

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **“Автоматизація технологічного процесу випарювання
квасового сусла”**

Виконав: студент гр. Акт-22сп
Спеціальності 151 – „Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології”
(шифр і назва)

Нагірний Юліан Юрійович
(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-2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Нагірний Юліан Юрійович

1. Тема роботи: «Автоматизація технологічного процесу випарювання квасового сусла»

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

Затверджені наказом по університету від 30 грудня 2022 року № 453/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 15.06.2023 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта випарювання квасового сусла; 2. Функціональні ознаки технологічного процесу випарювання квасового сусла; 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування

2. Синтез автоматизованої системи керування технологічним процесом.

3. Оптимальне керування технологічним процесом

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи

автоматизації

Висновки.

Список використаних джерел.

Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу : _____
 Тема, автор, керівник роботи. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами випарного апарата. Стабілізуюча ФСА випарного апарата. ФСА випарного апарата з врахуванням зміни концентрації початкового розчину. Перехідний процес САР рівня у випарному апараті.

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 управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання 30 грудня 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>	30.12.22-01.01.23	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	01.01.23-01.02.23	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	01.02.23-01.03.23	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці</i>	01.02.23-01.03.23	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	01.03.23-01.04.23	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	01.04.23-01.05.23	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	01.05.23-16.06.23	

Студент _____ Нагірний Ю.Ю.
 (підпис)

Керівник роботи _____ Лиса О.В.
 (підпис)

УДК 631.365.2

Автоматизація технологічного процесу випарювання квасового сусла. Нагірний Ю.Ю. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Дубляни, ЛНУП, 2023.

76 с. текст. част., 14 рис., 6 табл., 15 літ. джерел, 2 додатки.

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

У вступі висвітлено суть процесу випарювання квасового сусла.

В першому розділі подано опис технологічного процесу, описано матеріальний та тепловий баланс процесу, наведені теоретичні основи технологічного процесу випарювання квасового сусла, складено структурну схему взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта.

В другому розділі виконано порівняльний аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу, виконано технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації та технічних засобів автоматизації, подано специфікацію засобів автоматизації..

У третьому розділі виконано розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання: вибрано структуру моделі, розраховано параметри моделі, розраховано параметрів настроювання автоматичного регулятора.

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

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

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: функціональна схема автоматизації, технічні засоби, контролер, закон регулювання, моделювання, Matlab.

АНОТАЦІЯ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі вирішено питання автоматизації технологічного процесу випарювання квасового сусла. Проведено опис технологічного процесу випарювання квасового сусла, порівняльний аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу. Розроблено оптимальну функціональну схему автоматизації технологічного процесу випарювання квасового сусла та відповідні засоби автоматизації. За математичною моделлю об'єкта регулювання визначено закон регулювання, розраховано оптимальні настроювальні параметри регулятора, розраховано і побудовано перехідний процес випарювання квасового сусла. В роботі розроблено заходи з охорони праці, розрахована економічна ефективність спроектованої системи автоматизації.

Ключові слова: функціональна схема автоматизації, технічні засоби, контролер, закон регулювання, моделювання, Matlab.

THE SUMMARY

In the bachelor's qualification work, the issue of automation of the technological process of evaporation of kvass wort is solved. A description of the technological process of evaporation of kvass wort was carried out, a comparative analysis of existing schemes of automation of the technological process was carried out. According to the mathematical model of the regulation object, the law of regulation is determined, the optimal adjustment parameters of the regulator are calculated, and the transient process of evaporation of kvass wort is calculated and constructed. In the work, labor protection measures were developed, the economic efficiency of the designed automation system was calculated.

Keywords: functional scheme of automation, technical means, controller, regulation law, modeling, Matlab.

ЗМІСТ

Вступ		8
1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування		10
1.1. Опис технологічного процесу випарювання квасового сусла		10
1.2. Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах та машинах		12
1.3. Матеріальний та тепловий баланси випарного апарату		14
1.4. Обґрунтування технологічних параметрів з точки зору завдання на автоматизацію		16
1.5. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень		19
1.6. Технологічна карта випарювання квасного сусла		19
1.7. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта		20
2. Синтез автоматизованої системи керування технологічним процесом		22
2.1. Аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкту		22
2.2. Визначення об'єму автоматизації технологічного процесу та функціональних ознак автоматизації		23
2.3. Порівняльний аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу.		24
2.4. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта		30
2.5. Вибір технічних засобів автоматизації		31
2.6. Вибір мікропроцесорного засобу автоматизації		35
2.7. Специфікація на засоби автоматизації		42
2.8. Опис загальної ФСА		44
2.9. Програмне забезпечення системи керування		47
3. Оптимальне керування технологічним процесом		51

3.1. Складання математичної моделі об'єкта регулювання і розрахунок її параметрів	51
3.2. Вибір і обґрунтування вимог до перехідного процесу контуру регулювання	52
3.3. Визначення закону регулювання	54
3.4. Розрахунок оптимальних настроювальних параметрів регулятора	55
3.5. Розрахунок і побудова перехідного процесу	57
4. Охорона праці	59
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці	59
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці	60
4.3. Пожежна безпека	66
5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації	67
Висновки	75
Список використаних джерел	77
Додатки	78

ВСТУП

Актуальність теми. Квасове сушло - це продукт, що отримується шляхом затирання з водою житнього і ячмінного солоду, житньої або кукурудзяної муки, або свіжопророслого житнього солоду і житньої муки із застосуванням ферментних препаратів. Він призначається для приготування хлібних квасів і напоїв з хлібної сировини, а також для приготування концентратів квасу.

У даній бакалаврській роботі випарюванню буде підлягати розчин квасового сушла. Цей розчин необхідно випарювати, оскільки одержання висококонцентрованого розчину квасового сушла полегшує і здешевлює його транспортування і зберігання.

Перетворення частини розчинника в пару є фізичною суттю процесу випаровування. Важливо розрізняти випарювання та випаровування — випарювання на відміну від випаровування відбувається з усієї маси рідини за температури, що відповідає точці кипіння за певного тиску.

Для здійснення процесу випарювання необхідно передати тепло від теплоносія до киплячого розчину. Тільки різниця температур теплоносія робить це можливим. Витрата теплоти на випарювання залежить від прихованої теплоти пароутворення розчинника.

За типом поверхні нагріву, розташуванням у просторі, типом теплоносія, а також те, чи рухається теплоносій зовні чи всередині труб нагрівальної камери, різні типи випарників, що використовуються в промисловості, можна класифікувати. Однак найбільш суттєвим показником класифікації випарних апаратів, що характеризує інтенсивність їх дії, є спосіб та кратність циркуляції розчину.

Розрізняють випарні апарати з вільною, направленою, природною та штучною циркуляцією. Випарні апарати поділяють також на апарати прямоточні, в яких випарювання розчину відбувається за один його прохід через апарат без циркуляції розчину і апарати, що працюють з багатократною циркуляцією розчину.

Для економії первинних енергетичних ресурсів використовується схема випарювання з багаторазовим використанням пари. Така схема складається з декількох випарних апаратів через які послідовно пропускається розчинник, що випарюється, а кінцевий продукт виходить з останнього корпусу. Тільки для обігріву першого випарного апарату використовується первинна пара, всі інші корпуси випарної установки обігріваються вторинною парою з попередніх корпусів.

Мета роботи - розроблення нової системи керування технологічним процесом випарювання квасового сусла.

Предмет дослідження - автоматизація процесу випарювання квасового сусла.

Об'єктом дослідження є технологічний процес випарювання квасового сусла.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

1.1. Опис технологічного процесу випарювання квасового сусла

Відповідно до молекулярно-кінетичної теорії при випаровуванні і випарюванні відбувається видалення частини молекул речовини, що перебуває у тепловому русі з об'єму, який займає рідина. Молекули, що видаляються з рідини, заповнюють паровий простір і утворюють насичену пару цієї рідини. Частина цих молекул знову повертається в рідину, а частина випаровується, що призводить до стану динамічної рівноваги з певним тиском і температурою.

Ця рівновага порушується коливаннями температури, що викликає відповідні зміни густини і тиску пари. Під час кипіння рідини пара виділяється не лише з поверхні, а і з парових бульбашок, що утворюються в самій рідині і цей процес стає основним, бо утворені бульбашки є центрами пароутворення.

Парові бульбашки зароджуються на стінках шорсткої теплообмінної поверхні. Їх утворенню сприяють гази, які є в рідині. При прогріванні рідини починають виділятися гази, утворюючи велику кількість бульбашок, в які і випаровується рідина.

Передумовою для утворення парових бульбашок є рівність тиску пари всередині бульбашки і зовнішнього тиску рідини, яка її оточує. При цьому процес пароутворення відбувається настільки інтенсивно, що незважаючи на надходження ззовні великої кількості тепла, температура рідини не підвищується. Для перегрітих рідин тиск всередині бульбашки P_1 визначається зовнішнім тиском P_0 і додатковим тиском, зумовленим діями капілярних сил на межі “пара-рідина” :

$$P_1 = P_0 + 2\sigma/r, \quad (1.1)$$

де σ - поверхневий натяг; r – радіус бульбашки.

Теплоносій повинен мати більш високу температуру, щоб досягти теплопередачі від нього до розчину. Різниця цих температур є рушійною силою випарювання.

Витрата теплоносія на випарювання залежить від прихованої теплоти пароутворення перетвореного в пару розчину. Випарювання розчинів відрізняється від кипіння однокомпонентної рідини, наприклад води, тим, що вони киплять при вищій температурі, ніж розчинник при тому самому тиску.

Величина перевищення температури кипіння розчину в порівнянні з температурою чистого розчинника при тому самому тиску, називають температурною депресією $\theta(v)$.

Температурна депресія залежить від концентрації розчину, від тиску кипіння і природи розчиненої речовини.

На температуру кипіння впливає висота шару киплячої рідини. Якщо рідина кипить всередині вертикальної трубки, то температура кипіння на поверхні буде нижчою, ніж внизу трубки, де до зовнішнього тиску приєднується ще і гідростатичний тиск ΔP_L стовпчика рідини, який обчислюють за формулою:

$$\Delta P = \frac{L \cdot \gamma}{2}, \quad (1.2)$$

де L – висота стовпчика рідини ;

γ - питома вага рідини в стані кипіння.

Знаючи ΔP_L можна знайти підвищення температури за рахунок гідростатичного тиску (v_L). На підвищення температури впливає також гідравлічний опір ліній, який долає вторинна пара при її русі по трубопроводі (v_R).

Враховуючи температурну депресію

$$\theta_T = v_C + v_L + v_R \quad (1.3)$$

і температуру вторинної пари $\theta_{ВП}$ можна визначити температуру кипіння розчину

θ_p :

$$\theta_p = \theta_{ВП} + v_C + v_L + v_R = \theta_{ВП} + \theta_T \quad (1.4)$$

Основною складовою температурної депресії θ_T є температурна депресія, що залежить від концентрації розчину (v_C). Необхідно відзначити, що на температурну депресію v_C впливає і тиск.

1.2. Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах та машинах

Випарюванням називають концентрування розчинів (практично нелегких речовин) шляхом випарювання леткого розчинника.

Випарюванню підлягають водні розчини твердих речовин (водні розчини лугів, солей, тощо), а також високо киплячі рідини, які при температурі випарювання мають незначний парціальний тиск (деякі мінеральні та органічні кислоти). Одержання висококонцентрованих розчинів практично сухих і кристалізованих продуктів полегшує і здешевлює їх транспортування і зберігання.

Тепло для випарювання можуть забезпечувати будь-які теплоносії, але в більшості випадків використовують водяну пару, яку називають гріючою або первинною. Пара, яка утворюється в результаті кипіння розчину, називають вторинною або соковою.

Випарювання може відбуватися в умовах вакууму, надлишкового або атмосферного тиску. Вибір тиску пов'язаний з властивостями випарюваного розчину і можливостями використання вторинного тепла. При випарюванні під вакуумом стає можливим проводити процес при більш низьких температурах, що важливо у випадках концентрування розчинів речовин, здатних розкладатись при підвищених температурах. Крім того, при розрідженні підвищується корисна різниця температур між гріючим агентом і розчином, що дозволяє зменшити поверхню нагріву випарного апарата (ВА) і значно зменшити витрату гріючої пари.

В промисловості застосовують в основному ВА неперервної дії, але при випарюванні розчинів до високих концентрацій використовують ВА періодичної дії. Сучасні ВА мають дуже велику поверхню нагріву (до 2000 м²) і є великими споживачами теплової енергії. Конструктивне оформлення ВА може бути різноманітним. В залежності і характеру руху киплячої рідини в ВА розрізняють:

- ВА з вільною циркуляцією;
- ВА з природною циркуляцією;
- ВА з примусовою циркуляцією;
- плівкові ВА.

Найбільш поширеними є ВА з природною циркуляцією і внутрішнім нагрівачем. В кожухотрубний простір ВА подається гарячий телоносій. Початковий розчин з концентрацією $C_{п}$ поступає у ВА, де частина розчинника випровується за рахунок подачі гріючої пари до кип'ятильника і концентрований розчин відводиться знизу ВА (рис.1.1)

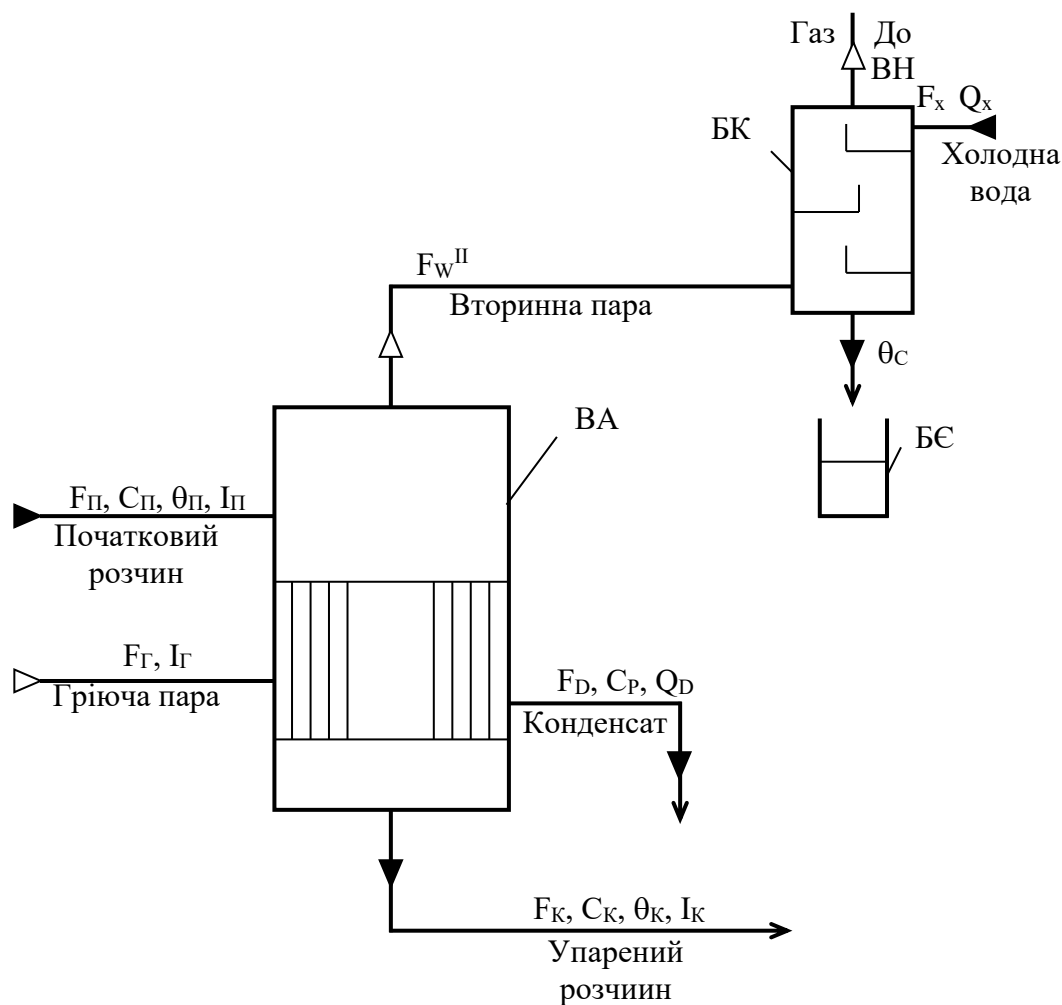


Рис.1.1. Випарний апарат з внутрішнім теплообміном з природною циркуляцією розчину: БК – барометричний конденсатор; БЄ – барометрична ємність; ВН – вакуумний насос; ВА – випарний апарат

Відсепарована вторинна пара може подаватися на технологічні потреби або в барометричний конденсатор БК, де змішується з холодною водою і у вигляді суміші поступає в барометричну ємність БЄ. Несконденсовані (дикі) гази відводяться зверху барометричного конденсатора вакуумним насосом ВН і викидаються в атмосферу. Гр'юча пара подається в кип'ятильник, віддає своє тепло з-

овнішнім стінкам трубок і у вигляді конденсату відводиться в конденсаційний збірник через конденсаційний горщик.

1.3. Матеріальний та тепловий баланси випарного апарату

Матеріальний баланс:

Позначимо початкову витрату розчину через F_n (кг/с), витрату концентрованого розчину через F_k , їх концентрації – відповідно C_n і C_k (у вагових долях), а витрату випареної води - F_w .

Запишемо рівняння матеріального балансу :

- по матеріальних потоках

$$F_n = F_k + F_w \quad (1.4)$$

- по розчиненій компоненті

$$F_n C_n = F_k C_k \quad (1.5)$$

Для визначення всіх величин необхідно, щоб три з них були відомі. Як правило, відомі F_n, C_n і C_k . Тоді можна визначити F_k і F_w :

$$F_k = \frac{C_n}{C_k} F_n \quad \text{і} \quad (1.6)$$

$$F_w = F_n - F_k = F_n \left(1 - \frac{C_n}{C_k} \right) . \quad (1.7)$$

Залежність (1.7) дає можливість визначити кількість випареної води (розчинника).

Тепловий баланс ВА :

Тепловий баланс складаємо для визначення надходження і витрати тепла.

Надходження тепла :

- з гріючою парою

$$Q_r = F_r \cdot I_r,$$

де F_r - витрата гріючої пари ; I_r - ентальпія гріючої пари ;

- з рідким розчинником

$$Q_n = F_n \cdot I_n,$$

де I_n - ентальпія початкового розчину.

Витрата тепла :

- з вторинною парою : $Q_w = F_w \cdot I_w$;
- з концентрованим розчином : $Q_k = F_k \cdot I_k$;
- з конденсатом : $Q_d = F_d \cdot I_d = F_d \cdot C_{pd} \cdot \theta_d$;
- теплота концентрування Q_R ;
- втрати в навколишнє середовище Q_B ,

де C_{pd}, θ_d - відповідно питома теплоємність при постійному тиску і різниця температур конденсату.

Тоді рівняння теплового балансу перепишемо :

$$Q_r + Q_n = Q_w + Q_k + Q_d + Q_R + Q_B \quad (1.8)$$

$$\text{або } F_r \cdot I_r + F_n \cdot I_n = F_w \cdot I_w + F_k \cdot I_k + F_d \cdot C_{pd} \cdot \theta_d + Q_R + Q_B \quad (1.9)$$

Розглядаючи початковий розчин як суміш концентрованого розчину і випарюваної вологи можна записати рівняння теплового балансу суміші при температурі кипіння θ_{pk} розчину в апараті :

$$F_n \cdot C_{pn} \cdot \theta_{pk} = F_k \cdot C_{pk} \cdot \theta_{pk} + F_w \cdot C_{pw} \cdot \theta_{pk} \quad (1.10)$$

$$F_n C_{pk} = F_k C_{pk} + F_w C_{pw} \cdot \quad (1.11)$$

Враховуючи (4.3.7) і (4.3.8) можна записати :

$$F_n \cdot C_{pn} \cdot \theta_n + F_r I_r = F_w I_w + F_n C_{pn} \theta_{pk} - F_w C_{pw} \theta_{pk} + F_d C_{pd} \theta_d + Q_R + Q_B \cdot \quad (1.12)$$

Визначимо кількість тепла, яке подається за одиницю часу з теплоносієм (гріючою парою) або теплове навантаження θ випарного апарата :

$$Q = F_r (I_r - C_{pd} \theta_d) = F_r C_{pn} (\theta_{pk} - \theta_n) + Q_R + Q_B \cdot \quad (1.13)$$

Кількість гріючої пари

$$F_r = \frac{F_n C_{pn} (\theta_{pk} - \theta_n) + F_w C_{pw} \theta_{pk} + Q_p + Q_B}{I_r - C_{pd} \theta_d} \cdot \quad (1.14)$$

1.4. Обґрунтування технологічних параметрів з точки зору завдання на автоматизацію

Об'єм води, що випарюється з розчину за одиницю часу, є показником продуктивності ВА. Для однокорпусного ВА розрахунки показують, що кількість (в кг) витраченої гріючої пари приблизно дорівнює кількості (в кг) випареної води з розчину. Тобто, в однокорпусному ВА на випарювання 1 кг води треба затратити приблизно 1 кг гріючої пари. З врахуванням втрат на 1 кг води необхідно затратити 1,1...1,2 кг пари.

Поверхня нагріву визначається на основі рівняння теплопередачі :

$$S = \frac{Q}{K_Q \cdot \Delta\theta_k}, \quad (1.15)$$

де S –кількість тепла ; K_Q - коефіцієнт теплопередачі ; $\Delta\theta_k = \theta_d - \theta_k$ - рушійна сила процесу (корисна різниця температур), яка визначає щільність теплового потоку ; θ_d - температура конденсації пари в граючій камері ; θ_k - температура кипіння розчину.

В сучасних потужних ВА поверхня нагріву може становити до 2000 m^2 і більше, такі ВА є надзвичайно енергоємними. З рівняння (1.15) слідує, що інтенсивність процесу випарювання визначається числовими значеннями коефіцієнта теплопередачі і корисної різниці температур. Чим більшими є значення коефіцієнта теплопередачі і корисної різниці температур, тим інтенсивніше протікає процес випарювання.

Коефіцієнт теплопередачі для ВА визначається залежністю

$$K_Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1.16)$$

де α_1 - коефіцієнт тепловіддачі від гріючої пари до стінки трубки нагрівальної камери ; $\frac{\delta_1}{\lambda_1}$ - термічний опір стінки труби нагрівальної камери ; $\frac{\delta_2}{\lambda_2}$ - термічний опір шару накипу на стінці труби ; α_2 - коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби нагрівальної камери (поверхні накипу) до випарюваного розчину.

Процеси теплопередачі у випарних апаратах визначаються гідромеханічними процесами, а коефіцієнт тепловіддачі α_2 прямо залежить від швидкості циркуляції випарюваного розчину. Як уже вказувалося, найбільш розповсюдженими є ВА з природною циркуляцією і внутрішнім нагрівачем. Природна циркуляція є дуже складним процесом і швидкість її залежить від наступних факторів:

- корисна різниця температур ;
- висота рівня розчину над трубками і в трубках нагрівальної камери ;
- швидкість пари в трубках нагрівальної камери ;
- тиск в паровому просторі ВА ;
- концентрація розчину ;
- діаметр і довжина трубок нагрівальної камери ;
- розташування труб.

Рушійна сила процесу (корисна різниця температур) впливає на циркуляцію і при її зростанні швидкість циркуляції також зростає. Швидкість вторинної пари (пароводяної суміші) в трубках залежить від фізичних властивостей розчину і фізичних властивостей ВА. Значення тиску в паровому просторі ВА по-різному впливає на роботу нагрівальної камери. Підвищення тиску призводить до зменшення в'язкості розчину, що є корисним, а , з іншої сторони, зниження тиску призводить до підвищення рушійної сили процесу.

Залежність швидкості циркуляції від оптимального значення рівня показана на рис.1.2. Наявність опорів і ємностей створюють деяке запізнення. Висота рівня впливає також і на значення коефіцієнта тепловіддачі α_2 . Зміна значень α_2 в залежності від рівня в трубці показано на рис 1.3.

Щільність теплового потоку $\Delta\theta_{кор}$ залежить від таких факторів:

- V_d - теплова ємність пари в нагрівальній камері ;
- R_{ui} - тепловий опір пограничного шару на зовнішній стінці ;
- R_c - тепловий опір стінки ;
- V_{cm} - теплова ємність теплопередаючих поверхонь ;

R_{λ_2} - тепловий опір накипу ;

R_{3c} - тепловий опір шару розчину на зовнішній стінці трубки нагрівальної камери ;

V_p - теплова ємність, зумовлена об'ємом рідини в трубці нагрівальної камери.

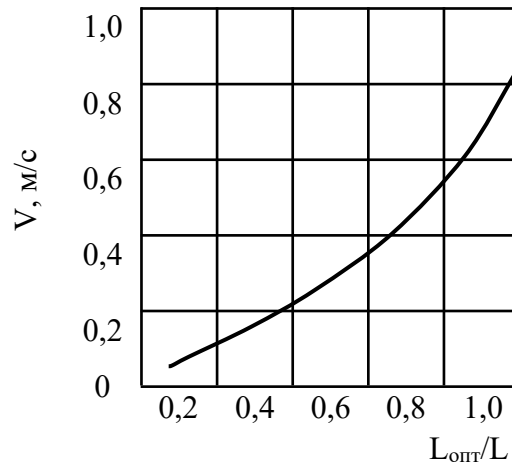


Рис.1.2. Залежність швидкості циркуляції від оптимального рівня розчину

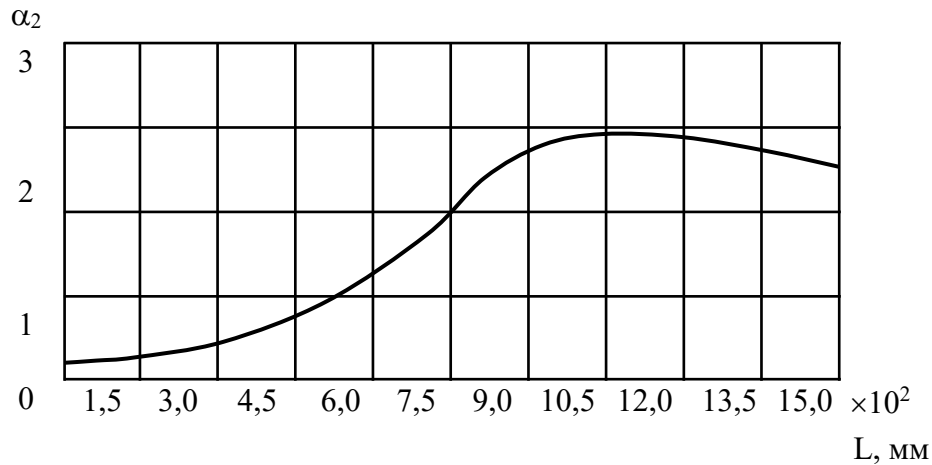


Рис. 1.3. Зміна α_2 в залежності від рівня L в трубці.

На інтенсивність роботи кип'ятильника впливає також попадання повітря в паровий простір. Наявність повітря погіршує процес теплообміну.

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

У даній бакалаврській роботі я вибираю для аналізу технологічний процес випарювання квасового сусла.

Концентратом квасного сусла є продукт, що отримується шляхом затирання з водою житнього і ячмінного солоду, житньої або кукурудзяної муки, або свіжопрослого житнього солоду і житньої муки із застосуванням ферментних препаратів з подальшим зцукренням, освітленням, згущуванням отриманого сусла у вакуум-апараті і тепловою обробкою продукту. Він призначається для приготування хлібних квасів і напоїв з хлібної сировини, а також для приготування концентратів квасу.

1.6. Технологічна карта випарювання квасного сусла

Номінальні значення параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень наведені в технологічній карті (табл. 1.1)

Таблиця 1.1.

Технологічна карта випарювання квасового сусла

№ п/п	Назва параметру	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустимі відхилення
1	Витрата початкового квасового сусла	<i>m / год</i>	8,5	±0,01
2	Витрата гріючої пари	<i>m / год</i>	3	±0,01
3	Витрата випареного квасового сусла	<i>m / год</i>	1,35	±0,01
4	Витрата вторинної (сокової) пари	<i>m / год</i>	2,7	±0,01
5	Витрата охолоджуючої води	<i>м³ / год</i>	5,5	±10
6	Концентрація початкового квасового сусла	%	15	±0,5
7	Концентрація випареного квасового сусла	%	70	±2
8	Тиск у випарному апараті	<i>кПа</i>	5	±0,1
9	Рівень у випарному апараті	<i>м</i>	1,5	±0,15

1.7. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта

Структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта показана на рис. 1.4.

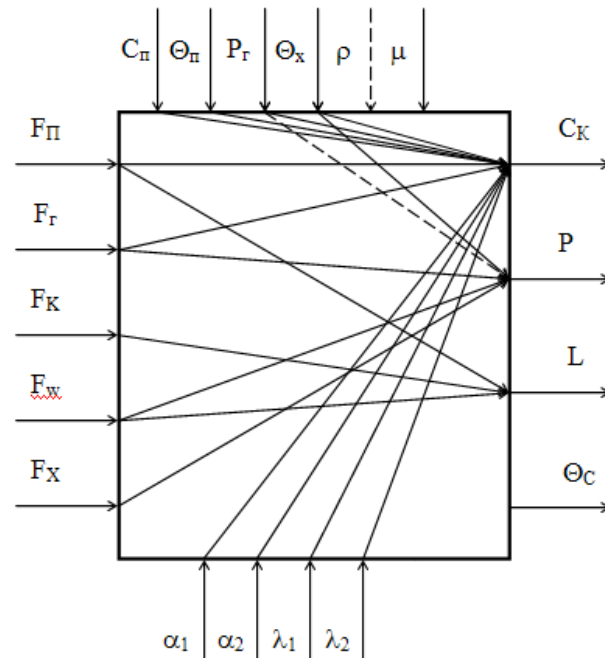


Рис. 1.4. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами випарного апарата

Позначення на рис. 1.4. наступні:

F_n, F_z, F_k, F_w, F_x - витрати початкового розчину, гріючої пари, концентрованого розчину, вторинної (сокової пари) і охолодженої води в барометричному конденсаторі ;

C_n - концентрація початкового розчину ;

P_z - тиск гріючої пари ;

θ_x - температура охолодженої води ;

θ_n - температура початкового розчину ;

μ - в'язкість початкового розчину ;

ρ - густина розчину у ВА ;

α_1 - коефіцієнт тепловіддачі від гріючої пари до стінки трубки нагрівальної камери ;

α_2 - коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби нагрівальної камери (поверхні накипу) до випарюваного розчину;

λ_1, λ_2 - відповідно коефіцієнти теплопровідності стінки труби і шару накипу;

C_k - концентрація розчину;

P - тиск (вакуум) у ВА ;

L - рівень розчину у ВА ; θ_c - температура суміші.

2. СИНТЕЗ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

2.1. Аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкту

Основними вихідними параметрами є концентрація розчину C_k , рівень L у ВА і тиск (вакуум) P . Вхідними координатами можна вважати витрати: F_n, F_c, F_k, F_w, F_x і температури θ_n і θ_x (збурюючі фактори) та початкову концентрацію C_n .

Розглянемо вплив окремих параметрів на роботу ВА. Продуктивність ВА визначається його здатністю конденсувати гріючу пару F_c , бо чим більше буде сконденсовано гріючої пари, тим більше буде випаровано розчинника F_c . Якщо як розчинник виступає вода, то ця залежність адекватна. Вище було показано які фактори впливають на інтенсивність теплообміну.

Коли ми хочемо мати максимальну продуктивність ВА, то витрату пари F_c не потрібно обмежувати. Відносно витрати пари можна вести завантаження ВА. При роботі під вакуумом знижується температура кипіння випарюваного розчину, збільшується корисна різниця температур і відповідно збільшується інтенсивність випарювання. Тому необхідно в барометричному конденсаторі підтримувати максимально допустимий в даних умовах вакуум.

Збільшення тиску гріючої пари збільшує продуктивність ВА. Необхідне значення вакууму визначається витратою води F_x на барометричний конденсатор

$$: \quad F_x = \frac{F_w(I_w - C_{pw}\theta_c)}{C_{pw}(\theta_c - \theta_x)}, \quad (2.1)$$

де θ_c - температура розчинника, θ_x - температура холодної води.

Зміна витрат F_n, F_k, F_w впливає на робочий об'єм сепараційного простору ВА. Тому зміна значення рівня L буде впливати на швидкість зміни тиску в ВА. З рівняння (2.1) витрата вторинної пари F_w в барометричний конденсатор залежить від ентальпії I_w , витрати води F_x і її початкової температури θ_x .

Коли $\theta_x = const$, то створюваний вакуум в ВА визначається тільки витратою води F_x . Тому при регулюванні тиску необхідно враховувати витрату сокової пари F_w і витрату холодної води F_x . Значення рівня L впливає на гідромеханічні процеси, що визначаються концентрацією випаруваного розчину C_k . Тому це значення в кожному конкретному випадку роботи ВА повинно бути оптимізовано.

Концентрація початкового розчину C_{II} є одним з найбільших збурюючих факторів. Тому синтезовані функціональні схеми автоматизації (ФСА) повинні враховувати характер зміни і значення C_{II} . Величина C_{II} визначає кількість випаруваної води з розчину, тому технологічний процес попередньої стадії має бути організований так, щоб C_{II} мало максимально можливе значення. Швидка зміна C_{II} буде негативно впливати на роботу ВА, оскільки при цьому буде систематично порушуватися матеріальний і тепловий баланси ВА. Температура свіжого розчину θ_{II} також впливає на продуктивність ВА, тому її необхідно застабілізувати і підтримувати рівною температурі кипіння розчину.

Зміна витрати концентрованого (упареного) розчину F_k призводить до зміни часу перебування розчину в ВА. Тому F_k безпосередньо впливає на концентрацію вихідного продукту C_k і значення F_k бажано підтримувати у відповідності з витратою F_{II} і концентрацією C_{II} свіжого розчину.

2.2. Визначення об'єму автоматизації технологічного процесу та функціональних ознак автоматизації

Виходячи із схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта і функціональної схеми автоматизації вимірювати будемо такі координати: витрату гріючої пари, витрату холодної води, витрату початкового квасного сусла, тиск у випарному апараті, рівень у випарному апараті, концентрацію упареного квасного сусла, концентрацію початкового квасного сусла.

Регулювати будемо: рівень у випарному апараті, співвідношення витрат початкового квасного сусла і гріючої пари з корекцією по концентрації упареного

квасного сусла, співвідношення витрат початкового квасного сусла і холодної води з корекцією по тиску у випарному апараті.

Сигналізувати будемо: нижню межу витрати початкового квасного сусла, нижню та верхню межу рівня у випарному апараті, верхню межу тиску у випарному апараті.

Таблиця 2.1.

Функціональні ознаки автоматизації

№ п/п	Обсяг автоматизації	Показ	Реєстрація	Підсумовування	Усереднення	Визначення відхилення	Розрахунок ТЕП	Оптимізація	Сигналізація	Дистанційне керування	Захист	Блокування	Автоматичне регулювання
	Назва параметру												
1	Витрата початкового квасного сусла	+							+	+			+
2	Витрата гріючої пари	+								+			+
3	Концентрація упареного квасного сусла	+								+			+
4	Рівень у випарному апараті	+							+	+			+
5	Тиск у випарному апараті	+							+	+			+

2.3. Порівняльний аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу.

Організація роботи ВА визначається її технологічним режимом. ВА можуть працювати в двох режимах роботи :

- базовому, коли ВА працює з проміжною ємності, а витрата свіжого розчину є постійною ($F_n = const$);
- регулюючому, коли ВА працює в технологічному ланцюгу і переробляє матеріальний потік F_n довільного значення.

Оскільки основними збурюючими факторами є витрата F_n і концентрація C_n початкового (свіжого) розчину, то технологічний процес необхідно

організувати так, щоб ці параметри менше впливали на його роботу. Для забезпечення нормальної роботи ВА необхідно підтримувати певне значення концентрації C_K розчину. В сучасних системах автоматизації ВА найбільше розповсюдження знайшли такі способи регулювання концентрації C_K :

- зміною подачі гріючої пари F_2 ;
- зміною витрати концентрованого розчину F_K ;
- зміною подачі початкового розчину F_n ;
- регулювання співвідношення між витратою початкового розчину F_n і витратою гріючої пари F_2 з корекцією цієї витрати по концентрації C_K ;
- регулювання співвідношення між витратою початкового розчину F_n і його концентрацією C_n з корекцією по концентрації C_K ;
- регулювання співвідношення між подачею чистого розчинника в ВА і витратою гріючої пари F_2 з корекцією по концентрації C_K ;
- зміною тиску в ВА.

Застосування описаних підходів залежить від конкретних умов роботи ВА та можливостей апаратурної реалізації ФСА. В більшості випадків застосовують найпростіші схеми автоматизації.

Для ВА рівняння матеріального балансу по сухій речовині

$$m_B \frac{dC_B}{d\tau} = F_n C_n - F_k C_k - F_w, \quad (2.2)$$

де m_B, C_B - відповідно маса та концентрація розчину в ВА.

Рівень у ВА є індикатором матеріального розбалансу

$$S_B \frac{dL}{dt} = F_n - F_k - F_w. \quad (2.3)$$

Рівень L в великій мірі визначає ефективність роботи ВА, тому його значення повинно бути оптимальним. Регулювання значення рівня у ВА можна здійснювати наступним чином:

- зміною подачі початкового розчину F_n ;
- зміною витрати концентрованого розчину F_k ;

- зміною витрати грійучої пари F_2 ;
- регулюванням співвідношення між витратою початкового розчину F_n і витратою грійучої пари F_2 з корекцією по рівню L ;
- регулюванням співвідношення між витратою початкового розчину F_n та його концентрацією C_n з корекцією по рівню L ;
- зміною тиску у ВА.

На практиці найбільш часто застосовують перші три із вказаних способів з ПІ-регулятором рівня. Інші способи використовують тоді, коли витрати початкового розчину F_n і грійучої пари F_2 можуть швидко змінюватися. Використання комбінованого способу регулювання дає значно меншу динамічну похибку, а це в свою чергу покращує гідродинаміку ВА.

Значення тиску у ВА визначає його економічність роботи тому тиск у ВА повинен по можливості бути найменшим (із зменшенням тиску збільшується корисна різниця температур). Тиск у ВА визначається умовами теплового балансу, порушення якого призводить до зміни тиску :

$$\frac{dP}{d\tau} = f(F_2, F_x, F_w, F_n, \theta_n, \theta_x, C_p, C_k). \quad (2.4)$$

Основними факторами, що впливають на тиск у ВА є витрата грійучої пари F_2 та її параметри, а також інтенсивність роботи барометричного конденсатора, що визначається витратою F_x холодної води через нього.

Для регулювання тиску застосовують наступні способи :

- зміна подачі холодної води F_x в барометричний конденсатор ;
- зміна подачі грійучої пари F_2 ;
- зміна відбору вторинної (сокової) пари $F_w(F_s)$;
- регулювання співвідношення між подачею грійучої пари F_2 і витратою холодної води F_x з корекцією по тиску P ;
- регулювання співвідношення між витратою вторинної пари $F_w(F_s)$ і холодної води F_x з корекцією по тиску P ;

- регулювання співвідношення між витратою вторинної пари $F_w(F_s)$ і холодної води F_x з корекцією по температурі суміші θ_c ;
- регулювання співвідношення між витратою вторинної пари $F_w(F_s)$ і холодної води F_x з корекцією по різниці температур θ_w і θ_c (оптимальна різниця температур $\Delta = \theta_w - \theta_c \approx 3^\circ C$) ;

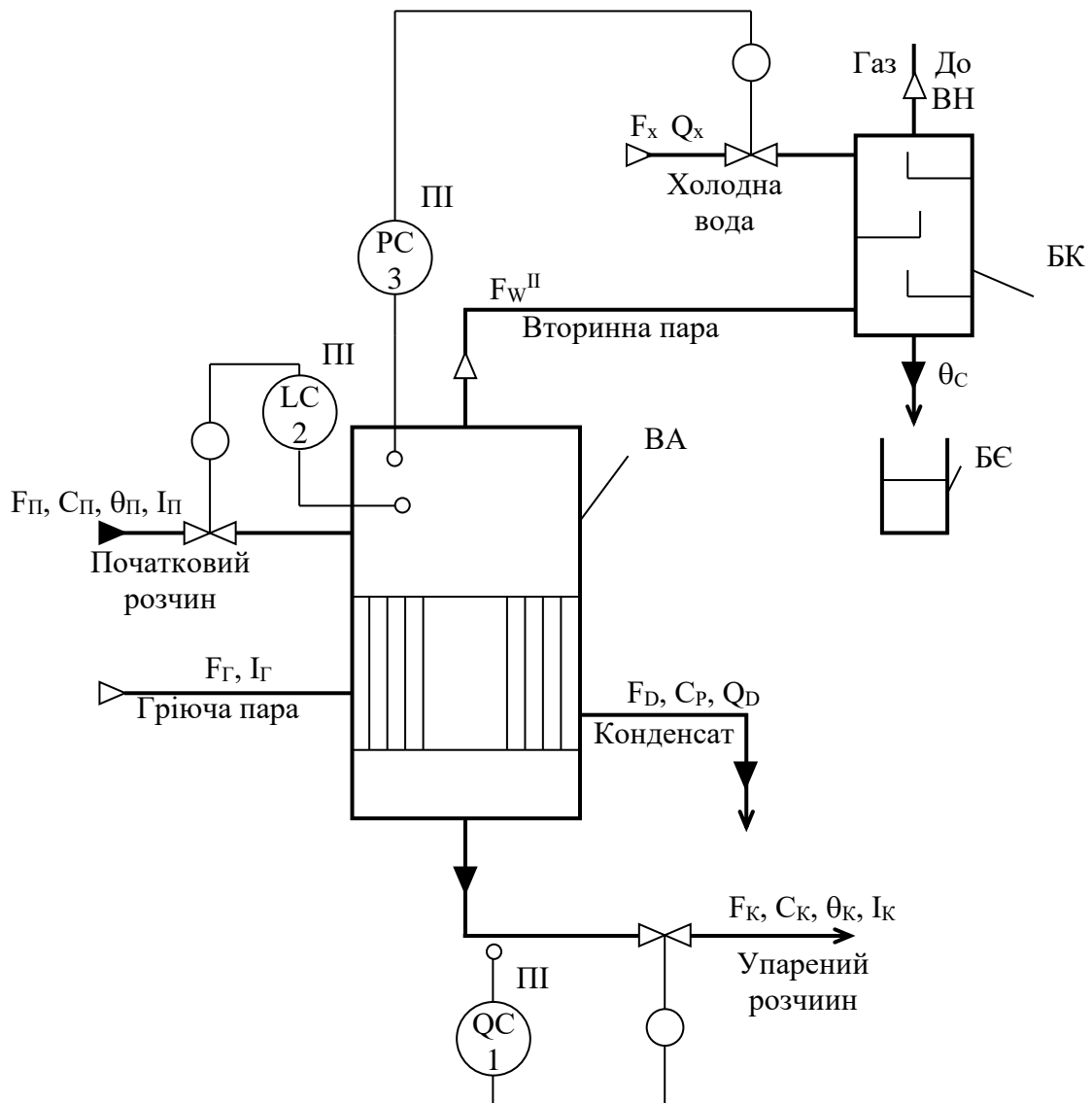


Рис. 2.1. ФСА випарного апарата максимальної продуктивності: 1 – регулятор концентрації упареного розчину; 2 – регулятор рівня; 3 – регулятор тиску

Залежно від особливостей протікання технологічного процесу випарювання можна застосувати одну із схем автоматизації, які наведено нижче.

На рис. 2.1 зображено ФСА випарного апарата максимальної продуктивності. Контуром 1 регулюється концентрація випареного розчину зміною його витрати,

контуром 2 – рівень розчину в ВА і контуром 3 – тиск в ВА змінною подачі холодної води в барометричний конденсатор.

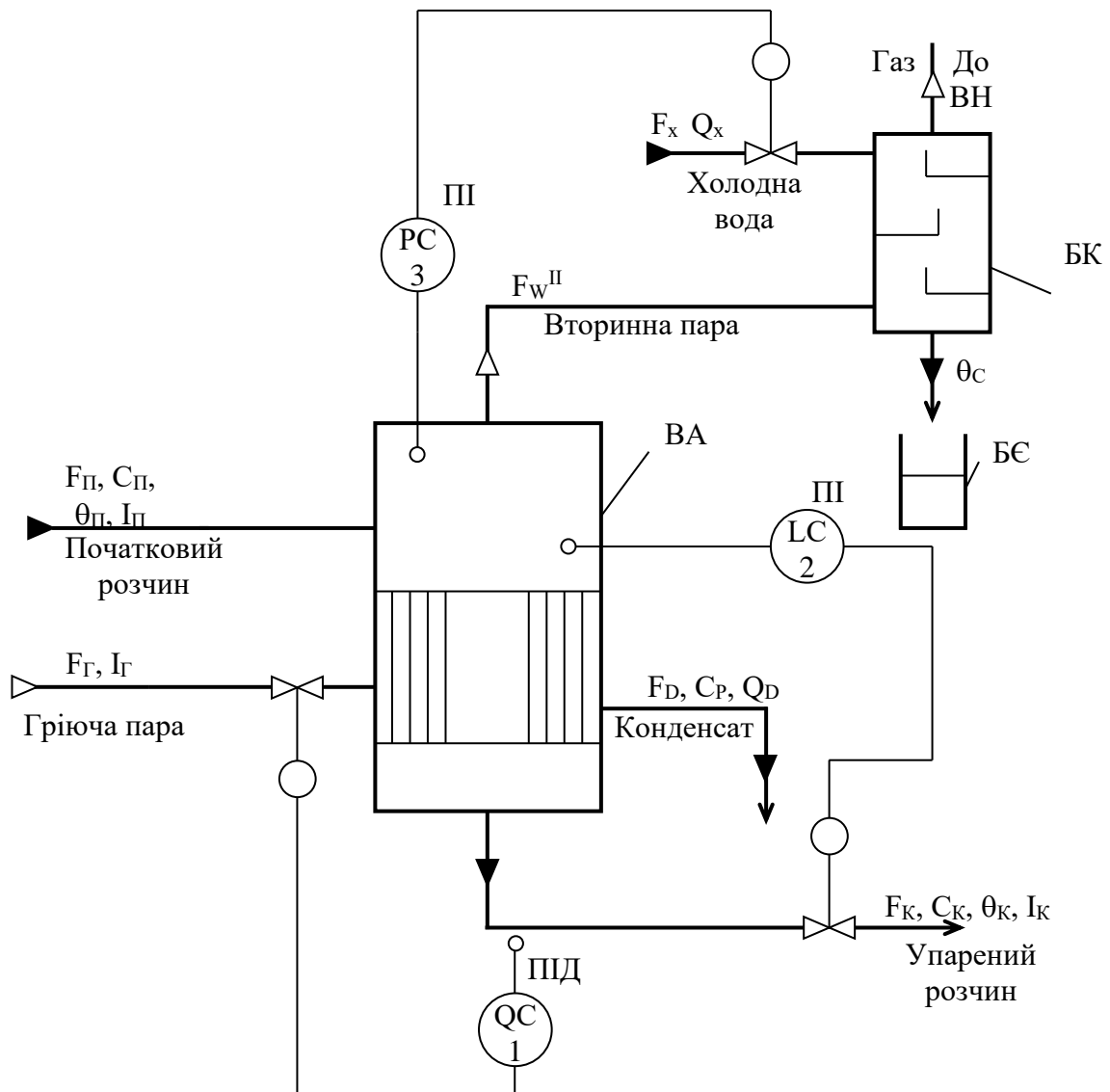


Рис. 2.2. ФСА випарного апарата з довільним завантаженням: 1 – регулятор концентрації упареного розчину; 2 – регулятор рівня; 3 – регулятор тиску

На рис. 2.2. зображено схему автоматизації випарного апарата, який може працювати всередині технологічного ланцюга і витрата свіжого розчину F_n змінюється довільно. Впливати на цю витрату ми не можемо, бо повинні випарити стільки розчину, скільки одержано з попередньої технологічної стадії.

Регулятор 1 (закон регулювання ПІ, ПІД) концентрації упареного розчину змінює витрату гріючої пари, а витрата упареного розчину змінюється регулятором 2 (ПІ) в залежності від рівня розчину в ВА. Регулятором 3 (закон

регулювання Π) регулюється тиск в ВА зміною витрати холодної води через барометричний конденсатор.

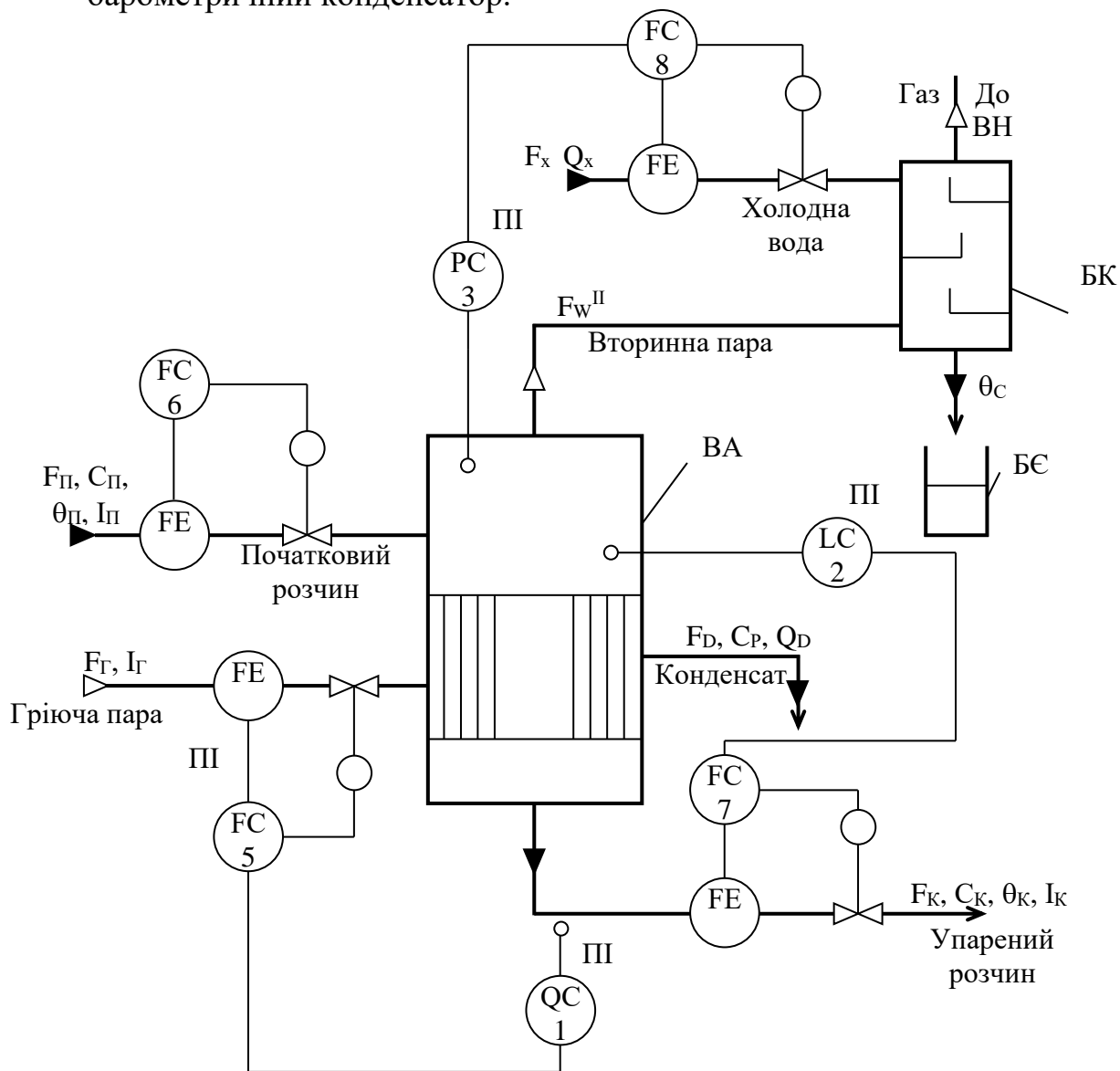


Рис. 2.3. Стабілізуюча ФСА випарного апарата: 1 – регулятор концентрації; 2 – регулятор рівня; 3 – регулятор тиску; 5 – регулятор витрати початкового розчину; 6 – регулятор витрати гріючої пари; 7 – регулятор витрати концентрованого розчину; 8 – регулятор витрати холодної води в барометричний конденсатор

Стабілізуюча ФСА ВА зображена на рис. 2.3. В даній ФСА основні матеріальні потоки застабілізовані. Це дає можливість зняти зовнішні збурення з матеріальних і енергетичних потоків. Така ФСА може бути базовою при роботі ВА в базовому режимі. Оскільки основні вхідні величини за стабілізовані, то практично динамічні похибки по регулюванню рівня, тиску і концентрації упареного розчину є мінімальними. В даній ФСА передбачені коректуючі

регулятори : основний регулятор 1 підкоректовує поточне значення концентрації упареного розчину до заданого значення зміною витрати гріючої пари, регулятор 2 змінює витрату упареного розчину при відхиленні значення рівня від заданого, а регулятор 3 коректує завдання регулятору витрати холодної води 4, якщо поточне значення вакууму не відповідає заданому.

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

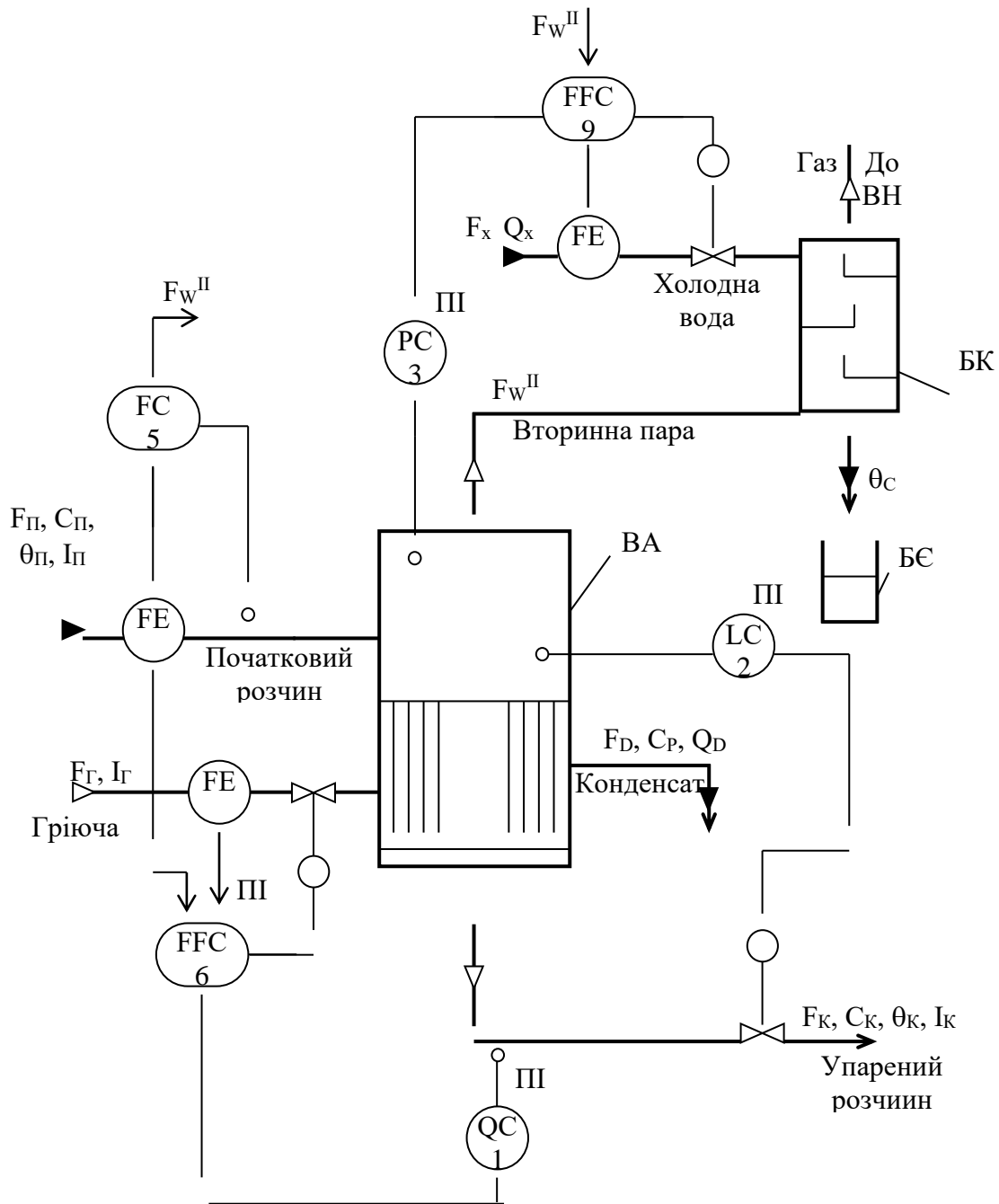


Рис. 2.4. ФСА випарного апарата з врахуванням зміни концентрації початкового розчину: 1 – регулятор концентрації; 2 – регулятор рівня; 3 – регулятор тиску; 5

– регулятор витрати початкового розчину; 6 – регулятор витрати гріючої пари; 9 – регулятор співвідношення витрати початкового розчину і холодної води

Для технологічного процесу випарювання квасного сусла вибираю ФСА випарного апарата, зображену на рис.2.4, оскільки концентрація початкового квасного сусла значно змінюється.

Розширена ФСА із застосуванням мікропроцесорного контролера зображена додатку.

2.5. Вибір технічних засобів автоматизації

Вимірювання масової витрати початкового квасового сусла та концентрації квасного сусла

Оскільки нам необхідно вимірювати масову витрату початкового квасного сусла (речовини з достатньо великою густиною та в'язкістю) та концентрацію квасного сусла, то я вибираю масовий витратомір SITRANS F C MASSFLO 6000/2100.



Рис. 2.5. Вигляд витратоміра SITRANS F C MASSFLO MASS 6000/2100

Принцип вимірювання MASSFLO заснований на виникненні фазового зсуву частоти коливань вимірювальної ділянки, в результаті дії сили Кориоліса, що дозволяє виробляти прямі вимірювання масової витрати, щільності, градусів Брикс, а також обчислювати об'ємну витрату рідин або газів. Масові витратоміри знайшли широке застосування в нафтохімічній та харчовій промисловості за рахунок найвищої точності вимірювань і можливості управління системами дозування. MASSFLO знайшли застосування в наступних галузях промисловості:

- харчова промисловість
- фармацевтика
- хімічна промисловість

- нафтопереробна промисловість

-Тип вимірюваної середовища - будь-яка рідина або газ з густиною до 2900 кг/м³ і витратою від 0.02 кг / год до 510 000 кг / год.

Перетворювач сигналів MASS 6000

Вимірювальні параметри: масова витрата, щільність, градуси Брикс, об'ємна витрата

Вихідний сигнал: 0 ... 20; 4 ... 20 мА.

Навантаження: <800 Ом

Постійн. часу : 0 - 30 с, регульована

Цифровий вихід :

Частота: 0-10 кГц. коефіцієнт заповнення 50%

Постійн. часу: 0 - 30 с, регульована

Активний +24 В, 30 мА, 1 кОм J R нагр J 10 кОм, захист від короткого замикання

Пасивний +3 - 30 В, макс. 110 мА, 1 кОм J R нагр J 10 кОм

Дисплей: Фонова підсвітка, алфавітно-цифровий текст, 3 x 20 символів для відображення номінальної витрати, сумарних значень, установок і несправностей.

Зворотний потік позначається від'ємною величиною

Напруга живлення: ~115/230 В, від +10 до-15%, 50-60 Гц

18-20 В пост. струму або ~20-30 В

Первинний перетворювач MASS 2100

Межа допустимої відносної похибки $\pm \gamma, \%$: 0.15

Межа допустимої абсолютної похибки кг/год : 1.5

Діапазон вимірювання масової витрати гріючої пари кг/год : 180 до 5600

Діапазон вимірювання масової витрати початкового квасного суслу кг/год : 1345 до 25000

Для вимірювання концентрації квасного суслу: 0 до 100 °В

Вимірювання рівня розчину в ВА

Для вимірювання рівня розчину в ВА вибираю радарний рівнемір Sitrans LR 200 з діапазоном вимірювання 0-4 м.



Рис. 2.6. Зовнішній вигляд радарного рівнеміра Sitrans LR 200

Особливості :

- Цілісна стрижнева поліпропіленова антена як стандарт
- Простий монтаж і введення в експлуатацію
- Програмування за допомогою іскробезпечного інфрачервоного ручного програматора або SIMATIC PDM
- Комунікація через HART ® або PROFIBUS PA
- Запатентована Sonic Intelligence ® для обробки сигналу
- Дуже висока стійкість
- Автоматична фільтрація заважає відбиття від жорстких вбудованих деталей
- Є різні фланці, рупорні і хвилеводні опції антен

Область застосування:

Оригінальний дизайн SITRANS LR 200 дозволяє здійснювати просте програмування за допомогою іскробезпечного інфрачервоного ручного програматора. Навіть у Ex-зоні не потрібно відкривати кришку корпусу. Крім цього прилад має вбудовану алфавітно-цифрову індикацію на чотирьох мовах. Стандартна антена SITRANS LR 200 це цілісна поліпропіленова стрижнева антена. Вона пропонує високу хімічну стійкість і є герметичною. У інших приладів для перевірки хімічної сумісності необхідно враховувати кілька матеріалів, а також ущільнення між матеріалами. Цілісна антена має вбудований внутрішній екран, що запобігає перешкоди від монтажних штуцерів.

Проста настройка та програмування: для основних функцій достатньо двох параметрів. Електроніка розміщена в поворотному корпусі. Він може бути

повернений для полегшення підключення та оптимальної оглядовості індикації вимірюваного значення після монтажу.

Принцип вимірювання: Радарне вимірювання рівня

Частота вимірювання: 5.8 ГГц

Діапазон вимірювання : 0.3 до 20 м (1.0 до 65 ft)

Вихід

Аналоговий вихід : 4 до 20 мА

Точність : ± 0.02 мА

Інтервал фільтрації: 0.3 м (from reference point plus any shield length)

Точність: \pm більше значення в 0,1% від діапазону вимірювання або

10 мм *Вплив зовнішньої температури:* 0.006% / К

Відтворюваність: ± 5 мм

Вимірювання масової витрати гріючої пари та об'ємної витрати холодної води

Для цих вимірювань використаю найбільш поширений і доступний метод вимірювань – метод змінного перепаду тиску, оскільки маємо справу із водою і паром.

Як первинний перетворювач витрати гріючої пари використовуємо розділювальну діафрагму для швидкого підключення типу 7MF4433, а як вимірювальний перетворювач – SITRANS P DSIII, який має вихідний сигнал 4-20 мА. Я використав цей перетворювач, оскільки він випускається у різних виконаннях для вимірювання:

- масової витрати;
- об'ємної витрати та інших величин.

Вимірювання тиску розрідження у ВА

Для вимірювання тиску розрідження у ВА вибираю також вимірювальний перетворювач SITRANS P DSIII, який має вихідний сигнал 4-20 мА і такі переваги:

- висока якість і довгий термін служби;

- висока надійність навіть при сильних хімічних і механічних впливах;
- роздільна заміна вимірювальної комірки і електроніки без повторної калібровки;

2.6. Вибір мікропроцесорного засобу автоматизації

Конструктивні особливості мікропроцесорного контролера S7 - 300

Програмовані контролери S7 - 300 можуть включати до свого складу:

- Модуль центрального процесора (CPU). Залежно від міри складності вирішуваних завдань в програмованому контролері можуть використовуватися більше 20 типів центральних процесорів.
- Блоки живлення (PS) для живлення контролера від мережі змінного або постійного струму.
- Сигнальні модулі (SM), призначені для введення і виведення дискретних і аналогових сигналів, у тому числі FailSafe і модулі зі вбудованими Ex – бар'єрами. Підтримуються вітчизняні ГОСТ градування термометрів опору і термопар.
- Комунікаційні процесори (CP) - інтелектуальні модулі, що виконують автономну обробку комунікаційних завдань в промислових мережах AS, - Interface, PROFIBUS, Industrial Ethernet, PROFINET і системах PtP зв'язку. Застосування завантажуваних драйверів для CP 341 дозволяє розширити комунікаційні можливості контролера підтримкою обміну даними в мережах MODBUS RTU і Data Highway. Для організації модемного зв'язку у складі S7 - 300 можуть використовуватися комунікаційні модулі сімейства SINAUT ST7.
- Функціональні модулі (FM) - інтелектуальні модулі, оснащені вбудованим мікропроцесором і здатні виконувати завдання автоматичного регулювання, зважування, позиціонування, швидкісного рахунку, управління переміщенням і т.д. Цілий ряд функціональних модулів здатний продовжувати виконання покладених на них завдань навіть у разі зупинки центрального процесора.
- Інтерфейсні модулі (IM) для підключення стійок розширення до базового блоку контролера, що дозволяє використовувати в системі локального введення-виводу

до 32 модулів різного на значення. Модулі ІМ 365 дозволяють створювати 2-, модулів ІМ 360 і ІМ 361 - 2-, 3 - і 4-рядні конфігурації.

Конструкція контроллера відрізняється високою гнучкістю і зручністю обслуговування :

- Усі модулі встановлюються на профільну шину S7 - 300 і фіксуються в робочих положеннях гвинтами. Об'єднання модулів в єдину систему виконується за допомогою шинних з'єднувачів (входять в комплект постачання кожного модуля), що встановлюються на тильну частину корпусу.

- Довільний порядок розміщення модулів в монтажних стійках. Фіксовані посадочні місця займають тільки модулі PS, CPU і ІМ. Наявність знімних фронтальних з'єднувачів (замовляються окремо), модулів, що дозволяють виробляти швидку заміну, без демонтажу їх зовнішніх ланцюгів і операцій підключення зовнішніх ланцюгів модулів, що спрощують виконання. Механічне кодування фронтальних з'єднувачів унеможливує виникнення помилок при заміні модулів.

- Застосування гнучких і модульних з'єднувачів TOP Connect, монтажних робіт, що істотно спрощують виконання, і що знижують час їх виконання.

Центральні процесори S7 - 300

Усі центральні процесори S7 - 300 характеризуються наступними показниками:

- висока швидкодія
- завантажена пам'ять у виді мікро карти пам'яті ММС місткістю до 8 МБ
- розвинені комунікаційні можливості, одночасна підтримка великої кількості активних комунікаційних з'єднань
- робота без буферної батареї.

ММС використовується для завантаження програми, збереження даних при перебогах в живленні CPU, зберігання архіву проекту з символічною таблицею і коментарі, а також для архівації проміжних даних. Центральні процесори CPU 3xxC і CPU 31xT-2 DP оснащені набором вбудованих входів і виходів, а їх

операційна система доповнена підтримкою технологічних функцій, що дозволяє використовувати як готові блоки управління.

Типовий набір вбудованих технологічних функцій дозволяє вирішувати завдання швидкісного рахунку, виміри частоти або тривалості періоду, ПД-регулювання, позиціонування, переведення частини дискретних виходів в імпульсний режим. Усі центральні процесори S7 - 300 оснащені вбудованим інтерфейсом MPI, який використовується для програмування, діагностики і побудови простих мережевих структур. У CPU 317 перший вбудований інтерфейс має подвійне призначення і може використовуватися для підключення або до мережі MPI, або до мережі PROFIBUS DP.

Цілий ряд центральних процесорів має другий вбудований інтерфейс:

- CPU 31...-2 DP мають інтерфейс ведучого/веденого пристрою PROFIBUS DP;
- CPU 31...C - 2 PtP мають інтерфейс для організації PtP зв'язку;
- CPU 31...-...PN/DP оснащені інтерфейсом Industrial Ethernet, що забезпечує підтримку стандарту PROFINet;
- CPU 31...T - 2 DP оснащені інтерфейсом PROFIBUS DP/Drive, призначеним для обміну даними і синхронізації роботи перетворювачів частоти, ведених DP пристроїв, що виконують функції.

Система команд центральних процесорів включає до свого складу більше 350 інструкцій і дозволяє виконувати:

- Логічні операції, операції зрушення, обертання, доповнення, операції порівняння, перетворення типів даних, операції з таймерами і лічильниками.
- Арифметичні операції з фіксованою і плаваючою точкою, витягання квадратного кореня, логарифмічні операції, тригонометричні функції, операції з дужками.
- Операції завантаження, збереження і переміщення даних, операції переходів, виклику блоків, і інші операції.

Для програмування і конфігурації S7 - 300 застосовують пакет STEP 7.

Крім того, для програмування контролерів S7 - 300 може використовуватися також увесь набір програмного забезпечення Runtime, а також широкий спектр інструментальних засобів проектування.

Програмовані контролери 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 ПД - регулювання і позиціонування, і т.д. Великою перевагою є те, що в нього є віддалені станції, які можуть бути розташовані на відстанні до 1000м.

Контролери здатні працювати в реальному масштабі 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 1 К логічних інструкцій 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);
- могутній 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.

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 наступні конструктивні особливості:
- Наявність двох модифікацій центральних процесорів кожного типу, що відрізняються наявністю вбудованих аналогових і дискретних входів-виходів, і їх відсутністю. Ті що мають вбудованні 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 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 відладки програми.
- Робота без буферної батареї.
- Одночасне підтримання багатьох протоколів зв'язку.
- Позиціонування по одній осі.

Оскільки для автоматизації технологічного процесу випарювання квасного суслу я використовую 5 аналогових входів, 3 аналогових виходи, 4 дискретні виходи, то я використаю центральний процесор CPU 316C-2DP із аналоговими модулями розширення входів

SM 331 AI 2 x 12 Bit (6ES7331-7KB81-0AB0) та виходів SM 332 AO 2 x 12 Bit (6ES7332-5NB01-0AB0). Блок живлення вибираєм PS 307 5A, який має 3 виходи по 24 В постійного струму.

Аналоговий модуль введення SM 331 AI 2 x 12 Bit має наступні властивості:

- два входи в одній групі каналів ;
- роздільна здатність вимірюваного значення (в залежності від встановленого часу інтегрування) :
 - 9 бітів + знак ;
 - 12 бітів + знак;
 - 14 бітів + знак ;
- можливість вибору виду вимірювання на групи каналів:
 - Напруга ;
 - Струм ;
 - Опір ;
 - Температура;
- довільний вибір діапазону вимірювань на групи каналів ;
- параметризуюча діагностика ;
- параметризуюче діагностичне переривання ;
- один канал з контролем границі;
- параметризуюче апаратне переривання при порушенні границі;
- гальванічна розв'язка щодо інтерфейсу з задньої шиною ;

- гальванічна розв'язка щодо напруги на навантаженні (крім випадку, коли хоча б один модуль для установки діапазону вимірювання встановлено в положення D);
- адреса введення 272-275;

Аналоговий модуль виведення SM 332 AO 2 x 12 Bit має наступні властивості:

- 2 вихідних канали ;
- окремі вихідні канали можуть бути параметризовані як :
 - Потенційні виходи ;
 - Струмові виходи ;
- роздільна здатність 12 Bit ;
- параметризуюча діагностика ;
- параметризуюче діагностичне переривання ;
- гальванічна розв'язка щодо інтерфейсу з задньої шиною і напруги на навантаженні;
- адреса виведення 352-355;

Таблиця 2.2.

Короткі технічні характеристики центрального процесора CPU 316C-2DP:

Пам'ять програм		96 Кбайт	
Пам'ять даних		64 Кбайт до 8 Мбайт	
Кількість аналогових входів		5	
Кількість аналогових виходів		2	
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 введення-виведення	для дискретних каналів	введення	124-126
		виведення	124-125
	для аналогових каналів	введення	752-761
		виведення	752-755

2.7. Специфікація на засоби автоматизації

Від правильного вибору технічних засобів автоматизації (ТЗА) значною мірою залежить працездатність системи автоматизації. В зв'язку з цим при виборі засобів автоматизації необхідно враховувати особливості об'єкта керування, умови, при яких буде працювати апаратура, відстань між пунктом керування та об'єктом автоматизації, характеристики надійності ТЗА.

Рекомендується вибирати засоби автоматизації, перевірені на практиці в даних умовах роботи. Прилади за принципом дії, діапазоном вимірювання, іншими метрологічними характеристиками вибираються за довідниками, каталогами підприємств України, а також зарубіжних фірм, вироби яких сертифіковані в Україні.

Технічні засоби, що використовуються для автоматизації даного технологічного процесу, відображено в наведеній нижче в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Специфікація на засоби автоматизації

№ п/п	№ пози-ції на ФСА	Назва параметру	Номінальне значення параметра	Назва засобу та коротка технічна характеристика	Тип	Кількість
1	2-1, 2-4, 1-5, 2-7.	Витрата	8.5 т/год для початкового квасного сусла;	Масовий витратомір. Діапазон вимірювання масової витрати початкового квасного сусла кг/год : 1345 до 25000	<i>SITRA NS F C</i>	3
		Концентрація	70 °Вх для упареного квасного сусла	Для вимірювання концентрації квасового сусла: 0 до 100 °Вх Для вимірювання концентрації упареного квасового сусла: 0 до 100 °Вх Температура середовища: -50÷180°С. Діаметр фланця: 150 мм Напруга живлення: ~115/230 В, від +10 до-15%, 50-60 Гц 18-20 В пост. струму або ~20-30 В	<i>MASSF LO MASS 6000/2 100</i>	2

2	2-5,3-2, 1-4.			<p>Блок ручного управління, завдання та індикації. Кількість каналів вимірювання: 2; період вимірювання: 0.25 с; вхідні сигнали: 0-5мА (R_{вх}=400 Ом), 0(4)-20 мА (R_{вх}=100 Ом), 0-10В (R_{вх}>50кОм); вихідні аналогові сигнали: 0-5 мА,0-20 мА, 4-20 мА,0-10В; максимальна похибки установки сигналу завдання: ±0.1%; діапазон зміни установки завдання: 0-100%; основна приведена похибка вимірювання: ±0.2%; точність індикації: < 0.1% - цифрова, <5.0% (< 2.5%) – лінійна; кількість розрядів цифрового індикатора: 4; температура навколишнього середовища: від +5°C до +50°C; напруга живлення: від мережі змінного струму ~(220±22)В, (50±1) Гц; споживана потужність: не більше 6 Вт;</p>	БРУ-10	5
3	2-6, 3-3, 1-6.			<p>Регулюючий клапан типу SAMSON 241-7 (Температурний діапазон : -196÷450 °С, Ду 125мм) з пневма-тичним сервоприводом типу 3277. Як електро-пневматичний перетворювач використовуємо електро-пневматичний перетворювач SAMSON типу 6116. (Температура навколишнього середовища: -25÷70°C Аналоговий вхід : 4 до 20 мА. Вихід : 0.2-1 бар.</p>	SAMSON 241-7	3

4	1-3,1-2, 2-3.	Тиск (розрід- ження) Витрата гріючої пари Витрата холодної води	5 кПа 3 т/год $5,5 \text{ м}^3 / \text{год}$	Вимірювальний перетворювач тиску SITRANS P DSIII, який має вихідний сигнал 4-20 мА. Діапазон вимірювання настроювальний. Температура навколишнього середовища: $-35 \div 80^\circ\text{C}$	<i>SITRA NS P DSIII</i>	3
5	3-1.	Рівень		Радарний рівнемір з діапазоном вимірювання: 0-4 м. Принцип вимірювання: Радарне вимірювання рівня. Аналоговий вихід 4 до 20 мА Похибка : $\pm 0.02 \text{ мА}$ \pm більше значення в 0,1% від діапазону вимірювання або 10 мм .Вплив зовнішньої температури: 0.006% / К . Відтворюваність: $\pm 5 \text{ мм}$	<i>Sitrans LR 200</i>	1
6	2-2 1-1	Витрата		Первинний перетворювач витрати - розділювальна діафрагма для швидкого підключення типу 7MF4433 Внутрішня різьба $\frac{1}{4}$ - 18 NPT с із фланцевим з'єднанням по DIN 19 213.	<i>7MF44 33</i>	2
7	2-8			Швидкодіючий електромагнітний відсічний клапан з дистанційним керуванням. Умовний прохід: 125 мм. Конструктивні розміри клапана: 1110мм x 1220мм.	<i>KO 500</i>	1

2.8. Опис загальної ФСА

У роботі реалізовано такі контури регулювання:

1. Контур регулювання співвідношення витрат “гріюча пара – початковий розчин квасового сусла” з корекцією по концентрації упареного розчину квасового сусла.

2. Контур регулювання рівня у випарному апараті.

3. Контур регулювання співвідношення витрат “холодна вода – початковий розчин квасного сусла ” з корекцією по тиску розрідження у ВА.

Для реалізації описаних вище контурів я взяв мікропроцесорний засіб регулювання, а саме регулятор S7-300 з можливістю реалізації в ньому за допомогою написання програми всіх запроєктованих контурів.

Контур регулювання співвідношення витрат “гріюча пара – початковий розчин квасного сусла ” з корекцією по концентрації упареного розчину квасового сусла

Вихідний сигнал від вимірювального перетворювача витрати(SITRANS F C MASSFLO 6000/2100), що стоїть на лінії початкового розчину квасного сусла має вигляд уніфікованого струмового сигналу, що знаходиться в межах 4-20мА із $R_n=100\Omega$. Далі цей вихідний сигнал поступає на модуль вводу аналогових сигналів SM331 МП регулятора S7-300.

Вихідний сигнал від вимірювального перетворювача витрати (SITRANS P DSIII), що стоїть на лінії гріючої пари_також має вигляд уніфікованого струмового сигналу, що знаходиться в межах 4-20мА із $R_n=100\Omega$. Далі цей вихідний сигнал поступає на модуль вводу аналогових сигналів SM331 МП регулятора S7-300.

Вихідний сигнал від вимірювального перетворювача концентрації(SITRANS F C MASSFLO 6000/2100), що стоїть на лінії упареного квасного сусла має вигляд уніфікованого струмового сигналу що знаходиться в межах 4-20мА із $R_n=100\Omega$. Далі цей вихідний сигнал поступає на модуль вводу аналогових сигналів SM331 МП регулятора S7-300.

Коли сигнали заведені на регулятор будується програма на одній із трьох розповсюджених мовах (на приклад FBD) в середовищі Step7 із реалізацією

каскадного регулювання співвідношення двох витрат із корекцією по концентрації.

Регулятор працює в режимі аналогового регулювання, видаючи вихідний керуючий сигнал у вигляді уніфікованого сигналу, що має вигляд $4\div 20\text{mA}$ через свій модуль виводу аналогових сигналів SM332 на блок ручного управління БРУ-10 і потраляє на виконавчий механізм.

Контур регулювання рівня у випарному апараті

Вихідний сигнал від радарного рівнеміра (Sitrans LR 200) речовини у ВА має вигляд уніфікованого струмового сигналу, що знаходиться в межах $4\text{-}20\text{mA}$ із $R_n=100\text{Om}$. Далі цей вихідний сигнал поступає на модуль вводу аналогових сигналів SM331 МП регулятора S7-300.

Коли сигнал заведений на регулятор будується програма на одній із трьох розповсюджених мовах (на приклад FBD) в середовищі Step7 із реалізацією простого одноконтурного регулювання рівня речовини у ВА.

Регулятор працює в режимі аналогового регулювання, видаючи вихідний керуючий сигнал у вигляді уніфікованого сигналу, що має вигляд $4\div 20\text{mA}$ через свій модуль виводу аналогових сигналів SM332 на блок ручного управління БРУ-10 і потраляє на виконавчий механізм.

Контур регулювання співвідношення витрат “холодна вода – початковий розчин квасного суслу ” з корекцією по тиску розрідження у ВА

Вихідний сигнал від вимірювального перетворювача витрати (SITRANS F C MASSFLO 6000/2100), що стоїть на лінії початкового розчину квасного суслу має вигляд уніфікованого струмового сигналу, що знаходиться в межах $4\text{-}20\text{mA}$ із $R_n=100\text{Om}$. Далі цей вихідний сигнал поступає на модуль вводу аналогових сигналів SM331 МП регулятора S7-300.

Вихідний сигнал від вимірювального перетворювача витрати (SITRANS P DSIII), що стоїть на лінії холодної води також має вигляд уніфікованого струмового сигналу що знаходиться в межах $4\text{-}20\text{mA}$ із $R_n=100\text{Om}$. Далі цей

вихідний сигнал поступає на модуль вводу аналогових сигналів SM331 МП регулятора S7-300.

Вихідний сигнал від вимірювального перетворювача концентрації(SITRANS F C MASSFLO 6000/2100), що стоїть на лінії упареного квасного суслу має вигляд уніфікованого струмового сигналу що знаходиться в межах 4-20мА із $R_n=100\text{Ом}$. Далі цей вихідний сигнал поступає на модуль вводу аналогових сигналів SM331 МП регулятора S7-300.

Вихідний сигнал від вимірювального перетворювача тиску розрідження (SITRANS P DSIII), у випарному апараті має вигляд уніфікованого струмового сигналу що знаходиться в межах 4-20мА із $R_n=100\text{Ом}$. Далі цей вихідний сигнал поступає на модуль вводу аналогових сигналів SM331 МП регулятора S7-300.

Коли сигнали заведені на регулятор будується програма на одній із трьох розповсюджених мовах (на приклад FBD) в середовищі Step7 із реалізацією каскадного регулювання співвідношення двох витрат із корекцією по тиску.

Регулятор працює в режимі аналогового регулювання, видаючи вихідний керуючий сигнал у вигляді уніфікованого сигналу, що має вигляд 4÷20мА через свій модуль виводу аналогових сигналів SM332 на блок ручного управління БРУ-10 і потраляє на виконавчий механізм.

2.9. Програмне забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи автоматизації зображено в додатку.

Контур регулювання співвідношення витрат “гріюча пара – початковий розчин квасового суслу ” з корекцією по концентрації упареного розчину квасового суслу та сигналізації витрати початкового розчину квасового суслу

Обробка вхідного аналогового сигналу по витраті початкового розчину квасного суслу

Використовуючи блок I_DI ми переводим значення регістру PIW752 з числового формату integer в double integer. Потім за допомогою блоку DI_R, ми переводим це значення в числовий формат Real. Оскільки аналогові величини для контролера S7-300 змінюються від 0 до 27648, тому для нормування діапазону

витрати початкового розчину квасного сусла, потрібно поділити за допомогою блоку DI_V поточне значення витрати початкового розчину квасного сусла в числовому форматі Real на 1.10592. Результат запишемо в регістр MD14, у якому значення витрати початкового розчину квасного сусла буде знаходитись в діапазоні від 0 до 25000 кг/год.

Обробка вхідного аналогового сигналу по витраті гріючої пари

Використовуючи блок I_DI ми переводим значення регістру PIW754 з числового формату integer в double integer. Потім за допомогою блоку DI_R, ми переводим це значення в числовий формат Real. Оскільки аналогові величини для контролера S7-300 змінюються від 0 до 27648, тому для нормування діапазону витрати гріючої пари, потрібно поділити за допомогою блоку DI_V поточне значення витрати гріючої пари в числовому форматі Real на 5.5296. Результат запишемо в регістр MD22, у якому значення витрати гріючої пари буде знаходитись в діапазоні від 0 до 5000 кг/год.

Обробка вхідного аналогового сигналу по концентрації упареного розчину квасного сусла

Використовуючи блок I_DI ми переводим значення регістру PIW756 з числового формату integer в double integer. Потім за допомогою блоку DI_R, ми переводим це значення в числовий формат Real. Оскільки аналогові величини для контролера S7-300 змінюються від 0 до 27648, тому для нормування діапазону концентрації упареного розчину квасного сусла, потрібно поділити за допомогою блоку DI_V поточне значення концентрації упареного розчину квасного сусла в числовому форматі Real на 276.48. Результат запишемо в регістр MD34, у якому значення концентрації упареного розчину буде знаходитись в діапазоні від 0 до 100 °Bx.

Для одержання співвідношення витрат “гріюча пара – початковий розчин квасного сусла” поділимо вміст регістру MD14 на MD22 за допомогою блоку DI_V, а результат запишемо в регістр MD26.

Для регулювання концентрації упареного розчину квасного сусла застосуємо функціональний блок регулювання FB41 з аналоговим виходом.

На вхід блоку регулювання подаємо оброблене значення вхідної величини(MD34). Вихід регулятора (LMN) маємо в діапазоні від 0 до 100%, тому для каскадного регулювання нам потрібно пронормувати цей вихід . Для цього помножимо значення виходу за допомогою блоку MUL_R на певний коефіцієнт K і запишемо його в регістр MD46.

Для регулювання співвідношення витрат “гріюча пара – початковий розчин квасного суслу ” застосуємо функціональний блок регулювання FB41 з аналоговим виходом.

На вхід блоку регулювання подаємо оброблене значення вхідної величини(MD26). Завданням для цього блоку регулювання буде нормований вихід блоку регулювання концентрації упареного розчину квасного суслу(MD46). А вже вихід цього регулятора записуємо в регістр аналогового виходу PQW752.

Сигналізацію нижньої межі витрати початкового розчину квасного суслу здійснюємо за допомогою блоків порівняння – компараторів.

Коли витрата початкового розчину квасного суслу стає меншою за 2800 кг/год спрацьовує сигналізація і буде ввімкненою доти, поки витрата початкового розчину квасного суслу не стане більшою за 3000 кг/год.

Контур регулювання та сигналізації рівня і тиску у випарному апараті

Обробка вхідного аналогового сигналу по витраті початкового розчину квасового суслу

Використовуючи блок I_DI ми переводимо значення регістру PIW274 з числового формату integer в double integer. Потім за допомогою блоку DI_R, ми переводимо це значення в числовий формат Real. Оскільки аналогові величини для контролера S7-300 змінюються від 0 до 27648, тому для нормування діапазону рівня, потрібно поділити за допомогою блоку DI_V поточне значення рівня в числовому форматі Real на 3456. Результат запишемо в регістр MD66, у якому значення рівня буде знаходитись в діапазоні від 0 до 4 м.

Для регулювання рівня застосуємо функціональний блок регулювання FB41 з аналоговим виходом.

На вхід блоку регулювання подаєм оброблене значення вхідної величини(MD66). Вихід цього регулятора записуем в реєстр аналогового виходу PQW352.

Сигналізацію нижньої та верхньої межі рівня розчину квасового сусла у випарному апараті здійснюєм за допомогою блоків порівняння – компараторів.

Коли рівень розчину квасного сусла стає меншим за 0.4 м спрацьовує сигналізація по нижній межі і буде ввімкненою доти, поки рівень не стане більшим за 0.6 м, а коли рівень розчину квасного сусла стає більшим за 3 м спрацьовує сигналізація по верхній межі і буде ввімкненою доти, поки рівень не стане меншим за 2.8 м.

Сигналізацію верхньої межі тиску у випарному апараті здійснюєм за допомогою блоків порівняння – компараторів.

Коли значення тиску (розрідження) у випарному апараті стає більшим за 5.7 кПа спрацьовує сигналізація і буде ввімкненою доти, поки значення тиску не стане меншим за 5.5 кПа.

3. ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

3.1. Складання математичної моделі об'єкта регулювання і розрахунок її параметрів

Контуром над яким будемо проводити моделювання виберемо контур регулювання рівня у ВА, який є дуже важливим в нашому випадку так як він має бути добре контрольованим, та регульованим щоб не виникало аварійних ситуацій.

Вхідними величинами даного об'єкту регулювання (ВА) є витрати на вході і виході ВА (F_n, F_k, F_w), а вихідною – рівень у ВА (L).

Враховуючи структурну схему взаємозв'язків між технологічними параметрами об'єкта, матеріальний баланс, експериментальні дані та інформацію з навчальної літератури побудуємо математичну модель ВА у вигляді функції передачі. Її можна представити як аперіодичну ланку першого порядку:

$$W(p) = \frac{k}{T_p + 1},$$

де T – стала часу аперіодичної ланки; k – коефіцієнт передачі.

На основі аналітичних залежностей для визначення параметрів математичної моделі та знаючи геометричні розміри об'єкта, значення технологічних параметрів об'єкта, матеріальні та енергетичні потоки визначимо основні параметри математичної моделі об'єкта:

- коефіцієнт передачі розрахуємо за формулою:

$$k = \frac{h}{f_i}; \text{ де } h - \text{рівень (за технологією це } 1,5 \text{ м); } f_i - \text{відносна витрата (прийmemo її}$$

рівною 1)

Відповідно: $k = 1,5$ (м).

- сталу часу аперіодичної ланки розрахуємо за наступною формулою:

$$T = \frac{V}{F} \cdot k; \text{ де } V - \text{об'єм ВА (він рівен } 10 \text{ м}^3\text{); } F = 1,4 \text{ м}^3\text{/сек.; } k - \text{коефіцієнт}$$

передачі;

Тоді: $T = \frac{10}{1,4} \cdot 1,5 = 10,71$ (сек.). Отже, функція передачі буде наступною:

$$W(p) = \frac{1.5}{(10.71p + 1)}$$

Крива розгону випарного апарату при одиничному стрибкоподібному збуренні має вигляд (рис. 3.1):

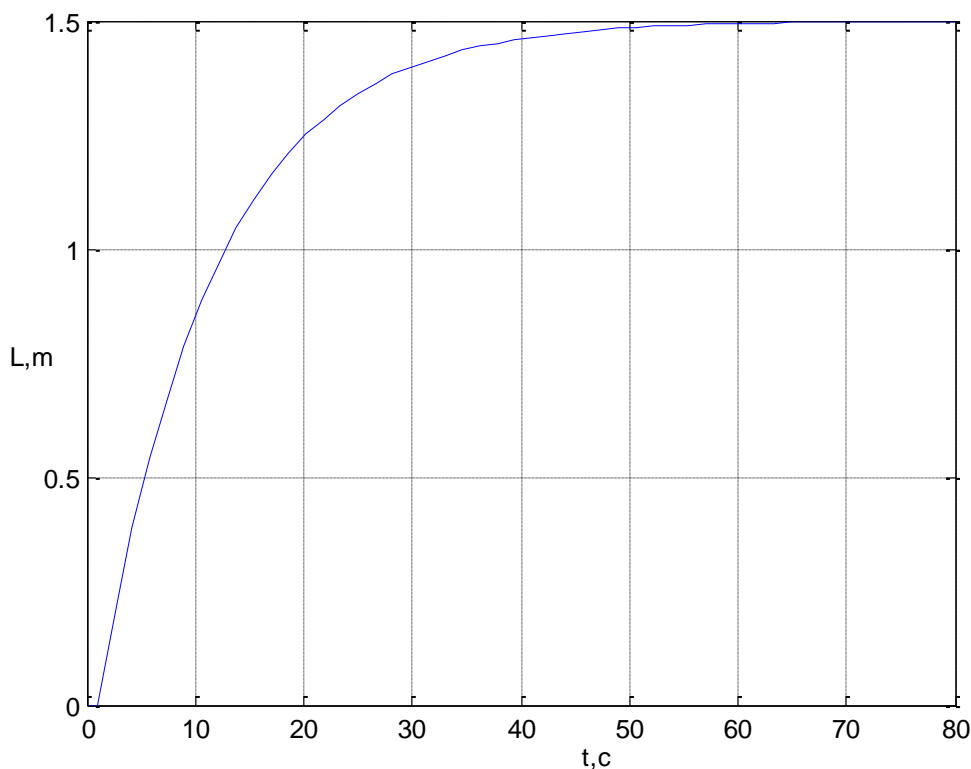


Рис. 3.1. Крива розгону випарного апарату при одиничному стрибкоподібному збуренні

3.2. Вибір і обґрунтування вимог до перехідного процесу контуру регулювання

Розроблена система автоматичного регулювання (САР) повинна забезпечувати задані показники процесу регулювання. Якість процесу регулювання для стабілізуючих САР оцінюють за перехідною функцією по відношенню до одиничного стрибкоподібного збурення, а для слідкуючих САР – по перехідній функції по відношенню до одиничного стрибкоподібного задаючого впливу.

Основними показниками якості є: похибка регулювання, час регулювання, пере регулювання і коливальність .

Крім цього, слід відмітити, що в конкретних умовах до якості регулювання можуть висуватися й інші вимоги, наприклад, максимальна швидкість зміни значення величини, яка регулюється, основна частота її коливань і т. д.

Часом регулювання - час, протягом якого, починаючи з моменту нанесення збурення на систему, відхилення значень величини, яка регулюється, від її сталого значення буде менше наперед заданого значення. Таким чином, час регулювання визначає тривалість перехідного процесу.

Перерегулювання - це максимальне відхилення значення величини, що регулюється, від значення яке встановилося, виражене у відсотках.

Коливальність системи характеризується числом коливань величини, яка регулюється, за час регулювання.

Точність регулювання визначається як різниця між значенням регульованої величини, яке встановилось після закінчення перехідного процесу, і її заданим значенням.

В даній роботі якість регулювання оцінюється за такими критеріями:

1. Час регулювання t_p .
2. Максимальне динамічне відхилення A_{\max} – максимальна амплітуда перехідного процесу.
3. Коефіцієнт зникання коливань ψ – відношення різниці двох сусідніх амплітуд одного знаку кривої перехідного процесу до найбільшої з них

$$: \psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1}.$$

4. Точність регулювання Δ .
5. Виходячи з технологічних умов час регулювання для такого об'єкту приймають рівним $t_p=100$ с. Максимальне динамічне відхилення $A_1=0.15$ м. Коефіцієнт зникання коливань $\psi=0.8$. Точність регулювання $\Delta=0.001$ м. Ступінь коливальності $m = 0.35$.

3.3. Визначення закону регулювання

В практиці автоматизації технологічних процесів використовуються регулятори, які формують пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційно-диференціальний (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) – закони регулювання. Відмітимо, що П- і ПД-регулятори використовуються в основному в САР з астатичними об'єктами, а ПІ- та ПІД-регулятори – в САР зі статичними об'єктами, оскільки наявність інтегруючих ланок в складі вказаних регуляторів призводить до нестійкої роботи системи регулювання.

Доцільність застосування того чи іншого закону регулювання для конкретного об'єкту повинна вирішуватись за результатами вивчення його динамічних властивостей. Необхідно відмітити, що вплив Д-складової не слід застосувати в швидкодіючих системах регулювання тиску і витрати, оскільки в них зазвичай має місце шум, котрий підсилюється сигналом Д-складової.

П-регулятори використовуються для регулювання таких об'єктів, де є допустимою зміна параметру, який регулюється, в певному діапазоні

Функція передачі П -регулятора: $W(p) = k_p$.

І-регулятори можуть стійко і надійно функціонувати тільки з об'єктами із значним самовирівнюванням.

Функція передачі має вигляд: $W(p) = \frac{1}{T_i p}$.

ПІ-регулятор в динамічному відношенні подібний до системи з двох паралельно увімкнених ланок: П-ланки з коефіцієнтом передачі k_p та І-ланки. Функція передачі ПІ-регулятора визначається за формулою:

$$W(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right).$$

Такі регулятори відрізняються простотою конструкції і дають змогу стабільно регулювати велику кількість промислових об'єктів. Тому вони отримали велике поширення на практиці.

ПІД-регулятори в своєму складі містять три послідовно з'єднаних ланки: пропорційну, інтегральну та диференціальну.

Функція передачі ПІД-регулятора має вигляд:

$$W(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right).$$

ПІД -регулятори в ряді випадків дозволяють поліпшувати якість регулювання технологічних параметрів. В даному технологічному процесі для регулювання рівня доцільно застосувати ПІ-регулятор.

3.4. Розрахунок оптимальних настроювальних параметрів регулятора

Функція передачі ПІ-регулятора має вигляд:

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{iz} p};$$

Розрахунок параметрів настроювання ПІ-регулятора k_p та k_p/T_{iz} виконаємо за формулами

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

що отримані на основі критерію Найквіста та розширених частотних характеристик розімкнутої САР. Для застосування цих формул необхідно виділити робочий діапазон частот регулятора.

Граничні частоти цього діапазону ω^* та ω^{**} - частоти, що відповідають параметрам настроювання відповідно складових І- та П-регуляторів:

$\omega^* = 0.0719$ рад/с ; $\omega^{**} = 1.23$ рад/с . В діапазоні частот від ω^* до ω^{**} проводимо розрахунок параметрів настроювання ПІ-регулятора за формулами наведеними вище. За результатами розрахунку будемо границю області запасу стійкості САР з ПІ-регулятором (див. рис. 3.2).

Для побудови границі області заданого запасу стійкості була написана програма в середовищі Matlab (**kursak2.m**):

```

k=1.5; T=10.71;
m=0.35;tau=1;
% Розширена ФЧХ ОР
i=1; Fi_op=[]; w=[];
for w1=0.072:0.001:1.23
    Fi_op(i)=-atan(T*w1/(1-T*m*w1))-w1*tau;
    if w1 > 1/(T*m)
        Fi_op(i)=-pi/2-atan((T*m*w1-1)/(T*w1))-w1*tau;;
    end
    w(i)=w1; i=i+1;
end
% Розширена АЧХ ОР
A1=(1./sqrt((1-T*m*w).^2+T^2*w.^2)).*exp(m*w*tau);
A_op=k*A1;
%Границя області запасу стійкості САР
KpTiz=-w.*(m^2+1).*sin(Fi_op)./A_op;
Kp=(-cos(Fi_op)-m.*sin(Fi_op))./A_op;
KpTizm=max(KpTiz)
for i=1:length(w),
    if KpTiz(i)==KpTizm
        Kpopt=Kp(i);
    end
end
Kpopt
figure(1);plot(Kp,KpTiz);xlabel('kp');ylabel('kp/Tiz, c^-^1');
title('Granica zapasu stiykosti');grid;

```

Результатом виконання даної програми є:

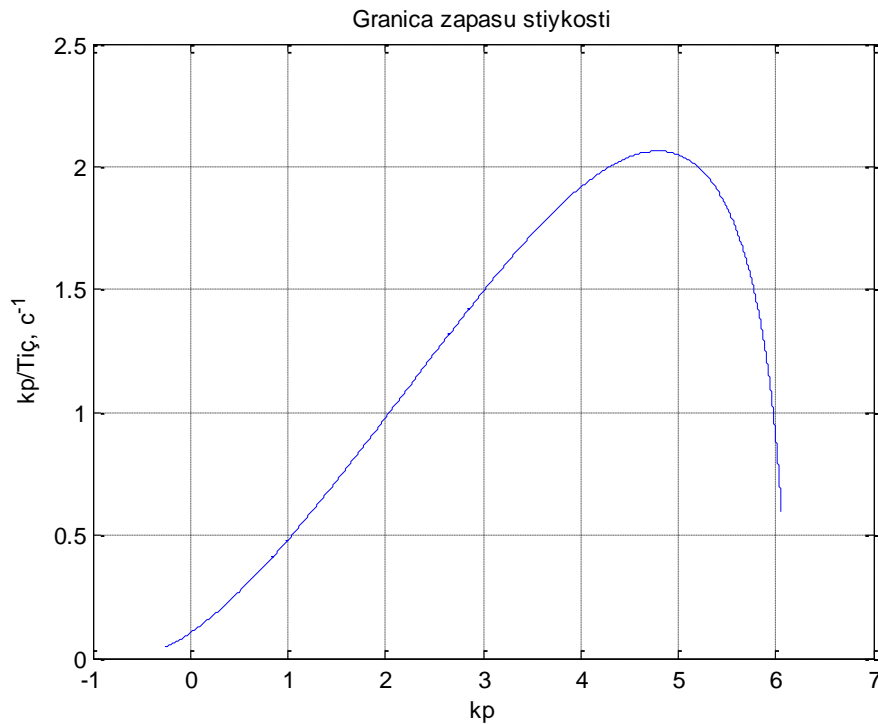


Рис.3.2. Границя області заданого запасу стійкості (при ступені коливальності $m=0.35$) САР з ПІ-регулятором

Оптимальні параметри настроювання вибираємо в точці де K_p/T_{iz} є максимальним. Отже параметри настроювання ПІ-регулятора наступні: $K_p = 4.8$; $K_p/T_{iz} = 2.064 \frac{1}{c}$.

3.5. Розрахунок і побудова перехідного процесу

Перехідний процес САР будемо на основі знайдених параметрів функцій передачі об'єкта регулювання та ПІ-регулятора за допомогою математичного пакету MATLAB. На рис. 3.3 приведена структурна схема регулювання рівня у аипврному апараті реалізована в середовищі SIMULINK пакету MATLAB.

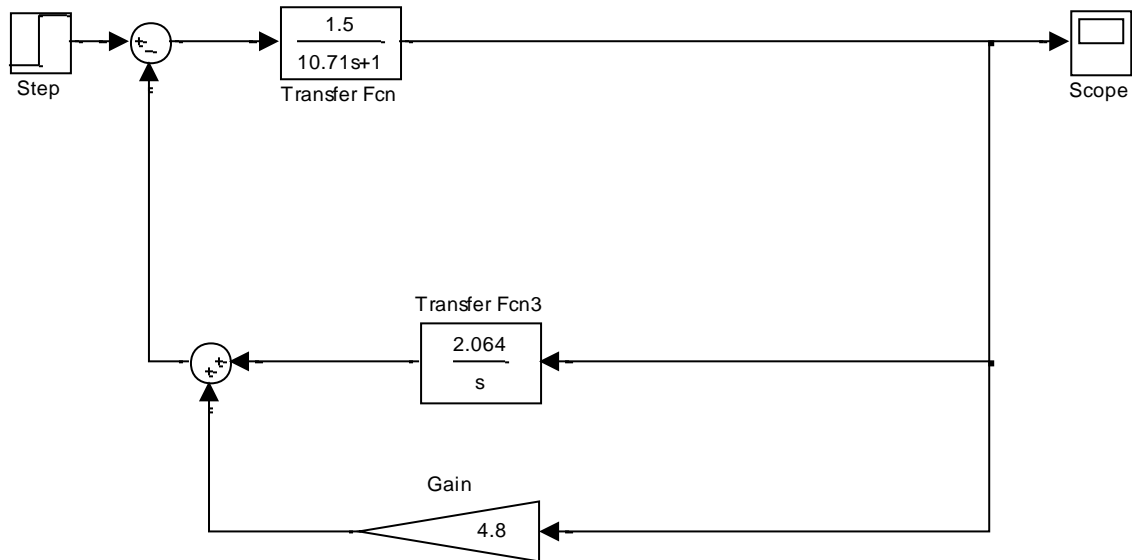


Рис. 3.3 Структурна схема регулювання рівня, реалізована в середовищі
SIMULINK

Змодельємо перехідний процес (рис. 3.4):

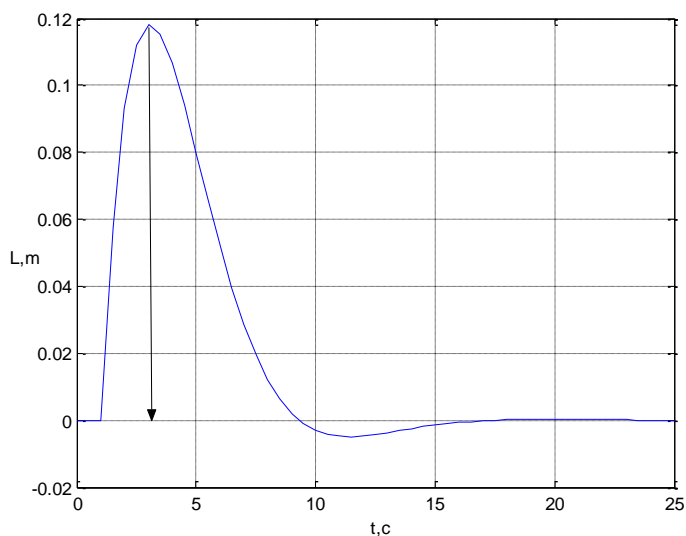


Рис.3.4. Перехідний процес САР рівня у випарному апараті

Як видно із рис. 3.4, максимальне динамічне відхилення $A_1 = 0.118$ м, статична похибка $\Delta_{стат} = 0$ м, час регулювання $t_p = 23.5$ с. Отриманий перехідний процес задовільняє вимогам до якості процесу регулювання. Отже, дана система забезпечує вимоги до процесу регулювання.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці

Для надійного функціонування охорони праці 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;

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;

- безпеки, 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 знешкоджувальними 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.

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

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».

Згідно ГОСТ 12.4.021-75 (вентиляція, загальні вимоги) та СНіП 2.04.05-91 (вентиляція та конденсація повітря) вентиляційна система повинна відповідати передбаченим нормативам, створювати на робочих місцях нормальні метеорологічні умови і чистоту повітряного середовища, що відповідає діючим санітарним нормам.

Електробезпека на виробництві забезпечується відповідною конструкцією електроустановок; застосуванням технічних засобів і засобів захисту; організаційними та технічними заходами згідно до ГОСТ 12.1.009-76.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартів безпеки праці. Шум. Загальні вимоги безпеки».

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.

Усі працівники, які приймаються на постійну чи тимчасову роботу і при подальшій роботі, повинні проходити на підприємстві навчання в формі інструктажів з питань охорони праці, подання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих. Керівники підприємств в свою чергу зобов'язані забезпечити своєчасне і якісне проведення інструктажу робітників по безпечним прийомам і методам роботи, які регулярно проводяться на всіх підприємствах незалежно від ступеня небезпеки підприємств. Після навчання весь персонал повинен здати іспити по техніці безпеки.

Вентиляція та опалення

Необхідно, щоб повітря робочої зони виробничих приміщень відповідало вимогам ДСН 3.3.6.042-99 і ГОСТ 12.1.005-88. 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 СНиП 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, повітрорудки, 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.

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

Технологічне обладнання необхідно розташовувати в окремому приміщенні та відділяти від інших ділянок цеху капітальними стінами.

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 бункера для борошна, 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 кристалізації адипінової кислоти

Підвищення економічної ефективності господарювання вимагає проведення таких техніко-економічних заходів:

- підвищення якості продукції з одночасним зменшенням її собівартості і витрат на виробництво;
- введення нових прогресивних технологій, які б дозволяли знизити витрати матеріальних, сировинних та енергетичних ресурсів, підвищити продуктивність обладнання і технологічних ліній. Більш повно використовувати потужність підприємства, а як наслідок – підвищити обсяг виходу готової продукції;
- покращення системи обліку та стандартизації готової продукції, сировини, напівфабрикатів, енергії, тощо;
- покращення системи взаєморозрахунків, що дозволило б прискорити обіг оборотних коштів;
- покращення умов роботи працівників;
- проведення заходів з автоматизації і механізації виробництва, що дозволить досягнути неперервності процесів виробництва, зменшити частку ручної праці, зменшити кількість браку;
- проведення робіт за напрямками науково-технічного розвитку і технічного переобладнання підприємства.

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.

Запроектвану систему можна віднести до взаємопов'язаної автоматизації закінчених технологічних процесів без перегляду технології.

Для техніко-економічного обґрунтування вибраної системи автоматизації використаємо дані підприємства, наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для порівняння варіантів

Показники	Умовне познач.	Одиниця вимірюв.	Варіант	
			базовий	запроектв.
Річна програма випуску продукції	Q	т	5380,6	5649,6
Термін використання КВП і А	T _{вик}	років	5	5
Кількість відмов КВП і А	N _{над}	%	3	0.5
Похибка КВП і А	P _{пох}	%	2,5	0,5
Чисельність робітників основних допоміжних	Ч _{осн} Ч _{доп}	людей	48	24
		людей	28	34
Вартість системи автомазації	K ₀	грн	94193,58	139161,87
Собівартість продукції	C	грн/т	469,54	465,48
Сума приведених затрат	K _{пр}	грн/т	474,49	470,18

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;
- зменшення витрат палива – введення регулятора співвідношення витрат „паливо-повітря” з корекцією за концентрацією кисню в димових газах дозволить оптимізувати витрату палива;

- збільшення продуктивності обладнання і процесу в цілому за рахунок зменшення використання ручної праці і досягнення більшої неперервності процесу;
- зменшення кількості обслуговуючого персоналу.

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 C_6 , пов'язаних з реконструкцією приміщень і влаштуванням фундаментів під щити, визначають за залежністю:

$$C_6 = V \cdot C_v \left(1 + \frac{C}{100} \right), \text{ де}$$

V – об'єм будівлі, який підлягає реконструкції; за проектом $V=25 \text{ м}^3$; C_v – ціна за 1 м^3 об'єму приміщення, що підлягає реконструкції; за даними підприємства $C_v = 195$ грн; C – витрати на роботи по опаленню, освітленню, каналізації. За даними підприємства ці витрати складають 10 %. Тоді вартість будівельних робіт рівна: $C_6 = 25 \times 195 (1 + 0,1) = 5362,5$ 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:

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

Затрати на амортизацію становлять 25% від вартості засобів автоматизації

$$V_{\text{аморт}} = 109741,63 \times 0,25 = 27435,4 \text{ грн в рік.}$$

Затрати на планові ремонти обладнання закладені у розмірі:

$$V_{\text{пл,рем}} = 6500 \text{ грн}$$

Отже, експлуатаційні витрати на автоматизацію котлоагрегатів становлять :

$$B = 27435,4 + 6500 = 33935,4 \text{ грн.}$$

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 запроєктованого 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.

$$K_d = \left(\frac{13916187}{5649,6} - \frac{94193,58}{5380,6} \right) \cdot 5649,6 = 40258,21 \text{ грн.}$$

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:

$$E_3 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 = 103747,69 \text{ грн.}$$

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

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

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:

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

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:

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

Приймаємо явочну чисельність чергових слюсарів рівною 3. Тоді явочна чисельність чергових слюсарів за добу є рівною 9. Спискова чисельність чергових слюсарів є рівною 12.

За заводським розрахунком явочна чисельність слюсарів КВП і А є рівною 15 чоловік на добу. Спискова чисельність складає 24 робітники.

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 – $365/247 = 1.47$.

Згідно даних підприємства, на заводі застосовується чотирибригадний графік з тривалістю зміни 7,8 години.

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:

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

$\Phi_{п1}$, $\Phi_{п2}$ – 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

$$E_z = \frac{385458,69}{5380,6} \cdot 5649,6 - 297483,15 = 107246,25 \text{ грн.}$$

5.6. Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності

Річний економічний ефект визначаємо за формулою :

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{\text{заг}} - E_n * K ;$$

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \varepsilon_i - B ;$$

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

ε_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, $\varepsilon_i = 210993,94$ грн. $B = 33935,4$ грн. $K = 139161,87$ грн.

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

Річний економічний ефект :

$$\varepsilon_p = 177058,54 - 0,15 * 139161,87 = 156184,26 \text{ грн.}$$

Термін окупності визначимо за формулою:

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

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

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

Таблиця 5.2

Основні техніко-економічні показники

№	Показник	Одиниці виміру	Величина	
			По проекту	По заводських даних
1.	Річний випуск продукції в натуральному вигляді	тони	5649,6	5380,6
2.	Витрати на автоматизацію	грн	139161,87	94193,58
3.	Собівартість	грн	465,48	469,54
4.	Річний економічний ефект	грн	156184,26	-
5.	Термін окупності	рік	0,786	-
6.	Коефіцієнт порівняльної ефективності		1,27	-

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

В роботі проведена розробка системи автоматизації процесу випарювання квасового сусла, зокрема розглянуто існуючі схеми автоматизації та синтезована ФСА для заданих умов роботи.

1. Для приготування квасового сусла можна використовувати житній і ячмінний солод, житнє або кукурудзяне борошно або свіжопропорощений житній солод і житнє борошно, затираючи їх водою і ферментними препаратами. Призначений для використання у виробництві хлібного квасу, напоїв з хліба, концентратів квасу. Оскільки приготування висококонцентрованого розчину квасного сусла спрощує транспортування та зберігання і здешевлює, цей розчин потрібно випарювати.

2. Щоб реалізувати процес випарювання, теплоту від теплоносія належить передати киплячому розчину. Це стає можливим лише за різниці температур теплоносіїв. Витрата теплоти на випарювання залежить від прихованої теплоти пароутворення розчинника. Для реалізації передавання тепла від теплоносія до розчину необхідно, щоб теплоносій мав вищу температуру. Різниця цих температур є рушійною силою випарювання. Випарюванням називають концентрування розчинів (практично нелегких речовин) шляхом випарювання леткого розчинника. Процес випарювання проводять під вакуумом, надлишковим або атмосферним тиском. Вибір тиску пов'язаний з властивостями випарюваного розчину і можливостями використання вторинного тепла.

3. Виходячи із схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта і функціональної схеми автоматизації виміряно такі координати: витрату гріючої пари, витрату холодної води, витрату початкового квасного сусла, тиск у випарному апараті, рівень у випарному апараті, концентрацію упареного квасного сусла, концентрацію початкового квасного сусла.

Регульовано: рівень у випарному апараті, співвідношення витрат початкового квасного сусла і гріючої пари з корекцією по концентрації упареного квасного сусла, співвідношення витрат початкового квасного сусла і холодної води з корекцією по тиску у випарному апараті.

Сигналізовано: нижню межу витрати початкового квасного сусла, нижню та верхню межу рівня у випарному апараті, верхню межу тиску у випарному апараті.

4. Для функціональної схеми автоматизації вибрано такі технічні засоби автоматизації: для вимірювання масової витрати початкового квасового сусла та концентрації квасного сусла - масовий витратомір SITRANS F C MASSFLO 6000/2100; для вимірювання рівня розчину в ВА - радарний рівнемір Sitrans LR 200 з діапазоном вимірювання 0-4 м; для *вимірювання масової витрати гріючої пари та об'ємної витрати холодної води* - найбільш поширений і доступний метод вимірювань – метод змінного перепаду тиску, оскільки маємо справу із водою і паром, як первинний перетворювач витрати гріючої пари використано розділювальну діафрагму для швидкого підключення типу 7MF4433, а як вимірювальний перетворювач – SITRANS P DSIII, який має вихідний сигнал 4-20 мА; для вимірювання тиску розрідження у ВА вибираю також вимірювальний перетворювач SITRANS P DSIII. Використано мікропроцесорний контролер S7 – 300.

5. У загальній функціональній схемі автоматизації реалізовано такі контури регулювання: контур регулювання співвідношення витрат “гріюча пара – початковий розчин квасового сусла” з корекцією по концентрації упареного розчину квасового сусла; контур регулювання рівня у випарному апараті; контур регулювання співвідношення витрат “холодна вода – початковий розчин квасного сусла ” з корекцією по тиску розрідження у ВА.

6. Для заданих критеріїв якості регулювання були розраховані оптимальні параметри настройки ПІ-регулятора рівня у випарному апараті ($K_p = 4.8$; $K_p/T_{iz} = 2.064 \frac{1}{c}$).

В середовищі SIMULINK пакету MATLAB був побудований перехідний процес з наступними параметрами якості регулювання: динамічне відхилення $A_1 = 0.118$ м, статична похибка $\Delta_{stat} = 0$ м, час регулювання $t_p = 23.5$ с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. Л.М. Артюшин, О.А. Машков,Б.В. Дурняк,М.С. Сівов. Теорія автоматичного керування. — Львів: Видавництво УАД, 2004.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
7. 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>)
8. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
9. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. посіб./ За ред. проф. І.Ф. Малежика. - К.: НУХТ, 2012.
- 10.Б.Б. Самотокін. Курс лекцій з теорії автоматичного керування. — Житомир: ЖІТІ, 1997.
- 11.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>.
- 12.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>.
- 13.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.
- 14.Control System Toolbox. User’s Guide, The MathWorks, Release 2009b, 2009
- 15.Phillips C., Harbor R. Feedback control systems, Prentice-Hall, 2000, 658 p.