300 призначені для вирішення задач середньої потужності. Для побудови відносно простих і недорогих систем автоматичного керування і можуть використовуватися для заміни існуючих релейно-контактних схем. Сімейство включає в свій склад модулі центральних процесорів, модулі введення-виведення дискретних і аналогових сигналів, функціональні модулі, а також комунікаційні модулі.

Контролери підтримують потужну систему команд і здатні виконувати логічні операції, математичні операції з фіксованою і плаваючою крапкою, підтримувати алгоритми ПІД - регулювання і позиціонування, тощо. Великою перевагою є те, що в нього є віддалені станції, які можуть бути розташовані на відстані до 1000 м.

Контролери здатні працювати в реальному часі і можуть бути використані як для побудови вузлів локальної автоматики, так і систем розподіленого введення-виведення з організацією обміну даними через PPI (Point to Point Interface), MPI (Multi Point Interface), AS-Interface, PROFIBUS, Industrial Ethernet, Internet, а також модемний зв'язок.

Характерні особливості сімейства SIMATIC S7-300:

- час виконання логічних операцій не перевищує 0.1 мс;
- наявність швидкісних лічильників зовнішніх подій;
- наявність швидкодіючих входів апаратних переривань;
- можливість нарощування кількості обслуговуваних входів-виходів;
- наявність імпульсних виходів (широотно- або частотно-імпульсна модуляція);
- годинник реального часу (вбудовані або встановлювані у вигляді знімного модуля);
- великий набір інструкцій мови програмування;
- один або два порти RS 485 універсального призначення;

- функції ведучого і веденого пристрою PROFIBUS DP, які забезпечуються центральним процесором;

- функції обміну даними через Industrial Ethernet;

- дружня оболонка програмування STEP 7;

- трирівневий парольний захист програм користувача;

- можливість роботи з пристроями людино-машинного інтерфейсу.

Для автоматизації даного процесу потрібно обрати тип процесора, модуля введення-виведення дискретних сигналів та блоку живлення. Спершу виберу тип процесора. Для цього ознайомлюсь з їх конструктивними особливостями.

Центральні процесори сімейства S7-300 мають такі конструктивні особливості:

- Наявність двох модифікацій центральних процесорів кожного типу, що відрізняються наявністю вбудованих аналогових і дискретних входів-виходів, і їх відсутністю. Ті що мають вбудовані входи-виходи позначаються буквою С (наприклад CPU314C-2DP).

- Універсальне призначення входів:

- стандартні входи введення дискретних сигналів;

- входи апаратних переривань;

- входи вбудованих швидкісних лічильників.

- Наявність шини розширення системи введення-виведення.

- Вбудовані швидкісні лічильники (60 кГц в CPU 316C-2DP).

- 4 імпульсних виходи (2,5 кГц в CPU 316C-2DP) у всіх моделях постійного струму.

- Перемикач вибору режимів роботи.

- Опціональний (у вигляді знімного модуля) або вбудований годинник реального часу.

- Додаткова пам'ять у вигляді карти пам'яті до 8 МБ.

- Можливість використання імітаторів вхідних сигналів для відлагодження програми.

- Робота без буферної батареї.

- Одночасне підтримання багатьох протоколів зв'язку.
- Позичіонування по одній осі.

З врахуванням того, що для керування процесом фільтруванням дріжджової суспензії потрібні 9 аналогових входів, 6 аналогових виходів, 4 дискретні входи та 4 дискретні виходи, то вибираємо центральний процесор CPU 314C-2DP з додатковою станцією аналогових виходів SM322-5HDO1. Блок живлення вибираємо PS 307 5A, який має 3 виходи по 24 В постійного струму.

Короткі технічні характеристики центрального процесора CPU 314C-2DP наведені в табл. 2.1

Таблиця 2.1

### Технічні характеристики центрального процесора CPU 314C-2DP

Пам'ять програм		96 Кбайт	
Пам'ять даних		64 Кбайт до 8 Мбайт	
Кількість аналогових входів		16	
Кількість аналогових виходів		8	
Кількість дискретних входів		24	
Кількість дискретних виходів		16	
Кількість модулів розширення		до 12	
Кількість таймерів/лічильників/прапорців		256/256/2048	
Мови програмування		LAD,FBD,STL	
Час виконання логічної інструкції		0.1 мкс	
Область відображення	для дискретних каналів	введення	124-126
		виведення	124-125
введення-виведення	для аналогових каналів	введення	752-761
		виведення	752-755

### 2.3. Розробка блок-схеми системи автоматичного керування процесом фільтрування дріжджової суспензії

Блок-схема системи автоматичного керування процесом фільтрування дріжджової суспензії наведена на рис. 2.2.

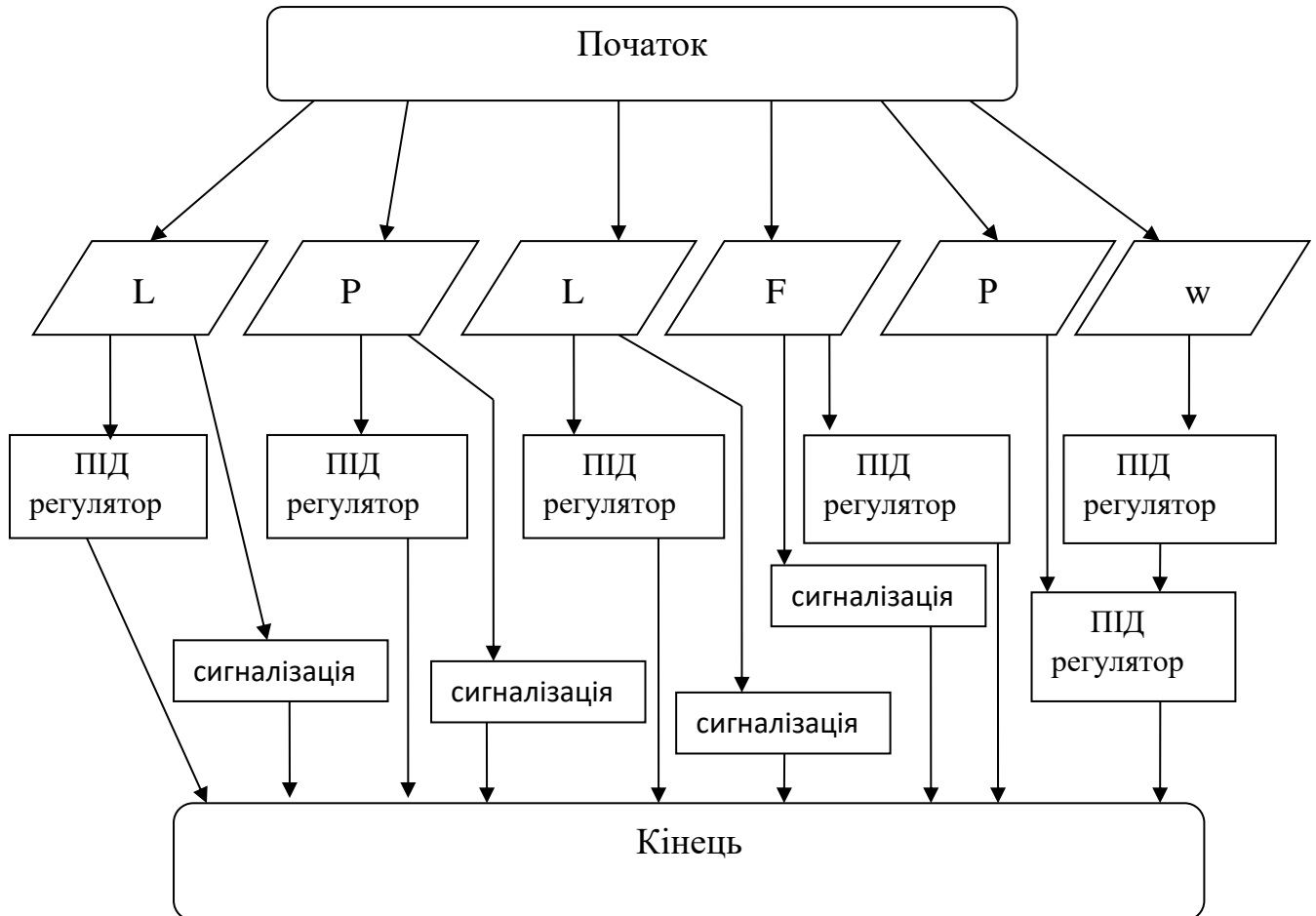


Рис. 2.2. Блок-схема системи автоматичного керування процесом фільтрування дріжджової суспензії

*L* - регулювання і сигналізація рівня дріжджової суспензії; *P* - регулювання і сигналізація тиску повітря; *L* - регулювання і сигналізація рівня промивної води; *F* - регулювання і сигналізація витрати промивної води; *P* - регулювання тиску у вакуумній лінії; *W* - регулювання вологості дріжджової суспензії.

### 2.4. Опис програми функціонування мікропроцесорного контролера Siemens Simatic S7-300

У даній кваліфікаційній роботі розглядаються такі контури:

- 1) рівень суспензії в резервуарі вакуум-фільтра;
- 2) тиск повітря, що надходить на продувку фільтрувальної тканини;
- 3) рівень промивної води в напірній ємності;

4) витрата промивної води;

5) каскадне регулювання розрідження (вакууму) з корекцією по вологості.

1. Вхідний сигнал із *давача рівня* подаємо на вхід PIW752, після чого, для зручності роботи з сигналом, необхідно провести його обробку.

Спочатку вхідний сигнал переведемо у формат подвійного слова, за допомогою блоку I\_DI і запишемо його в проміжному регістрі MD14. Після цього необхідно перевести сигнал у формат REAL. Для цього використаємо блок DI\_R. Перезапишемо вихідний сигнал із блоку DI\_R у регістр MD14. Для зручності роботи із вхідним сигналом його необхідно масштабувати. Для цього використаємо блок DIV\_R і перезапишемо вихідний сигнал із даного блоку у проміжний регістр MD18.

Після проведення таких процедур можна завести оброблений сигнал значення рівня із проміжного регістру MD18 на вхід алгоритму аналогового регулятора, як регульована величина.

Значення завдання для регулятора подаємо на вхід SP\_INT, тобто присвоїмо даному входу значення MD10.

Блок алгоритму аналогового регулятора буде реалізувати відповідний закон регулювання, який формується відповідно до параметрів його налаштування, які задає оператор.

Вихід аналогового регулятора запишемо в регістр аналогового виходу PQW752, який буде подаватись на виконавчий механізм.

Для безударного переходу з виходу LMN подається сигнал з проміжного регістру MD72 на вхід блоку MOVE який перетворює вихідний сигнал і записує його в проміжний регістр MD76 та подає його на вхід ручного керування MAN, тим самим забезпечуючи безударний перехід.

2. Вхідний сигнал із *давача тиску* подаємо на вхід PIW754, після чого, для зручності роботи з сигналом, необхідно провести його обробку.

Спочатку вхідний сигнал переведемо у формат подвійного слова за допомогою блоку I\_DI і запишемо його в проміжному регістрі MD24. Після цього необхідно перевести сигнал у формат REAL. Для цього використаємо блок

DI\_R. Перезапишемо вихідний сигнал із блоку DI\_R у регістр MD24. Для зручності роботи із вхідним сигналом його необхідно масштабувати. Для цього використаємо блок DIV\_R і перезапишемо вихідний сигнал із даного блоку у проміжний регістр MD28.

Після проведення таких процедур заводимо оброблений сигнал значення тиску із проміжного регістру MD28 на вхід алгоритму аналогового регулятора, як регульована величина.

Значення завдання для регулятора подаємо на вхід SP\_INT, тобто присвоїмо даному входу значення MD20.

Блок алгоритму аналогового регулятора буде реалізувати відповідний закон регулювання, який формується відповідно до параметрів його налаштування, які задає оператор.

Вихід аналогового регулятора запишемо в регістр аналогового виходу PQW754, який буде подаватись на виконавчий механізм.

Для безударного переходу з виходу LMN подається сигнал з проміжного регістру MD82 на вхід блоку MOVE який перетворює вихідний сигнал і записує його в проміжний регістр MD86 та подає його на вхід ручного керування MAN, тим самим забезпечуючи безударний перехід.

Сигналізація тиску реалізується наступним чином: на порівняння менше або рівне  $CMP \leq R$  подається сигнал з проміжного регістру MD28 на вхід, де порівнюється з заданим значенням, результат записуємо в регістр M6.0 та M6.2 на включення і виключення відповідно та з дискретного входу I124.3 для захисту від перегріву асинхронного двигуна і з дискретного виходу Q124.3 сигнал поступає на трифазний асинхронний двигун, який керує компресором.

3. Вхідний сигнал із *давача рівня* подаємо на вхід PIW756, після чого, для зручності роботи з сигналом, необхідно провести його обробку.

Спочатку вхідний сигнал переведемо у формат подвійного слова за допомогою блоку I\_DI і запишемо його в проміжному регістрі MD34. Після цього необхідно перевести сигнал у формат REAL. Для цього використаємо блок DI\_R. Перезапишемо вихідний сигнал із блоку DI\_R у регістр MD34. Для

зручності роботи із вхідним сигналом його необхідно масштабувати. Для цього використаємо блок DIV\_R і перезапишемо вихідний сигнал із даного блоку у проміжний регістр MD38.

Після проведення вище наведених процедур ми можемо завести оброблений сигнал значення рівня із проміжного регістру MD38 на вхід алгоритму аналогового регулятора, як регульована величина.

Значення завдання для регулятора подаємо на вхід SP\_INT, тобто присвоїмо даному входу значення MD30.

Блок алгоритму аналогового регулятора буде реалізувати відповідний закон регулювання, який формується відповідно до параметрів його настроювання, які задає оператор.

Вихід аналогового регулятора запишемо в регістр аналогового виходу PQW756, який буде подаватись на виконавчий механізм.

Для безударного переходу з виходу LMN подається сигнал з проміжного регістру MD92 на вхід блоку MOVE який перетворює вихідний сигнал і записує його в проміжний регістр MD96 та подає його на вхід ручного керування MAN, тим самим забезпечуючи безударний перехід.

Аналогічно до цього реалізовується регулювання рівня рідини в ємності відповідно до своїх проміжних регістрів.

4. Вхідний сигнал із *давача витрати* подаємо на вхід PIW760, після чого, для зручності роботи з сигналом, необхідно провести його обробку.

Спочатку вхідний сигнал переведемо у формат подвійне слово, за допомогою блоку I\_DI і запишемо його в проміжному регістрі MD54. Після цього необхідно перевести сигнал у формат REAL. Для цього використаємо блок DI\_R. Перезапишемо вихідний сигнал із блоку DI\_R у регістр MD54. Для зручності роботи із вхідним сигналом його необхідно масштабувати. Для цього використаємо блок DIV\_R і перезапишемо вихідний сигнал із даного блоку у проміжний регістр MD58.



Після виконання цих операцій заводимо оброблений сигнал значення витрати із проміжного регістру MD58 на вхід алгоритму аналогового регулятора, як регульована величина.

Значення завдання для регулятора подаємо на вхід SP\_INT, тобто присвоїмо даному входу значення MD50.

Блок алгоритму аналогового регулятора буде реалізувати відповідний закон регулювання, який формується відповідно до параметрів його налаштування, які задає оператор.

Вихід аналогового регулятора запишемо в регістр аналогового виходу PQW760, який буде подаватись на виконавчий механізм.

Для безударного переходу з виходу LMN подається сигнал з проміжного регістру MD102 на вхід блоку MOVE який перетворює вихідний сигнал і записує його в проміжний регістр MD106 та подає його на вхід ручного керування MAN, тим самим забезпечуючи безударний перехід.

5. Вхідний сигнал із *давача вологості* подаємо на вхід PIW758, після чого, для зручності роботи з сигналом, необхідно провести його обробку.

Спочатку вхідний сигнал переведемо у формат подвійне слово, за допомогою блоку I\_DI і запишемо його в проміжному регістрі MD44. Після цього необхідно перевести сигнал у формат REAL. Для цього використаємо блок DI\_R. Перезапишемо вихідний сигнал із блоку DI\_R у регістр MD44. Для зручності роботи із вхідним сигналом його необхідно масштабувати. Для цього використаємо блок DIV\_R і перезапишемо вихідний сигнал із даного блоку у проміжний регістр MD48.

Після проведення цих процедур ми можемо завести оброблений сигнал значення вологості із проміжного регістру MD48 на вхід алгоритму аналогового регулятора, як регульована величина.

Значення завдання для регулятора подаємо на вхід SP\_INT з допоміжного регістру витрати MD48.

Блок алгоритму аналогового регулятора буде реалізувати відповідний закон регулювання, який формується відповідно до параметрів його настроювання, які задає оператор.

Вихід аналогового регулятора запишемо в проміжний регістр MD42, який буде подаватись на вхід SP\_INT алгоритму аналогового регулятора, як значення завдання.

6. Відповідно обробляємо сигнал з *давача розрідження*. Вхідний сигнал із давача розрідження подаємо на вхід PIW762, після чого, для зручності роботи з сигналом, необхідно провести його обробку.

Спочатку вхідний сигнал переведемо у формат подвійне слово, за допомогою блоку I\_DI і запишемо його в проміжному регістрі MD64. Після цього необхідно перевести сигнал у формат REAL. Для цього використаємо блок DI\_R. Перезапишемо вихідний сигнал із блоку DI\_R у регістр MD64. Для зручності роботи із вхідним сигналом його необхідно масштабувати. Для цього використаємо блок DIV\_Ri перезапишемо вихідний сигнал із даного блоку у проміжний регістр MD68.

Після проведення вище наведених процедур ми можемо завести оброблений сигнал значення розрідження із проміжного регістру MD68 на вхід PV\_IN, тобто присвоїмо даному входу значення MD68. Блок алгоритму аналогового регулятора буде реалізувати відповідний закон регулювання, який формується відповідно до параметрів його настроювання, які задає оператор.

Вихід аналогового регулятора запишемо в регістр аналогового виходу PQW760, який буде подаватись на виконавчий механізм.

Для безударного переходу з виходу LMN подається сигнал з проміжного регістру MD112 на вхід блоку MOVE який перетворює вихідний сигнал і записує його в проміжний регістр MD116 та подає його на вхід ручного керування MAN, тим самим забезпечуючи безударний перехід.

Сигналізація реалізується наступним чином: на порівняння менше або рівне  $CMP \leq R$  подається сигнал з проміжного регістру MD68 на вхід, де порівнюється з заданим значенням, результат записуємо в регістр M7.0 та M7.2 на включення

і виключення відповідно та з дискретного входу I124.4 для захисту від перегріву асинхронного двигуна і з дискретного виходу Q124.4 сигнал поступає на трифазний асинхронний двигун, який керує компресором.

## 2.5. Опис принципової електричної схеми зовнішніх з'єднань контролера Siemens Simatic S7-300

В даній кваліфікаційній роботі розглядається принципова електрична схема зовнішніх з'єднань контролера Siemens S7-300.

До аналогових входів для сигналів по струму контролера S7-300 (розміщених на центральному процесорі CPU 314C-2DP) приєднуються всі давачі технологічного процесу.

До аналогових виходів для сигналів по струму контролера під'єднуються електро-пневматичні перетворювачі SAMSON які здійснюють керування клапанами.

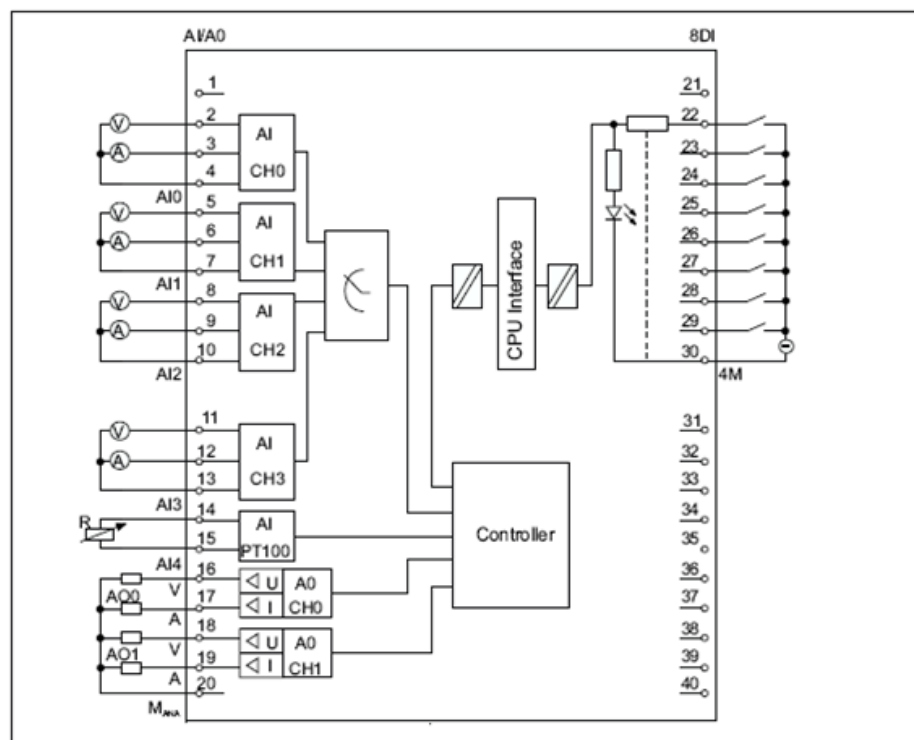
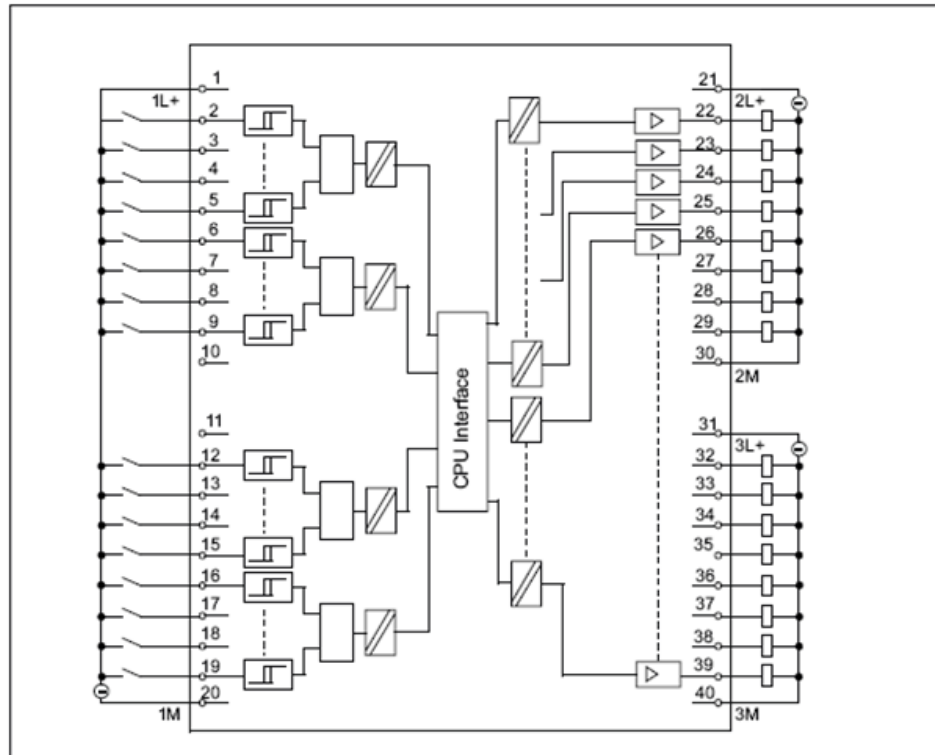


Рис.2.3. Схема під'єднання зовнішніх кіл центрального процесора CPU 314C-2DP DI8xDC24V AO2x12Bit



*Рис. 2.4. Схема під'єднання зовнішніх кіл центрального процесора CPU 314C-2DP DI16/DO16xDC24V*

Живлення контролера CPU 316C-2DP також здійснюється напругою 24 V DC. На рис. 2.3 наведена схема під'єднання зовнішніх кіл центрального процесора CPU 314C-2DP DI8xDC24V AO2x12Bit, а на рис. 2.4 - схема під'єднання зовнішніх кіл центрального процесора CPU 314C-2DP DI16/DO16xDC24V

Опис програми функціонування мікропроцесорного контролера Siemens Simatic S7-300 та опис принципової електричної схеми зовнішніх з'єднань детально наведено у додатках.

### 3. РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

#### 3.1. Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання

Для того щоб, розрахувати систему автоматичного регулювання, перш за все, потрібно математично описати об'єкт регулювання, тобто знайти рівняння, які дозволяють розраховувати зміни регульованої величини (вихідної величини об'єкта) в часі під дією різних вхідних величин об'єкта. Такі рівняння можуть бути у вигляді перехідних функцій, диференціальних рівнянь або передавальних функцій. Система таких рівнянь є математичною моделлю об'єкта регулювання. Зручність представлення математичної моделі у вигляді передавальних функцій полягає в тому, що дає можливість визначити структуру об'єкта регулювання і одночасно вказати, з яких ланок складається об'єкт регулювання і як вони між собою з'єднані.

Знаходження математичної моделі об'єкта можна здійснити аналітичним або експериментальним методами.

В аналітичних методах процеси, що відбуваються в об'єкті, аналізуються на основі законів збереження маси і енергії, а також з врахуванням конструктивних, режимних та інших особливостей об'єкта.

При експериментальних методах немає необхідності детально знати процеси, що відбуваються в середині об'єкта під дією збурень. Об'єкт регулювання при цьому розглядають як “чорну скриньку”, внутрішня будова та властивості якої по суті невідомі. Потрібну інформацію про властивості об'єкта одержують, спостерігаючи процес зміни його вихідної (регульованої) величини при відомих змінах кожної вхідної величини. При знаходженні передавальних функцій об'єкта експериментальним методом важливо чітко з'ясувати, що входить в поняття “об'єкт регулювання”, тобто які фізичні величини вимірювалися в експерименті, які є вхідні і вихідні величини об'єкта.

Найчастіше зміну вхідної величини задають у вигляді одноразової стрибкоподібної зміни, причому в момент збурення об'єкт повинен бути в стані рівноваги і при цьому всі інші його вхідні величини мають залишатися сталими

(метод кривої розгону). Інколи зміну вхідної величини здійснюють у вигляді короткочасного імпульсу (метод імпульсної перехідної характеристики) або ж у вигляді періодичних, по можливості синусоїдальних коливань (метод частотних характеристик). Можливе також застосування випадкових змін вхідної величини протягом деякого достатньо тривалого часу (статистичні методи).

Задача знаходження передавальних функцій об'єкта регулювання за експериментальними перехідними функціями на практиці вирішується неоднозначно. Це значить, що деякій експериментально одержаній перехідній функції об'єкта можна підпорядкувати декілька варіантів передавальних функцій з різними параметрами (отже, і декілька варіантів структури об'єкта), підібраних так, що перехідні функції для всіх варіантів приблизно збігаються з експериментальною. При апроксимації експериментально отриманих перехідних функцій рекомендується задавати як апроксимуючу залежність – перехідну функцію, що відповідає обраній функції передачі лінійного об'єкта. При цьому отримують лінеаризовану модель об'єкта регулювання для досліджуваного каналу. Найкращим вважається той варіант, в якому розходження між розрахованою і експериментальною перехідними функціями будуть мінімальними.

Задача знаходження математичної моделі об'єкта за його експериментальною (згладженою) перехідною функцією, як правило, розв'язують в три етапи:

1. Виходячи з характеру експериментальної кривої і приймаючи до уваги відомі взаємозалежності між передавальними і перехідними функціями вибирають передбачувану структуру моделі об'єкта і відповідну до неї передавальні функції в загальному вигляді.

2. Знаходять числові значення параметрів моделі об'єкта за обраною методикою і отримують конкретну передавальну функцію моделі.

3. Знаходять розрахункові значення перехідної функції обраної моделі і перевіряють точність апроксимації, порівнюючи теоретичну криву з експериментальною.

Для розрахунку і моделювання задаємося такими вхідними значеннями:

Крива розгону об'єкта регулювання (ОР), вихідною величиною якого є вологість дріжджової суспензії на виході барабанного вакуум фільтру.

Задане значення регульованої величини(вологості) – 40%

Регулююча дія в об'єкті здійснюється зміною положення регулюючого органу (РО), встановленого на вакуум-лінії.

Максимальна стрибкоподібна зміна регулюючої дії - 15% ходу РО.

Зміна завдання регулятора – 3%.

Допоміжна регульована величина – розрідження у вакуум-лінії. Функція передачі ОР каналом «переміщення РО - розрідження»

$$W(p) = \frac{1.4003}{(0.4902p + 1)^2}$$

Стрибкоподібне збурення в об'єкті – зміна витрати суспензії на 10 кг/с.

$$\text{Функція передачі каналом збурення } W(p) = \frac{0.5}{(1.17p + 1)^2}$$

Крива розгону отримана при стрибкоподібній зміні регулюючої дії у=15% ходу РО

Таблиця 3.1.

**Експериментальні дані кривої розгону об'єкта регулювання**

Час, с	Вологість суспензії на виході з барабанного вакуум- фільтру, %
0	40.0000
5	40.4417
10	40.9916
15	41.3355
20	41.5138
25	41.5983
30	41.6363
35	41.6529
40	41.6599
45	41.6628
50	41.6640
55	41.6645
60	41.6647
65	41.6648
70	41.6648
75	41.6648

80	41.6648
85	41.6648
90	41.6648
95	41.6648
100	41.6648
105	41.6648
110	41.6648
115	41.6648
120	41.6648

*Вимоги до якості процесу регулювання.*

1. Допустиме максимальне динамічне відхилення  $A1 = 3\%$ .
2. Допустима точність регулювання  $\Delta = 0,2\%$ .
3. Допустимий час регулювання  $t_p = 20$  с.
4. Ступінь коливальності  $m = 0.3$ .

*Вибір структури моделі та розрахунок її параметрів*

Регулююча дія в об'єкті регулювання здійснюється зміною положення регулюючого органу на вакуумній лінії, а вихідною величиною є значення вологості дріжджової суспензії.

Для знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання було застосовано експериментальну криву розгону, зміну вологості в часі, що була одержана внаслідок стрибкоподібної зміни регулюючої дії – зміни положення РО на 15%.

*Програма для побудови експериментальної кривої розгону в середовищі Matlab*

```
te=[0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120];
```

```
ve=[40.0000 40.4417 40.9916 41.3355 41.5138 41.5983 41.6363 41.6529...
    41.6599 41.6628 41.6640 41.6645 41.6647 41.6647 41.6648 41.6648...
    41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648...
    41.6648];
```

```
plot(te,ve);grid;
```

```
title('Kruva rozhony');
```

```
xlabel('t,c');
```

```
ylabel('vologist, %');
```

Вигляд експериментальної кривої розгону показаний на рисунку 3.1



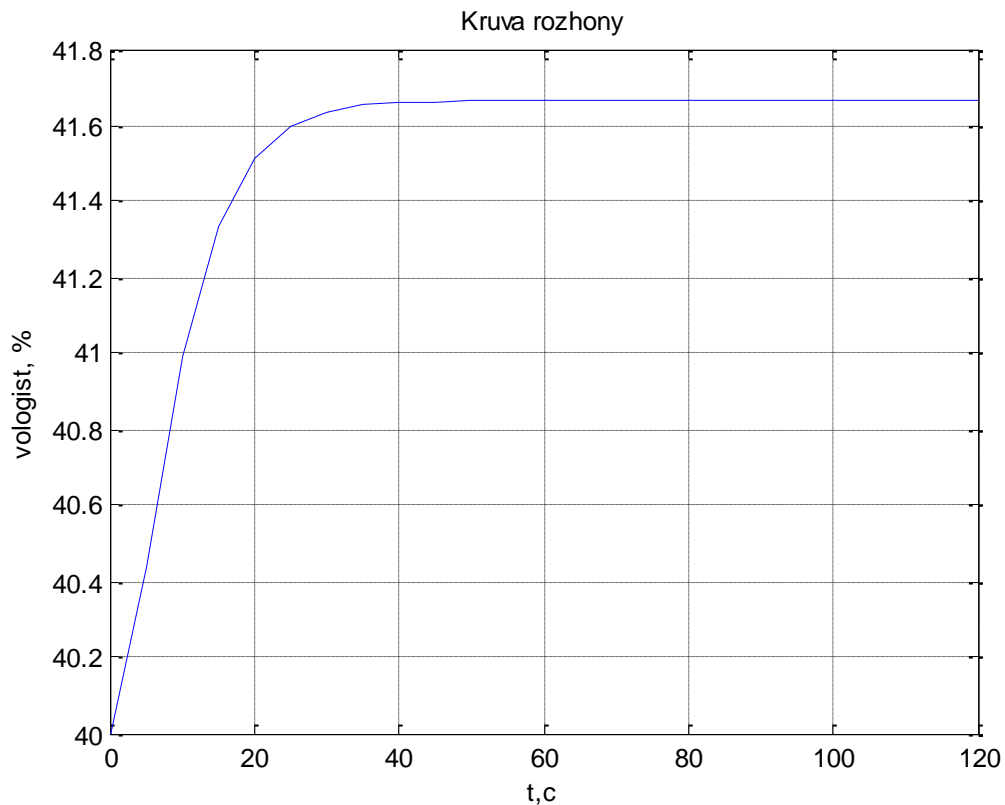


Рис. 3. 1. Експериментальна крива розгону об'єкту регулювання

За виглядом кривої розгону, визначено, що по заданій кривій розгону може бути модель у вигляді послідовного з'єднання декількох аперіодичних ланок. Виберемо функцію передачі у вигляді:

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)^3},$$

де  $T$  – стала часу аперіодичних ланок,  $k$  – коефіцієнт передачі.

Знайдемо параметри моделі ОР та перевіримо її на адекватність, за допомогою оптимізаційного методу згідно з яким для вибраної функції передачі, параметри моделі змінювалися б таким чином, щоб забезпечити мінімум критерію оптимальності. Критерієм оптимальності вибрана зведена похибка. Для вирішення цієї оптимізаційної задачі, складена програма, в якій використовується функція пошуку екстремумів – `fminsearch` і використаний метод оптимізації Нелдера-Міда.

*Функція для знаходження оптимальних параметрів моделі в середовищі  
Matlab*

```
function s=summ_osnov(x);
dx=15;
te=[0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115
120];
ve=[40.0000 40.4417 40.9916 41.3355 41.5138 41.5983 41.6363 41.6529...
    41.6599 41.6628 41.6640 41.6645 41.6647 41.6647 41.6648 41.6648...
    41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648...
    41.6648];
t=[0:120];

vek=interp1(te,ve,t);
T=x(1); k=x(2);
W1=tf([1], [T 1]);
W2=tf(k, [T 1]);
W3=tf(k, [T 1]);
W=W1*W2*W3;
vroz=step(W,t)*dx+40;
s=sum((vroz'-vek).^2);
```

*Програма для знаходження оптимальних параметрів моделі в середовищі  
Matlab*

```
clear; clc;
dx=15;
te=[0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115
120];
ve=[40.0000 40.4417 40.9916 41.3355 41.5138 41.5983 41.6363 41.6529...
    41.6599 41.6628 41.6640 41.6645 41.6647 41.6647 41.6648 41.6648...
    41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648 41.6648...
    41.6648];
t=[0:2:120];
vek=interp1(te,ve,t);
x0=[1 1];
x=fminsearch('summ_osnov',x0)
    T=x(1); k=x(2);
W1=tf(1, [T 1]);
W2=tf(k, [T 1]);
W3=tf(k, [T 1]);
W=W1*W2*W3;
vroz=step(W,t)*dx+40;
plot(t,vroz',t,vek,'o');grid;
title('Porivnannja krivux rozhony');
```

```

xlabel('t,c');
ylabel('vologost, %');
s=sum((vroz'-vek).^2),
del=max(abs(vroz'-vek)/24*100),

```

В результаті виконання програми розраховуються значення параметрів моделі  $k$  і  $T$ , які забезпечують мінімум обраного критерію. Дана програма шляхом оптимізації підбирає такі значення параметрів моделі  $k$  і  $T$ , які забезпечують найменшу суму квадратів відхилень значень теоретичної кривої розгону від експериментальної.

Результати виконання програми:

$del = 0.6164\%$  – максимальна зведена похибка;

$T = 3.2899$  хв – стала часу об'єкту регулювання;

$k = 0.3324 \frac{\text{кПа}}{\% \text{ ходу } PO}$  - коефіцієнт передачі.

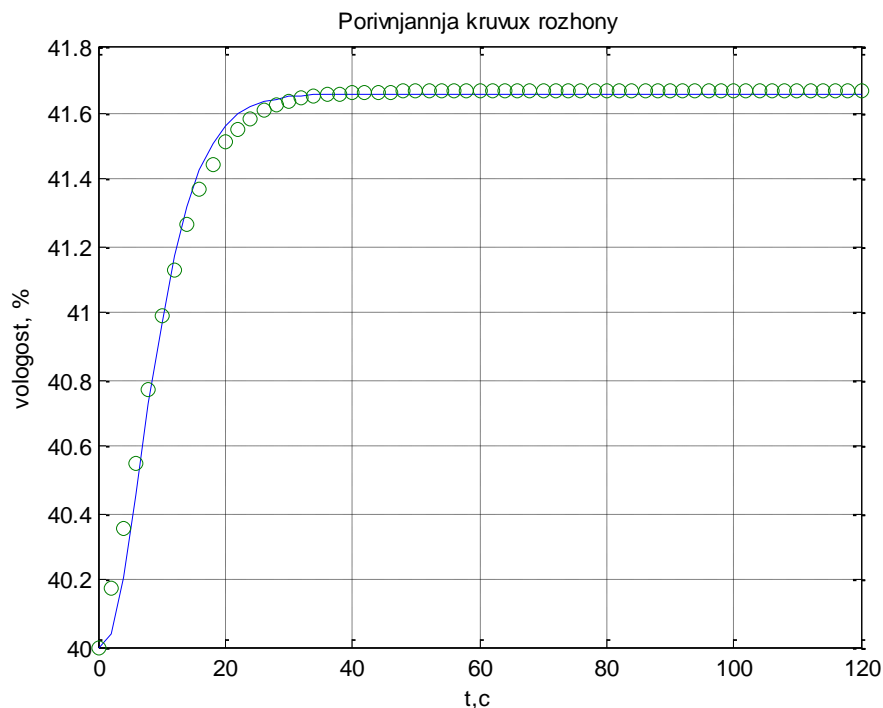


Рис. 3.2. Апроксимація кривої розгону для ОР («о» - отримана експериментальна крива розгону, «-» - розрахована крива розгону)

Отже функція передачі ОР буде наступною:

$$W_{op}(p) = \frac{0.3324}{(3.2899p + 1)^3}$$

*Перевірка адекватності динамічної моделі каналу регулюючої дії та динамічної моделі каналу збурення.*

Зведену похибку визначаємо порівнюючи безпосередньо значення експериментальної кривої розгону  $y^e(t_j)$  з розрахунковими у задані моменти часу  $t_j$ :

$$\delta = \frac{y(t_j) - y^e(t_j)}{\Delta y^e} \times 100,$$

де розрахункові значення кривої розгону визначаються з виразу  $y(t_j) = h(t_j)k\Delta x + y_H$ .

Як видно з рис.3.2, розрахована модель досить добре апроксимує експериментальну криву, максимальна зведена похибка становить 0.6164% і може використовуватись у наступних розрахунках.

### **3.2. Розрахунок параметрів налаштування автоматичного регулятора**

*Вибір схеми регулювання, вибір регулятора за законом регулювання*

Схема автоматичного регулювання показує, як пов'язані між собою об'єкт регулювання і автоматичний регулятор.

Вимоги щодо якості процесу регулювання визначаються умовами ведення технологічного процесу, деякі з показників якості регламентуються експлуатаційними інструкціями (наприклад, допустимі відхилення регульованої величини). Найчастіше застосовується такі показники якості:

- I) максимальне динамічне відхилення регульованої величини;
- II) допустиме довготривале відхилення регульованої величини (статична, динамічна похибка);
- III) тривалість процесу регулювання (час регулювання);
- IV) ступінь коливальності  $m$  (коефіцієнт зникання  $\psi$  або показник коливальності процесу  $M$ ), між існує взаємозв'язок

$$\psi = 1 - e^{-2\pi m}, \quad M = \frac{m^2 + 1}{2m}.$$

Значення тих чи інших показників задаються або ж їх треба приймати на основі досвіду експлуатації аналогічних процесів. Відповідно до заданих вимог приймають вигляд перехідного процесу, який повинен забезпечувати проєктований регулятор. Це може бути:

а) гранично-аперіодичний процес, тобто процес з коефіцієнтом зникання  $\psi=1$

б) процес з 20% -ним перерегулюванням;

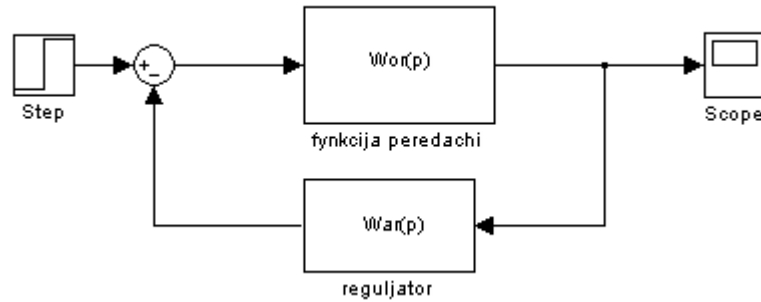
в) процес, при якому квадратична інтегральна оцінка якості є мінімальною.

Варіант а) приймають, коли коливання в процесі регулювання недопустимі, а також тоді, коли властивості об'єкта регулювання недостатньо достовірні. Варіант б) дає зменшення максимального відхилення при деякому перерегулюванні. Варіант в) застосовують при необхідності обмеження значних відхилень регульованої величини, якщо коливання її допустимі.

Можна приймати і іншу форму процесу регулювання, наприклад, з  $\psi=0.75$ . У практиці експлуатації САР ступінь коливальності  $\psi=0.75$  ( $m=0.221$ ) вважається гранично мінімальною.

Проаналізувавши всі особливості регульованого технологічного процесу, властивості об'єкта регулювання та вимоги щодо якості процесу регулювання, можна сказати, що для забезпечення потрібної якості процесу регулювання в САР вологості, потрібно застосовувати каскадні системи і вводити в схему допоміжний регулятор.

Спочатку розглядаю одноконтурну САР вологості з функцією передачі об'єкта регулювання  $W(p) = \frac{0.3324}{(3.2899p + 1)^3}$  у прямому зв'язку, і з автоматичним ПІ- регулятором у зворотному зв'язку. Для знайденої функції передачі об'єкта регулювання і заданих вимог до якості процесу регулювання розраховую параметри налаштування автоматичного регулятора. Структурна схема одноконтурної САР вологості дріжджової суспензії на виході з барабанного вакуум фільтру з ПІ-регулятором зображена на рис. 3.3.



*Рис. 3.3. Структурна схема одноконтурної САР вологості осаду на виході з барабанного вакуум фільтру з ПІ-регулятором*

#### *Теоретичні основи методу розрахунку параметрів налаштування регулятора*

Значення параметрів налаштування регулятора наближено можуть бути знайдені за спрощеною методикою, яка ґрунтується на припущенні про можливість описання об'єктів регулювання через функції передачі типу: аперіодична ланка першого порядку, інтегруюча ланка, диференційна ланка, ланка запізнення та інші. Але така методика не може бути застосована для об'єктів, які не описуються функціями передачі цих ланок. Тому для знаходження оптимальних значень параметрів налаштування регулятора необхідно застосувати спеціально розроблені теоретично обґрунтовані методи: метод розширених частотних характеристик, метод розрахунку параметрів за показником коливальності  $M$ . Для розрахунку САР, яка знаходиться під дією випадкових процесів, застосовують дисперсійний метод.

Розрахунок оптимальних параметрів налаштування за методом розширених частотних характеристик базується на амплітудо-фазовому критерії стійкості, який можна інтерпретувати як критерій запасу стійкості, якщо замість звичайних частотних характеристик застосувати розширені частотні характеристики.

Розширена частотна характеристика елемента з відомою функцією передачі визначаються заміною в ній оператора Лапласа

$$p = -m\omega \pm i\omega,$$

де  $\omega$  – кругова частота;  $m = \alpha / \omega$  - ступінь коливальності, який характеризує запас стійкості;  $\alpha$  – абсолютне значення дійсної 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

$$W_{pc}(m, i\omega) = W_{op}(m, i\omega)W_p(m, i\omega) = -1 \quad (3.1)$$

де  $W_{op}(m, i\omega)$  - розширена амплітудно-фазова характеристика (АФХ) об'єкта регулювання,  $W_p(m, i\omega)$  - розширена АФХ регулятора. Для спрощення запису позначимо  $U(m, \omega) = U$ ,  $V(m, \omega) = V$ .

В якості регулятора вибираю ІІІ-регулятор. Розширена АФХ ІІІ-регулятора записується у вигляді

$$W_p(m, i\omega) = \kappa_p + \frac{\kappa_p}{T_{i3}} \frac{1}{(-m\omega \pm i\omega)}. \quad (3.2)$$

Підставляючи (3.2) в (3.1) одержимо

$$(U + iV) \left[ \kappa_p + \frac{\kappa_p}{T_{i3}} \frac{1}{(-m\omega + i\omega)} \right] = -1,$$

або

$$-m\omega U \kappa_p + i\omega \kappa_p U - im\omega V \kappa_p - \omega \kappa_p V + U \frac{\kappa_p}{T_{i3}} + iV \frac{\kappa_p}{T_{i3}} - m\omega + i\omega = 0,$$

звідки отримуємо систему двох рівнянь з двома невідомими  $\kappa_p$  і  $\frac{\kappa_p}{T_{i3}}$

$$\begin{cases} U \frac{\kappa_p}{T_{i3}} - \omega(mU + V)\kappa_p - m\omega = 0 \\ V \frac{\kappa_p}{T_{i3}} - \omega(U - mV)\kappa_p - \omega = 0 \end{cases}.$$

Розв'яжемо отриману систему рівнянь відносно  $\kappa_p$  і  $\frac{\kappa_p}{T_{i3}}$

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_{i3}} = -\omega(m^2 + 1) \frac{V}{U^2 + V^2} \\ k_p = -\frac{U + mV}{U^2 + V^2} \end{cases} \quad (3.3)$$

Розширена АФХ об'єкта регулювання в показниковій формі має вигляд  $W_{op}(m, i\omega) = A_{op}(m, \omega)e^{i\varphi_{op}(m, \omega)} = A_{op}(m, \omega)\cos\varphi_{op}(m, \omega) + iA_{op}(m, \omega)\sin\varphi_{op}(m, \omega)$ , де  $A_{op}(m, \omega)$ ,  $\varphi_{op}(m, \omega)$  – розширені амплітудно- і фазочастотні характеристики об'єкта регулювання. Враховуючи, що дійсна  $U$  і уявна  $V$  розширені частотні характеристики визначаються як

$U = A_{op}(m, \omega)\cos\varphi_{op}(m, \omega)$ ,  $V = A_{op}(m, \omega)\sin\varphi_{op}(m, \omega)$  система (3) набуде вигляду

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_{i3}} = -\frac{\omega(m^2 + 1)\sin\varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)} \\ k_p = \frac{-\cos\varphi_{op}(m, \omega) - m\sin\varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)} \end{cases} \quad (3.4)$$

Змінюючи частоту в діапазоні  $\omega^* \leq \omega \leq \omega^{**}$  ( $\omega^*$  - частота, що відповідає параметру настроювання І-регулятора;  $\omega^{**}$  - частота, що відповідає параметру налаштування П-регулятора) розраховують область параметрів налаштування ПІ-регулятора на задану ступінь коливальності  $m_{зад}$ . Аналітично частоти  $\omega^*$  і  $\omega^{**}$  можна визначити з рівнянь

$$\varphi_{op}(m, \omega^*) = -\frac{\pi}{2} + \arctg m; \varphi_{op}(m, \omega^{**}) = -\pi.$$

Графічно границя області заданого запасу стійкості представлена на рис.3.4.

На цьому ж графіку показана область параметрів налаштування регулятора, що виводять САР на границю стійкості ( $m=0$ ). Якщо вважати, що діючі в САР збурення є низькочастотними (зокрема детерміноване збурення у вигляді стрибка є низькочастотним), то оптимальні параметри налаштування

розраховують при частоті  $\omega_0$ , при якій  $\frac{k_p}{T_{i3}} = \left(\frac{k_p}{T_{i3}}\right)_{max}$ .



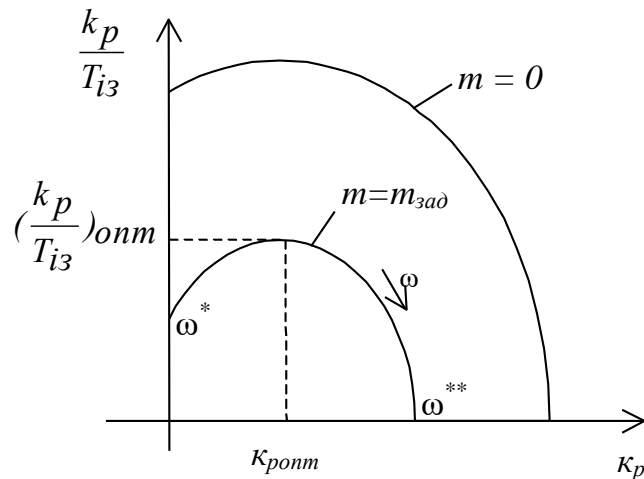


Рис. 3.4. Границя області заданого запасу стійкості.

Для випадкових збурень вибирають параметри налаштування з границі області запасу стійкості на робочій частоті  $\omega_p = 1.2\omega_0$ . Вважається, що таким чином визначені параметри, наближено забезпечують мінімальне значення інтегральної квадратичної оцінки якості  $J_2$

$$J_2 = \int_0^t [y(t) - y_{зад}(t)]^2 dt \quad (3.5)$$

де  $y(t)$  - крива розгону замкнутої САР;  $y_{зад}$  - задане значення регульованої величини.

Для точного визначення оптимальних параметрів налаштування регулятора необхідно розрахувати значення  $J_2$  за рівнянням (3.5) при різних значеннях параметрів налаштування регулятора зі знайденої області заданого запасу стійкості, і знайти таку пару значень  $k_{ропт}$ ,  $(\frac{k_p}{T_{із}})_{опт}$ , при якій  $J_2$  набуде найменшого значення. Таким чином, оптимальними параметрами налаштування регулятора є такі, що при заданому запасі стійкості САР забезпечують мінімальне значення інтегральної оцінки якості.

*Знаходження оптимальних параметрів налаштування ПІ-регулятора*

*Програма для знаходження значень розширених частотних характеристик*

$T=3.2899$ ;  $k=0.3324$ ;  $m=0.3$ ;

$w=[0.0001:0.0001:0.3465]$ ;

$p=-m*w+i*w$ ;

```

Wor=k./(T.*p+1).^3;
Aor=abs(Wor);
fior=phase(Wor);
kpTi=-w*(m^2+1).*sin(fior)./Aor;
kp=(-cos(fior)-m.*sin(fior))./Aor;
plot(kp,kpTi,'k');grid;
xlabel('kp');
ylabel('kp/Ti');
[parPI,j]=max(kpTi);
parP=kp(j);
Kp=parP,
Tiz=parP/parPI,
Ti=parPI,

```

Результатом виконання програми є графік розширеної фазочастотної характеристики (рис. 3.5):

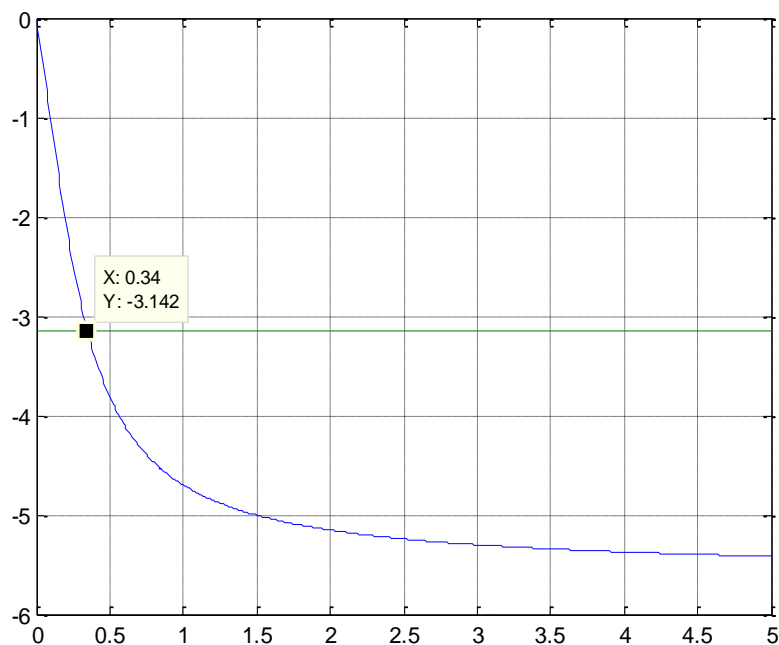


Рис. 3.5. Розширена фазочастотна характеристика

Для побудови границі області заданого запасу стійкості була написана програма:

```

T=3.2899; k=0.3324; m=0.3;
w=[0.0001:0.0001:0.3465];
p=-m*w+i*w;
Wor=k./(T.*p+1).^3;
Aor=abs(Wor);
fior=phase(Wor);
kpTi=-w*(m^2+1).*sin(fior)./Aor;

```

```

kp=(-cos(fior)-m.*sin(fior))./Aor;
plot(kp,kpTi,'k');grid;
xlabel('kp');
ylabel('kp/Ti');
[parPI,j]=max(kpTi);
parP=kp(j);
Kp=parP,
Tiz=parP/parPI,
Ti=parPI,

```

Результатом виконання даної програми є границя області заданого запасу стійкості  $m=0.3$  одноконтурної САР вологості з ПІ-регулятором (рис. 3.6):

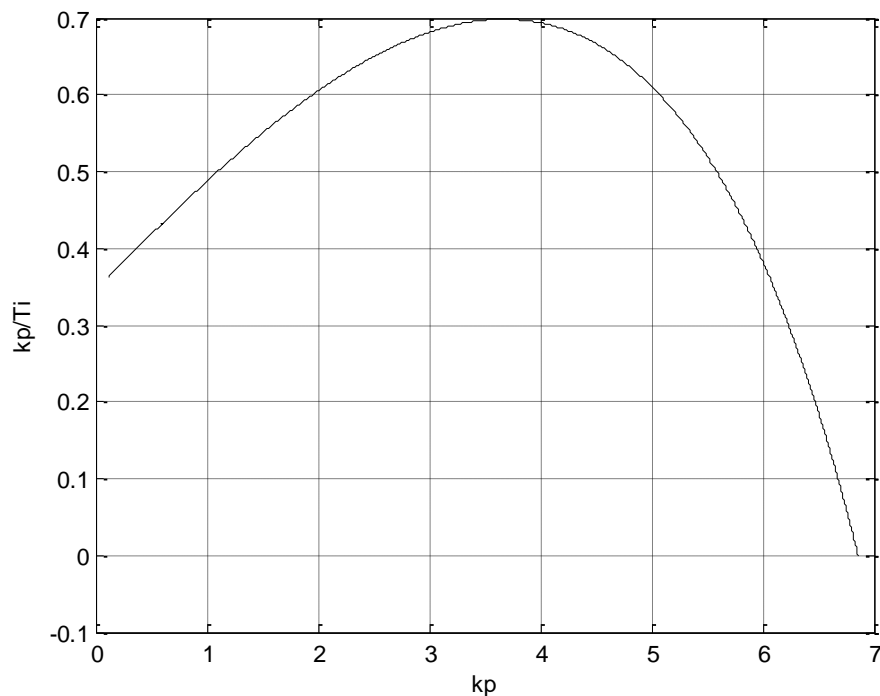


Рис. 3.6. Границя області заданого запасу стійкості  $m=0.3$  одноконтурної САР вологості з ПІ-регулятором

Оптимальні параметри налаштування вибираємо в точці де  $K_p/T_{iz}$  є максимальним. Отже параметри налаштування ПІ-регулятора наступні:

$$k_{rozr} = 3.6747 \frac{\%}{\%}; \quad K_p/T_{iz} = 0.6985 \frac{\%}{\% \cdot x\%}$$

Отже, передавальна функція ПІ-регулятора:

$$W_p(p) = 3.6747 + \frac{0.6985}{p}$$

*Розрахунок САР вологості дріжджової суспензії на виході із барабанного вакуум фільтра з допоміжною регульованою величиною*

Допоміжною регульованою величиною є розрідження у вакуум-лінії.

Функція передачі ОР каналом «переміщення РО у вакуум-лінії»:

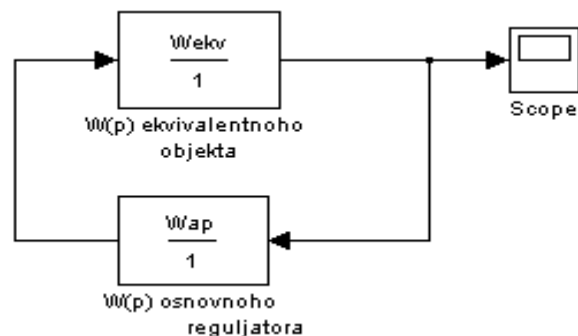
$$W(p) = \frac{1.4003}{(0.4902p + 1)^2}$$

Розрахунок каскадної САР розпочинаю з основного регулятора. В якості основного регулятора вибираю ПІ-регулятор і допоміжного – ПІ-регулятор.

На першому кроці розрахунку припускаю, що робоча частота основного контуру набагато менша від частоти допоміжного контуру, тому в першому наближенні можна прийняти функцію передачі еквівалентного об'єкта (рис. 3.7) у вигляді:

$$W_{ekv}(p) = \frac{W_{op}(p)}{W_{op1}(p)}$$

Отже, на першому кроці параметри налаштування основного регулятора залежать від функції передачі об'єкта регулювання і не залежать від параметрів допоміжного регулятора. Розрахунок параметрів налаштування регулятора здійснюю методом розширених частотних характеристик.



*Рис. 3.7. Спрощена структурна схема зведеної одноконтурної САР вологості з основним регулятором*

Розрахунок здійснюю, використовуючи програмне середовище Matlab.

*Програма для знаходження частоти:*

```
clear;clc;
```

```
w=[0:0.01:0.5];
```

```
T1=3.2899; k1=0.3324; m=0.3;
```

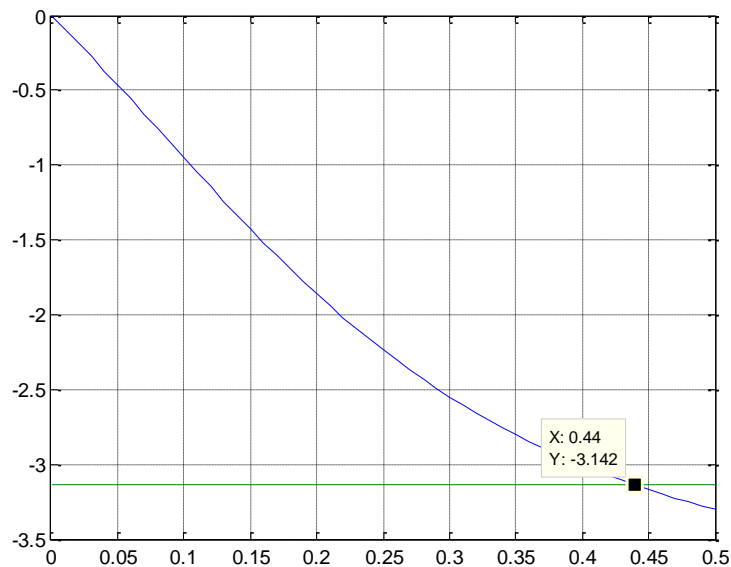
```
T2=0.4902; k2=1.4003;
```

```

p=-m*w+i*w;
W1=k1./(T1.*p+1).^3;
W2=k2./(T2.*p+1).^2;
Wop=W1./W2;
fi=phase(Wop);
j=1:length(w);
a(j)=-pi;
plot(w,fi,w,a);
grid;

```

В результаті отримую графік розширеної фазочастотної характеристики (рис. 3.8):



*Рис. 3.8. Розширена фазочастотна характеристика еквівалентного об'єкта регулювання, отримана на першому кроці першої ітерації*

З графіка визначаємо значення частоти регулятора:  $0,44 \left( \frac{\text{рад}}{\text{с}} \right)$ .

В діапазоні цих частот будуюмо границю області запасу стійкості  $m=0.3$ .

*Програма для побудови границі області запасу стійкості*

```

T1=3.2899; k1=0.3324; m=0.3;
T2=0.4902; k2=1.4003;
w=[0.01:0.0001:0.4];
p=-m*w+i*w;
W1=k1./(T1.*p+1).^3;
W2=k2./(T2.*p+1).^2;
Wor=W1./W2;
Aor=abs(Wor);
fior=phase(Wor);
kpTi=-w*(m^2+1).*sin(fior)./Aor;
kp=(-cos(fior)-m.*sin(fior))./Aor;

```

```

plot(kp,kpTi,'k');grid;
xlabel('kp');
ylabel('kp/Ti');
[parPI,j]=max(kpTi);
parP=kp(j);
Kp=parP,
kpTim=parPI,

```

Результат виконання програми (рис. 3.9):

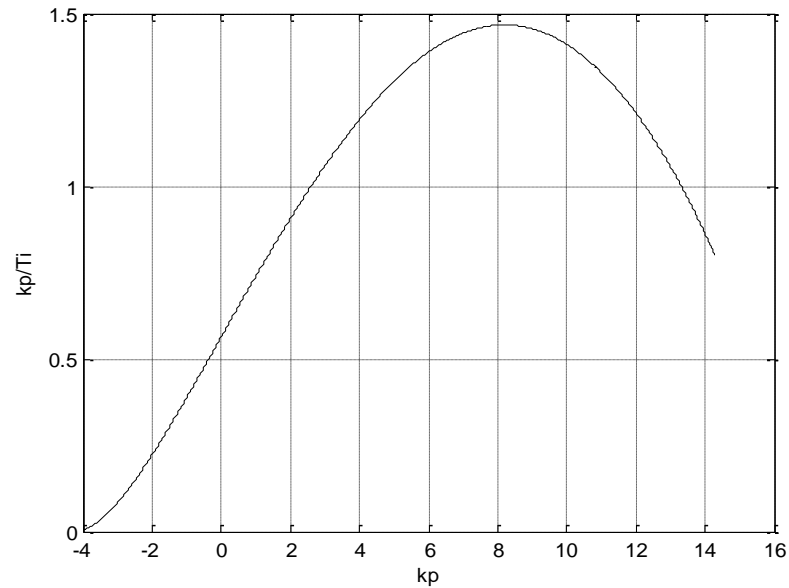


Рис. 3.9. Границя області запасу стійкості  $m=0.3$  САР з основним ПІ-регулятором, отримана на першому кроці першої ітерації

$$\left(\frac{k_p}{T_i}\right)_{\text{опт}} = 1.4673 \frac{\%}{\% \cdot \text{хв}} \quad (k_p)_{\text{опт}} = 8.2163 \frac{\%}{\%}$$

Значення параметрів  $k_p$ , і  $k_p/T_i$  використаємо для подальшого розрахунку каскадної САР.

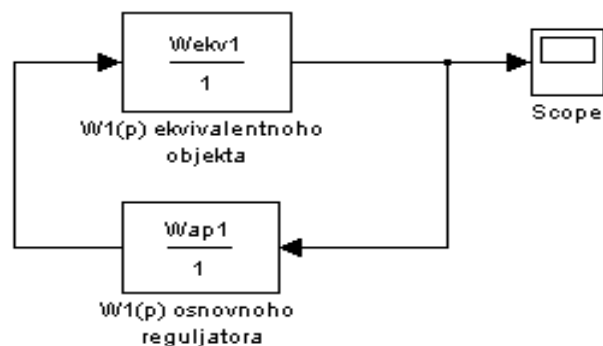


Рис. 3.10. Спрощена структурна схема зведеної одноконтурної САР вологості з допоміжним ПІ-регулятором

На другому кроці першої ітерації розраховуємо параметри налаштування допоміжного ПІ-регулятора AP1 для еквівалентного об'єкта (рис. 3.10) із функцією передачі  $W^e(p)$ .

$$W_1^e(p) = W_1(p) - W(p)W_{AP}(p)$$

*Програма для знаходження частоти:*

```
w=[0:0.01:10];
T1=3.2899; k1=0.3324; m=0.3;
T2=0.4902; k2=1.4003;
p=-m*w+i*w;
W=k1./(T1*p+1).^3;
W1=k2./(T2*p+1).^2;
War=Kp+kpTim./p;
Wop=W1-W.*War;
fi=phase(Wop);
j=1:length(w);
a(j)=-pi;
plot(w,fi,w,a);
grid;
```

В результаті виконання програми отримую розширену фазочастотну характеристику (рис. 3.11):

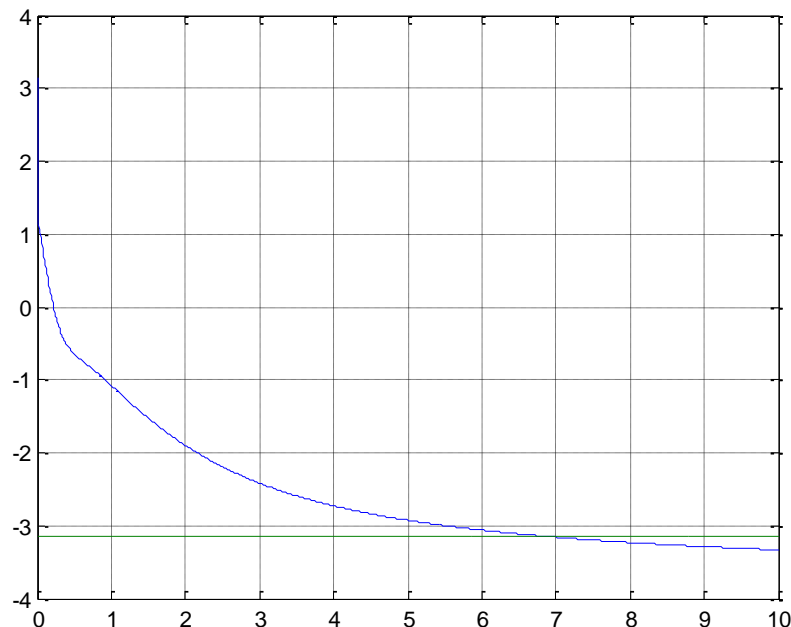


Рис. 3.11. Розширена фазочастотна характеристика еквівалентного об'єкта регулювання ( $W^e_1$ ), отримана на другому кроці першої ітерації.  $7\left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right)$

*Програма для побудови границі області запасу стійкості*

```
w=[0:0.01:10];
T1=3.2899; k1=0.3324; m=0.3;
T2=0.4902; k2=1.4003;
p=-m*w+i*w;
W=k1./(T1*p+1).^3;
W1=k2./(T2*p+1).^2;
War=Kp+kpTim./p;
Wop=W1-W.*War;
fi=phase(Wop);
j=1:length(w);
a(j)=-pi;
plot(w,fi,w,a); grid;
Aor=abs(Wop);
fior=phase(Wop);
kpTi=-w*(m^2+1).*sin(fior)./Aor;
kp=(-cos(fior)-m.*sin(fior))./Aor;
plot(kp,kpTi,'k');grid;
xlabel('kp');
ylabel('kp/Ti');
[parPI,j]=max(kpTi);
parP=kp(j);
Kp1=parP,
kpTi1=parPI,
```

Знаходимо значення параметрів  $k_p$  і  $k_p/T_i$  допоміжного ПІ-регулятора:

$$k_p = 3.7819 \frac{\%}{\%}, \quad k_p/T_i = 5.2399 \frac{\%}{\% \cdot \text{хв}}.$$

На цьому ітерація закінчується.

### 3.3. Дослідження перехідних процесів в САР

- У середовищі SIMULINK складемо САР з ПІ-регулятором (рис. 3.12):



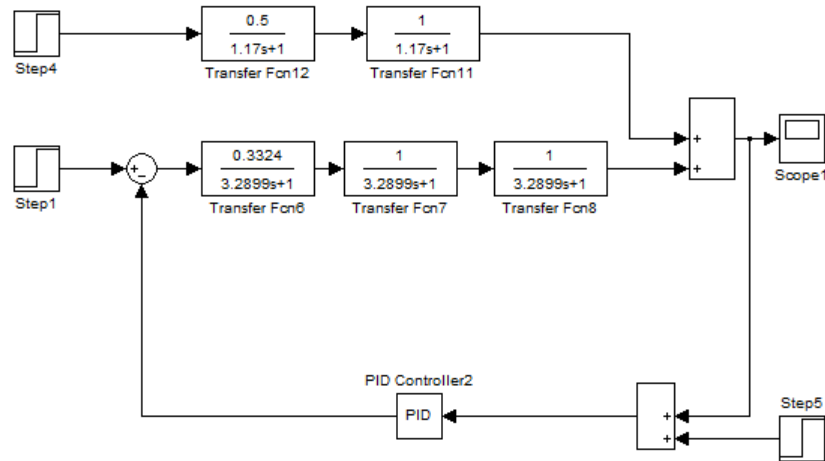


Рис. 3.12. Схема САР з ПІ-регулятором складена у середовищі SIMULINK

Змодельємо перехідний процес у САР при стрибкоподібній зміні регулюючої дії  $y_{MAX} = 15\%$  ходу РО (рис. 3.13):

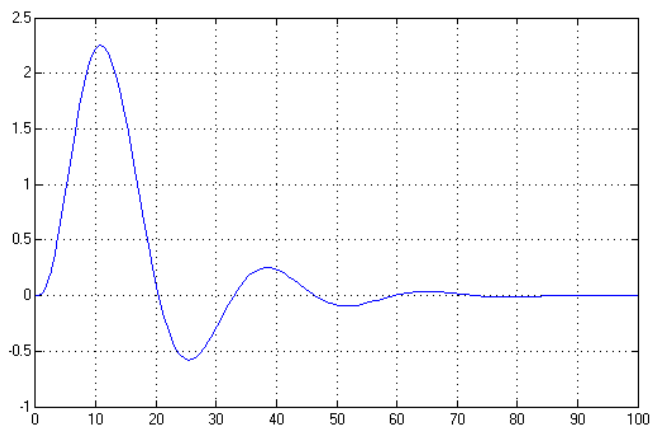


Рис. 3.13. Перехідний процес в одноконтурній САР при стрибкоподібній зміні регулюючої дії  $y_{MAX} = 15\%$  ходу РО

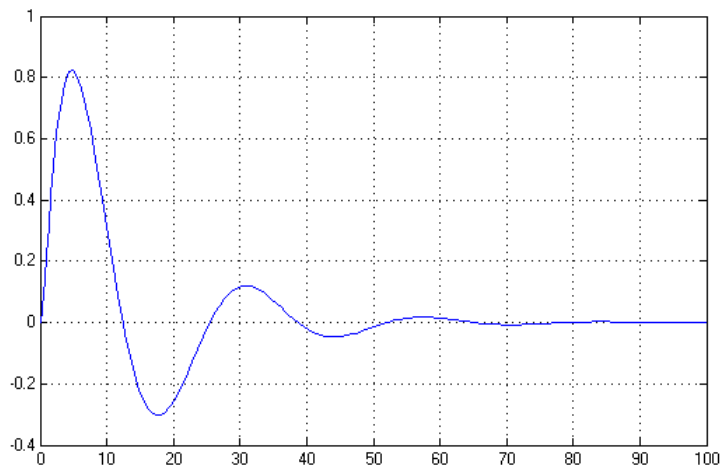
З отриманого перехідного процесу визначаю, чи в даній САР забезпечуються вимоги до якості процесу регулювання при зміні регулюючої дії і порівнюю їх із заданими значеннями:

- максимальне динамічне відхилення:  $A_1 = 2.2539\%$  ;
- час регулювання становить:  $t_p = 32$  с .

З отриманого перехідного процесу можна зробити висновки, що при застосуванні ПІ-регулятора для даної САР не будуть виконуватися вимоги по

якості перехідного процесу. А саме час регулювання, який становить 32 с, перевищує необхідне для отримання якісного перехідного процесу 20с.

Отже, даний регулятор не забезпечує вимоги до процесу регулювання. Змодельюємо перехідний процес у САР при стрибкоподібній зміні витрати осаду на 2кг/с (рис. 3.14):



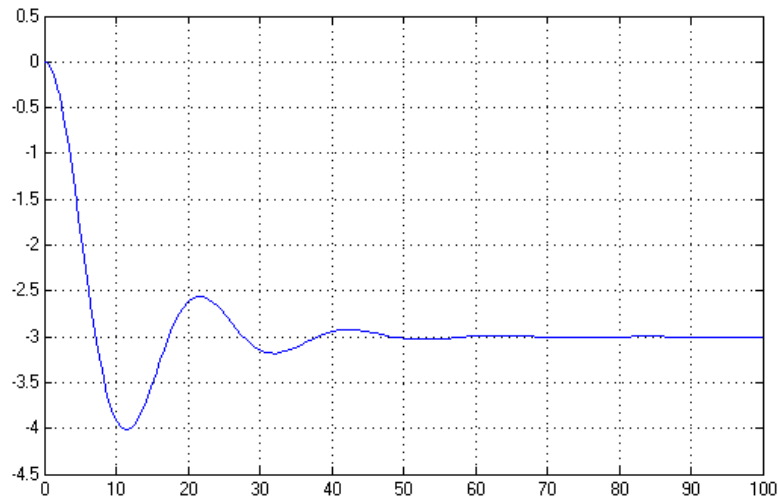
*Рис. 3.14. Перехідний процес в одноконтурній САР з ПІ-регулятором при стрибкоподібній зміні витрати на 2кг/с*

З отриманого перехідного процесу визначаю чи в даній САР забезпечуються вимоги до якості процесу регулювання при поданні збурення і порівнюю їх з заданими значеннями:

- максимальне динамічне відхилення:  $A_1 = 0.82 \%$  ;
- час регулювання становить:  $t_p = 21 \text{ с}$  .

З отриманого перехідного процесу можна зробити висновки, що при застосуванні ПІ-регулятора для даної САР не будуть виконуватися вимоги по якості перехідного процесу. А саме - час регулювання перевищує задане значення.

- Змодельюємо перехідний процес у САР при зміні завдання регулятора на 3% (рис. 3.15):



*Рис.3.15. Перехідний процес в одноконтурній САР з ПІ-регулятором при зміні завдання регулятора*

З отриманого перехідного процесу визначаю, чи в даній САР забезпечуються вимоги до якості процесу регулювання при поданні збурення і порівнюю їх з заданими значеннями:

- максимальне динамічне відхилення:  $A_1 = 3.5 \%$  ;
- час регулювання становить:  $t_p = 58 \text{ c}$  .

З отриманого перехідного процесу можна зробити висновки, що при застосуванні ПІ-регулятора для даної САР не будуть виконуватися вимоги по якості перехідного процесу. А саме великий час регулювання.

У середовищі SIMULINK змодельюємо каскадну САР з допоміжною регульованою величиною – розрідженням у вакуум-лінії, з основним ПІ- та допоміжним ПІ-регуляторами. Схема каскадної САР з основним ПІ- та допоміжним ПІ-регуляторами, складена у середовищі SIMULINK зображена на рис. 3.16.

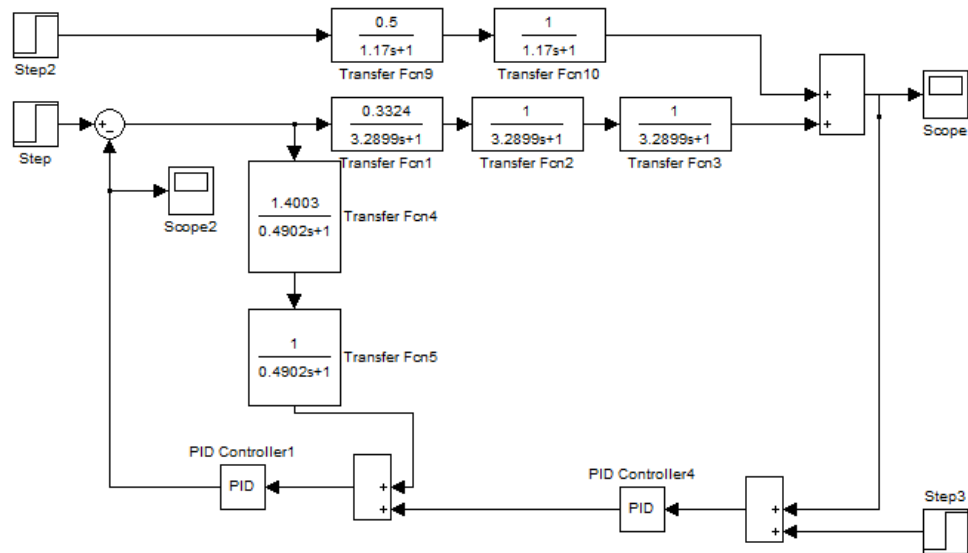


Рис.3.16. Схема каскадної САР з основним ПІ- та допоміжним ПІ-регуляторами, складена у середовищі SIMULINK

Змодельємо перехідний процес у САР при стрибкоподібній зміні регулюючої дії  $y_{MAX} = 15\%$  ходу РО (рис. 3.17):

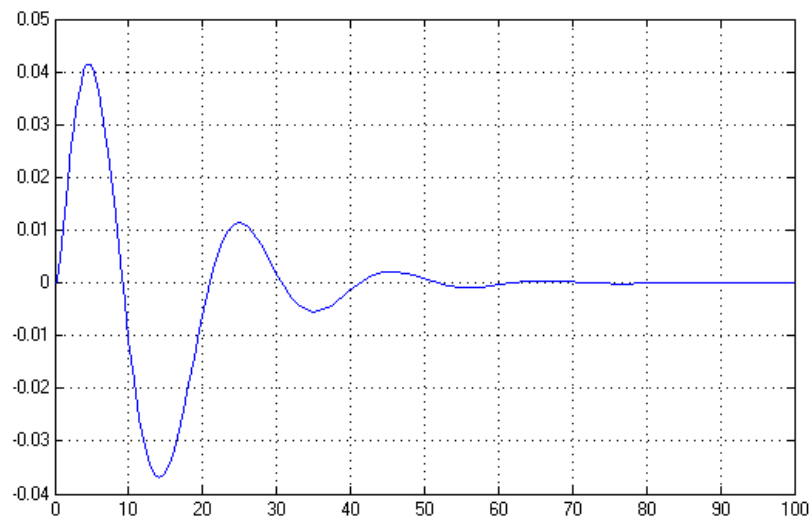


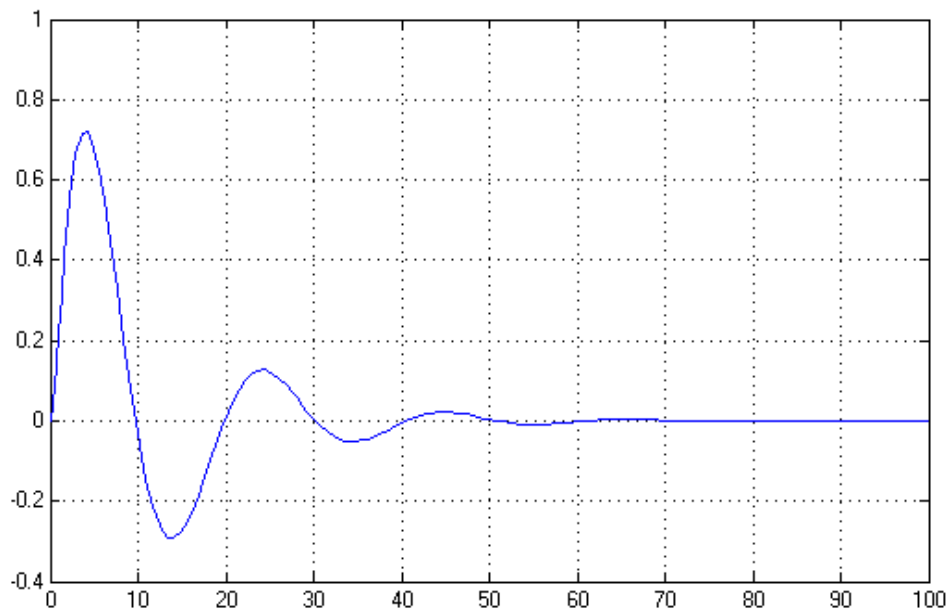
Рис. 3.17. Перехідний процес в каскадній САР при стрибкоподібній зміні регулюючої дії  $y_{MAX} = 15\%$  ходу РО

З отриманого перехідного процесу визначаю, чи в даній САР забезпечуються вимоги до якості процесу регулювання при зміні регулюючої дії і порівнюю їх з значеннями:

- максимальне динамічне відхилення:  $A_1 = 0.041\%$  ;
- час регулювання становить:  $t_p = 4$  с .

З отриманого перехідного процесу можна зробити висновки, що для розрахованої каскадної САР з основним ПІ- та допоміжним ПІ-регуляторами будуть виконуватися вимоги по якості перехідного процесу.

- Змодельуємо перехідний процес у САР при стрибкоподібній зміні витрати дріжджової суспензії на 2 кг/с (рис. 3.18):



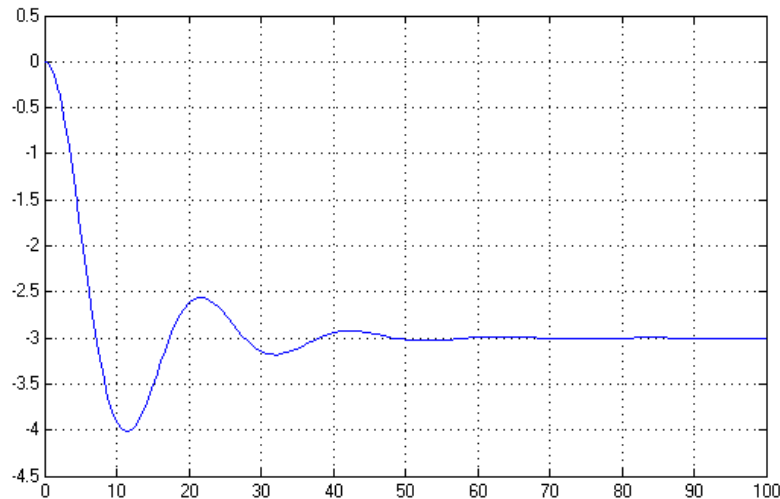
*Рис.3.18. Перехідний процес в каскадній САР при стрибкоподібній зміні витрати дріжджової суспензії на 2 кг/с*

З отриманого перехідного процесу визначаю, чи в даній САР забезпечуються вимоги до якості процесу регулювання при поданні збурення і порівнюю їх із заданими значеннями,:

- максимальне динамічне відхилення:  $A_1 = 0.72 \%$  ;
- час регулювання становить:  $t_p = 17 \text{ с}$  .

З отриманого перехідного процесу можна зробити висновки, що для розрахованої каскадної САР з основним ПІ- та допоміжним ПІ-регуляторами будуть виконуватися вимоги по якості перехідного процесу.

- Змодельуємо перехідний процес у САР при зміні завдання регулятора на 3% (рис. 3.19):



*Рис.3.19. Перехідний процес в каскадній САР при зміні завдання регулятора*

З отриманого перехідного процесу визначаю, чи в даній САР забезпечуються вимоги до якості процесу регулювання при поданні збурення і порівнюю їх з заданими значеннями:

- максимальне динамічне відхилення:  $A_1 = 3 \%$  ;
- час регулювання становить:  $t_p = 3 \text{ с}$  .

За отриманими перехідними процесами можна зробити висновки, що розрахована каскадна САР з основним ПІ- та допоміжним ПІ-регуляторами значно покращила показники якості перехідного процесу, порівняно з одноконтурною, зокрема суттєво зменшився час регулювання.

### **3.4.Опис схем автоматизації**

1.Регулювання рівня дріжджової суспензії в резервуарі вакуум-фільтра здійснюється з допомогою гідростатичного перетворювача вимірювання рівня „Сапфір-22ДГ” моделі 2540. Температура вимірюваного середовища, ° С: -50 ... +150, робочий тиск до 4 МПа, перепад тиску на дифманометрі 100 кПа. Вихідний сигнал: 4 - 20 мА. Напряга живлення: 12 - 36 В постійного струму, основна похибка  $\pm 0,5 \%$  . Уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА поступає на аналоговий вхід контролера SIEMENS S7-300. Контролер реалізує відповідний закон регулювання для даного вхідного сигналу і генерує керуючу дію, яка у вигляді уніфікованого струмового сигналу із аналогового виходу регулятора поступає

на пневматичний виконавчий механізм Samson типу 3347-7, який має вмонтований електропневматичний перетворювач типу EP-P3, що дає змогу перетворити уніфікований струмовий сигнал на пневматичний, який діє на РО. В залежності від значення рівня дріжджової суспензії в резервуарі вакуум-фільтра регулюючий орган буде збільшувати або зменшувати її витрату.

2. *Регулювання тиску повітря*, що надходить на продувку фільтрувальної тканини здійснюється з допомогою давача тиску Метран-22-ДА-АС-1 моделі 2051 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА. Цей сигнал поступає на аналоговий вхід контролера SIEMENS S7-300. Контролер реалізує відповідний закон регулювання для даного вхідного сигналу і генерує керуючу дію, яка у вигляді уніфікованого струмового сигналу із аналогового виходу регулятора поступає на пневматичний виконавчий механізм Samson типу 241-1 з вмонтованим електропневматичним перетворювачем типу EP-P3. Він дозволяє перетворити уніфікований струмовий сигнал на пневматичний, який діє на РО. Відповідно до вхідного значення тиску РО буде закривати чи відкривати клапан, на лінії подачі повітря, що надходить на продувку фільтрувальної тканини. З дискретного виходу сигнал буде поступати до трифазного асинхронного двигуна, який виконуватиме керування компресором.

3. *Регулювання рівня промивної води* в резервуарі здійснюється з допомогою зануреного гідростатичного рівнеміра LS-10. Діапазон вимірювання - 0 – 10 м, температура середовища, -30 ... +80 ° С, Робочий тиск- до 0.24 МПа. Вихідний сигнал - 4 - 20 мА, основна похибка  $\pm 0,5$  %. Уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА поступає на аналоговий вхід контролера SIEMENS S7-300. Контролер реалізує відповідний закон регулювання для даного вхідного сигналу і генерує керуючу дію, яка у вигляді уніфікованого струмового сигналу із аналогового виходу регулятора поступає на пневматичний виконавчий механізм Samson типу 241-1, який має вмонтований електропневматичний перетворювач типу EP-P3, який дозволяє перетворити уніфікований струмовий сигнал на пневматичний, що діє на РО. В залежності від значення рівня в резервуарі промивної води

регулюючий орган буде змінювати витрату подачі промивної води до резервуару.

4. *Регулювання витрати промивної води* здійснюється наступним чином. З камерної діафрагми ДКС 0,6-50 сигнал надходить до дифманометра „Сапфір-22ДД” 2450 який перетворює його на уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА, що поступає на аналоговий вхід контролера SIEMENS S7-300. Контролер реалізує відповідний закон регулювання для даного вхідного сигналу і генерує керуючу дію, яка у вигляді уніфікованого струмового сигналу із аналогового виходу регулятора поступає пневматичний виконавчий механізм Samson типу 241-1, який має вмонтований електропневматичний перетворювач типу EP-P3, і перетворює уніфікований струмовий сигнал на пневматичний, який діє на РО. В залежності від умов протікання процесу, регулюючий орган буде змінювати витрату води на промивання дріжджової суспензії.

5. *Регулювання розрідження* в вакуум-лінії здійснюється з допомогою давача розрідження Метран-22-ДВ-АС моделі 2240 діапазоном вимірювання 0-100кПа, основною похибкою  $\pm 0.1\%$  та з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА та корекцією по вологості осаду з допомогою вологоміра Hydro-Mix VII (HM07) з діапазоном вимірювання 0-100%, основною похибкою  $\pm 0.1\%$  з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА. Уніфікований сигнал поступає на аналоговий вхід контролера SIEMENS S7-300. Контролер реалізує відповідний закон регулювання для даного вхідного сигналу і генерує керуючу дію, яка у вигляді уніфікованого струмового сигналу із аналогового виходу регулятора поступає на пневматичний виконавчий механізм Samson типу 241-1 з вмонтованим електропневматичним перетворювачем типу EP-P3, який перетворює уніфікований струмовий сигнал на пневматичний, що діє на РО. В залежності від показів приладів регулюючий орган буде змінювати розрідження в вакуум-лінії. З дискретного виходу сигнал буде поступати до асинхронного двигуна який виконуватиме керування вакуум – насосом.

6. *Регулювання рівня рідин (дріжджової суспензії та фільтрату)* в резервуарах здійснюється з допомогою гідростатичного перетворювача



вимірювання рівня „Сапфір-22ДГ” моделі 2540. Температура вимірюваного середовища, ° С: -50 ... +150, робочий тиск: до 4 МПа, перепад тиску на дифманометрі 100 кПа. Вихідний сигнал: 4 - 20 мА. Напряга живлення: 12 - 36 В постійного струму, похибка:  $\pm 0,5$  %. Уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА поступає на аналоговий вхід контролера SIEMENS S7-300. Контролер реалізує відповідний закон регулювання для даного вхідного сигналу і генерує керуючу дію, яка з дискретного виходу поступає на вхід асинхронного двигуна який виконуватиме керування відповідними насосами.

### 3.5. Специфікація засобів автоматизації

Таблиця 3.2

#### Специфікація на засоби автоматизації

№ п/п	№ позиції	Технологічний параметр, його номінальне значення	Місце встановлення ТЗА	Назва та коротка технічна характеристика ТЗА	Тип	Кількість
1	2	3	4	5	6	7
1	1-1	Рівень 1,6м	По місцю	Дифманометр $P_{\text{тах}}=4$ МПа. Допустима похибка $\pm 0,5$ . Перепад тиску на дифманометрі 100 кПа. Вихідний сигнал: 4÷20мА	„Сапфір-22ДГ” 2540	1
2				Діафрагма камерна $P_y=0,1$ МПа, $D_y=150$ мм Матеріал сталь 36НХТЮ	ДК6 - 50	1
3	2-1,	Рівень 2м	По місцю	Перетворювач гідро-статичного тиску, $t_p=-30\div+80$ °С, Вимірюваний рівень до 10м. Робочий тиск (максимум), 0,24МПа Вихідний сигнал: 4÷20мА. Допустима похибка $\pm 0,5$ %	LS-10	1
4	4-1, 7-1, 8-1, 9-1	Рівень 2м	По місцю	Дифманометр $P_{\text{тах}}=4$ МПа Допустима похибка $\pm 0,25$ . Перепад тиску на дифманометрі 100 кПа, Вихідний сигнал: 4÷20мА	„Сапфір-22ДГ” 2540	5
5				Діафрагма камерна $P_y=0,6$ МПа, $D_y=125$ мм Матеріал: сталь 36НХТЮ	ДК6 - 50	5
6	4-1	Витрата 0,0032 м <sup>3</sup> /с	По місцю	Дифманометр $P_{\text{мах}}= 4$ МПа Допустима похибка $\pm 0,5$ , Перепад тиску на дифманометрі 6,3 кПа, Вихідний сигнал: 4÷20мА	„Сапфір-22ДД” 2450	1

7				Діафрагма камерна $P_y=0,6$ МПа, $D_y=50$ мм Матеріал: сталь 12Х18Н10Т	ДКС 0,6-50	1
8	3-1	Тиск 0,025МПа	По місцю	Давач тиску $P_{max}=0,25$ МПа, основна охибка: $\pm (0,2+0,025 P_{max}/P)$ , Вихідний сигнал: $4\div 20$ мА	Метран-22-ДА-АС-1 модель 2051	1
9	5-1	Вологість 40%	По місцю	Вологомір $w_{max}=100\%$ , Клас точності 0,1%, Вихідний сигнал: $4\div 20$ мА	Hydro-Mix VII	1
10	6-1	Розрідження 80кПа	По місцю	Давач розрідження $P_{max}=100$ кПа, основна похибка $\pm (0,14 + 0,02 P_{max}/P)$ , вихідний сигнал: $4\div 20$ мА	Метран-22-ДВ-АС модель 2240	1
11	1-2		По місцю	Пневматичний регулюючий клапан з функцією безпеки. Складається з клапану типу 3347-7, пневматичного сервоприводу типу 3277 з і/р позиціонером типу 3767. Допустимий перепад тиску не більше 1,6 МПа. Температурний діапазон від $-10$ °С до $+350$ °С.	SAMSON 3347-7	1
12	2-2, 3-2, 4-3, 5-2, 9-2		По місцю	Пневматичний регулюючий клапан з функцією безпеки. Складається з клапану типу 241, пневматичного сервоприводу типу 3277 з і/р позиціонером типу 3767. Допустимий перепад тиску не більше 1,6 МПа. Температура середовища до $+350$ °С.	SAMSON 241-1	5
13	7-2, 8-2, 10-1 11-1		По місцю	Трифазний асинхронний двигун, потужність 0,25кВт, частота обертання 1500 об/хв., ККД 68%	AIP 63 A4	4
14			На щиті	Процесор	CPU 314C-2DP	1
15			На щиті	Блок розширень	SM322-5HDO1	2
16			На щиті	Блок розширень	SM321-5HDO1	1
17			На щиті	Автоматизоване робоче місце	SIMATIC STEP 7	1
19			На щиті	Блок живлення контролера	PS 307 5A	1
20			На щиті	Кабель для з'єднання контролера із блоком живлення	Adapter PS 307	1

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці

Охорона праці на харчових підприємствах - це система заходів, спрямованих на забезпечення безпеки та здоров'я працівників, які працюють у виробництві харчових продуктів. Оскільки харчова промисловість пов'язана з обробкою та переробкою їжі, в ній існують свої унікальні ризики та вимоги щодо охорони праці.

Для її надійного функціонування необхідно правильно визначити:

- параметри процесу, за якими потрібно проводити захист, блокування і сигналізацію;
- фактори, які можуть призвести до виникнення небезпечних ситуацій;
- небезпеки, які можуть призвести до виникнення аварії або бути її наслідком;

Важливо, щоб обладнання для виробництва харчових продуктів було безпечним у використанні. Це означає, що воно повинно бути регулярно перевіряне на відповідність стандартам безпеки, а також обслуговуватися та ремонтуватися професійними фахівцями. Створенням, налагодженням і монтажем систем автоматизації на підприємстві займається відділ КВП і А, який складається з двох підрозділів: операторів і слюсарів-ремонтників.

При проведенні технологічного процесу, а також роботі в операторному приміщенні можна виділити наступні можливі види небезпек:

1) для слюсарів-ремонтників КВП і А:

- пожежо- та вибухонебезпека (при аваріях в пічних агрегатах, трубопроводах подачі газу);
- можливість отримання опіків;
- негативний вплив підвищення рівнів шуму та вібрацій (при роботі різних видів конвеєрів);
- отруєння шкідливими речовинами;
- ураження електричним струмом;
- небезпеки, пов'язані з можливістю травмування робітників відкритими та рухомими частинами обладнання;

- небезпеки, пов'язані з роботою на висоті;
- небезпеки, пов'язані з незадовільними метеорологічними умовами.

2) для операторів КВП і А:

- зорове перенапруження;
- небезпеки, пов'язані з низькою рухливістю;
- небезпеки, пов'язані з незадовільними ергономічними і метеорологічними умовами;
- пожежо- та вибухонебезпечні умови.

Для зменшення ризиків виникнення нещасних випадків в дипломному проекті необхідно передбачити заходи з охорони праці.

#### **4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці**

Згідно статті 13 закону України про охорону праці «Управління охороною праці та обов'язки роботодавця», третього розділу «Організація охорони праці», роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Згідно статті 6 закону України про охорону праці «Права працівників на охорону праці під час роботи», другого розділу «Гарантії прав на охорону праці», умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Відповідно до статті 8 закону України про охорону праці «Забезпечення працівників спецодягом, іншими засобами індивідуального захисту, мийними та знешкочувальними засобами» на роботах із шкідливими і небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням або несприятливими метеорологічними умовами, працівникам видаються безоплатно за

встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також мийні та знешкоджувальні засоби.

Норми виробничого мікроклімату регламентують державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6-042-99.

Показниками, що характеризують мікроклімат є температура повітря; відносна вологість повітря; швидкість руху повітря та теплове навантаження.

Оптимальними вважаються такі умови праці, при яких буде найвища працездатність і хороше самопочуття.

Приміщення повинні бути достатньо освітлені, вдень – як найбільше природним світлом, а в нічний та в вечірній часи електричним освітленням. Освітленість повинна відповідати нормативним значенням за ДБН В 2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

У комплексі заходів, спрямованих на ліквідацію пожежі, що використовується у системі протипожежного захисту, важливе значення має вибір найраціональніших способів та засобів припинення горіння згідно зі ДБН В 2.5-13-98 «Пожежна автоматика будинків і споруд». Однією з умов успішного використання вогнегасників є виконання правил розміщення вогнегасників на об'єкті.

Техніка безпеки являє собою комплекс технічних і організаційних заходів, які спрямовані на попередження обслуговуючого персоналу від травматизму, шкідливого впливу, які викликані умовами праці.

Приміщення підприємства повинні розміщатись відповідно до вимог, затверджених у встановленому порядку будівельних норм і правил, санітарних і протипожежних норм проектування.

#### *Вентиляція та опалення*

Необхідно, щоб повітря робочої зони виробничих приміщень відповідало вимогам ДСН 3.3.6.042-99.

Під час перевищення у приміщеннях норм концентрації шкідливих газів і пилу, що передбачаються санітарними нормами, необхідно негайно вивести

людей в безпечну зону та вжити заходів щодо ліквідації загазованості та запиленості повітря.

Для локалізації пиловиділень необхідно передбачати герметизацію та аспірацію устаткування, застосування зволоження, сигналізацію про заповнення бункерів, регулярне прибирання приміщень. Всмоктуючі та видувні отвори вентиляторів повинні бути загороджені решітками.

Відбір зовнішнього повітря не повинен виконуватись на висоті менше ніж 2 м від землі і в місцях, забруднених різними шкідливими речовинами.

Для опалення приміщень повинні бути передбачені системи, теплоносії і пристрої, які не створюють додаткових виробничих шкідливих факторів.

Системи опалення будинків і споруд підприємства необхідно вибирати з урахуванням вимог ДСП 173-96 і СНіП 2.04.05-91.

Температура повітря в приміщеннях в холодну пору року не повинна бути нижче 14°C при легкій фізичній роботі, 12°C при роботі середньої важкості і 8°C при важкій роботі.

#### *Вібрації та шум*

Рівні вібрації та шуму, що впливають на працівників, повинні відповідати вимогам Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99, Державних санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України.

Вентилятори, повітродувки, рівні шуму яких перевищують допустимі норми, необхідно розташовувати у звукоізолювальних камерах або у звукоізолювальних кожухах (укриттях), обладнувати глушниками шуму з боку всмоктування та нагнітання, а також засобами віброізоляції, що запобігають передачі вібрацій трубопроводам і фундаментам.

Технологічне устаткування, що має шумові характеристики, які перевищують гранично допустимі норми, необхідно оснащувати засобами зниження шуму або розміщувати у звукоізолювальних боксах, або ж ізолювати звукоізолювальними перегородками або екранами.

Для усунення шкідливого впливу на працівників підвищеного рівня шуму повинні застосовуватись засоби індивідуального захисту.

### *Освітлення*

Робоче освітлення повинно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість і яскравість відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд» та ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», затверджених наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від. Джерела живлення аварійного освітлення повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів.

Улаштування, монтаж і експлуатація силового та освітлювального устаткування необхідно провадити з дотриманням вимог НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.32-01 та інших чинних нормативно-правових актів.

Показники освітлення території підприємства, допоміжних приміщень і робочих місць у цехах повинні відповідати встановленим нормам. У структурних підрозділах підприємства необхідно застосовувати робоче, аварійне та евакуаційне освітлення.

Робоче освітлення повинно забезпечувати освітленість і яскравість на робочих поверхнях не нижче нормативної.

Аварійним освітленням необхідно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість не менше 5% від нормативної, установленної для цих поверхонь.

Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати освітленість на підлозі основних шляхів пересування працівників, на східцях сходів не менше 3 лк (люксів). Світильники повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.32-01 і розміщуватися таким чином, щоб забезпечити надійність їх кріплення, безпеку та зручність обслуговування.

Миття вікон повинне проводитись не рідше ніж 4 рази в рік.

### *Ергономічні вимоги*

Ергономічні вимоги до робочих місць під час виконання робіт у сидячому положенні повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів.

На постійному робочому місці оператора за пультом або щитом повинні бути регульовані крісла з підлокітниками, з опорою для спини та з підставкою для ніг.

### *Заходи безпеки*

У приміщеннях з підвищеним забрудненням пилом електропроводка та електропускові пристрої необхідно виконувати таким чином, щоб забезпечувалася можливість вологого прибирання приміщень. В електромашинних приміщеннях необхідно передбачати прибирання пилу з електроустаткування пилососом.

На роботах, що пов'язані з небезпекою ураження електричним струмом, повинні застосовуватися засоби захисту відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.21-98, Правил безпечної експлуатації електроустановок, Правил експлуатації електрозахисних засобів, НПАОП 40.1-1.07-01.

Органи керування на пульті та на щиті повинні розташовуватись в послідовності запуску і зупинки обладнання.

Кнопки запуску повинні бути втоплені на 3-5 мм за габарити пускової коробки, а кнопки зупинки повинні бути червоного кольору і виступати на 3 мм.

Органи керування на пульті або на щиті повинні розташовуватись на відстані не більше ніж 800 мм від вертикальної осі сидіння.

Електричні прилади та щити необхідно заземлювати відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів.

Контрольно-вимірювальні прилади повинні освітлюватися відповідно до норм освітленості.

Стан і робота приладів, засобів автоматизації, сигналізації, дистанційного керування та пристроїв захисних блокувань повинні постійно контролюватися.

Регулювання та ремонт приладів і засобів автоматизації повинні виконувати тільки працівники служби контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.



На всіх засобах вимірювання, що контролюють граничні значення параметрів технологічного процесу, червоною фарбою повинні помічатися гранично допустимі значення параметра, що вимірюється.

Засоби зв'язку та сигналізації необхідно розташовувати в зонах максимальної видимості та чутності працівників, а також робити їх легкодоступними та безпечними під час обслуговування.

Устаткування перед пуском у роботу необхідно перевіряти на його безпечність під час роботи на ньому, наявності та цілісності огорож, надійності дії пускових і гальмівних пристроїв, заземлення, справності запобіжних кожухів, справності ізоляції, сигналізації пуску та зупинки, автоблокування.

У разі виявлення несправностей або недоліків у забезпеченні безпечної експлуатації устаткування робота на ньому повинна бути негайно припинена.

Органи аварійного виключення (кнопки, важелі) повинні бути червоного кольору, мати покажчики їхнього розташування, написи про призначення. Символи органів керування повинні відповідати вимогам державних стандартів «Органи керування виробничим устаткуванням. Позначення» та «Органи керування виробничим устаткуванням. Загальні вимоги безпеки».

#### *Загальні вимоги до технологічного обладнання*

Відстань між габаритами обладнання повинно бути не менше 3 м, а між стіною та обладнанням - не менше ніж 1,2 м.

Перед пуском обладнання необхідно переконатися в надійності та справності огорож, надійності кріплення футерувальних плит і кришок люків, готовності до роботи дозаторів води і дріжджового розчину.

Для проведення ремонтних робіт, підйому кришок люків в приміщенні цеху мають бути встановлені вантажопідйомні машини.

### **4.3. Пожежна безпека**

На основі проведеного аналізу на підприємстві розробляється система заходів щодо попередження пожежі та протипожежного захисту технологічних процесів згідно з вимогами нормативних документів.

Технічні рішення системи запобігання пожежі.

Проектом передбачене наступне:

- всі елементи, які можуть у процесі роботи іскритися, встановлюються у вогнетривких шафах. Застосовуються іскрогасящі діоди;
- кабелі прокладаються на відстані 1 м від нагрітих поверхонь або захищаються екранами з неспалених матеріалів. Всі елементи кабельного господарства прокладаються в коробах, захисних трубах;
- при аварійних ситуаціях передбачене використання аварійного захисту, що відключає встаткування;
- для захисту від короткого замикання застосовуються плавкі запобіжники й автоматичні вимикачі;
- для запобігання згоряння всі деталі й елементи виготовляються з неспалених і важко спалених матеріалів (в основному металеві конструкції).

Технічні рішення системи протипожежного захисту. Для виявлення початкової стадії пожежі, повідомлення про місце його виникнення й включення установок пожежогасіння відповідно до проекту застосовують наступні установки пожежної сигналізації на базі автоматичних пожежних оповіщувачів.

Установка електричної пожежної сигналізації відповідно складається з оповіщувачів - датчиків (у даному проекті - датчик комбінованого типу КМ-1, що реагує на дим і підвищення температури), встановлених у приміщеннях, що захищають, ліній зв'язку й прийомної станції СДПУ-1 з живленням від мережі змінного струму 220В встановлюваний у приміщенні щитової. У випадку виникнення пожежі за допомогою світлових і звукових сигналів буде вироблятися оповіщення обслуговуючого персоналу й пожежної команди.

Приміщення обладнане первинними засобами пожежогасіння - вогнегасником 2БР2МА (вуглекислотний). При пожежі в електроустановках, які перебувають під напругою.

Для гасіння пожеж використається вода. Приміщення обладнане протипожежним водопроводом.

## **5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

### **5.1. Техніко-економічне обґрунтування запроєктованого варіанту системи автоматизації технологічного процесу**

Проведення великої кількості операцій із застосуванням ручної праці зумовлює зниження якості продукції і наявність браку. Тому поряд із заміною обладнання доцільно здійснити заміну старої системи автоматизації, яка була побудована на локальних регулюючих і контролюючих засобах, на нову систему з використанням сучасної мікропроцесорної техніки. Хоча нові мікропроцесорні засоби є дорогими, але завдяки їх багатofункціональному призначенню є можливість виключити проміжні прилади та здійснювати різні додаткові операції. Спроєктовану систему можна віднести до взаємопов'язаної автоматизації закінчених технологічних процесів без перегляду технології. Для техніко-економічного обґрунтування вибраної системи автоматизації використаємо дані підприємства: сума приведених затрат - 470,18 тис.грн.

### **5.2. Економічна ефективність автоматизації виробничих процесів**

Введення нової системи автоматизації з використанням сучасної мікропроцесорної техніки дозволить зменшити собівартість продукції за рахунок наступних факторів:

- зменшення витрат сировини і матеріалів – введення в процес відповідних регуляторів дозволить більш точно проводити дозування сировини, а як наслідок буде підвищуватися якість продукції і її вихід;
- зменшення браку відходів;
- збільшення продуктивності обладнання і процесу в цілому за рахунок зменшення використання ручної праці і досягнення більшої неперервності процесу;
- зменшення кількості обслуговуючого персоналу.

До недоліків нової системи автоматизації можна віднести залучення персоналу вищої кваліфікації, більшої кількості допоміжних робітників, а також незначне підвищення енергоємності.

### 5.2.1. Розрахунок капітальних затрат на автоматизацію

Одноразові капітальні витрати включають в себе вартість контрольно-вимірювальних і регулюючих приладів та засобів автоматизації, монтажних, будівельних і налагоджувальних робіт, втрати від ліквідації звільненої техніки.

Згідно заводських даних вартість виробів, апаратів, засобів автоматизації і приладів складає 109741,63 грн. транспортно-заготівельні витрати враховуються в розмірі 8 % від купівельної ціни засобів автоматизації і складають 8779,33 грн.

Витрати на монтаж системи автоматизації визначаються вартістю матеріалів, які витрачаються при проведенні монтажних робіт і витратами, пов'язаними з заробітною платою робітників. Згідно заводських даних витрати на монтаж системи автоматизації складають 2154,5 грн.

Вартість налагодження апаратури згідно даних підприємства складає 10 % купівельної вартості засобів автоматизації і становить 10974,16 грн.

Вартість будівельних робіт  $\text{Ц}_6$ , пов'язаних з реконструкцією приміщень і влаштуванням фундаментів під щити, визначають за залежністю:

$$\text{Ц}_6 = V \cdot \text{Ц}_v \left( 1 + \frac{C}{100} \right), \text{ де}$$

$V$  – об'єм будівлі, який підлягає реконструкції; за проектом  $V=25 \text{ м}^3$ ;  $\text{Ц}_v$  – ціна за  $1 \text{ м}^3$  об'єму приміщення, що підлягає реконструкції; за даними підприємства  $\text{Ц}_v = 195$  грн;  $C$  – витрати на роботи по опаленню, освітленню, каналізації. За даними підприємства ці витрати складають 10 %. Тоді вартість будівельних робіт рівна:  $\text{Ц}_6 = 25 \times 195 (1 + 0,1) = 5362,5$  грн.

Витрати на санітарно-технічні роботи згідно даних підприємства становить 20 % вартості будівельних робіт і складають 1072,5 грн.

Витрати на демонтаж існуючої системи автоматизації згідно даних заводу є рівними 50 % вартості монтажних робіт і чисельно складають 1077,25 грн.

Загальні капітальні витрати на впровадження запроєктованої системи автоматизації технологічного процесу випікання хлібопродуктів складуть:

$$\begin{aligned} \text{Ц} &= 109741,63 + 8779,33 + 2154,5 + 10974,16 + 5362,5 + 1072,5 + 1077,25 = \\ &= 139161,87 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Затрати на амортизацію становлять 25% від вартості засобів автоматизації  $V_{\text{аморт}} = 109741,63 \times 0,25 = 27435,4$  грн в рік.

Затрати на планові ремонти обладнання закладені у розмірі:  $V_{\text{пл,рем}} = 6500$  грн

Отже, експлуатаційні витрати на автоматизацію становлять :

$V = 27435,4 + 6500 = 33935,4$  грн.

### 5.3. Розрахунок виробничої потужності після автоматизації

Одним з показників за рахунок збільшення якого може бути оптимальний прибуток, є виробнича потужність.

Річну виробничу потужність обладнання неперервної дії можна визначити за формулою:

$$V = N \cdot n_r \cdot (T - T_0), \text{ де}$$

$N$  – кількість однорідних апаратів;  $n_r$  – продуктивність одиниці обладнання за годину;  $T_0$  – регламентовані зупинки одного апарата, годин;  $T$  – календарний час, годин.

Проведемо розрахунок виробничої потужності з використанням даних заводу і паспортних даних обладнання. Порівняно з базовим варіантом виробнича потужність зростає на 5 % за рахунок таких факторів:

- досягнення неперервності технологічного процесу;
- виключення використання ручної праці;
- зменшення часу регламентованих зупинок на ремонт за рахунок блочного принципу виконання приладів;
- підвищення продуктивності обладнання за рахунок перших двох факторів, а також за рахунок повного використання сировини і матеріалів;
- підвищення коефіцієнта виходу готової продукції;
- зменшення витратних коефіцієнтів сировини.

### 5.4. Розрахунок собівартості річного випуску продукції

Для проведення розрахунків собівартість спроектованого і базового варіантів повинна визначатися за єдиною методикою при однакових цінах на

сировину, матеріали, електроенергію, рівних обсягах виробництва. Тому з врахуванням різниці в річному випуску продукції розраховують додаткові капітальні вкладення з допомогою показника питомих капітальних вкладень за формулою:

$$K_d = \left( \frac{K_2}{Q_2} - \frac{K_1}{Q_1} \right) \cdot Q_2, \text{ де}$$

$K_1, K_2$  – капітальні вкладення відповідно в базовий і запроєктований варіанти;  $Q_1, Q_2$  – річний випуск продукції відповідно в базовому і запроєктованому варіанті.

$$K_d = \left( \frac{13916187}{5649,6} - \frac{9419358}{5380,6} \right) \cdot 5649,6 = 40258,21 \text{ грн.}$$

Економію за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів розрахуємо за даними підприємства за формулою:

$$E_m = (V_1 C_1 - V_2 C_2) Q_2, \text{ де}$$

$V_1, V_2$  – обсяг сировини, матеріалів, які витрачаються на виробництво одиниці продукції відповідно до і після введення нової системи автоматизації;  $C_1, C_2$  – відповідно ціна одиниці сировини, матеріалів.

Загальна економія за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів складе:

$$E_3 = 103747,69 \text{ грн.}$$

Зміни у витратах на електроенергію розраховуються за даними підприємства за формулою:

$$E_e = (m_1 - m_2) C_2 Q_2, \text{ де}$$

$m_1, m_2$  – витрати електроенергії на одиницю продукції відповідно до і після введення нової системи автоматизації;  $C_2$  – ціна одиниці енергії.

Тоді за даними підприємства

$$E_e = (0,018 - 0,0229) \times 5649,6 = -129,19 \text{ грн.}$$

Тобто, додаткові витрати на електроенергію складуть 129,19 грн. Необхідно зауважити, що витрати електроенергії зростають не за рахунок збільшення енергоємності обладнання, а із-за суттєвого розширення його бази.

Економію по заробітній платі робітників визначають у відповідності зі зміною чисельності основних і допоміжних робітників і їх середньорічної

заробітної плати. Визначимо явочну чисельність чергових слюсарів після введення нової системи автоматизації за формулою:

$$\text{Ч}_{\text{ячсл}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot t_i \cdot K_3}{\Phi_{\text{ч}}}, \text{ де}$$

$N_i$  – кількість приладів даного типу, що підлягають обслуговуванню;  $t_i$  – норма часу на обслуговування одного приладу (приймається згідно даних підприємства);  $\Phi_{\text{ч}}$  – тривалість робочої зміни (480 хвилин);  $K_3$  – коефіцієнт запасу, який враховує виконання незапланованих робіт ( $K_3 = 1,1$ ).

Явочна чисельність чергових слюсарів буде рівною:

$$\text{Ч}_{\text{ячсл}} = \frac{(15 \times 15 + 23 \times 10 + 20 \times 1 + 120 \times 5) \cdot 1,1}{480} = 2,46 \text{ чоловік}$$

Приймаємо явочну чисельність чергових слюсарів рівною 2. Тоді явочна чисельність чергових слюсарів за добу є рівною 6. Спискова чисельність чергових слюсарів є рівною 8.

За заводським розрахунком явочна чисельність слюсарів КВП і А є рівною 8 чоловік на добу. Спискова чисельність складає 10 робітників.

Для проведення розрахунку річного фонду заробітної плати складемо баланс робочого часу одного середньоспискового робітника:

Календарний фонд часу – 365 днів. Вихідні дні – 91.

Номінальний фонд робочого часу – 274 дні.

Всього невиходи на роботу – 27 днів.

Ефективний час роботи – 247 днів.

Середня тривалість роботи одного робітника – 1927 годин.

Коефіцієнт перерахунку –  $365/247 = 1,47$ .

### 5.5. Розрахунок річного фонду заробітної плати робітників

Річний фонд заробітної плати визначають за штатним розписом і посадовими окладами. За даними підприємства річний фонд заробітної плати служби КВП і А складає: до введення автоматизації – 385458,69 грн, після введення автоматизації - 297483,15 грн.

Розрахуємо економію по заробітній платі за формулою:

$$E_3 = \frac{\Phi_{п1}}{Q_1} \cdot Q_2 - \Phi_{п2}, \text{ де}$$

$\Phi_{п1}$ ,  $\Phi_{п2}$  – річний фонд заробітної плати відповідно до і після введення автоматизації;  $Q_1$ ,  $Q_2$  – річний випуск продукції в натуральних одиницях відповідно до і після введення автоматизації.

Тоді

$$E_3 = \frac{38545869}{5380,6} 5649,6 - 29748315 = 10724625 \text{ грн.}$$

### 5.6. Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності

Річний економічний ефект визначаємо за формулою :

$$\epsilon_p = \epsilon_{\text{заг}} - E_n * K ; \quad \epsilon_{\text{заг}} = \epsilon_i - B ;$$

де  $\epsilon_{\text{заг}}$ - загальна умовно-річна економія за рахунок різноманітних джерел;

$\epsilon_i$  - економія за рахунок і-го джерела (палива, енергії, зарплати);

$E_n * K$  - капітальні затрати на автоматизацію (згідно кошторису) ;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт ( $E_n = 0.15$ );

$B$  - експлуатаційні затрати на автоматизацію.

Таким чином,  $\epsilon_i = 210993,94$  грн.  $B = 33935,4$  грн.  $K = 139161,87$  грн.

$$\epsilon_{\text{заг}} = 210993,94 - 33935,4 = 177058,54 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект :

$$\epsilon_p = 177058,54 - 0.15 * 139161,87 = 156184,26 \text{ грн.}$$

Термін окупності визначимо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = K / \epsilon_{\text{заг}} = 139161,87 / 177058,54 = 0,786 \text{ року} = 287 \text{ днів.}$$

Коефіцієнт ефективності  $\epsilon = \epsilon_{\text{заг}} / K = 1 / T_{\text{ок}} = 1 / 0,786 = 1,27$ .

Річний економічний ефект від запровадження автоматизації даного технологічного процесу 156184,26 грн. Термін окупності – 0,786 року.

На основі проведених розрахунків можна стверджувати, що запровадження запропонованої системи автоматизації дає річний економічний ефект в сумі 156184,26 гривень, а термін окупності становить 0,786 року.



## ВИСНОВКИ

У даній роботі розглянуто питання автоматизації фільтрування дріжджової суспензії у виробництві пресованих дріжджів. В підсумку сформульовано такі висновки:

1. Фільтруванням називають процес розділення неоднорідних систем із дисперсною твердою фазою за допомогою пористих перегородок, що затримують тверді дисперсні частинки і вільно пропускають рідке середовище. Рушійною силою процесу фільтрування є різниця тисків над поверхнею рідини і під фільтрувальною перегородкою. Процес отримання хлібопекарських дріжджів на дріжджових заводах складається з таких стадій: приготування живильного середовища; вирощування маткових і товарних дріжджів; виділення товарних дріжджів з дріжджової суспензії; формування та упаковка пресованих дріжджів; сушка дріжджів. Остаточне виділення дріжджів відбувається в основному на вакуум-фільтрах, а на деяких підприємствах - на фільтрпресах. Вакуум-фільтри мають більш високу продуктивність, полегшують працю робітників, забезпечують кращі санітарні умови на підприємствах. В даній роботі розглянуті питання автоматизації вакуумних фільтрів.

2. Ефективність роботи вакуум-фільтрів залежить від температури дріжджового молока, концентрації дріжджів в ньому, якості фільтрувального матеріалу, значення вакууму, а також від проведення технологічного процесу. Схема фільтрувальної установки включає в себе окремі апарати, які забезпечують барабанний вакуум-фільтр матеріальними потоками, що необхідні для його функціонування. Згущене на стадії сепарування до концентрації 450-650 г/л і охолоджене до 2 °С дріжджове молоко подають у збірник, де воно постійно перемішується мішалкою щоб запобігти осіданню дріжджів. Відцентровим насосом з об'ємною продуктивністю 6 м<sup>3</sup>/год дріжджове молоко зі збірника подають у ванну вакуум-фільтра, де його рівень підтримують на постійному значенні 0,25 м. Барабан вакуум-фільтра з діаметром 1,8 м та довжиною 2,65 м занурений у дріжджову суспензією на 0,15 м і обертається навколо своєї осі з частотою 20 об/хв. Через вакуумну камеру розподільчої

головки розрідження, яке створюється вакуум-насосом потужністю 30 кВт і становить 60 кПа, в ній поширюється по трубах на секції фільтра, занурені в суспензію. З поворотом барабана кожна фільтрувальна секція послідовно проходить зони фільтрування, просушування осаду, промивання осаду водою, другу зону просушування осаду та зону знімання осаду і регенерації тканини.

3. В реальних умовах виробництва на барабанний вакуум-фільтр можуть впливати численні збурення у вигляді зміни початкової концентрації дріжджів в суспензії, густини суспензії та в'язкості рідкої фази. Перевищення цих параметрів за допустимі значення може призвести до ущільнення осаду у нижній частині ванни, що негативно впливатиме на процес фільтрування і зниження його ефективності. І навпаки, при зниженні – призвести до підвищення мутності фільтрату і виведення частини цільового продукту разом з ним оскільки опір шару осаду буде недостатнім. Всі ці збурення визначаються технологічним режимом попереднього процесу, тому виключити їх при керуванні процесом фільтрування неможливо, їх значення тільки контролюють.

Найбільш збурюючою дією є зміна витрати дріжджового молока, що поступає у ванну вакуум-фільтра оскільки збільшення витрати суспензії призводить до збільшення вологості осаду.

Вихідними величинами є вологість осаду і продуктивність за осадом. Обидва параметри контролювати важко, тому основною вихідною величиною фільтра вважають рівень дріжджового молока, який в більшості випадків стабілізують зміною витрати суспензії на вході в барабанний вакуум-фільтр.

4. Для керування даним технологічним процесом обираю програмований мікропроцесорний контролер SIEMENS SIMATIC S7-300. Розглядаються такі контури: рівень суспензії в резервуарі вакуум-фільтра; тиск повітря, що надходить на продувку фільтрувальної тканини; рівень промивної води в напірній ємності; витрата промивної води; каскадне регулювання розрідження (вакууму) з корекцією по вологості.

5. Розглядається принципова електрична схема зовнішніх з'єднань контролера Siemens S7-300. До аналогових входів для сигналів по струму

контролера S7-300 (розміщених на центральному процесорі CPU 314C-2DP) приєднуються всі давачі технологічного процесу. До аналогових виходів для сигналів по струму контролера під'єднуються електро-пневматичні перетворювачі SAMSON які здійснюють керування клапанами.

6. Регулююча дія в об'єкті регулювання здійснюється зміною положення регулюючого органу на вакуумній лінії, а вихідною величиною є значення вологості дріжджової суспензії. Для знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання було застосовано експериментальну криву розгону, зміну вологості в часі, що була одержана внаслідок стрибкоподібної зміни регулюючої дії – зміни положення РО на 15%. За виглядом кривої розгону, визначено, що по заданій кривій розгону може бути модель у вигляді послідовного з'єднання декількох аперіодичних ланок. Знайдено параметри моделі ОР та перевірено її на адекватність, за допомогою оптимізаційного методу згідно з яким для вибраної функції передачі, параметри моделі змінювалися б таким чином, щоб забезпечити мінімум критерію оптимальності. Критерієм оптимальності вибрана зведена похибка. Для вирішення цієї оптимізаційної задачі, складена програма, в якій використовується функція пошуку екстремумів – *fminsearch* і використаний метод оптимізації Нелдера-Міда. Проаналізувавши всі особливості регульованого технологічного процесу, властивості об'єкта регулювання та вимоги щодо якості процесу регулювання, можна сказати, що для забезпечення потрібної якості процесу регулювання в САР вологості, потрібно застосовувати каскадні системи і вводити в схему допоміжний регулятор. Допоміжною регульованою величиною є розрідження у вакуум-лінії.

7. У середовищі SIMULINK змодельовано каскадну САР з допоміжною регульованою величиною – розрідженням у вакуум-лінії, з основним ПІ- та допоміжним ПІ-регуляторами. Змодельовано перехідний процес у САР при стрибкоподібній зміні регулюючої дії  $y_{MAX} = 15\%$  ходу РО. З отриманого перехідного процесу визначено: максимальне динамічне відхилення:  $A_1 = 0.041\%$  ; - час регулювання становить:  $t_p = 4$  с.

Змодельовано перехідний процес у САР при стрибкоподібній зміні витрати дріжджової суспензії на 2кг/с. З отриманого перехідного процесу визначено: максимальне динамічне відхилення:  $A_1 = 0.72 \%$ ; час регулювання становить:  $t_p = 17 \text{ с}$ .

Змодельовано перехідний процес у САР при зміні завдання регулятора на 3%. З отриманого перехідного процесу визначено: максимальне динамічне відхилення:  $A_1 = 3 \%$ ; час регулювання становить:  $t_p = 3 \text{ с}$ .

За отриманими перехідними процесами можна зробити висновки, що розрахована каскадна САР з основним ПІ- та допоміжним ПІ-регуляторами значно покращила показники якості перехідного процесу, порівняно з одноконтурною, зокрема суттєво зменшився час регулювання.

8. Схеми автоматизації. Регулювання рівня дріжджової суспензії в резервуарі вакуум-фільтра здійснюється з допомогою гідростатичного перетворювача вимірювання рівня „Сапфір-22ДГ” моделі 2540. Регулювання тиску повітря, що надходить на продувку фільтрувальної тканини здійснюється з допомогою давача тиску Метран-22-ДА-АС-1 моделі 2051 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА. Регулювання рівня промивної води в резервуарі здійснюється з допомогою зануреного гідростатичного рівнеміра LS-10. Регулювання витрати промивної води здійснюється наступним чином. З камерної діафрагми ДКС 0,6-50 сигнал надходить до дифманометра „Сапфір-22ДД” 2450 який перетворює його на уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА, що поступає на аналоговий вхід контролера SIEMENS S7-300. Регулювання розрідження в вакуум-лінії здійснюється з допомогою давача розрідження Метран-22-ДВ-АС моделі 2240 діапазоном вимірювання 0-100кПа, основною похибкою  $\pm 0.1\%$  та з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА та корекцією по вологості осаду з допомогою вологоміра Hydro-Mix VII (HM07) з діапазоном вимірювання 0-100%, основною похибкою  $\pm 0.1\%$  з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА. Регулювання рівня рідин (дріжджової суспензії та фільтрату) в резервуарах здійснюється з допомогою гідростатичного перетворювача вимірювання рівня „Сапфір-22ДГ” моделі 2540.

## 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. Автоматизація виробничих процесів/І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед.- К.:Ліра, 2015.- 340 с.
4. Л.М. Артюшин, О.А. Машков,Б.В. Дурняк, М.С. Сівов. Теорія автоматичного керування. — Львів: Видавництво УАД, 2004.
5. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації, Ч. 2 «Регульовальні і виконавчі пристрої»/А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін. – Х.: НТУ«ХП», 2003.– 658 с.
6. Бабіченко А.К. Практикум з вимірювань та технічних засобів автоматизації / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, І.Л. Красніков та ін. – Х.: НТУ «ХП», 2009. – 114 с.
7. Барало О.В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навчальний посібник / О.В. Барало, П.Г. Самойленко, СЄ. Гранат, В.О. Ковальов. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
8. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
9. Когутяк, М. І. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / М. І. Когутяк. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ Факел, 2008. - 212 с. (Електронний ресурс, режим доступу: <http://194.44.112.13/chytalna/1367/index.html>)
- 10.Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості.- К.: Аграрна освіта, 2001.- 224 с.
- 11.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.
- 12.Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
- 13.Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. посіб./ За ред. проф. І.Ф. Малежика. - К.: НУХТ, 2012.
- 14.Стенцель Й.І., Поркуян О.В. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв.- Луганськ, Вид-во Східноукр. Нац. ун-ту, 2010.- 302 с.
- 15.Теорія автоматичного керування. Нелінійні та дискретні системи : навчальний посібник / укладачі : О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 98 с.

16. Теорія автоматичного керування : Частина I : Курс лекцій / Уклад. М.Г. Попович, Б.І. Приймак. – К.: НТУУ "КПІ", 2010. – 182 с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/770>.
17. Теорія автоматичного керування : Частина II : Курс лекцій / Уклад. М.Г. Попович, Б.І. Приймак. – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 165 с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2209>.
18. Технічні засоби автоматизації (Частина 2) / М.В. Лукінюк, В.П. Лисенко, В.Є. Лукін, А.М. Гладкий, С.А. Шворов, А.А. Руденський, А.А. Заверткін.– Ніжин.: Видавець ПП Лисенко М.М., 2018.-455 с.
19. Ткачов В.В., Стаднік М.І., Шевченко В.І., Козарь М.В., Карпеко О.В. Технічні засоби автоматизації: Навчальний посібник. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. – 142 с.
20. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л. Харчові технології у прикладах і задачах. Підручник.- К.: Центр учбової літератури, 2008. \_576 с.
21. Control System Toolbox. User's Guide, The MathWorks, Release 2009b, 2009
22. Phillips C., Harbor R. Feedback control systems, Prentice-Hall, 2010, 658 p.