



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

Патала Юрій Богданович

1. Тема роботи: «Автоматизація процесу одержання штучного холоду у підприємствах харчової промисловості»

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

Затверджені наказом по університету від 27 листопада 2023 року № 641/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 14.06.2024 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта одержання штучного холоду; 2. Функціональні ознаки системи автоматизації; 3. Принципова схема холодильної машини; 4. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу одержання штучного холоду як об'єкту керування

2. Синтез автоматизованої системи керування технологічним процесом одержання штучного холоду.

3. Оптимальне керування технологічним процесом одержання штучного холоду

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проекрованої системи автоматизації

Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу :

Тема, автор, керівник роботи. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами, що впливають на роботу випарного конденсатора. Схема охолодження конденсатора холодильного агрегату із застосуванням градирні. Спрощена функціональна схема автоматизації. Розрахунок температури мокрого термометра. Розширена фазочастотна характеристика, для знаходження оптимальних параметрів настроювання ПІ-регулятора. Структурна схема САР із каналами керуючої, збудуючої та регулюючої дії. Перехідний процес САР каналом керуючої дії при стрибкоподібній зміні завдання тиску конденсації на 0,5 бар.

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 28 листопада 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>	28.11.23-21.01.24	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	23.01.24-01.03.24	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	02.03.24-01.04.24	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці</i>	02.04.24-21.04.24	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	22.04.24-06.05.24	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	07.05.24-22.05.24	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	23.05.24-14.06.24	

Студент \_\_\_\_\_ Патала Ю.Б.  
(підпис)

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

УДК 631.365.2

Автоматизація процесу одержання штучного холоду у підприємствах харчової промисловості. Патала Ю.Б. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Дубляни, ЛНУП, 2024.

66 с. текст. част., 20 рис., 4 табл., 16 літ. джерел, 3 додатки.

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

У вступі висвітлено суть процесу одержання штучного холоду, обґрунтовано необхідність автоматизації даного технологічного процесу.

В першому розділі описано технологічний процес одержання штучного холоду, наведено матеріальний баланс об'єкту і визначено параметри, які потрібно регулювати.

В другому розділі проведено аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу, вибір технічних засобів автоматизації, синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта, подано програмне забезпечення системи керування та специфікацію засобів автоматизації.

У третьому розділі досліджено САР тиску конденсації в сепараторі, яка представлена на функціональній схемі автоматизації, здійснено вибір автоматичного регулятора та визначено його оптимальні параметри настроювання. Досліджено перехідні процеси, та визначені їх показники якості, описано схеми автоматизації.

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

У п'ятому розділі розраховано економічну ефективність від впровадження запропонованої системи автоматизації, річний економічний ефект, термін окупності.

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, контролер, функціональна схема автоматизації, моделювання.

## **АНОТАЦІЯ**

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі описано технологічний процес одержання штучного холоду, наведено матеріальний баланс об'єкту і визначено параметри, які потрібно регулювати. Проведено аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу, вибір технічних засобів автоматизації, розроблена функціональна схема автоматизації технологічного процесу одержання штучного холоду, розроблено програму для керування контролером Siemens Simatic S7-300, розроблені електричні схеми під'єднання засобів автоматизації. Проведений розрахунок та моделювання система автоматичного регулювання тиску конденсації, де вихідною величиною об'єкта регулювання є тиск конденсації аміаку, а регулюючою дією – зміна швидкості обертання секціонованого вентилятора у базовому випарному конденсаторі на одну ступінь.

## **ABSTRACT**

In this bachelor's qualification work, the technological process of obtaining artificial cold is described, the main material balance of the object is given, and the parameters that need to be regulated are defined. An analysis of the existing automation schemes of the technological process was carried out, the selection of technical means of automation was carried out, a functional scheme of the automation of the technological process of obtaining artificial cold was developed, a program for controlling the Siemens Simatic S7-300 controller was developed, electrical schemes for connecting automation means were developed. The calculation and modeling of the automatic condensation pressure control system was carried out, where the output value of the control object is the ammonia condensation pressure, and the control action is a change in the rotation speed of the sectional fan in the basic evaporative condenser by one degree.

## **Зміст**

Вступ.....	8
<b>1. Аналіз технологічного процесу одержання штучного холоду як об'єкту керування.....</b>	<b>10</b>
1.1. Опис технологічного процесу одержання штучного холоду .....	10
1.2. Матеріальний баланс технологічного об'єкту.....	13
1.3. Обґрунтування технологічних параметрів з точки зору завдання на автоматизацію .....	14
1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень.....	16
1.5. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта.....	17
<b>2. Синтез автоматизованої системи керування технологічним процесом одержання штучного холоду .....</b>	<b>18</b>
2.1. Аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта.....	18
2.2. Визначення функціональних ознак систем автоматизації.....	19
2.3. Аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу.....	21
2.4. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта.....	25
2.5. Вибір технічних засобів автоматизації.....	27
2.6. Специфікація на засоби автоматизації.....	30
2.7. Опис ФСА.....	34
2.8. Програмне забезпечення системи керування.....	38
<b>3. Оптимальне керування технологічним процесом одержання штучного холоду.....</b>	<b>41</b>
3.1. Складання математичної моделі об'єкта регулювання і розрахунок її параметрів.....	41
3.2. Вибір і обґрунтування вимог до перехідного процесу контуру регулювання.....	46
3.3. Визначення закону регулювання.....	46

3.4. Визначення оптимальних параметрів настроювання регулятора.....	48
3.5. Розрахунок і побудова перехідного процесу САР.....	54
<b>4. Охорона праці .....</b>	<b>57</b>
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці.....	57
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці. .....	58
4.3. Пожежна безпека.....	62
<b>5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації.....</b>	<b>64</b>
<b>Висновки.....</b>	<b>68</b>
<b>Список використаних джерел.....</b>	<b>71</b>

## **ВСТУП**

Управління технологічним процесом - це сукупність процедур, призначених для підтримки або покращення перебігу технологічного процесу відповідно до поставленого завдання, плану або програми. У типовому сценарії це агрегування передбачає збір даних (інформації) про стан процесу, порівняння їх із наданою інформацією та вжиття відповідних дій щодо контрольованого процесу.

Сучасна енергетика почалася з парової машини, що працювала при доволі помірних температурах і тисках. Так само і холодильна техніка спочатку не претендувала на більше, ніж виготовлення штучного льоду з допомогою машин, в яких робочим тілом були пари легко випаровуваних рідини – ефір, двооксид сірки, аміак, фреон, двооксид вуглецю. У цих машинах холодна пара при низькому тиску стискається компресором доти, доки її температура не стане дещо більшою за температуру навколишнього середовища. Віддаючи тепло у навколишнє середовище, пара конденсується і переходить в рідину, що має температуру навколишнього середовища і підвищений тиск. Випускаючи через клапан цю рідину у випаровувач, де тиск низький, можна заставити її миттєво закипіти і за рахунок цього понизити температуру. Ця кипляча холодна рідинка і використовується для приготування льоду, охолодження продуктів, тощо.

Дуже швидко холодильні машини із харчової промисловості перейшли і у інші галузі промисловості. Хіміки, наприклад, використовують їх у всіх випадках, коли їм потрібно сповільнити реакцію, змінити розчинність, зрідити газ, призвести до кристалізації і затвердіння рідини. В переробці нафти холодильні машини регулюють процес перегонки, у виробництві каучука без них неможливо провести деякі проміжні реакції. Зниження температури потрібне у виробництві целюлози – сировини для виготовлення паперу, штучних тканин, целофану, лаків, пластику, вибухових речовин. Без холоду була б неможливою очистка і зрідження газів, виробництво желатину і клеїв, очистка масел, виготовлення барвників та лікарств.

Інше, більш важливе застосування – це опріснення морської води виморожуванням. При заморожуванні солоної води спочатку отримується прісний лід. Якщо його відділити від розсолу, а потім розтопити, ми можемо



отримати прісну воду – це суть одного з найперспективніших методів забезпечення водою тих районів земної кулі, які потерпають від її нестачі.

Штучний холод на підприємствах харчової промисловості застосовують у різних технологічних операціях, на складах готової продукції, в холодильних камерах, для охолодження ємностей, в яких зберігаються різноманітні продукти. Особливо важливим є безперервне постачання холодом підприємства у весняно-літній період роботи.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення системи автоматичного керування процесом одержання штучного холоду.

Об'єктом дослідження є процес одержання штучного холоду у підприємствах харчової промисловості.

## **1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ**

## 1.1. Опис технологічного процесу одержання штучного холоду

Перед тим, як автоматизувати холодильну установку, важливо зрозуміти її функції та принцип роботи. З точки зору традиційної автоматизації, підтримка температури, тиску, рівня та вологості (для кондиціонерів) — це все, що потрібно робити холодильному обладнанню. Однак велика кількість приладів у промислових холодильних машинах, особливості їх експлуатації та унікальні технологічні процеси галузі вимагають глибокого розуміння холодильної техніки для правильної її автоматизації.

Компресорна холодильна машина складається з 4 -х елементів. Ми будемо розглядати компресорні холодильні машини, оскільки інші їх різновиди ( абсорбція, термоелектричні, тощо) поширені не так широко та прилади для їх автоматизації мають незначну відмінність - за місцем установки та алгоритму роботи. Основним елементом холодильної машини є компресор, в якому відбувається стиснення пари холодильного агента. Компресор може бути поршневым, спіральним, гвинтовим, відцентровим. Відмітимо, що їх автоматизація в принципі є однаковою. Наприклад, поршневий компресор (подібний з двигуном внутрішнього згоряння ) за допомогою поршня стискає газ ( холодильний агент) в циліндрі. Холодильний агент потрапляє в циліндр через всмоктуючий клапан, а виходить через нагнітальний. Колінчастий вал рухає поршні через шатуни, від якого обертання передається на колеса ). Найбільш простий спосіб регулювання роботи всієї холодильної установки здійснюється шляхом простого відключення компресора.

Компресор є найбільш складним з механічної точки зору пристрій і для нього необхідні системи захисту. Компресор потрібно захищати від занадто низького тиску всмоктування ( наприклад, через витік холодильного агента) і занадто високого тиску нагнітання (із - за високої температури зовнішнього повітря). Звичайний манометр не є приладом захисту як таким, але дозволяє вчасно відключати установку вручну при критичних значеннях тиску.

Реле тиску зі сторони низького тиску (на всмоктуванні) і сторони високого тиску (нагнітання) автоматично відключають компресор при зниженні тиску

всмоктування або перевищенні тиску нагнітання. Реле контролю мастила контролює перепад тиску на вході і виході вбудованого помпи для масла, що подає його до підшипників і іншим частинам компресора. Ці реле захищають компресор від аварії і механічного пошкодження ( поломка клапанів, шатунів, підшипників, пошкодження електродвигуна, тощо).

Далі стиснена пара холодильного агента потрапляє в конденсатор, де завдяки теплообміну з навколишнім повітрям конденсується до стану рідини. Як відомо, холодильні агенти використовуються в холодильній техніці саме через здатність легко змінювати агрегатний стан (газ - рідина), що дозволяє їм конденсуватися (віддавати тепло) і закипати (забирати тепло).

Конденсатор представляє собою трубки, з'єднані в один великий змійовик, з насадженими на них (для збільшення теплообмінної поверхні) ребрами. У невеликих конденсаторах (наприклад , в конденсаторі побутового холодильника) вентилятор не встановлюють, у великих конденсаторах може бути до 12 вентиляторів діаметром понад 1 м. Зазвичай вентилятор конденсатора включається разом з компресором, в складніших пристроях - від спеціального термостата або реле тиску, а у великих установках робота вентиляторів регулюється контролером. У конденсаторі важливим параметром регулювання є температура конденсації.

З конденсатора рідкий холодильний агент поступає до терморегулюючого клапану (ТРК). Він регулює кількість холодильного агента в випарнику і підтримує перегрів пари після випарника, щоб в компресор не потрапляли краплі холодильного агента, які можуть викликати гідравлічний удар. В ТРК відбувається дроселювання холодильного агента - проходячи крізь дуже вузьку щілину в ТРК, частина холодильного агента закипає і охолоджує іншу масу рідини до температури кипіння. В результаті утворюється вже не просто рідкий холодильний агент , а паро-рідинна суміш.

Зазвичай для спрощення на схемі не показують такі елементи як фільтр-осушувач, оглядове вічко, соленоїдний клапан, але вони обов'язково присутні в сучасній холодильній установці . Фільтр - осушувач дозволяє позбавлятися не

тільки від механічних частинок, але і від вологи, що утворює у фреоні кислоту, шкідливу для лакового покриття обмоток електродвигуна компресора. За допомогою вічка можна контролювати надлишок холодильного агента (за наявністю бульбашок) і наявність вологи (за зміною кольору індикатора). Соленоїдний клапан при зупинках відсікає сторону високого тиску від сторони низького тиску. Після ТРК парорідинна суміш потрапляє у випарник (повітряний охолоджувач), де кипить при температурі  $t_0$ , відбираючи тепло від продукту, що знаходиться в холодильній камері.

Холодильні агенти (крім води) можуть кипіти при від'ємних температурах. Застосування в якості холодильного агента води обмежена тільки додатними температурами. Випарник, як і конденсатор, являє собою змійовик з ребрами: усередині трубок кипить холодильний агент, вентилятор подає холодне повітря до продукту і втягує в себе тепле повітря від нього.

Найпростіші випарники (морозильна камера побутового холодильника) вентиляторів не мають. У нескладних холодильних машинах вентилятор випарника включається разом з компресором. Термобалон ТРК, розташований на виході з випарника, дозволяє клапанові пропускати потрібну кількість холодильного агента і підтримувати необхідний перегрів, про що буде докладніше сказано далі.

Таким чином, робота найпростішої холодильної машини виглядає так: стискається в компресорі пара і подається в конденсатор, де віддає тепло і стає рідиною, потім рідкий холодильний агент дроселюється в ТРК і подається у випарник. Там рідина закипає і стає паром, всмоктуючись у компресор. Компресор вмикається і вимикається за сигналом термостата і оснащується захисними реле високого і низького тиску. Більш простий пристрій мають тільки побутові холодильники та торгові вітрини. Принципова схема холодильної машини зображена на рис. 1.1.

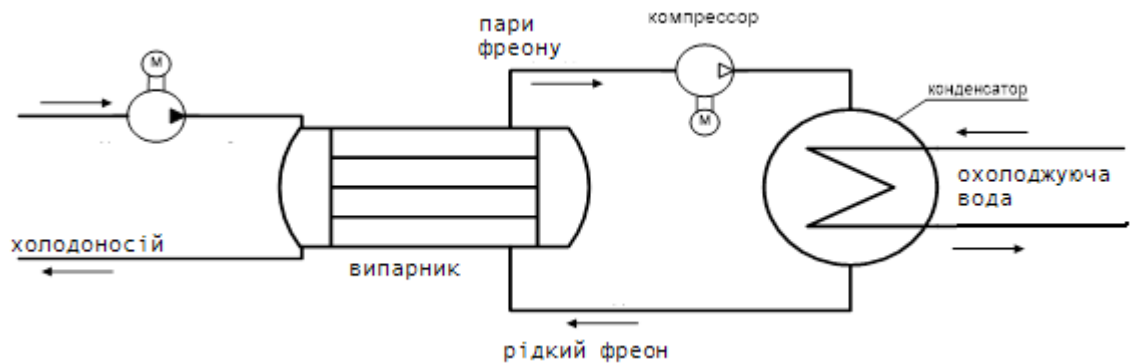


Рис. 1.1. Принципова схема холодильної машини

## 1.2. Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта

Основними параметрами, які визначають робочі процеси випарного конденсатора є:

$G_w$  – витрата холодильного агента, м<sup>3</sup>/год;

$\Delta g_w$  – кількість холодильного агента для підживлення системи (поповнення випареного холодоагента), м<sup>3</sup>/год;

$Q_T$  – тепловий потік, кВт.

Витрата холодоагента через випарний конденсатор може бути визначена по тиску води у вхідному колекторі. Абсолютний тиск холодоагента необхідно визначати манометром, встановленим перед вхідним колектором:

$$H=10 P_A, \quad (1.1)$$

де:  $H$  – напір перед форсункою (м вод. ст.),

$P_A$  – покази манометра (кг/см<sup>2</sup>).

Знаючи повний напір і кількість форсунок, за формулою (1.2) можна визначити витрату холодоагента у випарному конденсаторі:

$$G_w = G_w^1 * n, \quad (1.2)$$

де  $G_w^1$  – витрата холодоагента через форсунку (м<sup>3</sup>/год).

$n$  – кількість форсунок (шт.).

Кількість холодоагента, яку необхідно додавати в систему для компенсації випаровування, визначається з врахуванням витрати і різниці температур на вході і виході із випарного конденсатора:

$$\Delta G_w = 1.67 * G_w * C_p * (t_{вх} - t_{вих}), \quad (1.3)$$

де:  $\Delta G_w$  – величина підживлення (кг/год);

$C_p$  – теплоємність води (кДж/кг\*°C);

$t_{вх}$  – температура на вході у випарний конденсатор (°C);

$t_{вих}$  – температура на виході із випарного конденсатора (°C).

Величина крапельного виносу становить 0.1% від кількості холодоагента, який проходить через випарний конденсатор при номінальному режимі. Зменшення його витрати через випарний конденсатор зменшує величину крапельного виносу до 0.05%. Збільшувати витрату холодоагента понад номінальне значення не рекомендується.

Кількість тепла, яке відводиться через випарний конденсатор:

$$Q_{\Gamma} = G_w * C_p * (t_{вх} - t_{вих}) \text{ (кДж/год)} \quad (1.4)$$

### **1.3. Обґрунтування технологічних параметрів з точки зору завдання на автоматизацію**

Ефективність будь-якого методу охолодження визначається такими факторами:

- Відносна вологість повітря, яке подається у випарний конденсатор;
- Температура повітря, яке подається у випарний конденсатор;
- Температура холодоагента, що циркулює у випарному конденсаторі;
- Витрата повітря, яке проходить через випарний конденсатор;
- Тиск і температура аміаку (фреону або іншого холодоагента), що поступає на охолодження.

В холодильних установках перенесення тепла від середовища з більш низькою температурою здійснюється з допомогою робочого тіла, яке називається холодильним агентом, або холодоагентом. Отримання холоду відбувається по круговому процесу, або циклу, в якому процес відбирання тепла від охолоджуваного середовища супроводжується компенсуючим процесом - підведенням енергії (наприклад, при стисненні парів холодоагента в компресорі).

Згідно законів термодинаміки, при перенесенні тепла від середовища з більш високою температурою  $T$  до середовища з більш низькою температурою

$T_0$  найбільша ступінь перетворення тепла в роботу відповідає коефіцієнту корисної дії циклу Карно. Зворотним циклом Карно називається процес перенесення тепла від менш нагрітого тіла до більш нагрітого при затраті механічної роботи. Зворотний цикл Карно (рис.1.2) складається із наступних процесів:

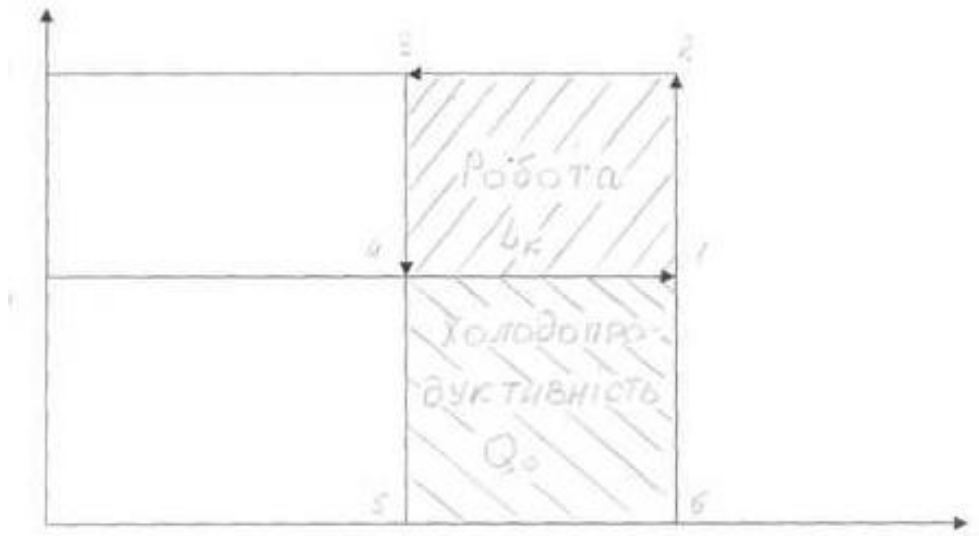


Рис.1.2. Ентропійна діаграма зворотного циклу Карно

Позначення на рис. 1.2: 1-2 -адіабатичні процеси стиснення пароподібного холодоагента (кінцева температура стиснення  $T$ ); 2-3 - ізоермічна конденсація парів холодильного агента при температурі  $T$  з віддачею оточуючому середовищу теплоти конденсації ( $Q$ ); 3-4 - адіабатичне розширення рідкого холодоагента (кінцева температура розширення  $T_0$ ); 4-1 - ізоермічне випаровування рідкого холодоагента при температурі  $T_0$  з віддачею від охолоджуваного середовища теплоти випаровування  $Q_0$ .

Такий цикл здійснюваний лише при умові постійності ентропії системи. Тому, якщо при випаровуванні холодоагента ентропія охолоджуваного середовища зменшується на  $Q_0/T_0$ , то на таке ж значення повинна зрости ентропія більш нагрітого середовища, якій передається тепло  $Q_0$ , що забране від охолоджуваного середовища, і тепло, еквівалентне роботі  $L_k$ , затрачене на стиснення холодоагента. В результаті зростання ентропії більш нагрітого середовища складає  $(Q_0 + L_k)/T$ .

$$Q_0/T_0 = (Q_0 + L_k)/T$$

Теплота  $Q_0$ , яка віднімається холодильним агентом від охолоджуваного середовища при температурі  $T_0 < T$ , визначає холодопродуктивність циклу холодильної установки. На ентروпійній діаграмі (рис.1.2) холодопродуктивність визначається площею 1-4-5-6. Площа 2-3-5-6 еквівалентна кількості тепла, яке віддається холодильним агентом більш нагрітому середовищу при температурі  $T$ , а різниця площ 2-3 - 5 - 6 і 1-4-5-6 відповідає величині затраченої роботи  $L_k$  (площа 2-3 - 4 - 1).

Таким чином, на прикладі зворотного циклу Карно енергетичний баланс будь-якої холодильної машини:

$$Q_0 + L = Q, \text{ де } L - \text{робота реального циклу.}$$

Термодинамічна ефективність холодильних циклів виражається відношенням холодопродуктивності  $Q_0$  до затраченої роботи  $L$ . Причому це відношення називається холодильним коефіцієнтом і позначається буквою  $e$ . Коефіцієнт  $e$  виражається залежністю

$$e = Q_0/L = Q/Q - Q_0.$$

Холодильний коефіцієнт показує, яка кількість тепла сприймається холодильним агентом від охолоджуваного середовища на одиницю затраченої роботи.

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

При температурі холодоагента (аміаку або фреону)  $+75 - +80$  °C та тиску 10 бар забезпечується найбільш ефективна робота випарного конденсатора, при якій аміак охолоджується до температури  $+35$ °C.

Температура повітря, яке подається у випарний конденсатор, рівна температурі навколишнього середовища і залежить від пори року, часу доби і може змінюватися в досить широких межах. Взимку ця температура дуже рідко опускається до  $-30$  °C, а влітку може сягати  $+30$  °C і більше.

Відносна вологість повітря, яке подається у випарний конденсатор, також залежить від стану навколишнього середовища. Чим менша відносна вологість повітря, тим ефективніший процес охолодження у випарному конденсаторі. В



дощову погоду відносна вологість повітря майже сягає 100 %. Для кліматичних умов нашої природної зони влітку в теплий сухий день значення відносної вологості повітря може бути на рівні 60 %. Рівень холодоагента в збірній ємності випарного конденсатора повинен підтримуватись на значенні 1 м з відхиленням 0,05 м. Значення рівня аміаку в сепараторі повинне бути рівним 0,8 м з допустимим відхиленням – 0,05 м.

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

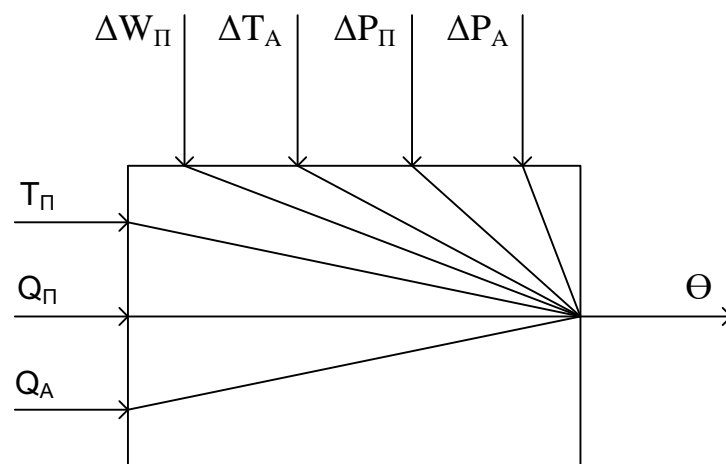


Рис 1.3. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами, що впливають на роботу випарного конденсатора

#### Вхідні величини:

$T_{\text{п}}$  – температура повітря

$Q_{\text{п}}$  – витрата повітря

$Q_{\text{А}}$  – витрата аміаку

#### Збурюючі величини:

$\Delta W_{\text{п}}$  – зміна витрати повітря

$\Delta T_{\text{А}}$  – зміна температури аміаку

$\Delta P_{\text{п}}$  – зміна тиску повітря

$\Delta P_{\text{А}}$  – зміна тиску аміаку

#### Вихідна величина:

$\Theta$  – відбір тепла випарним конденсатором.

## **2. СИНТЕЗ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ОДЕРЖАННЯ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ**

### **2.1. Аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта**

Мета управління процесу охолодження полягає в забезпеченні максимального відбору тепла від холодоагента.

Основні збурення процесу - зміна витрати повітря  $\Delta W_{\text{П}}$ , зміна температури аміаку  $\Delta T_{\text{А}}$ , зміна тиску повітря  $\Delta P_{\text{П}}$  і зміна тиску аміаку  $\Delta P_{\text{А}}$ .

Відбір тепла можна регулювати, змінюючи витрату повітря, яке поступає у випарний конденсатор. Але цю витрату можна зменшувати тільки до певного значення. При подальшому зменшенні витрати настає повне насичення повітря і зникає рушійна сила процесу. Тобто, завжди є оптимальне значення продуктивності групи вентиляторів відповідно до температури і початкової вологості повітря, яке поступає у випарний конденсатор. Чим менша вологість повітря, яке поступає у випарний конденсатор, тим більша кількість пари може випаруватись.

Проектована система автоматизації повинна надійно захистити технологічне обладнання, оперативний персонал, довкілля, забезпечити найбільшу кількість функціональних ознак. Обсяг одержуваної технологічної інформації повинен бути достатнім для розрахунку техніко-економічних показників та прогнозування надійної роботи системи.

До регульованих технологічних параметрів відносять такі вихідні величини об'єкта, які найбільше впливають на проходження технологічного процесу. Регульованими технологічними параметрами у процесі охолодження є тиск конденсації аміаку, рівні води у випарних конденсаторах, температура холодоносія – гліколю у зовнішньому контурі, тиск гліколю на виході з лінійного ресивера, витрата гліколю у внутрішньому контурі.

Для того щоб мати можливість керувати з одного місця та здійснювати дистанційний контроль за об'єктом керування, необхідно на це місце вивести виміри всіх контрольованих параметрів.

Контрольовані технологічні параметри вибирають так, щоб їх кількість була мінімальною, але достатньою для отримання повної інформації про хід технологічного процесу.

У відповідності з діючими директивними вказівками контролюються наступні технологічні параметри процесу охолодження: тиск та температура навколишнього середовища.

Для полегшення контролю оператором за ходом процесу охолодження застосовується сигналізація, котра спрацьовує при відхиленні найбільш важливих параметрів на певні значення. Сигналізації підлягають параметри, які можуть привести до аварії або істотно порушити технологічний режим. Такими параметрами є рівень аміаку в сепараторі, рівні води у випарних конденсаторах, тиск та температура масла в компресорній установці. Сигналізація відхилень цих параметрів здійснюється від мікропроцесорного пристрою (контролера Siemens).

## **2.2. Визначення функціональних ознак систем автоматизації**

Функціональні ознаки системи автоматизації наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Таблиця функціональних ознак систем автоматизації

№ п/ п	Обсяг автоматизації  Назва Параметра	Показ	Реєстрація	Підсумовування	У середення	Визначення відхилення	Розрахунок ТЕП	Оптимізація	Сигналізація	Дистанційне керування	Захист	Блокування	Автоматичне
1.	Рівень води у випарному конденсаторі	+	+										+
2.	Концентрація солі у воді	+							+				
3.	Вологість повітря	+		+					+				+
4.	Температура повітря	+		+					+				+
5.	Тиск в сепараторі	+											+
6.	Температура газоподібного аміаку	+											
7.	Температура охолодженого аміаку	+											
8.	Температура аміаку в сепараторі	+											
9.	Рівень аміаку в сепараторі	+							+				

### 2.3. Аналіз існуючих схем автоматизації технологічного об'єкту керування

Проста механічна охолоджувальна система показана на рисунку 2.1.

Компресор відсмоктує холодоагент, який випаровується із охолоджувача, де відводиться тепло від охолоджуючого потоку. Холодоагент, стиснутий до підвищеного тиску і температури, конденсується внаслідок відводу тепла атмосферним повітрям. Після цього конденсат пропускається через дросельний вентиль, де він частково перетворюється в пару при більш низькому тиску охолоджувача. Рідина, яка залишилася при цьому тиску закипає, завершуючи цикл.

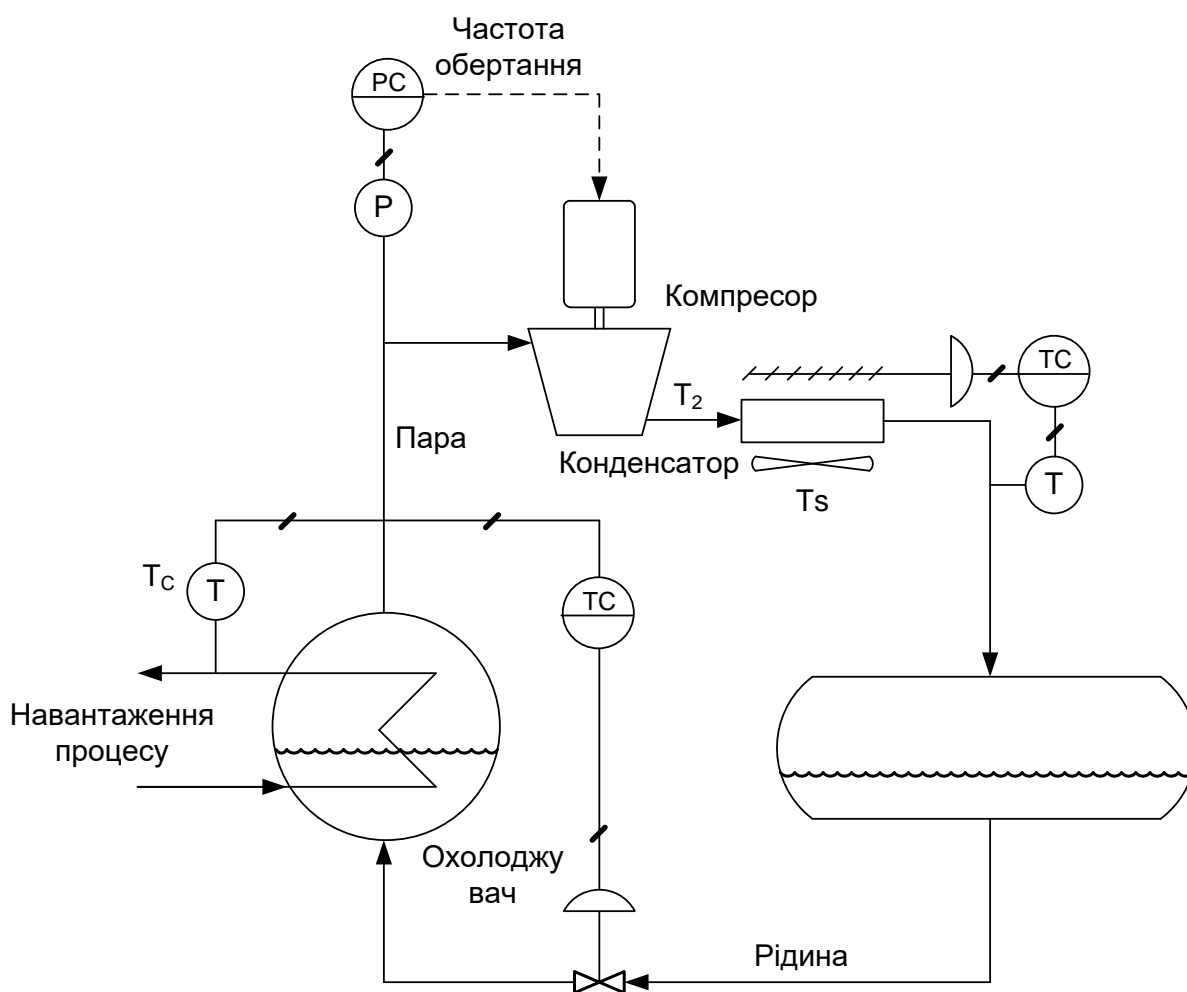


Рис. 2.1. Схема установки з розузгодженими контурами регулювання, яка не може працювати з максимальним к.к.д.: TC – регулятор температури; T – датчик температури; PC – регулятор тиску; P – датчик тиску

Показані на рис. 2.1 регулятори розузгоджені між собою, це пояснює значну неефективність теплосилового циклу такої установки при зміні зовнішніх умов.

Дослідження факторів, які визначають роботу установки, допомагає виявити основні проблеми і створити більш ефективні системи регулювання.

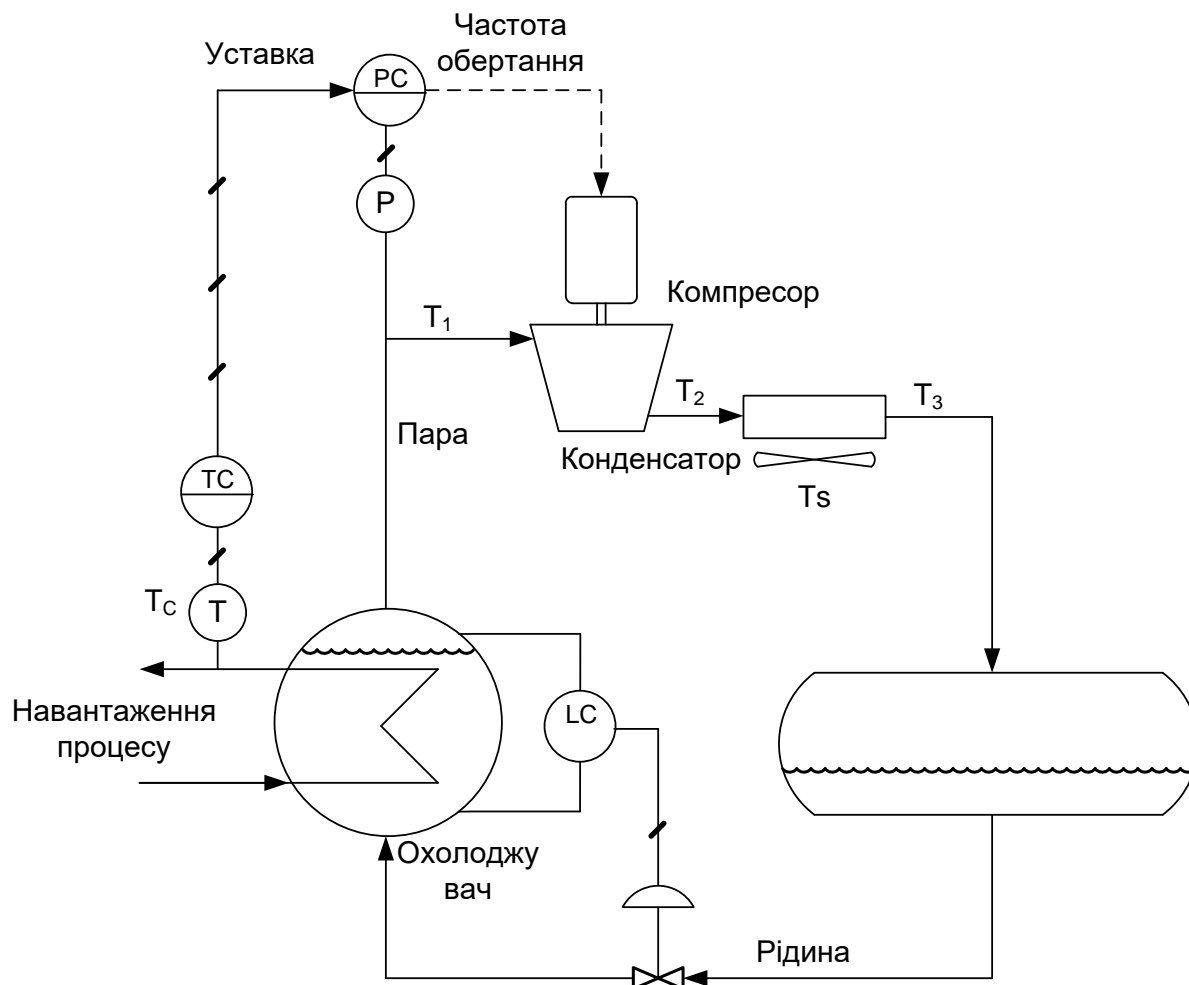


Рис.2.2. Схема установки, в якій за рахунок іншої конфігурації регуляторів досягнуто використання всієї поверхні теплообміну і збільшення к.к.д. циклу: ТС – регулятор температури; Т – давач температури; РС – регулятор тиску; Р – давач тиску; LC – регулятор рівня

На рис. 2.2 показана холодильна установка, регулятори якої мінімізують роботу стиску. В цій схемі довелося відмовитись від регулювання температури в конденсаторі, для того, щоб повністю використовувати сприятливі зміни зовнішніх умов. Крім цього, в охолоджувачі підтримується такий рівень, що всі трубки занурені і, таким чином, теплопередача не обмежується створенням сухої поверхні. Це дозволяє підтримувати більш високий тиск в охолоджувачі при даних регулюючих значеннях температури і теплового навантаження. В таких умовах регулятор тиску буде зменшувати швидкість, а заодно – зменшуватиметься витрата на вході і споживана потужність. Відмова від

регулювання температури в конденсаторі викличе значне коливання зі зміною зовнішніх умов. Цикл стане більш економічним в нічну пору, дощову погоду і зимою.

Схема охолодження конденсатора холодильного агрегату із застосуванням градирні наведена на рис. 2.3.

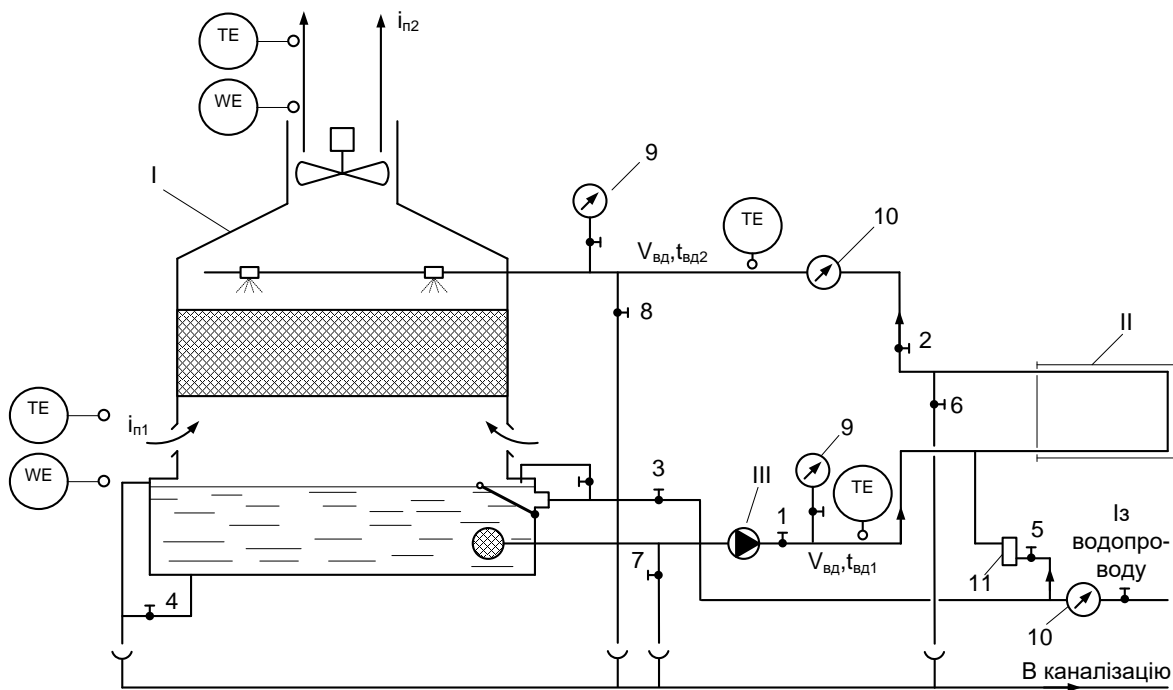


Рис.2.3. Схема охолодження конденсатора холодильного агрегату із застосуванням градирні; I – градирня; II – конденсатор холодильної машини; III – відцентровий насос; 1-8 – запірні вентиля; 9 – манометр; 10 – витратомір; 11 – вентиль регулювання подачі води на підживлення

При відкритих вентилях 1, 2 і 3 та закритих 5 і 6 вода із піддона градирні I забирається циркуляційним насосом III, проходить через конденсатор II, де нагрівається від  $t_{\text{вд}1}$  до  $t_{\text{вд}2}$  і під певним напором направляється у градирню. Тут тепло конденсації  $Q_K$  забирається повітрям, яке проходить через градирню (значно більша частина – за рахунок випаровування води і значно менша – за рахунок різниці температур між водою і повітрям). В результаті теплообміну із розбризкуваною водою питома ентальпія повітря збільшується від  $i_{\text{вд}1}$  до  $i_{\text{вд}2}$ . Таким чином, рівняння теплового балансу:

$$Q_K = V_{\text{вд}} \cdot (t_{\text{вд}2} - t_{\text{вд}1}) \cdot c_{\text{вд}} \cdot \rho_{\text{вд}} = L_{\text{град}} \cdot \rho_n \cdot (i_{n2} - i_{n1}) \quad (2.1.)$$

де  $Q_K$  - тепло конденсації, кВт;  $V_{\text{вод}}$  - кількість циркулюючої води, м<sup>3</sup>/год;  $t_{\text{вод}2}$  і  $t_{\text{вод}1}$  - температура води на вході і виході із градирні (на виході і вході у конденсатор), °С;  $c_{\text{вод}}$  - питома теплоємність води, кДж/кг;  $L_{\text{град}}$  - продуктивність вентилятора градирні, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_{\text{вод}}$  і  $\rho_n$  - густина води і густина повітря відповідно, кг/м<sup>3</sup>;  $i_{n1}$  і  $i_{n2}$  - питома ентальпія повітря на вході і виході із градирні, кДж/кг.

У формулі теплового балансу не враховане тепло, яке втрачається із випаруваною водою та дрібними краплями. Винос води із градирні невеликий (0,3 – 1,5% від кількості води, яка циркулює у системі), однак у проекті варто передбачити підживлення градирні від мережі водопроводу для компенсації цього виносу.

Приєднання до мережі водопроводу і каналізації передбачають також для заповнення і опорожнення оборотної системи, а в установках малої і середньої продуктивності – для охолодження конденсаторів водопровідною водою у випадку, якщо оборотна система вийшла з ладу. У цьому випадку вентилі 5 і 6 відкриті, а вентилі 1, 2, 3 – закриті. Вентилі 4, 7 і 8 призначені для спуску води із системи.

Кількість циркулюючої води  $V_{\text{вод}}$  визначають за формулою, м<sup>3</sup>/с:

$$V_{\text{вод}} = \frac{Q_K}{c_{\text{вод}} \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot \Delta t_{\text{вод}}} = \frac{Q_{\text{вод}}}{4190 \cdot (t_{\text{вод}2} - t_{\text{вод}1})} \quad (2.2.)$$

Охолодження води у вентиляторних градирнях зазвичай знаходиться у межах  $\Delta t_{\text{вод}} = 3,5 \dots 8^\circ\text{C}$ . При визначенні параметрів повітря і води температуру води на виході із градирні  $t_{\text{вод}1}$  не можна приймати довільно. Вона залежить насамперед від конструкції градирні як теплообмінного апарату. Найнижча температура води  $t_{\text{вод}1}$ , яку можна одержати у градирні з безкінечно великою поверхнею теплообміну, дорівнює температурі повітря за показом мокрого термометра. Однак у реальній градирні поверхня не може бути безкінечно великою, тому вода



охолодиться до більшої температури (на 3 – 4 °С), ніж температура мокрого термометра,  $t_{в.м.}$ .

Відношення дійсного охолодження води до теоретично можливого називають коефіцієнтом ефективності градирні  $\eta$ :

$$\eta = \frac{t_{\theta 2} - t_{\theta 1}}{t_{\theta 2} - t_{в.м.}} \quad (2.3.)$$

Враховуючи, що потужність груп вентиляторів, які нагнітають повітря в градирню сягає значень до 60 кВт, оптимізувати процес відбору тепла можна за значеннями вологості повітря на вході і на виході градирні. В даний час проводяться такі роботи провідними фірмами, які є світовими лідерами по виробництву систем для одержання штучного холоду: GEA, Alfa Laval, Danfoss.

Значення відносної вологості вихідного повітря в таких системах наближається до 100% і є актуальним підтримувати його максимально близьким до цього значення для збереження рушійної сили процесу. В цьому випадку ефективність системи буде найвищою, однак майже всі відомі методи вимірювання погано працюють в цьому діапазоні значень вологості, тобто, різко зменшується точність і зростає інерційність вимірювання.

Вирішити проблему можна шляхом розробки нового методу вимірювання з розбавленням проби вологого газу і з застосуванням мікропроцесорної техніки для необхідних перерахунків з метою визначення вологовмісту проби.

У схемі автоматичного регулювання випарного конденсатора, яка запропонована у даному проекті, продуктивність вентилятора міняється шляхом застосування частотно–регульованого приладу.

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

Для регулювання процесу охолодження газоподібного аміаку використаємо схему зображену на рис. 2.4.

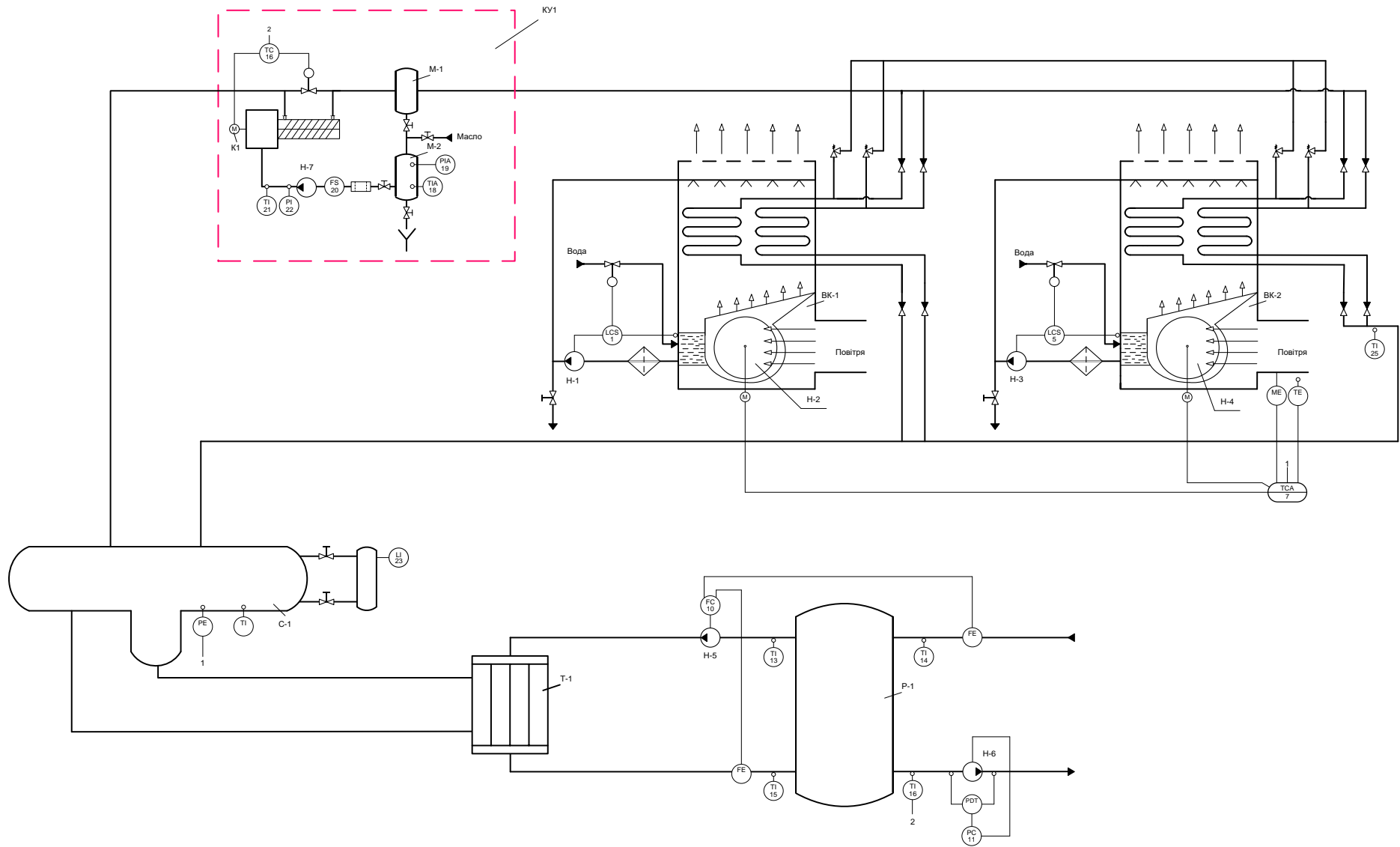


Рис.2.4. Спрощена функціональна схема автоматизації.

Для автоматизації випарних конденсаторів потрібно організувати наступні контури регулювання:

- 1- регулювання рівня води в ємності базового конденсатора для її збору.
- 2- регулювання рівня води в ємності регульованого конденсатора для її збору.
- 3- регулювання тиску аміаку в сепараторі за значенням відносної вологості навколишнього повітря та його температури.
- 4- регулювання температури холодоносія на виході з лінійного ресивера.
- 5- регулювання витрати холодоносія (гліколю) у внутрішньому контурі
- 6- регулювання тиску на виході з лінійного ресивера.

## **2.5. Вибір технічних засобів автоматизації**

Для обраних в попередньому пункті контурів регулювання підберемо давачі та виконавчі механізми. В якості автоматичного регулятора використовуємо програмований контролер S7 - 300.

При виборі технічних засобів автоматизації (ТЗА) треба враховувати функціональні ознаки систем автоматичного регулювання (САР), характер технологічного процесу, параметри та фізико-хімічні властивості вимірюваного середовища, місце розміщення пунктів управління та контролю стосовно технологічних об'єктів, необхідну точність і швидкодію. Крім того беруть до уваги такі фактори, як пожежо- і вибухобезпечність, агресивність, токсичність середовищ, а також інші фізико-хімічні властивості речовин.

### *Опис контурів регулювання*

**1.** Рівень води в ємності базового конденсатора підтримується на заданому значенні шляхом її підживлення. Значення рівня вимірюється гідростатичним методом, за допомогою перетворювача Метран – 100 – ДГ – 1531, з уніфікованим струмовим сигналом. Далі сигнал поступає на контролер, де реалізується імпульсний ПІ-регулятор. Сигнал із регулятора подається на пускач, а з пускача на регулюючий клапан. Для зміни ступеню відкриття регулюючого

органу на лінії подачі вторинного повітря використаємо регулюючий клапан з електроприводом типу МЭО.

2. Регулювання рівня води в ємності регульованого випарного конденсатора здійснюється аналогічно.

3. регулювання тиску аміаку в сепараторі за значенням відносної вологості навколишнього повітря та його температури, здійснюється програмно.

4. Температура холодоносія на виході з лінійного ресивера регулюється за допомогою зміни продуктивності компресорної установки. Зміна продуктивності компресорної установки здійснюється методом байпасування, через регулюючий клапан в середині компресорної установки. Для вимірювання температури гліколю на виході, використовується термометр опору платиновий. НСХ Pt100,  $W_{100}=1.385$ . Діапазон вимірювання  $-50...50$  °С, з вбудованим перетворювачем серії Sitrans TH, фірми Siemens. Вихідний сигнал 4-20 мА. Для зміни ступеню відкриття регулюючого клапану на лінії байпасування газоподібного аміаку використовується гідравлічний сервопривід, що керується дискретними сигналами «Більше» та «Менше».

5. Регулювання витрати гліколю у внутрішньому контурі здійснюється шляхом зміни продуктивності насосу Н-5. Продуктивність насосу змінюється за допомогою частотно-керованого приводу. Витрата у внутрішньому контурі має бути трішки більшою, ніж у зовнішньому, тому завданням цього регулятора є добуток витрати зовнішнього контуру на деякий коефіцієнт  $k$  ( $k=1.1...1.5$ ). Витрата гліколю вимірюється електромагнітним. витратоміром фірми Siemens, серії Sitrans F M, типу MAGFLO MAG3100, з уніфікованим вихідним сигналом  $4\div 20$  мА.

6. Регулювання тиску на виході з лінійного ресивера здійснюється шляхом зміни продуктивності насосу Н-6. Продуктивність насосу змінюється за допомогою частотно-керованого приводу, в залежності від кількості споживачів. Перепад тиску гліколю вимірюється перетворювачем різниці тисків фірми Siemens, типу Sitrans PDS. III з уніфікованим вихідним сигналом  $4\div 20$  мА

*Давачі температури для індикації по місцю:*

Манометричний термометр фірми WİKA, серії TGT. Діапазон вимірювання 0...100 °C. Типу TGT73.

*Давачі температури для дистанційної передачі:*

Термометр опорний платиновий, НСХ Pt100, W100=1.385, з вбудованим перетворювачем Sitrans TH100, фірми Siemens. Діапазон вимірювання 0...100 °C. Вихідний сигнал 4-20 мА.

*Давач тиску:*

Для вимірювання тиску в сепараторі використаємо вимірювальний перетворювач SITRANS Z фірми Siemens, тип: 7MF1564-3CA 00-1AA1 з вихідним сигналом 4÷20 мА, діапазон вимірювання 0÷16 Bar.

*Давачі рівня:*

Для вимірювання рівня в сепараторі використаємо поплавцевий рівнемір в комплекті з цифровим контролером типу DLC3000 і первинним перетворювачем типу 249BF, діапазон вимірювання 0 ÷ 48 дюйм (122 см).

Для вимірювання рівня у випарних конденсаторах використаємо давачі гідростатичного тиску (рівня) Метран – 100 – ДГ – 1531, діапазон вимірювання 0÷10 кПА, (0÷1 м),  $\delta=0,25\%$ , з вихідним сигналом 4÷20 мА.

*Давач вологості:*

Для вимірювання вологості використаємо вологомір типу THD – D 02 – C фірми Autonics, з вихідним сигналом 4÷20 мА.

*Давач показника якості*

Для визначення вмісту солі у воді випарних конденсаторів використаємо кондуктометричний концентратомір, який складається із давача провідності – модель 4973 та перетворювача аналізатора провідності DL421 фірми Honeywell. Діапазон вимірювання 0.....1 мС\*см. Вихідний сигнал 4÷20 мА.

*Виконавчі механізми (ВМ) та регулюючі органи (РО)*

Використаємо ВМ типу МЕО-16/10-0,25-82 та РО – кульовий кран типу D100H005 фірми SAMOZZI.

*Частотний перетворювач* Використаємо частотний перетворювач зі скалярним і векторним законом керування типу Danfoss VTL 2800.

## 2.6. Специфікація на засоби автоматизації

Таблиця 2.3

### Специфікація на засоби автоматизації

№ п/п	№ Положіття	Технологічний параметр, його номінальне значення	Місце встановлення ТЗА	Назва та коротка технічна характеристика ТЗА	Тип	К-сть
1	2	3	4	5	6	7
1	1-1, 1-2, 5-1,5-2	Рівень води	1 м	Давач гідростатичного тиску (рівня), Ду=0-10 кПа; вихідний сигнал 4-20mA.	Метран- 100-ДГ-1531	2
2	1-4, 3-1, 3-2, 4-1, 5-4, 8-1, 16-2, 20-2			Пускач безконтактний реверсивний, вхідний сигнал-24 В. Працює з МЭО, живиться напругою 220 В і частотою 50 Гц.	ПБР-2М	8
3	1-5, 1-6, 5-5, 5-6			ВМ МЭО-16/10-0,25-82 (номінальний крутний момент 16 Н·м, номінальний час ходу валу 10 с, номінальний повний хід валу 0,25 об.)	МЭО-16/10-0,25-82	4
4	1-7, 5-7			Кульовий кран фірми SAMOZZI	D100H005	2
5	2-1, 6-1	Вміст солі	0.5 мСм*см	Первинний вимірювальний перетворювач провідності, вихідний сигнал 4-20mA.	Honeywell – 4973	2
6	2-2, 6-2	Вміст солі		Перетворювач аналізатора провідності, вихідний сигнал 4-20mA.	Honeywell – DL421	2

7	7-1	Вологість	60 %	Вимірювальний перетворювач вологості, вихідний сигнал 4-20mA.	Autonics – ТНД-Д 02-С	1
8	7-2	Температура повітря	20 °С	Термометр опору платиновий. НСХ Pt100, W100=1.385. Діапазон вимірювання 0...100 °С, з вбудованим перетворювачем серії Sitrans TH, фірми Siemens. Вихідний сигнал 4-20 мА.	Siemens Sitrans TH100	1
9	7-5	Тиск у сепараторі	8 бар	Вимірювальний перетворювач фірми Siemens, з вихідним сигналом 4÷20 мА, діапазон вимірювання 0÷16 Bar 0-20 мА.	SITRANS Z 7MF1564-3CA00-1AA1	1
10	7-6			Частотний перетворювач зі скалярним векторним законом керування, 15кВт	Danfoss VTL 2800	1
11	9-1	Температура конденсат-ції		Термометр опору платиновий. НСХ Pt100, W100=1.385. Діапазон вимірювання 0...50 °С, з вбудованим перетворювачем серії Sitrans TH, фірми Siemens. Вихідний сигнал 4-20 мА.	Siemens Sitrans TH100	1
12	10-5, 11-2			Частотний перетворювач зі скалярним векторним законом керування, 4кВт	Danfoss VTL 2800	2

13	11-1	Перепад тиску		Перетворювач різниці тисків фірми Siemens, з уніфікованим вихідним сигналом 4÷20 мА	Sitrans PDS. III	1
14	10-1, 10-2	Витрата гліколю		Електромагнітний витратомір фірми Siemens, серії Sitrans F M, з уніфікованим вихідним сигналом 4÷20 мА	MAGFLO MAG3100	2
15	10-3, 10-4	Витрата гліколю		Вторинний перетворювач фірми Siemens, серії Sitrans F M, з уніфікованим вихідним сигналом 4÷20 мА	MAGFLO MAG5000	2
16	10-6, 12-1, 20-1			Реле потоку фірми Danfoss	FQS	3
17	13-1, 14-1, 15-1, 16-1	Температура гліколю		Термометр опору платиновий. НСХ Pt100, W100=1.385. Діапазон вимірювання - 50...50 °С, з вбудованим перетворювачем серії Sitrans TH, фірми Siemens. Вихідний сигнал 4-20 мА.	Siemens Sitrans TH100	4
18	16-2, 20-2			Комутуюча апаратура – контактор, фірми Siemens	SIRIUS 3RT20	2
19	17-1			Первинний перетворювач лінійного переміщення, резистивний, фірми GEFRA	PY3	1



20	17-2			Вторинний перетворювач лінійного переміщення, фірми GEFRAN, з напругою живлення 24 V DC, аналоговий вихід 0÷10 V	PCIR	1
21	18-1		40 C	Термометр опору платиновий. НСХ Pt100, W100=1.385. Діапазон вимірювання 0...100 °С, з вбудованим перетворювачем серії Sitrans TH, фірми Siemens. Вихідний сигнал 4-20 мА.	Siemens Sitrans TH100	1
22	19-1	Тиск у маслозбірнику		Вимірювальний перетворювач фірми Siemens, з вихідним сигналом 4÷20 мА, діапазон вимірювання 0÷10 Bar 0-20 мА.	SITRANS Z 7MF1564-3CA00-1AA1	1
23	21-1, 25-1			Манометричний термометр фірми WİKA, серії TGT. Діапазон вимірювання 0...100 °С.	TGT73	2
24	22-1			Показуючий манометр фірми WİKA. Діапазон вимірювання 0...16 Bar.	PGT01	1
25	23-1	Рівень аміаку в сепараторі	1 м	Поплавковий рівнемір фірми Honeywell	249BF	1
26	23-2			Цифровий контролер фірми Honeywell, діапазон вимірювання 0 - 122 см, з аналоговим вихідним сигналом 4 – 20 мА.	DLC3000	1

## 2.7. Розробка і опис загальної функціональної схеми автоматизації

Провівши аналіз можливих схем автоматизації зробимо детальний опис вибраної мною схеми автоматизації.

Дана технологічна схема процесу одержання штучного холоду включає такі елементи: випарні конденсатори, компресорну установку, випаровувач, лінійний ресивер та сепаратор.

Компресорна установка складається із гвинтового компресора, насоса подачі масла, масловідділювача і масло збірника, оскільки рідкий аміак (R-717) є нерозчинним із змащуваним маслом для компресора.

Конструктивно масловідділювач являє собою ємність, в якій, під дією сили тяжіння, масло у вигляді крапель накопичується у нижній частині і, далі, шляхом розприскування потрапляє у компресор.

Маслозбірник – це ємність, в яку потрапляє масло із масловідділювача і надлишок його видаляється із системи.

При циркулюванні неочищеного від масла аміаку відбувається “замаслення” поверхонь теплопередачі всіх теплообмінних апаратів, що призводить до різкого зниження коефіцієнта теплопередачі теплообмінних апаратів.

Від компресора газоподібний аміак подається у випарні конденсатори, в яких він охолоджується та зріджується.

Охолоджуюча установка складається з двох випарних конденсаторів, один з яких працює у регульованому режимі, а другий – у базовому режимі.

Як технологічний апарат, випарні конденсатори з метою зменшення габаритів і досягнення максимального відбору тепла на одиницю об’єму виконані у вигляді блочної конструкції, в нижній частині якої розміщений секціонований вентилятор – у регульованому конденсаторі, та двошвидкісний двигун – у конденсаторі, який працює в базовому режимі. Тобто, вентилятор має декілька коліс на одному довгому горизонтальному валові. У верхній частині випарних конденсаторів розміщені форсунки, через які розбризкується обезсолена вода для охолодження теплообмінників шляхом використання скритої теплоти випаровування для максимальної інтенсифікації процесу

охолодження. Два теплообмінники, в яких охолоджується газоподібний аміак, розміщені під форсунками. Вода з форсунок стікає по трубках і збирається в похилих жолобах, які розміщені на різній висоті з перекриттям, а через лабіринти між ними продувається повітря від вентилятора. Таким чином, здійснюється захист від попадання води на колеса вентилятора. З жолобів вода стікає в накопичувальну ємність збоку всієї конструкції і через фільтр поступає в відцентровий насос, який подає воду на форсунки. Оскільки вода інтенсивно випаровується, її запас має автоматично поповнюватись. З верхньої частини випарних конденсаторів у атмосферу виходить повітря з майже насиченою вологою парою.

Для економічної роботи випарних конденсаторів продуктивність вентиляторів потрібно підтримувати такою, щоб залишалась рушійна сила процесу, тобто, потік повітря має бути таким, щоб значення відносної вологості на виході було на рівні 95-98 %. Збільшення витрати повітря призведе до зменшення значення вологості на виході, але це будуть неефективні затрати.

Двошвидкісний двигун, який розміщений у базовому випарному конденсаторі, працює у двох режимах: з великою швидкістю та з малою швидкістю. В залежності від температури і частоти обертання секціонованого вентилятора у регулюючому випарному конденсаторі регулювання здійснюється наступним чином:

Якщо при досягненні максимальної частоти обертання вентилятора температура не зменшується, то у конденсаторі, який працює в базовому режимі, потрібно збільшити навантаження двошвидкісного двигуна на одну ступінь, тобто – з вимкненого стану перейти на малу швидкість або з малої швидкості перейти на велику швидкість. Якщо ж секціонований вентилятор у конденсаторі, який працює в регульованому режимі, досягає меншої частоти, то у конденсаторі, який працює в базовому режимі, потрібно зменшити навантаження двошвидкісного двигуна на одну ступінь.

*Потік аміаку через випарні конденсатори організований наступним чином:*

Від компресора газоподібний аміак з високою температурою через зворотні клапани подається у теплообмінники випарних конденсаторів, в яких охолоджується і переходить у рідкий стан із газоподібного. Охолодження аміаку, як вже було описано вище, відбувається за рахунок розбризкування і випаровування води, яка циркулює по колу з ємності для збирання за допомогою відцентрового насосу. Рівень води у ємності для збирання підтримується системою автоматичного регулювання шляхом зміни витрати води на підживлення. Теплообмінники випарних конденсаторів мають великий опір. В них при охолодженні проходить зрідження аміаку. Зріджений аміак поступає у сепаратор. В сепараторі відбувається розділення двох фаз аміаку – рідкого, охолодженого, який далі поступає у випаровувач, та газоподібного, нагрітого, що надходить із випаровувача у сепаратор, а з сепаратора – в компресорну установку і цикл починається заново.

Випаровувач складається із теплообмінників, які являють собою щільноприлягаючі пучки труб малого діаметру, що дозволяє зменшити його габарити, не змінюючи поверхні теплообміну. У теплообмінниках холодоагент – аміак охолоджує нагрітий холодоносій – гліколь, після чого, газоподібний аміак вертається в сепаратор, а охолоджений гліколь надходить у буферну ємність – лінійний ресивер.

Лінійний ресивер призначений для створення запасу холодоносія, оскільки кількість споживачів холоду може різко змінюватися в залежності від технологічних потреб. Умовно існує два контури циркулювання гліколю – внутрішній (той, що йде на охолодження у випаровувач), та зовнішній (той, що йде до споживачів холоду).

Загальна схема автоматизації випарних конденсаторів в системі одержання штучного холоду працює наступним чином:

За допомогою відцентрових насосів, попередньо очищена вода розбризкується через форсунки, зрошуючи теплообмінники, які заповнені

газоподібним аміаком і розміщені у випарних конденсаторах. Рівні охолоджуючої води у ємності випарних конденсаторів вимірюються давачами гідростатичного тиску (рівня), типу Метран- 100-ДГ-1531, які встановлені по місцю. Виходи від гідростатичних рівнемірів під'єднані до аналогових входів вільнопрограмованого контролера типу S7-300. Реалізований в контролері регулятор рівня має дискретні виходи, якими керує виконавчими механізмами типу МЭО-16/10-0,25-82, змінюючи при цьому положення РО - кульового крану типу D100H005 фірми CAMOZZI. Таким чином змінюється витрата води на підживлення.

У відфільтрованій воді додатково вимірюється вміст солей за допомогою первинного вимірювального перетворювача провідності фірми Honeywell типу 4973, вихід з якого теж заведений на аналоговий вхід контролера.

У випарні конденсатори поступає повітря, яке сприяє швидшому випаровуванню води і, як наслідок цього – швидшому охолодженню. Вологість повітря вимірюється первинним вимірювальним перетворювачем фірми Autonics типу THD-D 02-C. Вихід вологоміра – аналоговий струмів сигнал, який теж заведений на аналоговий вхід контролера. Температура повітря вимірюється платиновим термометром опору типу ТСП-1-5- Pt100-B-3-250 (виробництво ТЕРА). Термометри опору під'єднані до вторинних перетворювачів температури Sitrans TH-100. За значенням температури та вологості в контролері розраховується значення завдання для контуру регулювання температури конденсації аміаку. Також в цей же регулятор заведене значення тиску конденсації аміаку в сепараторі, яке за лінійною залежністю перераховується в температуру конденсації аміаку. Сформований сигнал від регулятора поступає на частотний перетворювач з можливістю скалярного і векторного керування двигуном, типу Danfoss VTL 2800. Цим перетворювачем регулюється частота обертів секціонованого вентилятора, який встановлений у регульованому випарному конденсаторі.

Температури газоподібного аміаку, рідкого охолодженого аміаку та аміаку в сепараторі вимірюємо скляними термометрами із захисними гільзами, типу ТТП.

Рівень аміаку в сепараторі вимірюється поплавцевим рівнемір в комплекті з цифровим контролером типу DLC3000. Цей рівнемір теж заведений на аналоговий вхід контролера. Досягнення крайніх значень рівня сигналізується.

## **2.8. Програмне забезпечення системи керування**

Для даної технологічної схеми розроблено програмне забезпечення наступним контурам регулювання:

- контур імпульсного ПІД регулювання рівня води у ємності базового конденсатора;
- контур імпульсного ПІД регулювання рівня води у ємності регульованого конденсатора;
- основний контур – контур регулювання продуктивності вентиляторів за значенням відносної вологості навколишнього повітря та його температури з корекцією по тиску в сепараторі.

Насамперед, здійснюємо обробку всіх вхідних аналогових сигналів, а саме: рівня води у ємності базового конденсатора; положення ВМ у базовому конденсаторі; вмісту солей у воді базового конденсатора; рівня води у ємності регульованого конденсатора; положення ВМ у регульованому конденсаторі; вмісту солей у воді регульованого конденсатора; вологості навколишнього середовища; сигналу тиску конденсації; рівня аміаку в сепараторі; температури навколишнього середовища.

Для обробки вхідного сигналу рівня води у ємності базового конденсатора, за допомогою команди I\_DI ми переводимо значення регістру PIW752 з числового формату integer в double integer. Далі, з допомогою команди DI\_R, ми переводимо це значення в числовий формат real для подальшої обробки. Так як АЦП контролера S7-300 має свою розрядність, тому для нормування рівня

потрібно поділити її на певне число і результат записати в регістр MD18, де ми матимемо нормоване значення рівня. Обробка всіх інших вище перерахованих вхідних аналогових сигналів здійснюється за аналогічним алгоритмом.

Розглянемо контур імпульсного ПД регулювання рівня води у ємності базового конденсатора.

Для регулювання застосуємо функціональний блок CONT\_S з імпульсними виходами. На вхід блоку регулювання записуємо оброблене значення вхідної величини, тобто значення регістру MD18.

Контур імпульсного ПД регулювання рівня води у ємності регульованого конденсатора. Для регулювання теж застосуємо функціональний блок CONT\_S з імпульсними виходами. На вхід блоку регулювання записуємо оброблене значення вхідної величини, тобто значення регістру MD28. Контур регулювання продуктивності вентиляторів за значенням відносної вологості навколишнього повітря та його температури з корекцією по тиску в сепараторі.

Розраховуємо спрощене значення температури мокрого термометра  $T_M$  :

$$T_M = \frac{RH}{10} - 10 + T_C, \text{ де}$$

$T_C$  – температура середовища;

RH – вологість середовища.

Для цього використаємо арифметичні функції, які комбінують два значення відповідно до основних арифметичних операцій додавання, віднімання, множення і ділення.

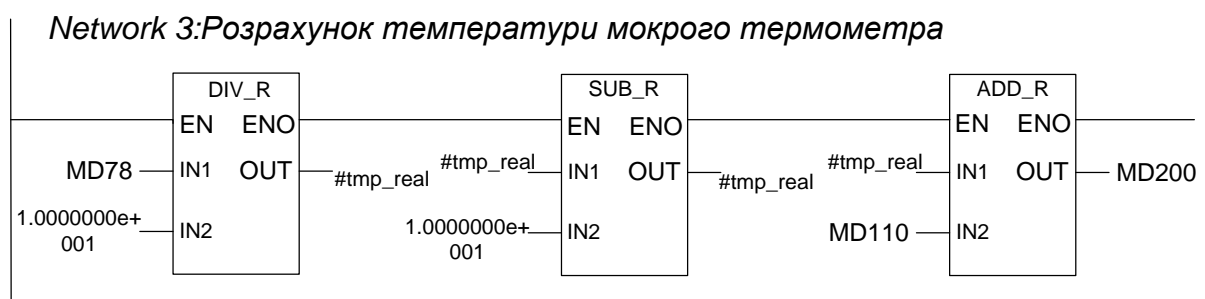


Рис.2.5. Розрахунок температури мокрого термометра

Здійснюємо ділення, використовуючи арифметичний блоковий елемент ділення змінних DIV\_R. Значення діленого, тобто вологості навколишнього

середовища, записане у реєстр MD 78 і подається на вхід IN1, дільник – 10 подається на вхід IN2. Результат ділення – частку записуємо у проміжний реєстр #tmp\_real на виході OUT.

Додавання, віднімання та множення здійснюється аналогічно. Розраховане значення температури мокрого термометра записуємо у реєстр на виході OUT - MD 200.

Розраховуємо оптимальну температуру та тиск конденсації :

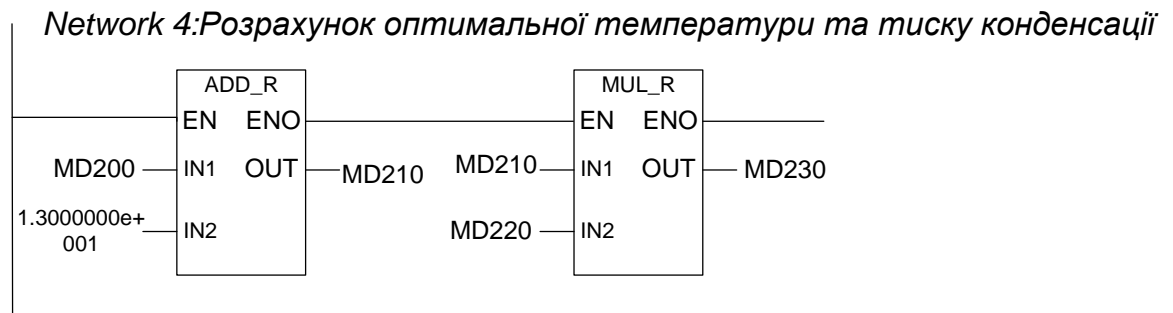


Рис.2.6. Розрахунок оптимальної температури та тиску конденсації

Додаємо до вище розрахованого значення температури мокрого термометра  $T_M$ , записаного у реєстрі MD 200, значення температури конденсації  $-13^{\circ}\text{C}$  і множимо на коефіцієнт 0.3925, який дійсний для додатніх температур в межах  $14 - 44^{\circ}\text{C}$ , (реєстр MD 220). Кінцевий результат даних операцій записуємо у реєстр MD 230 і подаємо на вхід блоку аналогового регулювання CONT\_C продуктивності вентиляторів за значенням відносної вологості навколишнього повітря та його температури з корекцією по тиску в сепараторі.

#### *Сигналізація тиску в сепараторі*

Сигналізацію здійснюємо за допомогою блоків порівняння – компараторів. Сигналізація по верхньому рівні: у випадку коли значення тиску в сепараторі стане рівним 12 бар, на екрані монітору з'явиться про це повідомлення і буде доти, поки оператор не підтвердить його. Сигналізація по нижньому рівні: якщо тиск в сепараторі впаде до значення 7 бар, то на екрані монітору з'явиться про це повідомлення і буде доти, поки оператор не підтвердить його.

Аналогічним чином здійснюємо сигналізацію рівня зрідженого аміаку в сепараторі та сигналізацію вмісту солей у воді конденсаторів.



### 3. ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ОДЕРЖАННЯ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ

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

В даному розділі бакалаврської роботи досліджується САР тиску конденсації в сепараторі, яка представлена на функціональній схемі автоматизації.

Об'єктом регулювання (ОР) є тиск конденсації аміаку в сепараторі.

##### *Вихідні дані*

Вихідною величиною ОР є тиск конденсації аміаку, а регулюючою дією – зміна швидкості обертання секціонованого вентилятора у базовому випарному конденсаторі на одну ступінь.

Задане значення регульованої величини – 0,5 бар.

Максимальна стрибкоподібна зміна регулюючої дії на одну ступінь (30 %).

Крива розгону, отримана при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 30 % ходу РО наведена в табл. 3.1.

*Таблиця 3.1.*

##### **Експериментальні значення для побудови кривої розгону**

Р, бар	9.5	9.48	9.45	9.4	9.3	9.25	9.18	9.12	9.1
t, с	0	15	30	45	60	75	90	105	120

Р, бар	9.07	9.05	9.04	9.02	9.01	9.005	9	9
t, с	135	150	165	180	195	210	225	240

Збурююча дія – стрибкоподібна зміна вологості навколишнього середовища на 10%.

Функція передачі каналом збурюючої дії:  $W(p) = \frac{3}{36p+1}$ , бар/%.

*Вимоги до якості процесу регулювання:*

1. Максимальне динамічне відхилення  $A_1 = 0.3$  бар

2. Допустима похибка регулювання  $\Delta = 0.01$  бар
3. Час регулювання  $t_p = 400$  с
4. Ступінь коливальності  $m = 0.35$
5. Друга інтегральна оцінка процесу при зміні регулюючої дії – min.

Криву розгону, яку ми отримали експериментальним шляхом, я відтворюю по точках в середовищі MatLAB для подальшого дослідження об'єкта (рис. 3.1).

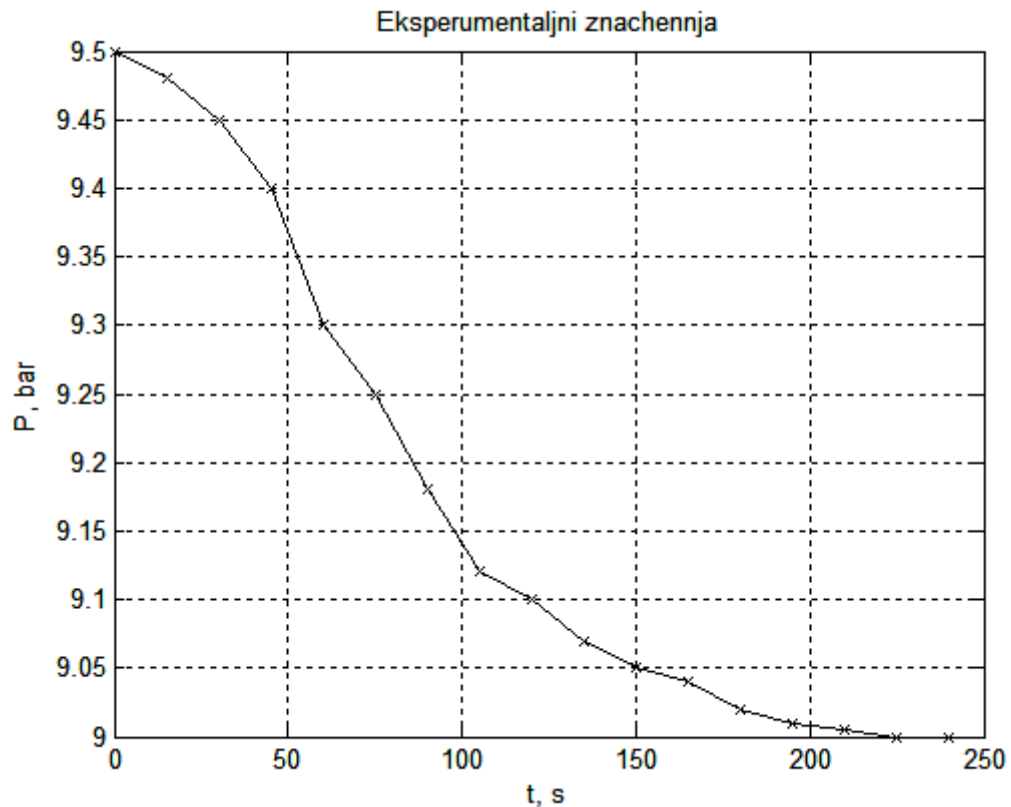


Рис. 3.1. Крива розгону, отримана стрибкоподібною зміною швидкості вентилятора у базовому випарному конденсаторі

Математичну модель об'єкта регулювання для розрахунків оптимальних параметрів настройки регулятора знаходимо у вигляді функції передачі.

Задача знаходження математичної моделі об'єкта за його експериментальною кривою розгону розв'язується в три етапи:

а) виходячи з характеру експериментальної кривої розгону і беручи до уваги відомі залежності між функціями передачі і перехідними функціями, вибирають передбачувану структуру моделі об'єкта і відповідну до неї функцію передачі в загальному вигляді;

б) знаходять числові значення параметрів моделі об'єкта за обраною методикою і отримують конкретну функцію передачі моделі;

в) знаходять розрахункові значення перехідного процесу обраної моделі і перевіряють точність апроксимації, порівнюючи теоретичну криву з експериментальною.

З кривої розгону видно, що у функцію передачі входять аперіодична ланка  $n$ -порядку ( $n=2, 3$ ), тому візьмемо функцію передачі у вигляді:

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

де  $T$  – стала часу.

Створимо файл знаходження параметрів функції передачі об'єкта регулювання за допомогою функції *fminsearch*.

```
% W(p)=k/(T*p+1)^3
%експериментальні значення
t_ek=[0:15:240];
P_ek=[9.5 9.48 9.45 9.4 9.3 9.25 9.18 9.12 9.1 9.07 9.05 9.04 9.02 9.01 9.005 9
9]-9.5;
%стрибкоподібна зміна продуктивності ВК на 30%
dx=0.3;
%К об'єкта регулювання
k=-0.5/0.3 %-1.67
%нульове наближення сталої часу T
x0=[1]; %27.5
x=fminsearch('summ',x0)
%стала часу і час запізнення
T=x(1);
%функція передачі об'єкта регулювання
W1=tf([k],[T 1]);
W2=tf([1],[T 1]);
Wop=W1*W2*W2;
```

```

%побудова кривої розгону за знайденою функцією передачі
Proz=step(Wop,t_ek)*dx;
plot(t_ek,Proz,'r',t_ek,P_ek,'x');grid
title('Kruva rozgony')
xlabel('t, s')
ylabel('P, bar')
%знаходження суми квадратів відхилень розрахункових значень кривої
розгону та заданих експериментальних
s=sum((Proz'-P_ek).^2),
%знаходження максимальної зведеної похибки для оцінки адекватності
знайденої моделі
del=max(abs(Proz'-P_ek)/0.5*100),
де summ:
function s=summ(x);
%експериментальні значення
t_ek=[0:15:240];
P_ek=[9.5 9.48 9.45 9.4 9.3 9.25 9.18 9.12 9.1 9.07 9.05 9.04 9.02 9.01 9.005 9
9]-9.5;
%стрибкоподібна зміна продуктивності ВК на 30%
dx=0.3;
%К об'єкта регулювання
k=-0.5/0.3;
%стала часу і час запізнення
T=x(1);
%функція передачі об'єкта регулювання
W1=tf([k],[T 1]);
W2=tf([1],[T 1]);
Wop=W1*W2*W2;
Proz=step(Wop,t_ek)*dx;
s=sum((Proz'-P_ek).^2);

```

Результатом виконання програми є:

$$k = -1.6667$$

$$x = 27.4564$$

$$s = 9.2241e-004$$

$$\text{del} = 2.6757$$

де  $x = T = 27.4564$  с,

$s$  - сума квадратів відхилень розрахункових значень кривої розгону від заданих експериментальних;

$\text{del}$  – максимальна зведена похибка.

Порівняння кривих розгону: „x” - експериментальна крива розгону; „-” – знайдена аналітично зображено на рис. 3.2.

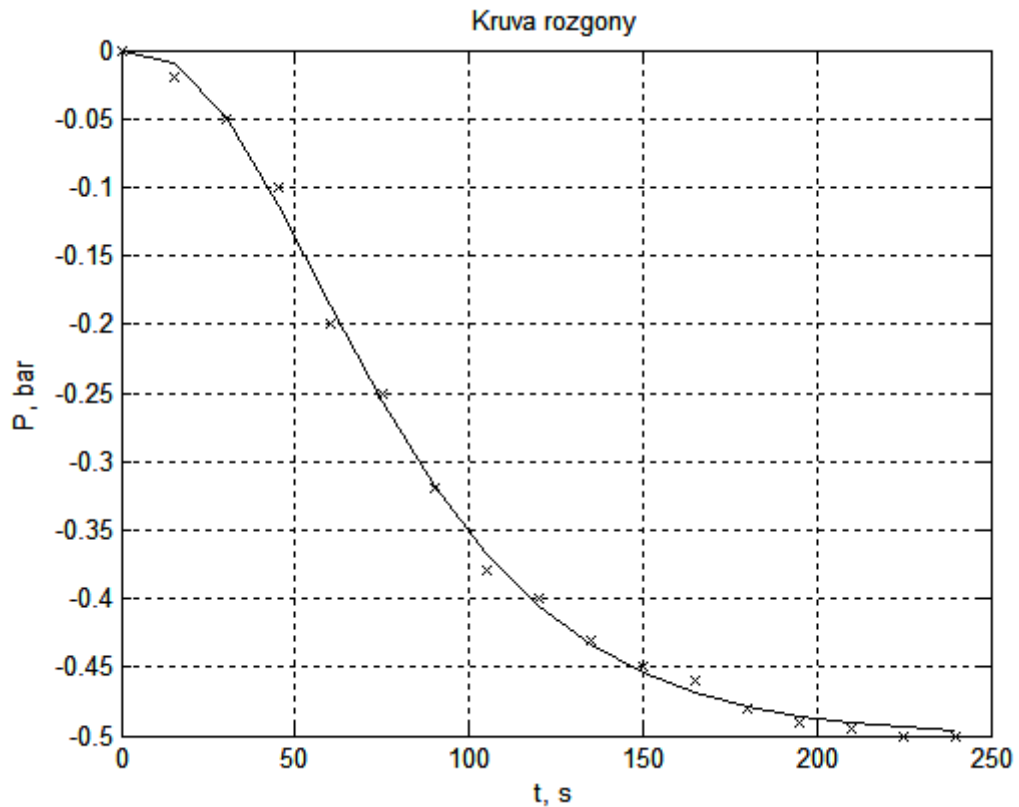


Рис. 3.2. Порівняння кривих розгону: „x” - експериментальна крива розгону; „-” – знайдена аналітично

Отже, функція передачі буде наступною:

$$W_{OP}(p) = \frac{-1.67}{(27.5p + 1)^3}.$$

Максимальна зведена похибка не перевищує 3%, отже знайдена модель адекватна заданій експериментальній кривій розгону.

### **3.2. Вибір і обґрунтування вимог до перехідного процесу контуру регулювання.**

Будь-яка промислова САР, крім стійкості, повинна забезпечувати якісні показники процесу регулювання. Якість процесу регулювання для стабілізуючих САР зазвичай оцінюють по перехідній функції по відношенню до одиничного стрибкоподібного збурення, а для слідкуючих САР – по перехідній функції по відношенню до одиничного стрибкоподібного задаючого впливу.

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

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, тощо.

Часом регулювання називається час, на протязі якого, починаючи з моменту нанесення збурення на систему, відхилення значень величини, яка регулюється, від її сталого значення буде менше від 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.

Колівальність 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.

### **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; причому П- і ПД-регулятори використовуються в основному в САР з астатичними об'єктами, а ПІ- та ПІД-регулятори – в САР з статичними об'єктами, так як наявність інтегруючих ланок в складі вказаних регуляторів та в астатичному об'єкті приводить до нестійкої роботи системи регулювання.

Пропорційні регулятори є найбільш простими і дають змогу стійко регулювати технологічні об'єкти. Функція передачі П-регулятора:  $W(p) = k_p$ .

I-регулятори можуть стійко працювати тільки з об'єктами із значним самовирівнюванням.

$$\text{Функція передачі: } W(p) = \frac{1}{T_i p}$$

В даному випадку не можливе використання I-регулятора, оскільки конденсатор є об'єктом без самовирівнювання.

ПІ-регулятор в динамічному відношенні подібний до системи з двох паралельно увімкнених ланок: П-ланки та І-ланки. Функція передачі ПІ-регулятора:  $W(p) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i p} \right)$

ПІ-регулятори дають змогу стійко регулювати значну кількість технологічних об'єктів. Тому вони отримали велике поширення на практиці.

ПІД-регулятори в динамічному відношенні схожі до систем з трьох послідовно з'єднаних ланок: пропорційної, інтегральної та ідеальної диференційної.

$$\text{Функція передачі ПІД-регулятора має вигляд: } W(p) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right)$$

ПІД-регулятори в ряді випадків дозволяють поліпшувати якість регулювання технологічних параметрів. Вони, як і ПІ-регулятори, відносяться до астатичних регуляторів.

В даному випадку побудуємо одноконтурну САР тиску конденсації аміаку з функцією передачі об'єкту регулювання  $W_{op}(p) = \frac{-1.67}{(27.5p + 1)^3}$  у прямому зв'язку і з автоматичним ПІ-регулятором у зворотному зв'язку.

### 3.4. Визначення оптимальних параметрів настроювання регулятора.

Для знаходження оптимальних значень параметрів настроювання регулятора необхідно застосувати спеціально розроблені теоретично обгрунтовані методи: метод розширених частотних характеристик.

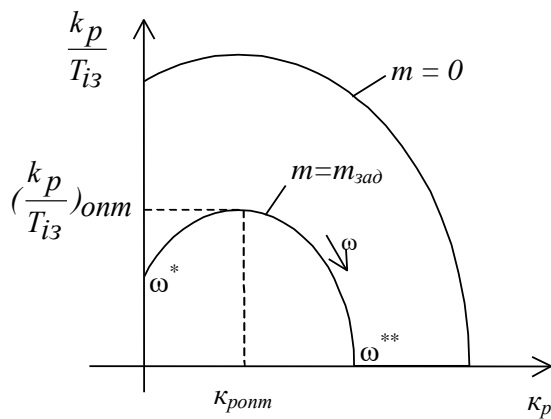
Метод розрахунку параметрів настроювання автоматичного регулятора базується на амплітудно-фазовому критерії стійкості (критерій Найквіста), який можна інтерпретувати як критерій запасу стійкості, якщо замість звичайних частотних характеристик застосувати розширені частотні характеристики.

Розширена частотна характеристика елемента з відомою функцією передачі визначається заміною в ній оператора Лапласа:  $p = -m\omega \pm i\omega$ , де  $\omega$  - кругова частота;  $m = \alpha/\omega$  - ступінь коливальності, яка характеризує запас стійкості;  $\alpha$  - абсолютне значення дійсної частини комплексного кореня характеристичного рівняння.

Умова забезпечення заданого запасу стійкості формулюється на основі критерію стійкості Найквіста, в якому застосовуються розширені частотні характеристики розімкненої системи автоматичного регулювання:  $W_{pc}(m, i\omega) = W_{op}(m, i\omega)W_p(m, i\omega) = -1$ , де  $W_{op}(m, i\omega) = U(m, \omega) + iV(m, \omega)$  розширена амплітудно-фазова характеристика (АФХ) об'єкта регулювання;  $U(m, \omega), V(m, \omega)$  - розширені дійсна та уявна частотні характеристики об'єкта регулювання.  $W_p(m, i\omega)$  - розширена АФХ регулятора. Для спрощення запису позначимо  $U(m, \omega) = U, V(m, \omega) = V$ .

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





$$\varphi_{OP}(m, \omega^{**}) = -\pi, \quad \varphi_{OP}(m, \omega^*) = -\frac{\pi}{2} + \arctan(m)$$

Графічно границя області заданого запасу стійкості представлена на рис. 3.3.

Рис. 3.3. Границя області заданого запасу стійкості

На цьому ж графіку показана область параметрів настроювання регулятора, що виводять САР на границю стійкості ( $m=0$ ). Якщо вважати, що діючі в САР збурення є низькочастотними, то оптимальні параметри настроювання розраховують на частоті  $\omega_0$ .

Для визначення параметрів налаштування ПІ регулятора розраховую частоти  $\omega^*$  та  $\omega^{**}$ :

```

clc;clear;
w=[0:0.0001:0.14];
T=27.5; k=1.67; m=0.35;
p=-m*w+i*w;
Wop=k./(T*p+1).^3;
fi=phase(Wop);
j=1:length(w);
a(j)=-pi;
b(j)=-pi/2+atan(m);
plot(w,fi,w,a,w,b); grid;
xlabel('w, rad/sec');
ylabel('y, rad');

```

Розширена фазочастотна характеристика, з якої визначаємо діапазон зміни частоти, при знаходженні оптимальних параметрів настроювання ПІ-регулятора зображена на рис. 3.4.

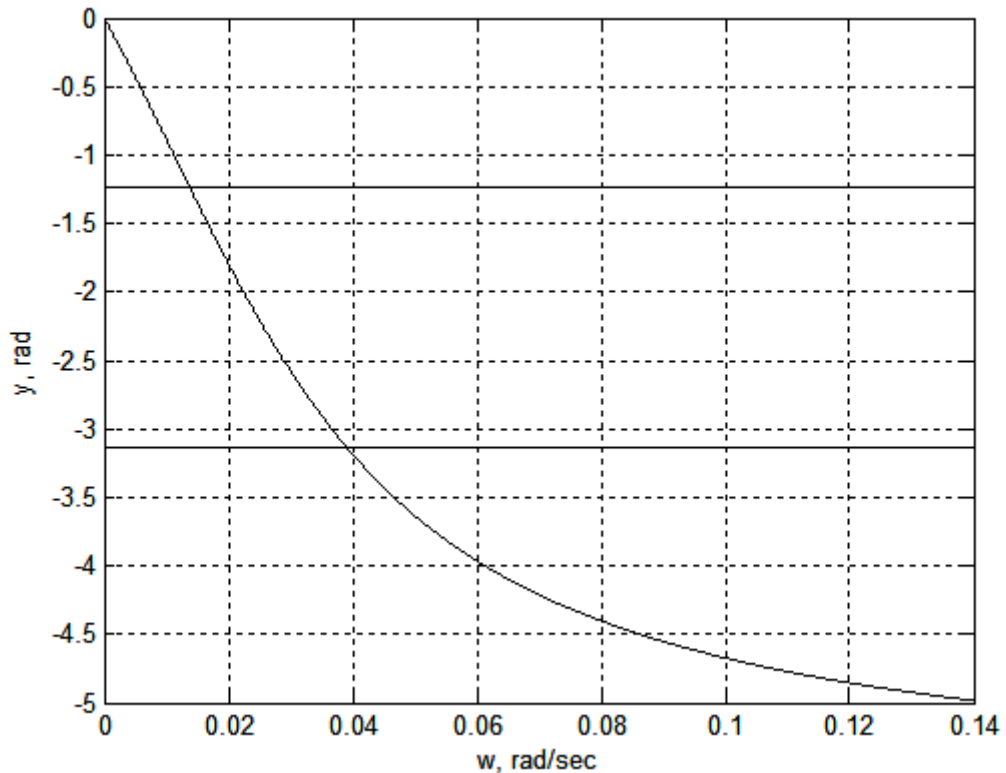


Рис.3.4. Розширена фазочастотна характеристика, для знаходження оптимальних параметрів настроювання ПІ-регулятора

Із рис. 3.4. отримуємо, що  $w^* = 0.0137$ ,  $w^{**} = 0.0392$ .

Для знаходження оптимальних параметрів настроювання регулятора створюємо програму в середовищі Matlab. Для цього для заданого  $m=0.35$  у площині параметрів  $k_p$ ,  $\frac{k_p}{T_{iz}}$  будую границю області запасу стійкості, з якої

визначу оптимальні значення параметрів настроювання  $(k_p)_{OPT}$ ,  $(\frac{k_p}{T_{iz}})_{OPT}$ . Як

критерій використовується друга інтегральна оцінка.

```

clc;clear;
T=27.5; k=1.67; m=0.35;
w=[0.0137:0.0001:0.0392];%0.0001 0.0395
p=-m*w+i*w;
Wop=k./(T*p+1).^3;
fi=phase(Wop);
Aop=abs(Wop);
Tdp=0; hama=abs(fi)+atan(m)-pi;
kp_Ti=w.*(m^2+1)^0.5.*(m.*cos(hama)-sin(hama))./Aop+(1+m^2).*Tdp*w.^2;
kp=(m^2+1)^0.5*cos(hama)./Aop+2*Tdp*m*w;

```

```

[kp_Tm j]=max(kp_Ti);
for i=1:length(w)
    t=[0:1000];
    W1=tf([k],[T 1]);
    W2=tf([1],[T 1]);
    Wop=W1*W2*W2;
    War1=tf(kp(i),[1]);
    War2=tf(kp_Ti(i),[1 0]);
    War3=tf([Tdp 0],1);
    War=War1+War2+War3;
    Wcap=Wop/(1+Wop*War);
    y=step(Wcap,t)*0.3;
    q=trapz(t,y.^2);
    S(i)=q;
    Jmin=min(S);
    if S(i)==Jmin;
        kp_Tiopt=kp_Ti(i);
        kpopt=kp(i);
    end
end
kpopt
kp_Tiopt
Jmin
al=Tdp/(kpopt/kp_Tiopt),
figure(1);plot(kp, kp_Ti,kpopt,kp_Tiopt,'*');grid; xlabel('kp'); ylabel('kp/Ti');
figure(2);plot(kp(j:350),S(j:350),kpopt,Jmin,'*'),grid; xlabel('kp'); ylabel('J');
W1=tf([k],[T 1]);
W2=tf([1],[T 1]);
Wop=W1*W2*W2;
War1=tf(kpopt,[1]);
War2=tf(kp_Tiopt,[1 0]);
War3=tf([Tdp 0],[0 1]);
War=War1+War2+War3;
Wcap=Wop/(1+Wop*War);
Wcap1=minreal(Wcap);
t1=[0:500];
y=step(Wcap,t1)*0.3;
figure(3);plot(t1,y);grid; xlabel('t,c'); ylabel('P,bar');
title('Perehidnuy proces');

```

Результати виконання програми показано на рис. 3.5. і 3.6.

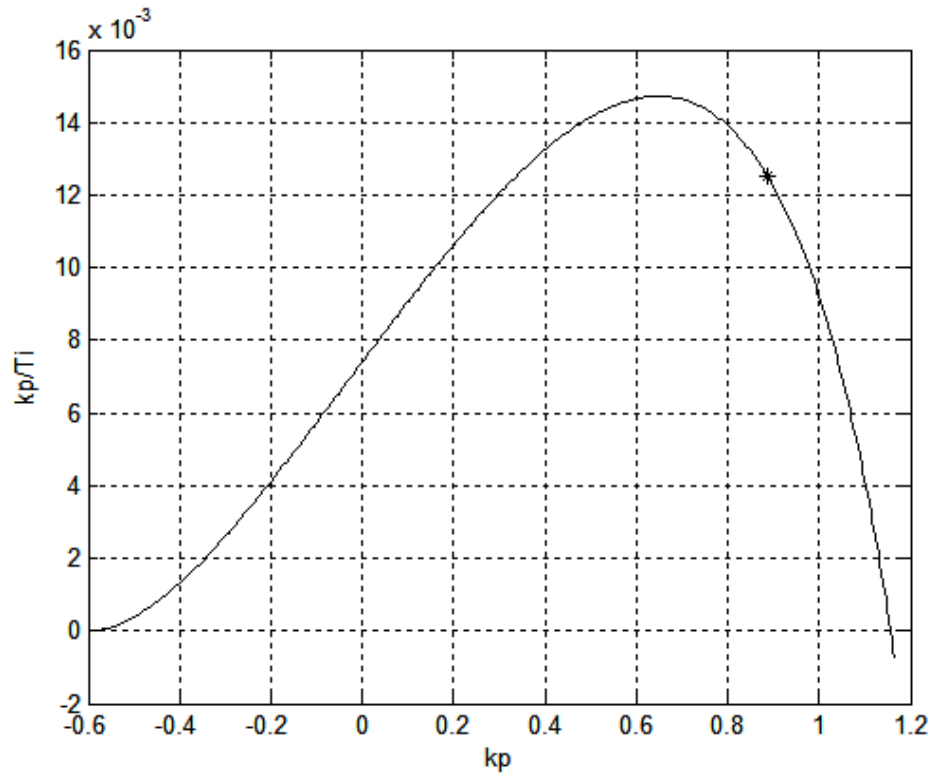


Рис.3.5. Границя області заданого запасу стійкості (зірочкою позначені оптимальні параметри  $\frac{k_p}{T_{iz}}$  і  $k_p$ ).

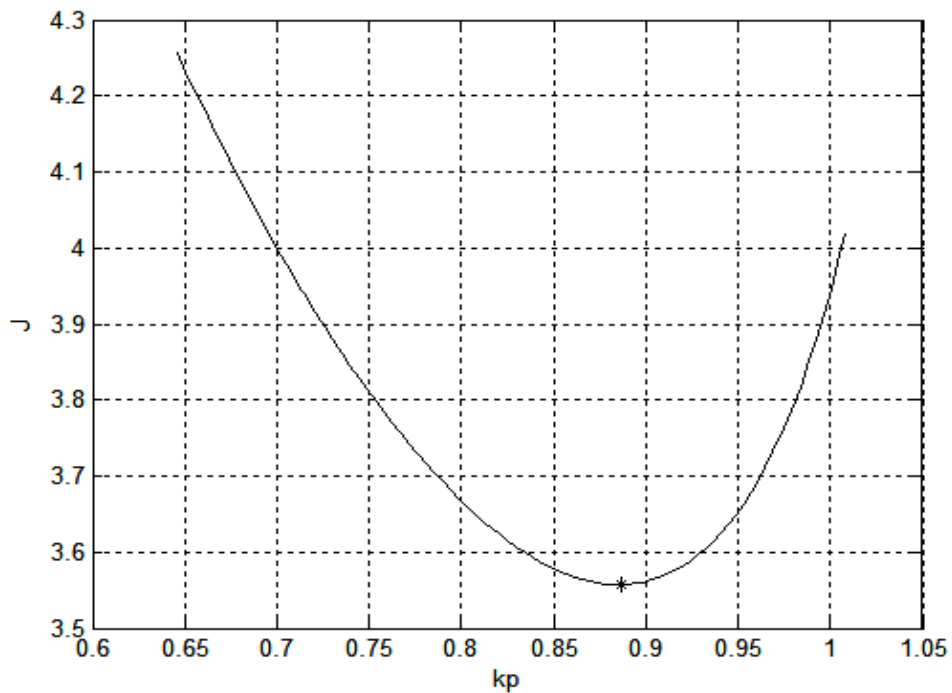


Рис. 3.6. Залежність коефіцієнта передачі регулятора ( $K_p$ ) від другої інтегральної оцінки ( $J$ )

Із графіків 3.5. і 3.6 знаходимо значення оптимальних параметрів ПІ-регулятора:

$$k_{\text{рopt}} = 0.8864$$

$$k_{\text{р}}T_{\text{іopt}} = 0.0125$$

Значення мінімуму другої інтегральної оцінки:  $J_{\text{min}} = 3.5569$ .

Перехідний процес замкнутої САР при оптимальних настройках ПІ-регулятора зображено на рис. 3.7.

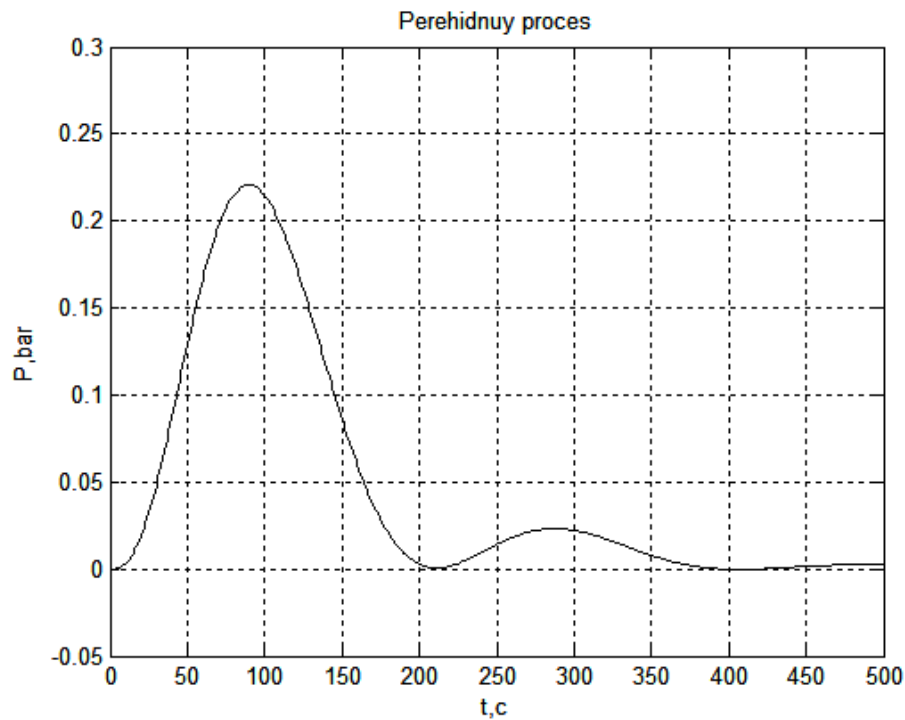


Рис.3.7. Перехідний процес замкнутої САР при оптимальних настройках ПІ-регулятора

Показники якості для одержаної кривої розгону:

Максимальне динамічне відхилення  $A_1=0.22$  бар.

Допустима похибка регулювання  $\Delta=0.01$  бар.

Час регулювання  $t_{\text{р}}=240$  с.

Коефіцієнт зникання:  $\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = \frac{0.22 - 0.023}{0.22} \approx 0.89$ .

$$\psi = 1 - e^{-2\pi m}, \text{ звідси } m = \frac{\ln(1 - \psi)}{-2\pi} = \frac{\ln(1 - 0.89)}{-2\pi} = 0.35.$$

Поставлені вимоги задовільняються, отже параметри настройки регулятора знайдені правильно.

### 3.5 Розрахунок і побудова перехідного процесу САР

Для дослідження перехідного процесу САР каналами регулюючої, керуючої та збурюючої дії розроблено структурну схему САР, яка зображена на рис. 3.8.

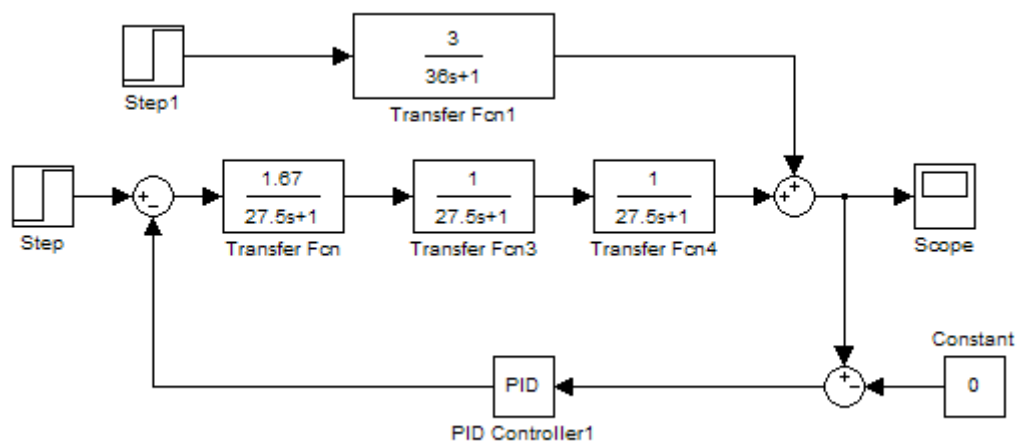


Рис. 3.8. Структурна схема САР із каналами керуючої, збурюючої та регулюючої дії

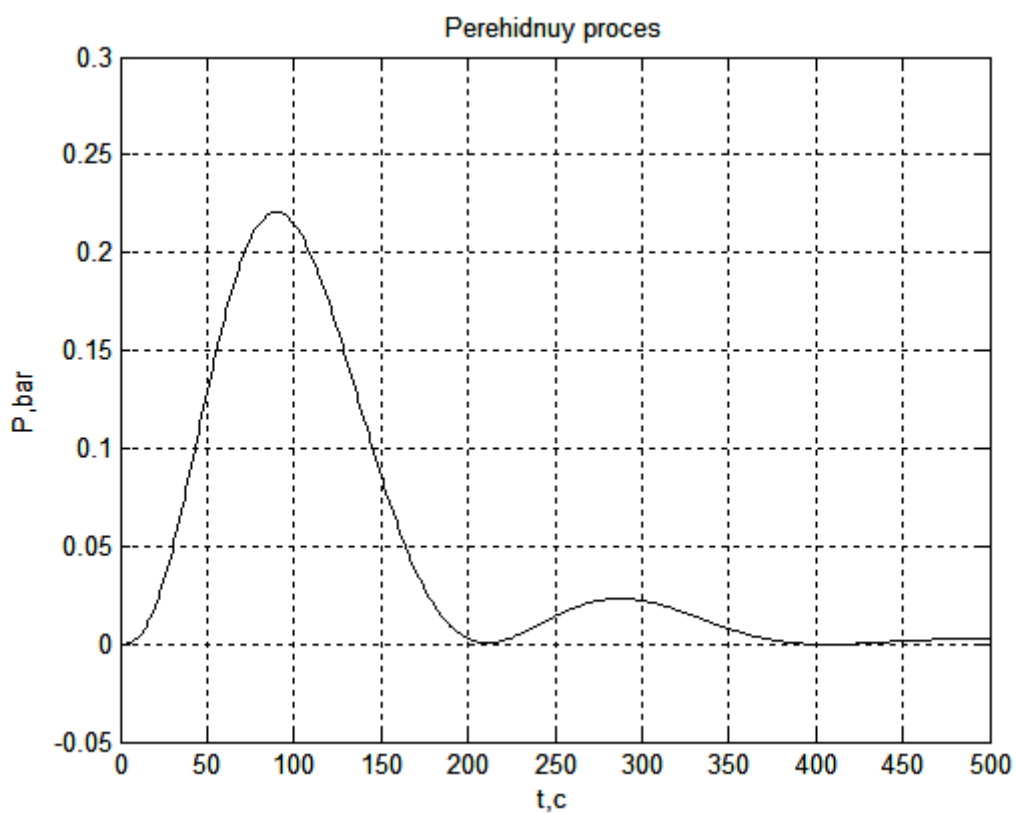


Рис. 3.9. Перехідний процес САР каналом регулюючої дії при стрибкоподібній зміні швидкості вентилятора в базовому випарному конденсаторі на 30%.

Перехідний процес САР каналом регулюючої дії при стрибкоподібній зміні швидкості вентилятора в базовому випарному конденсаторі на 30% показано на рис. 3.9.

Показники якості для одержаної кривої розгону:

Максимальне динамічне відхилення  $A1=0.22$  бар.

Допустима похибка регулювання  $\Delta=0.01$  бар.

Час регулювання  $t_p=240$  с.

Коефіцієнт зникання:  $\psi = \frac{A1 - A3}{A1} = \frac{0.22 - 0.023}{0.22} \approx 0.89$ .

$\psi = 1 - e^{-2\pi m}$ , звідси  $m = \frac{\ln(1 - \psi)}{-2\pi} = \frac{\ln(1 - 0.89)}{-2\pi} = 0.35$ .

Перехідний процес САР каналом збуруючої дії при стрибкоподібній зміні вологості навколишнього середовища на 10% показано на рис. 3.10.

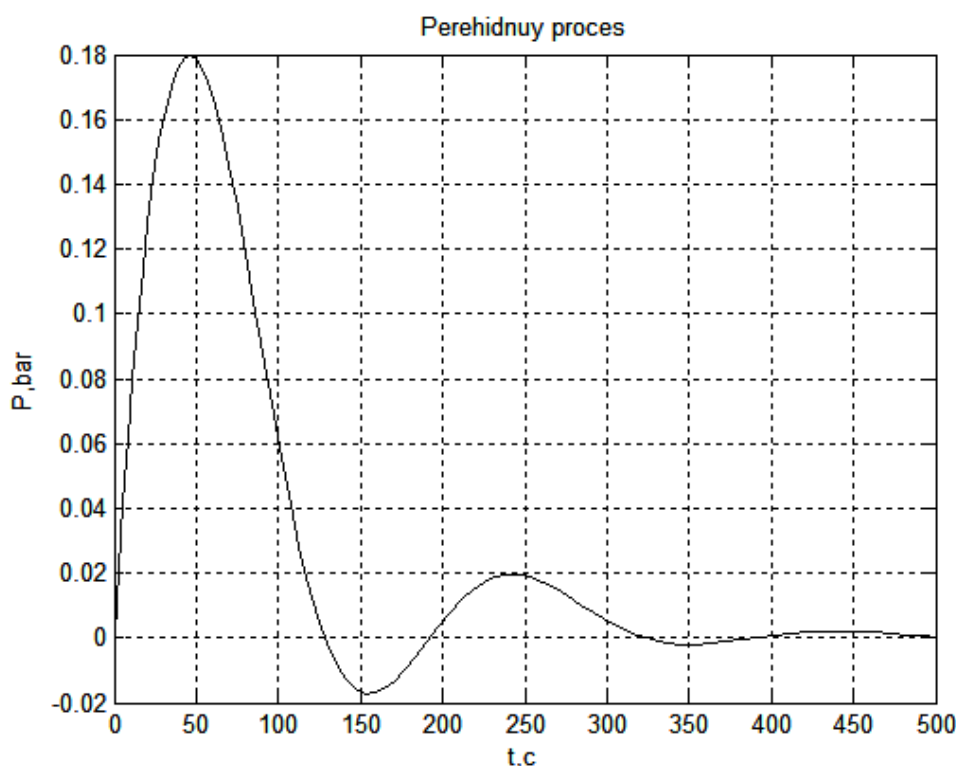


Рис.3.10. Перехідний процес САР каналом збуруючої дії при стрибкоподібній зміні вологості навколишнього середовища на 10%.

Показники якості для одержаної кривої розгону:

Максимальне динамічне відхилення  $A1=0.18$  бар.

Допустима похибка регулювання  $\Delta=0.01$  бар.

Час регулювання  $t_p=285$  с.

$$\text{Коефіцієнт зникання: } \psi = \frac{A1 - A3}{A1} = \frac{0.18 - 0.02}{0.18} \approx 0.89.$$

$$\psi = 1 - e^{-2\pi m}, \text{ звідси } m = \frac{\ln(1 - \psi)}{-2\pi} = \frac{\ln(1 - 0.89)}{-2\pi} = 0.35.$$

Перехідний процес САР каналом керуючої дії при стрибкоподібній зміні завдання тиску конденсації на 0,5 бар показано на рис. 3.11.

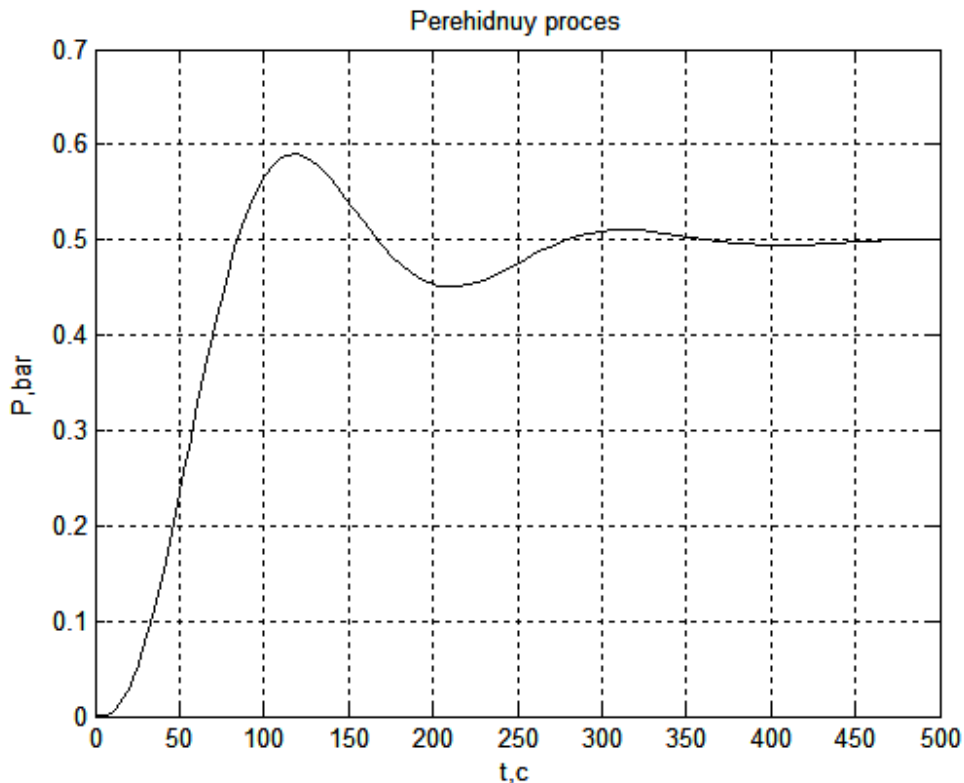


Рис.3.11. Перехідний процес САР каналом керуючої дії при стрибкоподібній зміні завдання тиску конденсації на 0,5 бар

Показники якості для одержаної кривої розгону:

Максимальне динамічне відхилення  $A1=0.09$  бар .

Допустима похибка регулювання  $\Delta=0.01$  бар.

Час регулювання  $t_p=315$  с.

$$\text{Коефіцієнт зникання: } \psi = \frac{A1 - A3}{A1} = \frac{0.09 - 0.01}{0.09} \approx 0.88.$$

$$\psi = 1 - e^{-2\pi m}, \text{ звідси } m = \frac{\ln(1 - \psi)}{-2\pi} = \frac{\ln(1 - 0.88)}{-2\pi} = 0.34.$$



## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

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

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

Правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні і лікувально-профілактичні заходи та засоби являють собою підґрунтя для реалізації вимог охорони праці на підприємствах. Саме тому проектування, будівництво, оснащення та усі інші процеси виробництва повинні здійснюватися з урахуванням правил охорони праці та пожежної безпеки. Персонал зобов'язаний ознайомитися та вивчити характеристики вибухо-, пожежо-, електробезпечних речовин, приладів та механізмів, а також з НПАОП 15.5-1.05-99 Правила охорони праці для працівників підприємств по переробці молока. Аналогічним чином адміністрація виробництва повинна дотримуватися інструкцій, правил та наказів з охорони праці, а також вести журнали інструктажів, аварій, професійних захворювань і так далі. Загалом усі заходи - як і підприємства, так і працівника - мають забезпечити максимально безтравматичне та безпечне місце роботи.

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

Робота по забезпеченню безпеки праці є однією з найважливіших сторін діяльності підприємства.

Наявність кваліфікованого персоналу на підприємстві одна з найважливіших умов безпеки праці на виробництві. Тому на підприємствах створюється спеціальна система навчання працівників по охороні праці.

Згідно з Законом України "Про охорону праці" служба охорони праці створюється власником підприємства. Служба охорони праці займається вирішуванням наступних завдань:

- забезпечення безпеки виробничої праці, устаткування, будівельних споруд;
- забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту;

- професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці, пропаганди безпечних методів праці;
- вибору оптимальних режимів праці і відпочинку працюючих.

#### **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 знешкроджувальними 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 знешкроджувальні засоби.

Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони». Норми виробничого мікроклімату регламентують державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6-042-99.

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

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

#### *Вентиляція та опалення*

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

Під час перевищення у приміщеннях норм концентрації шкідливих газів і пилу, що передбачаються санітарними нормами, необхідно негайно вивести людей в безпечну зону та вжити заходів щодо ліквідації загазованості та запиленості повітря.

Для локалізації пиловиділень необхідно передбачати герметизацію та аспірацію устаткування, застосування зволоження, сигналізацію про заповнення бункерів, регулярне прибирання приміщень.

Всмоктуючі та видувні отвори вентиляторів повинні бути загороджені решітками.

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

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

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

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

#### *Вібрації та шум*

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

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

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.

Світильники повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.32-01 і розміщуватися таким чином, щоб забезпечити надійність їх кріплення, безпеку та зручність обслуговування.

Оскільки в технологічному процесі використовується природний газ, то можливе накопичення вибухонебезпечної метано-повітряної суміші, тому системи електроосвітлення повинні бути зроблені у вибухобезпечному виконанні.

#### *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.

### **4.3. Пожежна безпека**

Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої та іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств та підприємців. Це відображено у трудових договорах (контрактах) та статутах підприємств. НАПБ А.01.001-2015 Правил пожежної безпеки в Україні. Забезпечення пожежної безпеки при проектуванні, будівництві, розширенні, реконструкції та технічному переоснащенні підприємств, будівель і споруд покладається на органи архітектури, замовників, забудовників, проектні та будівельні організації.

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**

Автоматизація виробничих процесів є основним засобом технічного прогресу, одним із найбільш ефективних шляхів підвищення продуктивності праці. Автоматичне управління і регулювання виробничих процесів дозволяє підвищити продуктивність обладнання і звільнити робітників від одноманітних і стомлюючих операцій по управлінню механізмами.

Використання сучасної мікропроцесорної техніки дає можливість покращити точність і якість керування процесом, стабілізувати основні технологічні параметри.

Вдосконалення системи автоматизації циліндрично-конічних бродильних апаратів направлене на підвищення ступеня керування технологічним процесом та покращення умов праці в цілому, за рахунок полегшення обслуговування технологічного обладнання та зниження рівня впливу небезпечних факторів на працюючих .

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 Ц<sub>б</sub>, пов'язаних з реконструкцією приміщень і влаштуванням фундаментів під щити, визначають за залежністю:



$$Ц_6 = V \cdot Ц_v \left(1 + \frac{C}{100}\right), \text{ де}$$

$V$  – об’єм будівлі, який підлягає реконструкції; за проектом  $V=25 \text{ м}^3$ ;  $Ц_v$  – ціна за  $1 \text{ м}^3$  об’єму приміщення, що підлягає реконструкції; за даними підприємства  $Ц_v = 195 \text{ грн}$ ;  $C$  – витрати на роботи по опаленню, освітленню, каналізації. За даними підприємства ці витрати складають 10 %. Тоді вартість будівельних робіт рівна:  $Ц_6 = 25 \times 195 (1 + 0,1) = 5362,5 \text{ грн}$ .

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

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 становлять :

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

Річну виробничу потужність обладнання неперервної дії можна визначити за формулою:  $V = N \cdot n_r \cdot (T - T_0)$ , де

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

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.

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

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

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

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

Загальна економія за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів складе:

$$E_3 = 103747,69 \text{ грн.}$$

Зміни у витратах на електроенергію розраховуються за даними підприємства за формулою:  $E_e = (m_1 - m_2) C_2 Q_2$ , де

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

Тоді за даними підприємства

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

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

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

Явочна чисельність чергових слюсарів буде рівною:

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

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

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;

$\varepsilon_i$  - 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.

Запровадження запропонованої системи автоматизації дає річний економічний ефект в сумі 156184,26 гривень, а термін окупності становить 0,786 року.

## ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській роботі проведено аналіз технологічного процесу виробництва штучного холоду. Основним елементом холодильної машини є компресор, в якому відбувається стиснення пари холодильного агента. Детально розглянуті процеси, які проходять у випарному конденсаторі, принцип роботи установки, та запропоновано способи удосконалення виробництва штучного холоду шляхом налагодження запропонованої системи автоматизації. Отримання холоду відбувається по круговому процесу, або циклу, в якому процес відбирання тепла від охолоджуваного середовища супроводжується компенсуючим процесом - підведенням енергії (наприклад, при стисненні парів холодоагента в компресорі).

Регульованими технологічними параметрами у процесі охолодження є тиск конденсації аміаку, рівні води у випарних конденсаторах, температура холодоносія – гліколю у зовнішньому контурі, тиск гліколю на виході з лінійного ресивера, витрата гліколю у внутрішньому контурі.

Технологічна схема процесу одержання штучного холоду включає такі елементи: випарні конденсатори, компресорну установку, випаровувач, лінійний ресивер та сепаратор.

Компресорна установка складається із гвинтового компресора, насоса подачі масла, масловідділювача і масло збірника, оскільки рідкий аміак (R-717) є нерозчинним із змащуваним маслом для компресора.

Конструктивно масловідділювач являє собою ємність, в якій, під дією сили тяжіння, масло у вигляді крапель накопичується у нижній частині і, далі, шляхом розприскування потрапляє у компресор.

Маслозбірник – це ємність, в яку потрапляє масло із масловідділювача і надлишок його видаляється із системи.

При циркулюванні неочищеного від масла аміаку відбувається “замаслення” поверхонь теплопередачі всіх теплообмінних апаратів, що призводить до різкого зниження коефіцієнта теплопередачі теплообмінних апаратів.

Від компресора газоподібний аміак подається у випарні конденсатори, в яких він охолоджується та зріджується.

Охолоджуюча установка складається з двох випарних конденсаторів, один з яких працює у регульованому режимі, а другий – у базовому режимі.

Рівні охолоджуючої води у ємності випарних конденсаторів вимірюються давачами гідростатичного тиску (рівня), типу Метран- 100-ДГ-1531, які встановлені по місцю. Виходи від гідростатичних рівнемірів під'єднані до аналогових входів вільнопрограмованого контролера типу S7-300. Реалізований в контролері регулятор рівня має дискретні виходи, якими керує виконавчими механізмами типу МЭО-16/10-0,25-82, змінюючи при цьому положення РО - кульового крану типу D100H005 фірми CAMOZZI. Таким чином змінюється витрата води на підживлення.

У відфільтрованій воді додатково вимірюється вміст солей за допомогою первинного вимірювального перетворювача провідності фірми Honeywell типу 4973, вихід з якого теж заведений на аналоговий вхід контролера.

У випарні конденсатори поступає повітря, яке сприяє швидшому випаровуванню води і, як наслідок цього – швидшому охолодженню. Вологість повітря вимірюється первинним вимірювальним перетворювачем фірми Autonics типу THD-D 02-C. Вихід вологоміра – аналоговий струмів сигнал, який теж заведений на аналоговий вхід контролера. Температура повітря вимірюється платиновим термометром опору типу ТСП-1-5- Pt100-B-3-250 (виробництво ТЕРА). Термометри опору під'єднані до вторинних перетворювачів температури Sitrans TH-100. За значенням температури та вологості в контролері розраховується значення завдання для контуру регулювання температури конденсації аміаку. Також в цей же регулятор заведене значення тиску конденсації аміаку в сепараторі, яке за лінійною залежністю перераховується в температуру конденсації аміаку. Сформований сигнал від регулятора поступає на частотний перетворювач з можливістю скалярного і векторного керування двигуном, типу Danfoss VTL 2800. Цим

перетворювачем регулюється частота обертів секціонованого вентилятора, який встановлений у регульованому випарному конденсаторі.

Температури газоподібного аміаку, рідкого охолодженого аміаку та аміаку в сепараторі вимірюємо скляними термометрами із захисними гільзами, типу ТТП.

Рівень аміаку в сепараторі вимірюється поплавцевим рівнеміром в комплекті з цифровим контролером типу DLC3000. Цей рівнемір теж заведений на аналоговий вхід контролера. Досягнення крайніх значень рівня сигналізується.

Для автоматизації випарних конденсаторів потрібно організовано наступні контури регулювання:

- 1- регулювання рівня води в ємності базового конденсатора для її збору.
- 2- регулювання рівня води в ємності регульованого конденсатора для її збору.
- 3- регулювання тиску аміаку в сепараторі за значенням відносної вологості навколишнього повітря та його температури.
- 4- регулювання температури холодоносія на виході з лінійного ресивера.
- 5- регулювання витрати холодоносія (гліколю) у внутрішньому контурі
- 6- регулювання тиску на виході з лінійного ресивера.

З метою підвищення ефективності роботи випарного конденсатора у роботі вирішені наступні основні задачі:

- розроблена функціональна схема автоматизації технологічного процесу одержання штучного холоду;
- вибрані сучасні мікропроцесорні засоби автоматизації, а саме контролер Siemens Simatic S7-300;
- розроблено програму для керування контролером Siemens Simatic S7-300;
- розроблені електричні схеми під'єднання засобів автоматизації;
- проведений розрахунок та моделювання система автоматичного регулювання тиску конденсації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. Автоматизація виробничих процесів/ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський О.К., Лящук О.Л .- Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011.-344 с.
3. Автоматизація виробничих процесів/І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед.- К.:Ліра, 2015.- 340 с.
4. Л.М. Артюшин, О.А. Машков,Б.В. Дурняк, М.С. Сівов. Теорія автоматичного керування. — Львів: Видавництво УАД, 2004.
5. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації, Ч. 2 «Регульовальні і виконавчі пристрої»/А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін. – Х.: НТУ«ХП», 2003.– 658 с.
6. Бабіченко А.К. Практикум з вимірювань та технічних засобів автоматизації / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, І.Л. Красніков та ін. – Х.: НТУ «ХП», 2009. – 114 с.
7. Барало О.В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навчальний посібник / О.В. Барало, П.Г. Самойленко, СЄ. Гранат, В.О. Ковальов. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
8. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
9. Каталог фірми "Siemens". [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://adventa.su/price-list-simatic-S7-300/400>– Назва з екрану.
10. Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості.- К.: Аграрна освіта, 2001.- 224 с.
11. Малежик І.Ф., Циганков П.С. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник. К.:НУХТ, 2003. – 400 с.: іл.
12. Нелінійні та дискретні системи автоматичного керування. Курс лекцій : навчальний посібник / укладачі : Б. І. Приймак. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с.
13. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
14. Стенцель Й. І. Математичне моделювання технологічних об'єктів керування: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 2013. – 320 с.
15. Siemens [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller> Назва з екрану.
16. <http://t-life.com.ua/catalog/insetes/884>