

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Кафедра автоматизації, електротехнічних та
комп'ютерно-інтегрованих технологій

04-03-325М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни

«Проектування систем автоматизації»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Робототехніка та штучний інтелект» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної і заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІАКОТ
Протокол № 8 від 19.06.2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Проектування систем автоматизації» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Робототехніка та штучний інтелект» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної і заочної форм навчання [Електронне видання] / Наумчук О. М. – Рівне : НУВГП, 2023. – 73 с.

Укладач: Наумчук О. М., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Керівник освітньої програми «Робототехніка та штучний інтелект»: Сафоник А. П., д.т.н., професор кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій

© О. М. Наумчук, 2023

© НУВГП, 2023

Зміст

| | |
|---|----|
| Вступ..... | 4 |
| Практична робота №1. Складання технічного завдання на розробку проекту системи автоматизації..... | 5 |
| Практична робота №2. Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів..... | 17 |
| Практична робота №3. Вибір технічних засобів автоматизації..... | 26 |
| Практична робота №4 Вибір виконавчих механізмів та розрахунок регулюючих органів..... | 48 |
| Практична робота №5 Розрахунок схеми електроживлення та вибір апаратів управління і захисту..... | 60 |

Вступ

Сучасні системи автоматизації тісно пов'язані з використанням роботів та роботизованих комплексів, які дають змогу підвищити ефективність виробництва та покращити якість кінцевої продукції. При проектуванні таких систем важливу роль відіграє застосування новітніх технологій проектування. Їх застосування підвищує швидкість та якість виконання проектних робіт, а також зменшує навантаження на проектувальників при виконанні рутинних операцій.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Проектування систем автоматизації» містять необхідний матеріал для здобуття студентами практичних навиків використання сучасних систем автоматизованого проектування при розробці різноманітної конструкторської та проектної документації. Під час виконання практичних робіт студенти здобудуть досвід, який допоможе при виконанні реальних проектів систем автоматизації різних галузей промисловості.

Практична робота №1

Складання технічного завдання на розробку проекту системи автоматизації

Мета роботи

Навчитися складати технічні завдання на проектування системи автоматизації.

Теоретичні відомості

Технічне завдання (ТЗ) на розробку системи автоматизації є основним документом, що визначає вимоги і порядок створення, розвитку або модернізації автоматизованої системи, відповідно до якого проводиться її розробка, введення в дію і приймання. Технічне завдання (ТЗ) на розробку автоматизованої системи управління (АСУ) складається відповідно до ГОСТ 34.602-89 «Техническое задание на создание автоматизированной системы».

ТЗ розробляють на цілу АСУ, її частину, або окрему складову (фрагмент) проектованого об'єкта у складі іншої системи. Основними початковими даними для розробки ТЗ є тактико-технічне завдання і затверджений варіант концепції АСУ. Проте, вимоги, що задаються в ТЗ не повинні обмежувати розробника системи в пошуку і реалізації найефективніших технічних, техніко-економічних та інших рішень.

ТЗ на АСУ містить такі розділи:

- 1) загальні відомості;
- 2) призначення і мета створення (розвитку) системи;
- 3) характеристика об'єкта автоматизації;
- 4) вимоги до системи;
- 5) склад і зміст робіт зі створення системи;
- 6) порядок контролю і приймання системи;
- 7) вимоги до складу і змісту робіт з підготовки об'єкта автоматизації до введення системи в дію;
- 8) вимоги до документування;
- 9) джерела розробки.

ТЗ є текстовим документом, а необхідні креслення, схеми і великі таблиці рекомендується оформляти у вигляді окремих додатків. Залежно від вигляду, призначення і специфічних

особливостей об'єкта автоматизації та умов функціонування системи допускається оформляти розділи ТЗ у вигляді додатків, вводити, виключати або об'єднувати підрозділи. Додатково можуть бути розроблені ТЗ на частини АСУ, так звані часткові ТЗ (ЧТЗ). У ЧТЗ не включають розділи, що дублюють зміст розділів ТЗ на всю АСУ.

У розділі *«Загальні відомості»* вказують повне найменування системи, її умовне позначення, найменування підприємств розробника і замовника, планові терміни початку і закінчення роботи, відомості про джерела і порядок фінансування, порядок оформлення і пред'явлення замовникові результатів робіт з розробки проекту системи в цілому і її складових частин.

У розділі *«Призначення і мета створення системи»* вказують вид діяльності (управління, проектування і тому подібне) підприємства, що автоматизується, перелік об'єктів автоматизації. Також приводять найменування і необхідні значення технічних, технологічних, виробничо-економічних або інших показників об'єкта автоматизації, які повинні бути досягнуті у результаті створення АСУ, вказують критерії оцінки досягнення мети.

У розділі *«Характеристики об'єкта автоматизації»* подають короткі відомості про об'єкт, що автоматизується, або посилання на документи, що містять таку інформацію, а також відомості про умови експлуатації об'єкта автоматизації і характеристики навколишнього середовища.

Розділ *«Вимоги до системи»* складається з таких підрозділів:

- вимоги до системи у цілому;
- вимоги до функцій (завдань), що виконуються системою;
- вимоги до видів забезпечення.

У підрозділі *«Вимоги до системи у цілому»* вказують:

- вимоги до структури і функціонування системи (перелік підсистем, їх призначення та основні характеристики, вимоги до рівнів ієрархії і ступеня централізації системи; вимоги до способів і засобів зв'язку для інформаційного обміну між компонентами системи; вимоги до режимів функціонування системи, перспектив її розвитку і модернізації);

- вимоги до чисельності і кваліфікації персоналу системи, режиму його роботи, порядку підготовки, контролю знань і

навиків;

- показники призначення (приводять значення параметрів, що характеризують ступінь відповідності системи її призначенню. Для АСУ вказують ступінь пристосованості системи до зміни процесів і методів управління, до відхилень параметрів об'єкта управління, допустимі межі модернізації і розвитку системи);

- вимоги до надійності (склад і кількісні значення показників надійності для системи у цілому і її частин; перелік аварійних ситуацій, за якими повинні бути регламентовані вимоги до надійності і значення відповідних показників; вимоги до надійності технічних засобів і програмного забезпечення; вимоги до методів оцінки і контролю показників надійності на різних стадіях створення системи);

- вимоги до безпеки (включають вимоги по забезпеченню безпеки при монтажі, наладці, експлуатації, обслуговуванні і ремонті технічних засобів (захист від дії електричного струму, електромагнітних полів, акустичних шумів і тому подібне), по допустимих рівнях освітленості, вібраційних і шумових навантажень);

- вимоги до ергономіки і технічної естетики (включають показники АСУ, які задають необхідну якість взаємодії людини з обладнанням і комфортність умов роботи персоналу);

- вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи (умови і регламент експлуатації, які повинні забезпечувати використання технічних засобів системи з заданими показниками, зокрема види і періодичність обслуговування);

- вимоги до площ для розміщення персоналу і технічних засобів, до параметрів мереж енергопостачання і т.п.;

- вимоги по кількості і кваліфікації обслуговуючого персоналу та режимах його роботи;

- вимоги до складу, розміщення і умов зберігання комплексу запасних виробів і приладів;

- вимоги до регламенту обслуговування);

- вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу;

- вимоги по збереженню інформації при аваріях (приводять

перелік подій: аварій, відмов технічних засобів (зокрема – втрата живлення, при якому має бути забезпечено збереження інформації в системі);

- вимоги до захисту від впливу зовнішніх факторів (радіоелектронний захист засобів АСУ за стійкістю і міцністю щодо зовнішніх дій середовища застосування);

- вимоги зі стандартизації і уніфікації, які включають: показники, що встановлюють необхідний ступінь використання стандартних, уніфікованих методів реалізації функцій і завдань системи, програмних засобів, математичних методів і моделей, типових проектних рішень, уніфікованих форм управлінських документів, класифікаторів техніко-економічної інформації і класифікаторів категорій відповідно до сфери їх застосування, використання типових автоматизованих робочих місць, компонентів і комплексів;

- додаткові та спеціальні вимоги розробника або замовника системи.

У підрозділі *«Вимоги до функцій (завдання), що виконуються системою»*, приводять:

- перелік функцій по кожній підсистемі, зокрема частин системи, що забезпечують взаємодію;

- при створенні системи в дві або більше черги – перелік функціональних підсистем, окремих функцій або завдань, що вводяться в дію в 1-ій і в подальших чергах;

- часовий регламент реалізації кожної функції, завдання або комплексу завдань;

- вимоги до якості реалізації кожної функції, до форми представлення вихідної інформації, характеристик необхідної точності і часу виконання, вимоги одночасності виконання групи функцій, достовірності видаваних результатів;

- перелік і критерії відмов для кожної функції, по якій задаються вимоги по надійності.

У підрозділі *«Вимоги до видів забезпечення»* залежно від вигляду системи приводять вимоги до математичного, інформаційного, лінгвістичного, програмного, технічного, метрологічного, організаційного, методичного та інших видів забезпечення системи.

Розділ *«Склад і зміст робіт зі створення системи»* повинні

містити перелік стадій і етапів робіт зі створення системи, терміни їх виконання, перелік організацій-виконавців і посилання на документи, які підтверджують їх згоду на участь в створенні системи, або запис, що визначає відповідального (замовник або розробник) за проведення цих робіт. У цьому розділі також приводять:

- перелік документів, що пред'являються після закінчення відповідних стадій і етапів робіт;
- вигляд і порядок проведення експертизи технічної документації (стадія, етап, об'єм документації, що перевіряється, організація-експерт);
- програму робіт, направлених на забезпечення необхідного рівня надійності системи (при необхідності);
- перелік робіт по метрологічному забезпеченню на всіх стадіях створення системи з вказівкою їх термінів і організацій-виконавців (при необхідності).

У розділі *«Порядок контролю і приймання системи»* вказують:

- види, склад, об'єм і методи випробувань системи та її складових частин;
- загальні вимоги до приймання робіт за стадіями, порядок узгодження і затвердження приймальної документації;
- статус приймальної комісії (державна, міжвідомча, відомча).

У розділі *«Вимоги до складу і змісту робіт з підготовки об'єкта автоматизації до введення системи в дію»* необхідно привести перелік основних заходів та їх виконавців, яких слід виконати при підготовці об'єкту автоматизації до введення АСУ в дію. У перелік основних заходів включають:

- приведення інформації (відповідно до вимог), що надходить у систему до вигляду придатного для обробки обчислювальною системою;
- зміни, які необхідно здійснити в об'єкті автоматизації, наприклад, зміни методів управління;
- створення умов функціонування об'єкту автоматизації, при яких гарантується відповідність створюваної системи вимогам ТЗ;
- створення необхідних для функціонування системи

підрозділів і служб;

- терміни і порядок комплектування штатів і навчання персоналу.

У розділі «Вимоги до документування» приводять:

- узгоджений розробником і замовником системи перелік комплектів документів, що підлягають розробці;

- вимоги по документуванню комплектуючих елементів;

- за відсутності державних стандартів, що визначають вимоги до документування елементів системи включають вимоги до складу і змісту таких документів.

У розділі «Джерела розробки» повинні бути перераховані документи та інформаційні матеріали (техніко-економічне обґрунтування, звіти про закінчені науково-дослідні роботи, інформаційні матеріали на вітчизняні і зарубіжні системи-аналоги тощо), на підставі яких розроблялося ТЗ і які повинні бути використані при створенні системи. До складу ТЗ на АСУ подають у вигляді додатків розрахунки очікуваної ефективності і оцінку науково-технічного рівня системи.

Порядок розроблення, погодження і затвердження технічного завдання. Проект технічного завдання на АСУ розробляє організація-розробник системи за участю замовника на підставі технічних вимог (заявки, тактико-технічного завдання і т. п.). Зауваження за проектом ТЗ повинні бути технічно обґрунтованими. Рішення по зауваженнях повинні бути ухвалені розробником проекту ТЗ і замовником до затвердження ТЗ. Якщо при погодженні проекту ТЗ на АСУ виникли розбіжності між розробником і замовником (або іншими зацікавленими організаціями), то складається протокол розбіжностей і конкретне рішення приймається в установленому порядку.

Погодження проекту ТЗ на АСУ оформляється окремим документом (листом). Затвердження ТЗ на АСУ здійснюють керівники підприємств розробника і замовника системи. Погодження і затвердження доповнень до ТЗ проводять у встановленому порядку.

Для виконання проектів систем автоматизації повинні представлятися такі дані і матеріали:

1. Технологічні схеми з характеристиками обладнання,

трубопровідними комунікаціями і зазначенням реальних внутрішніх діаметрів, товщин стінок і матеріалів труб.

2. Перелік параметрів, що контролюються і регулюються з необхідними вимогами і характеристиками.

3. Креслення виробничих приміщень з розташуванням технологічного обладнання і трубопровідних комунікацій, із зазначенням рекомендованих місць розташування щитів і пультів.

4. Креслення технологічного обладнання, на якому передбачається установка приладів і засобів автоматизації, перелік і характеристика приладів, що постачаються комплектно з обладнанням, засобів автоматизації і систем управління, креслення щитів, пультів.

5. Будівельні креслення приміщень для встановлення і розміщення технічних засобів автоматизації.

6. Схеми керування електродвигунами, типи пускової апаратури і станцій управління.

7. Схеми водопостачання із зазначенням діаметрів труб, витрати, тиску і температури води.

8. Схеми повітропостачання із зазначенням тиску, температури, вологості і запиленості повітря.

9. Дані, які необхідні для розрахунку регулюючих органів, звужуючих пристроїв.

10. Вимоги до надійності систем автоматизації.

11. Результати науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, які включають рекомендації по проектуванню систем і засобів автоматизації; результати науково-дослідних робіт повинні містити математичний опис динамічних властивостей об'єкта управління.

12. Додаткові дані і матеріали, які можуть знадобитися виконавцю в процесі проектування.

Стадії проектування і склад проектної документації. При створенні систем автоматизації керуються типовими проектними рішеннями (ТПР), державними стандартами. Роботи виконуються поетапно згідно зі стадіями та етапами, що регламентуються ГОСТ 34.601-90 «Автоматизовані системи. Стадії створення». Цим стандартом передбачається такі стадії робіт:

- 1) формування вимог до автоматизованої системи;
- 2) розробка концепції системи;
- 3) технічне завдання;
- 4) ескізний проект;
- 5) технічний проект;
- 6) робоча документація;
- 7) введення в дію;
- 8) супроводження введеної в дію системи.

Кожна стадія розбивається на певні етапи робіт. На стадії *формування вимог до автоматизованої системи* виконуються такі етапи: 1) обстеження об'єкта та обґрунтування необхідності створення системи; 2) формулювання вимог користувачів до системи; 3) оформлення звіту про обстеження об'єкта та обґрунтування вимог до системи.

На стадії *розробки концепції системи* передбачається 4 етапи робіт: 1) вивчення об'єкта; 2) виконання науково-дослідних робіт; 3) розробка варіантів концепції; 4) оформлення звіту про роботу на даній стадії. На цій стадії конкретними розрахунками з використанням математичних методів і моделей підтверджується доцільність створення системи, даються можливі альтернативні варіанти концепції і ефективність реалізації.

На стадії *технічне завдання* розробляється та затверджується технічне завдання (ТЗ) на розробку системи, яке потім стає основою розробки основної документації на систему.

На стадії *ескізний проект* передбачається 2 етапи: 1) розробка попередніх проектних рішень на систему; 2) розробка документації на систему та її частини.

На стадії складання *технічного проекту* може бути 4 стадії: 1) розробка проектних рішень на систему і її частини; 2) розробка документації на систему і її частини; 3) розробка і оформлення документації на постачання виробів для комплектації системи чи завдань на їх розробку; 4) розробка завдань на проектування суміжних частин об'єкта автоматизації. На цій стадії уточнюються і деталізуються проектні рішення, розроблені на попередній стадії щодо організаційної структури і функцій персоналу системи, технічних і програмних засобів, класифікації і кодування, ведення баз даних, постановки та

алгоритмізації задач.

Стадія *розробка робочої документації* має два етапи: 1) розробка робочої документації на систему і її частини; 2) розробка чи адаптація програм. При виконанні робіт цієї стадії створюється експлуатаційна документація для користувачів системи (класифікатори, форми документів, керівництва користувачам, інструкції з ведення баз даних і т. ін.).

Стадія *введення в дію* має 8 етапів, на яких передбачається: 1) підготовка об'єкта до введення системи в дію; 2) підготовка персоналу; 3) комплектація системи; 4) будівельно-монтажні роботи; 5) пусконаладжувальні роботи; 6) проведення попереднього випробування; 7) експериментальна експлуатація; 8) проведення приймальних випробувань. Більшість робіт на цій стадії виконуються сумісно розробниками і замовниками. На завершальному етапі складається акт введення системи в експлуатацію.

На стадії *супроводження системи* виконуються 2 етапи робіт: 1) роботи згідно з гарантійними зобов'язаннями; 2) після-гарантійне обслуговування. При цьому усуваються виявлені експлуатаційні недоліки, вносяться зміни в документацію і виконуються інші роботи, передбачені гарантійними зобов'язаннями.

В певних умовах допускається не виконувати, або об'єднувати окремі етапи і навіть стадії. Наприклад, часто об'єднуються 5 і 6 стадії в одну *техноробочу* стадію і при цьому відразу створюється *техноробочий проект*. Також може пропускатись стадія ескізного проектування.

В *технічному проекті розробляється* наступна документація:

1. Структурна схема управління і контролю (для складних систем).

2. Структурна схема комплексу технічних засобів (КТЗ).

3. Структурні схеми комплексів засобів автоматизації.

4. Схеми автоматизації (функціональні) технологічних процесів. Для об'єктів з нескладним технологічним процесом і простими системами автоматизації допускається замість функціональних схем автоматизації складати переліки параметрів контролю, регулювання, управління і сигналізації.

5. Плани розташування щитів, пультів, засобів

обчислювальної техніки.

6. Заявочні відомості приладів і засобів автоматизації, засобів обчислювальної техніки, електроапаратури, трубопровідної арматури, щитів і пультів, основних монтажних матеріалів і виробів, нестандартизованого обладнання.

7. Технологічні вимоги на розробку нестандартизованого обладнання.

8. Локальний кошторис на монтажні роботи, придбання і монтаж технічних засобів автоматизації.

9. Пояснювальна записка.

10. Завдання проектувальнику (суміжним організаціям або замовнику) на розробки, що пов'язані з автоматизацією об'єкта.

Перелічені завдання до проекту не додаються, а передаються проектувальнику (замовнику) в процесі проектування для узгодження і виконання. Копії завдань зберігаються у проекті.

Робочу документацію систем автоматизації виконують відповідно до вимог ДСТУ Б А.2.4-3:2009 «Система проектної документації для будівництва. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів» та інших взаємопов'язаних стандартів «Системи проектної документації для будівництва» (СПДБ) та «Єдиної системи конструкторської документації» (ЕСКД).

До складу робочої документації систем автоматизації включають:

- робочі креслення, що призначені для виконання робіт з монтажу технічних засобів автоматизації;

- креслення загальних видів нетипових деталей, конструкцій та пристроїв, що призначені для встановлення приладів, у т.ч. щитів та пультів;

- специфікацію обладнання, виробів і матеріалів згідно з ДСТУ Б А.2.4-10;

- відомість потреби в матеріалах згідно з ДСТУ Б А.2.4-10;

- відомість обсягів будівельних і монтажних робіт згідно з ДСТУ Б А.2.4-10.

Одночасно з робочою документацією систем автоматизації розроблюють технічну документацію на виготовлення та поставку технічних засобів автоматизації, в тому числі:

- опитувальні листи на засоби вимірювання і прилади;

- карти замовлення на електроапарати;
- таблиці з'єднань та підключення проводок у щитах і пультах;
- документацію для замовлення комплексів засобів централізованого контролю та регулювання, телемеханіки, обчислювальної техніки, програмно-технічних комплексів, мікропроцесорних засобів і контролерів, систем і установок пневмоавтоматики тощо.

Склад основного комплекту робочих креслень систем автоматизації. В основний комплект робочих креслень систем автоматизації включають:

- загальні дані по робочих кресленнях;
- перелік завдань та їх виконання в суміжних частинах проекту (за необхідності);
- схеми автоматизації;
- схеми принципові (електричні, пневматичні);
- схеми (таблиці) з'єднань та підключення зовнішніх проводок;
- креслення розташування обладнання та зовнішніх проводок;
- креслення установок засобів автоматизації;
- креслення загальних видів нетипових засобів автоматизації.

У робочій документації доцільно також давати розрахунки по вибору регуляторів для з'ясування приблизних значень їх параметрів настройки при різних технологічних режимах роботи обладнання. У складі розрахункових матеріалів необхідно приводити дані із завдання на проектування за результатами науково-дослідних робіт, знання яких корисне при проведенні налагоджувальних робіт.

Програма роботи

1. Розглянути особливості розробки технічного завдання згідно Державного стандарту України.
2. Розробити фрагмент технічного завдання на АСУ ТП.
3. Визначити структуру вихідних даних і матеріалів, стадійність проектування, розробити склад проектної документації.

Порядок виконання роботи

1. Розглянути правила та принципи розробки технічного завдання, що описаний у теоретичних відомостях.

2. Вибрати технологічний процес, або установку, який/яка буде автоматизуватися (це може бути ТП за темою курсової, або бакалаврської роботи).

3. Розробити фрагмент технічного завдання на проектування системи автоматизації технологічного процесу.

4. Визначити структуру вихідних даних і матеріалів.

5. Визначити склад проектної документації на розроблювану АСУ ТП.

6. Результати виконання оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4.

Вимоги до оформлення звіту:

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;
- виконане технічне завдання;
- висновок.

Контрольні запитання

1. Хто здійснює складання завдання на проектування систем автоматизації технологічного процесу?

2. Назвіть основні дані, які повинно містити технічне завдання на проектування.

3. Які дані і матеріали повинні представлятися для виконання проектів систем автоматизації?

4. Які дані повинні приводитися в завданні на проектування для АСУ ТП?

5. Які виконують етапи проектування систем автоматизації технологічних процесів?

6. Яка документація розробляється в технічному проекті?

7. Які документи розробляються на стадії робочої документації?

Практична робота №2

Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів

Мета роботи

Навчитися створювати структурні схеми комплексів технічних засобів АСУ ТП.

Теоретичні відомості

Структурна схема це — схема, яка визначає основні функціональні частини виробу (установки, системи) їх призначення і взаємодію. Структурні схеми розробляють при проектуванні виробів (установок, систем) на початкових стадіях, перед розробкою схем інших типів, вони використовуються для загального ознайомлення з пристроями, установками, системою(ами).

На структурній схемі відображаються, в загальному вигляді, основні проектні рішення щодо функціональної, організаційної і технічної структур АСУ ТП з дотриманням ієрархії системи і взаємозв'язків між її частинами (пунктами контролю і керування, оперативним персоналом і технологічним об'єктом).

Структурна схема комплексу технічних засобів (КТЗ) охоплює всі рівні АСУ ТП, крім нижнього (польового) рівня, який відображається схемою автоматизації, а також враховує всі вхідні і вихідні сигнали. Тому схема КТЗ не може розроблятися без урахування вхідних і вихідних сигналів «польового» рівня.

На структурній схемі КТЗ (в нижній частині) елементи комплексу технічних засобів і засобів автоматизації зображують у вигляді прямокутників з відповідними написами або із зазначенням в них умовних позначень. Пояснення цих позначень з вказівкою їх функцій здійснюється у таблиці, поміщеній на кресленні схеми. Зв'язки між елементами схеми зображуються лініями зі стрілками, що показують напрямок проходження сигналів.

Структурна схема комплексу технічних засобів розробляється на основі технологічної схеми, а також загальної структури системи автоматизації. Деколи схеми КТЗ розробляються на основі схеми автоматизації та вибраної загальної комплектації засобів управління.

Сучасні автоматизовані системи управління є ієрархічними системами, що мають 2-3 і більше рівнів (рис. 1). На нижньому рівні знаходяться, первинні перетворювачі, модулі віддаленого вводу-виводу, місцеві прилади та виконавчі механізми з регулюючими органами. Середній рівень складають програмовані логічні контролери та вторинні перетворювачі. На верхньому рівні управління розташовуються контролери великої обчислювальної здатності, промислові чи персональні комп'ютери, панелі оператора та інші засоби. Для зв'язку верхнього рівня із середнім використовується різні типи інтерфейсів, наприклад з'єднання «точка-точка» (PtP), або локальна промислова мережа. З'єднання «точка-точка» застосовуються в простих випадках, наприклад, для з'єднання одного програмованого логічного контролера з перетворювачем сигналів, або з комп'ютером. При використанні такого з'єднання необхідно узгодити відповідні порти в контролера, перетворювача і комп'ютера. Для цього служать блоки перетворення інтерфейсів (БПІ).

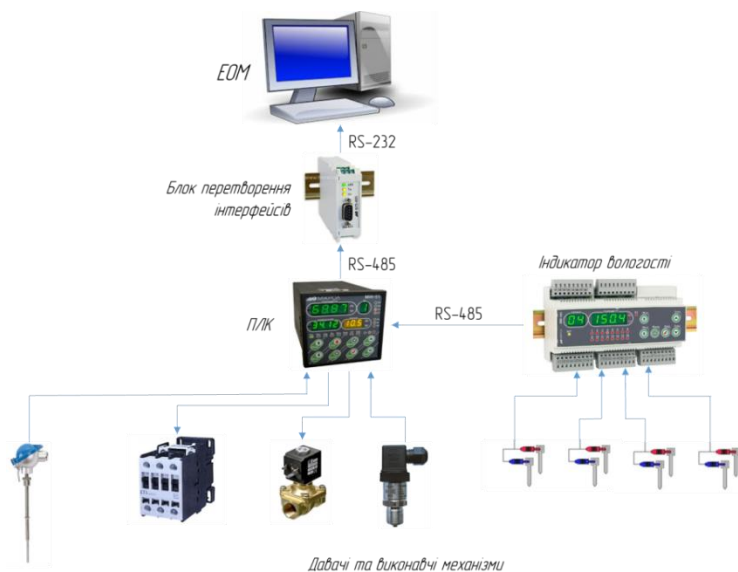


Рис. 1. Ієрархічна структура використання технічних засобів сучасних системи управління

Основним способом зв'язку в сучасних системах управління є організація локальних обчислювальних (промислових) мереж і засобів управління. Для організації системи управління використовуються промислові стандарти локальних обчислювальних мереж (Industrial Ethernet, Fieldbus, Profibus та ін.). Локальна мережа дозволяє об'єднати всі засоби управління і організувати багатосторонній обмін інформацією.

При проектуванні системи управління необхідно вибрати конкретний стандарт мережі і додаткове устаткування для її реалізації (мережеві адаптери, концентратори зв'язку, комунікаційні пристрої, тощо). Результат вибору оформляється у вигляді креслення структурної схеми комплексу технічних засобів.

Структурна схема комплексу технічних засобів повинна наочно відображати:

- ієрархію системи управління;
- зв'язки засобів управління з об'єктом управління;
- зв'язки засобів управління з оперативним персоналом;
- апаратний склад системи управління.

Розглянемо приклад виконання структурної схеми комплексу технічних засобів технологічного процесу очищення стічних вод гальванічного виробництва, який наведено на рис. 2.

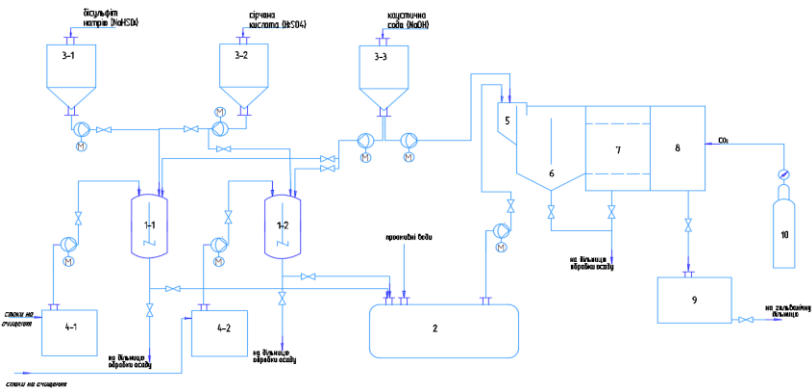


Рис. 2. Технологічна схема процесу очищення стічних вод гальванічного виробництва

У цьому технологічному процесі відбувається очищення стічних вод гальванічного виробництва. На очищення надходять:

- промивні води від основної гальванічної дільниці і дільниці сріблення;
- відпрацьовані технологічні розчини (ВТР) та електроліти (Е).

Промивні води надходять по напірному трубопроводу в усереднювач-накопичувач (поз. 2). Далі, за допомогою насосу стоки подаються в електрокоагулятор (поз. 5), Під дією постійного електричного струму в електрокоагуляторі відбуваються два основні процеси:

- 1) коагуляція забруднень під дією електричного струму і перехід в розчин іонів металів;
- 2) виділення при електролізі води пухирців електролітичного газу і закріплення на їх поверхні скоагульованих часток з подальшою їх флотацією.

Після цього стічна вода зміщується з розчином лугу, який подається з ємкості (поз. 3-3) і її рН доводиться до величини 9 - 10. В результаті цього утворюються малорозчинні сполуки важких металів (хрому, нікелю, міді, цинку і т.д.). З електрокоагулятора (поз. 5) стічна вода надходить у флотатор (поз. 6), у якому комплекси цих сполук спливають в пінний шар, утворюючи флотаційний шлам.

З флотатора (поз. 6) стічна вода надходить на фільтр (поз. 7), який забезпечує доочистку її від малорозчинних сполук важких металів. Фільтрування на фільтрі (поз. 7) здійснюється через завантаження з полімерного матеріалу. Після фільтру (поз. 7) вода потрапляє в нейтралізатор (поз. 8) де доводиться до нейтральної величини $\text{pH}=7$ за рахунок обробки вуглекислим газом, який подається по трубопроводу від балону (поз. 10).

З нейтралізатора (поз. 8) очищена вода відводиться по трубопроводу у збірну ємкість чистої води (поз. 9). З цієї ємкості очищена вода по трубопроводу подається в гальванічний цех на повторне використання.

Фільтр блоку очистки періодично промиваються за допомогою спеціальних пристроїв регенерації передбачених в їхній конструкції. Флотаційний шлам з флотатора (поз. 6), та

осад з фільтру (поз. 7) подається на ділянку обробки осаду. Обробка відпрацьованих технологічних розчинів і електролітів здійснюється окремо від промивних вод в реакторах 1-1 і 1-2.

Знешкодження відпрацьованих технологічних розчинів і електролітів здійснюється хімічним (реагентним) методом. Обробка ВТР і Е передбачає нейтралізацію кислот і лугів, а також виділення важких металів, які містяться у концентрованих розчинах. Обробка хромовмісних розчинів передбачає відновлення шестивалентного хрому до трьохвалентного за допомогою реагента-відновника та подальше його хімічне осадження лугом. Обробка цинку і алюмінієвмісних розчинів проводиться методом хімічного осадження металу лугом. А кислотні розчини нейтралізуються шляхом змішування з лугом. Таким чином відбуваються основні етапи очищення стічних вод гальванічного виробництва.

На основі технологічного процесу очищення стічних вод гальванічного виробництва, проаналізувавши всі основні параметри та визначивши загальну структуру автоматизації, розроблено структурну схему КТЗ технологічного процесу, яка показана на рис. 3.

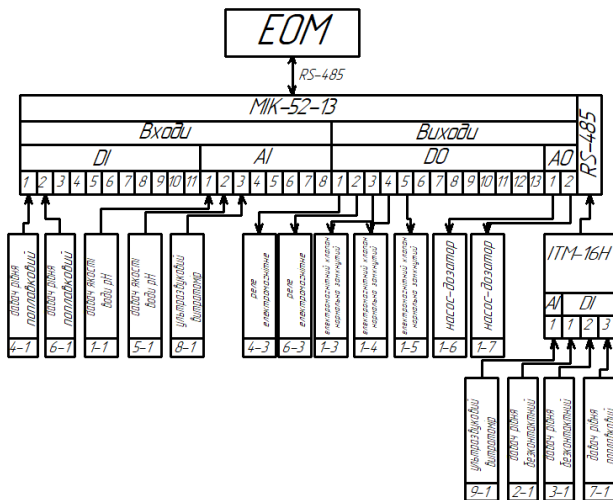


Рис. 3. Структурна схема КТЗ виконана на основі технологічної схеми процесу очищення стічних вод гальванічного виробництва

На приведеній структурній схемі КТЗ відображено основні технічні засоби АСУТП та зв'язки між ними. Безпосереднє управління устаткуванням здійснюється за допомогою програмованого логічного контролера МІК-52-13, який виконує функції дискретного і програмного управління. На верхньому рівні управління використовується ЕОМ, що входить до складу автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора. ЕОМ виконує функції індикації і реєстрації параметрів процесу, а також операторського управління ТЗА та іншими пристроями технологічного процесу

При розробці структури комплексу технічних засобів потрібно врахувати вимоги, що пред'являються до сучасних систем управління, тенденції розвитку засобів автоматизації та мереж передачі даних. Зазвичай нижній рівень АСУТП складають польові засоби автоматизації: контрольно-вимірювальні прилади, виконавчі механізми аналогової і дискретної дії. Середній рівень призначений для програмно-логічного управління процесом за заданими алгоритмами на основі програмованого контролера і пристроїв зв'язку. Основою верхнього рівня АСУТП є автоматизоване робоче місце на основі персональних комп'ютерів для здійснення функцій оперативного диспетчерського контролю та управління технологічним процесом.

Додатково до структурної схеми комплексу технічних засобів додають назву та призначення всіх її елементів у вигляді специфікації (табл. 1). Для прикладу до розробленої структурної схеми (рис. 3) наведено назву та призначення технічних засобів без вказівки фірм виробників, що дасть змогу підібрати необхідне обладнання використовуючи пропонувані критерії. При виконанні подальших проектних робіт розроблена структурна схема комплексу технічних засобів допоможе у визначенні повної номенклатури всіх технічних засобів, а також сприятиме їх удосконаленню при подальших етапах модернізації та розробки системи автоматизації. Запропонований комплекс технічних засобів не є остаточним і може бути змінений чи уточнений на подальших етапах проектування системи автоматизації.

Табл. 1.

Специфікація комплексу технічних засобів

| Назва | Призначення |
|---------------------------|---|
| ПЛК МІК-52 | Вимірювання, регулювання та контроль параметрів технологічного процесу |
| Індикатор ІТМ-16Н | Індикація, реєстрація та сигналізація параметрів технологічного процесу |
| Панель оператора | Графічне відображення та контроль технологічного процесу на АРМ оператора |
| Давач рівня безконтактний | Вимірювання рівня рідин |
| Давач якості води рН | Вимірювання кислотності води |
| Ультразвуковий витратомір | Вимірювання витрати та перетворення отриманого значення в уніфікований сигнал |
| Електромагнітний клапан | Закриття та відкриття трубопроводу |
| Насос-дозатор | Дозування рідин |
| Реле електромагнітне | Подача напруги живлення на двигуни |

Таким чином, проектування структурної схеми комплексу технічних засобів сприятиме розробці та відображенню структури використовуваних технічних засобів, що дасть змогу, ефективно реалізувати запроєктовану систему автоматизації. Крім того, така схема допоможе ефективно налагоджувати, експлуатувати та при потребі виконувати необхідні ремонтні роботи.

Програма роботи

1. Ознайомитися з принципами та правилами побудови структурних схем КТЗ.
2. За технологічною схемою та загальною структурою автоматизації розробити схему КТЗ.
3. Описати принцип роботи та склад структури комплексу

технічних засобів.

Порядок виконання роботи

1. Розглянути особливості розробки структурних схем комплексу технічних засобів, що описано у теоретичних відомостях.

2. За технологічною схемою та за загальною структурою автоматизації, що розроблена у попередніх лабораторних та практичних роботах визначити загальну архітектуру системи автоматизації та технічні засоби використовувані на різних ієрархічних рівнях управління.

3. Розробити структурну схему комплексу технічних засобів, відобразивши технічні засоби автоматизації на кожному ієрархічному рівні та визначити зв'язки між ними. Вказати тип та кількість технічних засобів, а також структуру їх взаємодії між собою.

4. Розробку схеми виконати на окремому аркуші формату А3-А1 з використанням комп'ютерних програм для виконання графічних робіт (AutoCAD, Fusion 360 та ін.).

5. Описати структурну схему комплексу технічних засобів ієрархічні зв'язки, інтерфейси та способи їх взаємодії.

6. Розробити перелік визначених технічних засобів у вигляді специфікації.

7. Результати проектування оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4. Розроблену схему комплексу технічних засобів розмістити на окремому аркуші формату А3.

Вимоги до оформлення звіту

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;
- вихідна технологічна схема та її опис;
- креслення розробленої схеми комплексу технічних засобів автоматизації на окремому аркуші стандартного розміру (А3-А1) з заповненим основним написом;
- опис структурної схеми комплексу технічних засобів;
- перелік визначених технічних засобів у вигляді

специфікації;
- висновок.

Контрольні запитання

1. Що таке структурна схема КТЗ?
2. Як зображують технічні засоби на схемах КТЗ?
3. Вкажіть основні вимоги до оформлення схем автоматизації.
4. Яка ієрархія сучасних АСУТП?
5. Що відображається на нижньому рівні структурної схеми КТЗ?
6. Що відображається на середньому рівні структурної схеми КТЗ?
7. Що відображається на верхньому рівні структурної схеми КТЗ?
8. Що має відображати структурна схема КТЗ?

Практична робота №3 Вибір технічних засобів автоматизації

Мета роботи

Навчитися виконувати обґрунтований вибір технічних засобів автоматизації для реалізації функцій автоматизованої системи управління.

Теоретичні відомості

Основними програмно-технічними засобами автоматизації виробничих процесів є програмовані логічні контролери (ПЛК). Більшість ПЛК мають модульну структуру, тобто базовий варіант може доповнюватися модулями розширення аналогових і дискретних входів/виходів. При виборі блоків розширення слід звернути увагу на те, що деякі блоки вводу можуть безпосередньо працювати з давачами температури у вигляді термопар та термометрів опору. При цьому відпадає необхідність використання проміжних перетворювачів, що спрощує та підвищує надійність системи.

При *виборі давачів* перевагу слід надавати таким, які забезпечують вихідний струмовий сигнал 4-20 мА, при цьому віддаль між давачем і контролером може складати до 120 м. При *виборі виконавчих механізмів* слід орієнтуватися на такі, що мають власні мікропроцесорні засоби керування. В цьому випадку значно спрощується їх взаємодія з ПЛК.

Вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА) здійснюють на основі каталогів та Інтернет-сайтів фірм-виробників та їх офіційних дилерів. Важливими факторами при виборі технічних засобів автоматизації є співвідношення продуктивність/ціна. На всі вибрані ТЗА складають специфікацію за формою, що приведена у табл. 1.

Табл. 1

Специфікація на ТЗА

| № з/п | Позиція на СА | Назва засобу та коротка технічна характеристика | Тип, марка | Кількість |
|-------|---------------|---|------------|-----------|
| | | | | |

Для оцінки вимог обчислювальних можливостей ПЛК за схемою автоматизації слід визначити загальну кількість функцій управління, що потребують реалізації системою управління та враховувати їх складність. Вихідні вимоги для автоматизованої системи управління визначаються на основі функціональної схеми автоматизації. Перш за все, визначається потрібна кількість входів-виходів системи управління та їх характеристики. Для вирішення цього завдання доцільно скласти таблиці входних і вихідних сигналів, використовуючи функціональну схему автоматизації.

У специфікації на ТЗА вказуються всі інформаційні (вхідні) сигнали від датчиків і засобів вимірювань і всі керуючі (вихідні) сигнали від пристроїв керування. Сигнали слід розділити по виду (аналогові, дискретні), за типом (сигнали постійного струму, змінного струму), за рівнем (0 – 10 В, 24 В, 220 В, 0 – 20 мА і т.д.). На основі цих таблиць визначається потрібна кількість входів і виходів системи управління та вимоги до їх характеристик.

При визначенні кількості входів-виходів слід передбачати резерв для подальшого розширення системи управління і для корекції її функцій у випадку виявлення помилок у процесі впровадження системи.

Вибір ПЛК. Основні завдання оперативного управління в сучасній АСУ ТП вирішують ПЛК, тому їх вибір є найвідповідальнішим етапом проектування системи управління. Для формування вимог до обчислювальних можливостей ПЛК, за схемою автоматизації слід визначити загальну кількість функцій управління, які повинні реалізовуватись системою управління та складність цих функцій. Після цього, формулюються інші вимоги: умови експлуатації, точність, надійність, вартість та ін.

На основі сформульованих вимог здійснюється вибір засобів управління з використанням яких буде побудована система управління. При цьому, слід використовувати однотипні ПЛК.

Вибір ПЛК здійснюється у такій послідовності:

1. Вибір фірми-виробника.
2. Вибір моделі і комплектації ПЛК.
3. Вибір допоміжних засобів та засобів зв'язку з оперативним

персоналом (засоби передачі і перетворення даних, панелі оператора та ін.).

4. Вибір пристроїв для верхнього рівня управління.

5. Визначення складу необхідного програмного забезпечення та джерел його постачання.

При виборі фірми-виробника слід враховувати наступне:

- відповідність номенклатури засобів управління, що поставляються фірмою та їх технічних характеристик вимогам, що висуваються до проектованої системи управління;

- рівень сервісного обслуговування, пропонованого фірмою у регіоні (терміни гарантії; можливість заміни та ремонту засобів; супровід фірмою своєї продукції, наприклад, модернізація програмного забезпечення; можливість консультацій при виникненні труднощів при впровадженні системи і її налагодженні тощо);

- гарантована надійність засобів керування;

- простота модернізації і розширення системи управління, побудованої на засобах конкретної фірми;

- наявність програмного забезпечення для комп'ютерних засобів управління і можливості його модернізації;

- сформовані переваги у замовника системи управління і накопичений ним досвід експлуатації засобів управління.

Після вибору виробника за каталогами фірми здійснюється вибір моделей і комплектація ПЛК. ПЛК бувають трьох видів:

1. *Фіксовані*, які мають закінчену конфігурацію з визначеним і обмеженим числом входів-виходів (зазвичай не більше 30).

2. *Модульні з об'єднаними в єдиний блок модулями*, число і характеристики входів-виходів яких визначаються споживачем у процесі конфігурації контролера (число входів-виходів може перевищувати 1000).

3. *Модульні з розподіленим вводом-виводом*, що складаються з центрального блоку і окремих модулів вводу-виводу, встановлюваних по місцю.

Найбільш простими і дешевими є фіксовані ПЛК. Однак можливості управління таких контролерів суттєво обмежені і зазвичай їх застосовують для керування простими об'єктами. Найбільш дорогими є модульні ПЛК з розподіленим вводом-виводом. Застосування таких контролерів дозволяє

оптимізувати інформаційні зв'язки в системі управління, скоротити витрати на лінії зв'язку і підвищити надійність системи управління.

Вибір засобів зв'язку. Структура системи управління розробляється на основі вибраної комплектації засобів управління. Сучасні АСУ ТП є ієрархічними системами, мають як мінімум два рівні. На нижньому рівні використовуються ПЛК та інші локальні засоби управління. При розробці *нижнього рівня* управління вирішуються наступні завдання:

- зв'язування входів-виходів контролерів і локальних засобів управління з джерелами (датчики та вимірювальні пристрої) і приймачами (виконавчі механізми) інформації об'єкта управління;
- резервування засобів управління (при необхідності);
- визначення безпосередніх зв'язків між засобами управління нижнього рівня (при необхідності таких зв'язків).

На *верхньому рівні* управління використовуються промислові комп'ютери, персональні комп'ютери, панелі оператора. Для зв'язку верхнього рівня з нижнім зазвичай використовується з'єднання «точка-точка» (P&P), або локальна обчислювальна мережа (ЛОМ).

З'єднання «точка-точка» застосовуються в простих випадках, наприклад, для об'єднання одного ПЛК з комп'ютером. При використанні такого з'єднання використовують відповідні порти та стандартний інтерфейс у контролера і комп'ютера.

Основним способом зв'язку в сучасних системах управління є організація локальних обчислювальних мереж (ЛОМ) засобів управління. У системах управління використовуються промислові стандарти локальних обчислювальних мереж. ЛОМ дозволяє об'єднувати усі засоби управління і організувати багатосторонній обмін інформацією.

При проектуванні системи управління необхідно вибрати конкретний стандарт ЛОМ і додаткове обладнання для її реалізації (мережні адаптери, концентратори зв'язку, комунікаційні процесори і т.д.).

У попередній практичній роботі розроблялася структурна схема КТЗ де ПЛК може бути зображений у вигляді окремого блоку. Таке зображення зручно для фіксованих контролерів.

Але, якщо контролер модульний, то його конфігурація є складнішою і відображається у вигляді окремих блоків. У такому випадку доцільно показувати блочну структуру ПЛК.

Приклад схеми ПЛК із зображенням його структури показаний на рис. 1. Модульний ПЛК в своєму складі має модуль М1 центрального процесора ЦП, модуль М2 блоку живлення БЖ, модуль М3 комунікаційного процесора КП, модуль М4 вводу-виводу дискретних сигналів МВВД і модуль М5 вводу-виводу аналогових сигналів МВВА. Зв'язок між модулями здійснюється по системній магістралі СМ.



Рис. 1. Блочна структура модульного ПЛК

На кінцевому етапі вибору ПЛК, при виконанні реальних проєктів, необхідно розробити програму керування для контролера, програму диспетчерського управління процесом для ЕОМ та інтерфейс оператора. Інтерфейс оператора дозволяє йому відстежувати технологічний процес, при необхідності змінювати налаштування регуляторів, здійснювати ручне управління, а також працювати з архівними даними про хід керованого процесу.

Методика вибору контролерного обладнання. Фіксований (моноблочний) контролер є мікропроцесорним пристроєм, в єдиному конструктивному виконанні в якому розташовуються: джерело живлення (не обов'язково), центральний процесор (співпроцесори), пам'ять, що включає пам'ять програм і пам'ять змінних (як правило, енергонезалежна), вбудований порт(и) для виходу в мережу, фіксована кількість каналів аналогового і (або) дискретного вводу/виводу, вбудований ПД-регулятор з автонастроюванням (необов'язково), слот розширення для підключення додаткових модулів, РК-дисплей (необов'язково), індикатори стану контролера та ін.

Модульні ПЛК, як правило встановлюються у щитах шляхом монтажу на DIN-рейку, а з'єднання з іншими модулями, наприклад, з модулем живлення та іншими модулями здійснюються за допомогою роз'ємів або провідників з наконечниками. Найбільшого застосування набули такі контролери: Simatic S7-200, Simatic S7-300C, Logo! - Siemens (Німеччина), Modicon TSX - Schneider Electric (Франція), FX1S і FX1N - Mitsubishi Electric (Японія) та ін.

Крім загальних характеристик всі ПЛК відрізняються набором вбудованих функцій, кількістю базових команд, способом програмування і т. п. Модульні контролери складаються з функціональних модулів, установлених у каркасі (шасі) або монтуються на DIN-рейку, тобто модульні контролери деструктуровані на окремі взаємопов'язані блоки. Дана архітектура дозволяє збільшити гнучкість, швидкість пуско-налагодження, ремонтпридатність контролера. До функціональних модулів ПЛК відносяться мікропроцесорний модуль, модуль живлення, комунікаційні модулі і модулі вводу/виводу, а також спеціальні модулі.

Крім спеціалізованих мікропроцесорних контролерів, традиційно використовуваних в АСУ ТП, часто застосовуються ПК-сумісні контролери. Повна програмна і апаратна сумісність цих пристроїв з офісними комп'ютерами забезпечує істотне скорочення термінів та вартості робіт при створенні різних систем автоматизації виробництва. ПК-сумісні контролери складають окремий клас ПЛК, значення і роль яких з розвитком Internet-технологій істотно зростає. Ці контролери характеризуються наявністю вбудованої операційної системи (Windows 9x/NT/CE, QNX, MS DOS, Linux, MiniOS7, OS-9 та ін.), використанням стандартних системних шин, можливістю використання стандартного програмного забезпечення, SCADA-систем, баз даних, комунікаційних стандартів, наявністю OPC-сервера та інших функцій.

Таким чином, ПК-сумісні контролери, можуть використовувати програмне забезпечення незалежних виробників, мають більший об'єм пам'яті ніж моноблочні і модульні контролери, можливості розширення і модернізації, а також краще діагностування. Однак, часто ці контролери мають

надлишкові обчислювальні ресурси і функції, меншу надійність за рахунок великої кількості компонентів (додатків).

Вибір необхідного контролера/ів обумовлений великою кількістю різнотипних факторів. Один з них це те для яких систем потрібно застосовувати контролер/и: чи для проектування нової системи, чи для модернізації існуючої. Крім того, береться до уваги наступність програмно-апаратних засобів, підготовка обслуговуючого персоналу і служби ремонту, наявність супровідної документації та її освоєння, запас комплектуючих, показники надійності (напрацювання на відмову, термін служби, ремонтпридатність тощо).

При виборі контролера основним завданням є найповніше задоволення технічних вимог на розробку автоматичної системи (вимоги до інформаційних, керуючих і допоміжних функцій, а також до технічного, програмного, метрологічного та організаційного забезпечення, до діагностики та технічного обслуговування системи та ін.).

Основні технічні характеристики ПЛК:

1. До найбільш важливих характеристик відносяться параметри процесорного модуля (тип і швидкодія процесора, обсяг пам'яті та ін.), наявність співпроцесора, час виконання логічної команди, наявність сторожового таймера (пристрій, що визначає момент зависання процесора і виконує автоматичне перезавантаження контролера), годинника реального часу, кількість вбудованих і нарощуваних входів/виходів (вводу/виводу, спеціальних, комунікаційних), наявність середовищ програмування контролера (зручність і простота програмування).

Також важливим показником ПЛК є можливість резервування модулів і плат, діагностика стану контролера та інші фактори (світлодіодна індикація каналів і режимів роботи, наявність панелі візуалізації і клавіатури, гальванічна ізоляція входів/виходів, ступінь захисту контролера та ін.).

2. Модульність структури контролера. Після визначення каналів вводу/виводу (аналогових і дискретних) слід зробити вибір типу контролера: моноблочний, модульний, ПК-сумісний. *Моноблочний* контролер має, як правило, невелику кількість вбудованих дискретних входів/виходів і від одного до чотирьох

аналогових входів/виходів, може використовуватися автономно або з додатковими модулями вводу/виводу сигналів, з організацією обміну даними з контролером по внутрішньому інтерфейсу або через комунікаційний порт по мережі. При виборі *модульного* контролера забезпечується більша кількість каналів вводу/виводу, підвищується функціональна надійність контролера за рахунок функцій самодіагностики, спрощується обслуговування контролера, що дозволяє, у разі потреби, швидко заміну модулів (без виключення живлення) та ін. При виборі *ПК-сумісного* контролера значно підвищується багатфункціональність, зручність програмування, знижується вартість. Однак при цьому можливе зниження надійності системи.

3. Відповідність міжнародним стандартам. Вибір контролера, відповідно до міжнародного стандарту якості ISO 9001, стандарту шинної архітектури (VME, PCI, CompactPCI, MicroPC, PC/104 і ін.), стандартним протоколам зв'язку промислових мереж (Profibus, Modbus, Interbus, CAN, Bitbus та ін.), стандартам зв'язку з польовими приладами (HART-протокол, AS-інтерфейс, Fieldbus Foundation, RS-485 та ін.), стандартам на використання операційної системи реального часу (QNX, OS 9000, VxWorks та ін.), стандартам на програмне забезпечення (IEC 61131-3), стандартам на ступінь захисту корпусу (IEC 529), на габаритні розміри, на ударо і віброміцність (IEC 68-2) та ін.

4. Зв'язок контролера з верхнім рівнем систем управління по інтерфейсу Ethernet. Інтерфейс Ethernet одержав широке поширення, як інтерфейс зв'язку засобів автоматизації від нижнього до верхнього рівнів системи управління. Цей інтерфейс забезпечує високу швидкість передачі даних, низьку вартість, підтримується переважною більшістю виробників програмного і апаратного забезпечення. Через мережу Ethernet сервери і операторські станції верхнього рівня управління підприємством отримують безпосередній доступ до даних параметрів технологічного процесу. При наявності SCADA-системи, встановленої на операторській станції, використовується клієнт-серверна архітектура зв'язку, при якій SCADA-клієнт отримує прямий доступ до даних процесу за

допомогою OPC-сервера. Важливим елементом зв'язку контролерів з віддаленими операторськими станціями є використання мережі Internet і GSM-технології.

5. ПК-сумісні контролери з вбудованою SCADA-системою. Наявність у ПК-сумісного контролера вбудованої SCADA-системи (наприклад, Trace Mode, MasterSCADA та ін.) дозволяє значно прискорити процес налаштування і підвищити ефективність подання інформації, знизити витрати на придбання SCADA-системи та комунікаційних інтерфейсів. При цьому, варто зауважити, що застосування ПК-сумісних контролерів виправдане лише при вирішенні невеликих завдань, відсутності особливих вимог до надійності системи або обмежених фінансових можливостях. При вирішенні завдань управління складними, відповідальними процесами, що характеризуються великою кількістю контрольованих і керованих величин та їх фізичним розподіленням у просторі, з підвищеними вимогами до надійності системи управління, слід віддавати перевагу класичним модульним контролерам.

6. Наявність у контролера режиму автоналаштування параметрів регулятора. Для прискорення процесів введення в експлуатацію систем регулювання, особливо у випадку автоматизації складних об'єктів управління, вкрай важливою в структурі програмного забезпечення контролера є наявність режиму автоналаштування параметрів ПД-регулятора – коефіцієнта підсилення, сталої часу інтегрування, сталої часу диференціювання.

7. Показники надійності та економічні показники. До показників надійності відносяться час напрацювання на відмову (бажано 100 тис. годин і більше), термін служби (10 років і більше), ремонтпридатність (можливість легкої заміни модулів, блоків) та ін. Підвищення надійності і точності досягається за рахунок засобів діагностики, прогнозування відмов, режимів без ударного перемикавання, «гарячого» резервування, гальванічної розв'язки, дублювання апаратних засобів, рестарту програмного забезпечення та іншими методами.

Зниження вартості контролера, досягаються за рахунок зниження витрат на кабельну продукцію (особливо у випадку бездротового зв'язку), відсутність засобів іскрозахисту,

використання інтелектуальних датчиків і блоків вводу/виводу.

Методика вибору первинних вимірювальних перетворювачів. При виборі первинних вимірювальних перетворювачів варто враховувати фактори метрологічного та технологічного характеру, найбільш суттєвими з яких є:

- допустима похибка вимірювальних пристроїв і вимірювальної системи;
- межа вимірювання первинного вимірювального перетворювача, в якому гарантована необхідна точність вимірювання;
- інерційність первинного вимірювального перетворювача, яка характеризується сталою часу;
- вплив на роботу первинного вимірювального перетворювача параметрів оточуючого та навколишнього середовищ (температури, тиску, вологості);
- руйнуючий вплив на первинний вимірювальний перетворювач оточуючого і навколишнього середовищ внаслідок абразивних властивостей, хімічного впливу та інших факторів;
- наявність у місці установки первинного вимірювального перетворювача неприпустимих для його функціонування магнітних і електричних полів, вібрацій та ін.;
- можливість застосування первинного вимірювального перетворювача з точки зору вимог пожежо- і вибухобезпеки;
- відстань, на яку має бути передана інформація, отримана за допомогою первинного вимірювального перетворювача;
- граничні значення вимірюваної величини та інших параметрів, що впливають на роботу первинного вимірювального перетворювача.

Вибір первинних вимірювальних перетворювачів здійснюють у два етапи. На *першому* етапі вибирають різновиди первинних вимірювальних перетворювачів, наприклад, для вимірювання температури підходить термоперетворювач опору або термоелектричний перетворювач.

На *другому* етапі визначають типорозмір (сукупність технічних характеристик) обраного різновиду первинного вимірювального перетворювача. Наприклад, термоперетворювач опору платиновий з номінальною

статичною характеристикою (НСХ) 100П (Pt 100), тип термоперетворювача - ТСП-0193. Інформація про області і умови застосування первинних вимірювальних перетворювачів найбільш повно наведено в інструкціях з експлуатації заводів-виробників.

Приклади вибору первинних вимірювальних перетворювачів. ПВП температури. У процесі вибору первинних вимірювальних перетворювачів температури необхідно враховувати граничні значення температур у діапазоні яких можна застосовувати різні первинні вимірювальні перетворювачі температури, а також характеристики вихідного сигналу первинних вимірювальних перетворювачів. Названі параметри значною мірою визначають вибір того чи іншого первинного вимірювального перетворювача температури.

В якості первинних перетворювачів температури найчастіше використовуються термоперетворювачі опору (ТПС) і термоелектричні перетворювачі (ТЕП). Термоперетворювачі випускаються двох видів: занурювані і поверхневі.

Для правильного вибору термоперетворювачів необхідно знати параметри вимірюваного середовища, такі як діапазон зміни температури або максимальне значення температури, тиск, розміри трубопроводу, газоходу, повітроводу, технологічного апарату і т. п.

При виборі типу занурюваних термоперетворювачів необхідно звернути увагу на наступні фактори: область застосування, межі вимірювань, клас допуску, монтажну довжину, особливість конструкції, умовний тиск, інерційність, тощо. Межі виміру конкретних типорозмірів термоперетворювачів вказані в довідковій літературі і каталогах заводів-виготовлювачів.

Технічні термоперетворювачі опору мають класи допуску А, В і С. При класі допуску А межа основної допустимої похибки має мінімальне значення, а при класі допуску С - максимальне значення. Технічні термоелектричні перетворювачі мають класи допуску 1, 2 і 3. При класі допуску 1 межа основної допустимої похибки має мінімальне значення, а при класі допуску 3 - максимальне значення.

У діапазоні вимірювань $-50...+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ слід застосовувати мідні термоперетворювачі опору. При вимірюванні більш високих температур застосовують платинові ТПС і ТЕП різних градувань. Платинові термоперетворювачі опору слід застосовувати при необхідності забезпечення підвищеної точності в діапазоні вимірювань температури $-50...+500\text{ }^{\circ}\text{C}$. В інших випадках слід застосовувати термоелектричні перетворювачі. Для вимірювання температури поверхонь теплоенергетичного обладнання в конкретній точці, наприклад температури вкладишів підшипників і т. п., застосовують поверхневі ТПС або ТЕП.

Для занурюваних термоперетворювачів опору і термоелектричних перетворювачів визначають монтажну довжину. Наближено монтажну довжину термоперетворювачів, що встановлюються на трубопроводах, визначають за формулою: $L=h+S+0,5D$, де, L - монтажна довжина термоперетворювача; h - висота бобишки ($h = 50$ мм); S - товщина стінки трубопроводу; D - внутрішній діаметр трубопроводу. За отриманого в результаті розрахунку значенню L вибирають монтажну довжину термоперетворювача з ряду значень: 120, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 мм.

При цьому необхідно враховувати, що робочий кінець ТЕП повинен бути занурений до центру трубопроводу, а ТПС - на 10...20 мм нижче осьової лінії трубопроводу, так як термоперетворювачі ТПС і ТЕП мають різні конструкції чутливих елементів. Монтажну довжину термоперетворювачів для вимірювання температури повітря рекомендується вибирати рівною 500 мм, а для вимірювання температури димових газів – 800 мм.

Захисні чохла первинних вимірювальних перетворювачів температури розраховані на робочі тиски, що не перевищують 6,4 МПа. У трубопроводах теплоенергетичних об'єктів тиск найчастіше перевищує цю величину. Тому первинні вимірювальні перетворювачі температури необхідно встановлювати в захисні гільзи.

ПВП тиску. Розрізняють вимірювальні перетворювачі для вимірювання надлишкового тиску в межах від 0 до 100 МПа,

напору – до 40 кПа, розріджень – до 40 кПа і вакууму – до 0,1 МПа, а також різниці (перепадів) тисків – до 16 МПа. Крім цих основних технічних характеристик, при виборі вимірювальних перетворювачів тиску необхідно враховувати:

- характер зміни вимірюваного тиску в часі (тиск не змінюється, змінюється плавно, є пульсуючим);
- вплив середовища, тиск якого вимірюється, на матеріал чутливого елемента вимірювального перетворювача;
- граничний робочий тиск (для давачів перепаду тиску).

Межі вимірювань вимірювальних перетворювачів тиску вибирають з ряду значень, наведених в каталогах заводів-виготовлювачів засобів автоматизації і довідниках.

Вимірювальний перетворювач тиску повинен мати такий діапазон вимірювань, щоб вимірюваний тиск знаходився в межах $1/2...3/4$ цього діапазону, а пульсуючий тиск – в межах $1/3...2/3$ діапазону вимірювань. Наприклад, для вимірювання розрідження, яке змінюється в межах 35...65 кПа, при використанні вимірювального приладу з вхідним сигналом 0...5 мА вибирають вимірювальний перетворювач тиску з вихідним сигналом 0...5 мА типу Сапфір-22ДВ, межі вимірювання якого складають 0...100 кПа. В якості первинних вимірювальних перетворювачів тиску широко використовують перетворювачі типів МЕД з диференційно-трансформаторною системою передачі, МПЕ з компенсацією магнітних потоків, Сапфір-22ДІ і Метран-43ДІ з уніфікованим вихідним струмовим сигналом 0...5 мА, 0...20 мА і 4...20 мА.

ПВП витрати. Вимірювання витрат рідин, газів і пари в основному здійснюється витратомірами змінного перепаду тиску. До складу цих витратомірів входять первинні вимірювальні перетворювачі, проміжні перетворювачі, функціональні перетворювачі і вимірювальні прилади.

В якості первинних вимірювальних перетворювачів використовують стандартні звужуючі пристрої. Звужуючі пристрої (ЗП) призначені для створення перепаду тиску, по величині якого визначають витрату різних робочих середовищ. До стандартних звужуючих пристроїв відносяться діафрагми, сопла, сопла і трубки Вентурі, які встановлюють на трубопроводах діаметром 50...1000 мм при надлишковому тиску

вимірюваного середовища, що не перевищує 40 МПа. Якщо надлишковий тиск вимірюваного середовища більший 10 МПа, то застосовують сопла. Звужуючі пристрої при надлишковому тиску вимірюваного середовища, що не перевищує 10 МПа, кріпляться у фланцях, а понад 10 МПа – вварюють у трубопровід.

Діафрагми мають просту конструкцію, однак сопла дозволяють вимірювати великі витрати і в ряді випадків забезпечують більш високу точність, ніж діафрагми при одних і тих же значеннях перепаду тиску. Крім того, для установки сопел потрібні більш короткі прямі ділянки трубопроводів.

Звужуючі пристрої виготовляються з нержавіючих сталей. Зварні діафрагми і сопла випускаються, як правило, на заводах-виробниках технологічного обладнання і поставляються спільно з устаткуванням.

Для ліквідації гідростатичної похибки, забезпечення рівності густини рідини і захисту пружних чутливих елементів проміжних перетворювачів (диференціальних манометрів) від механічних і хімічних впливів вимірюваного середовища між звужуючим пристроєм і проміжними перетворювачами в безпосередній близькості до ЗП монтують різні спеціальні посудини. При вимірюванні витрати пари застосовують конденсаційні посудини, агресивних середовищ (мазут, природний газ, кислота і т. п.) – роздільні посудини, а гарячої води з температурою понад 120 °С – зрівнюючі посудини. Вибір відповідних посудин здійснюється за умовним тиском P_v , на який вони розраховані.

Проміжні перетворювачі витрати призначені для перетворення перепаду тиску в електричний сигнал. В якості проміжних вимірювальних перетворювачів витрати широко використовують перетворювачі типів ДМ з уніфікованим вихідним сигналом взаємної індуктивності 0...10 мГн, Сапфір-22ДД і Метран-43ДД з уніфікованими струмовими сигналами 0...5 мА, 0...20 мА і 4...20 мА.

Методика вибору контрольно-вимірювальних приладів. Контрольно-вимірювальні прилади (КВП) призначені для перетворення контрольованих параметрів та подання інформації про їх величину операторові. КВП можуть включати пристрої,

що дозволяють вводити інформацію в ЕОМ та інші технічні засоби автоматизації, здійснювати безпосереднє управління технологічними процесами.

КВП мають ряд додаткових пристроїв в залежності від модифікації, наприклад, реостатні пристрої для роботи з програмними регуляторами, мікроперемикачі для позиційного регулювання або сигналізації граничних значень вимірюваних параметрів і т. д.

КВП для виведення кількісної інформації поділяються на:

- за способом представлення інформації – аналогові, цифрові;
- за виконуваними функціями – показуючі, реєструючі;
- кількістю контрольованих точок – одноточкові, багатоточкові (триточкові, шеститочкові, дванадцятиточкові);
- за кількістю вимірювальних каналів – одноканальні, багатоканальні (двоканальні, триканальні та ін.);
- з використанням додаткових пристроїв – сигналізуючі, регулюючі;
- за виглядом шкали – плоскі, опуклі, прямокутні;
- за вигляду покажчика - стрілкові, світлові, цифрові;
- за розташуванням шкали – з вертикально розташованою шкалою, з горизонтально розташованою шкалою.

Для вимірювання температури, тиску і витрати найчастіше застосовують аналогові показуючі, реєструючі і сигналізуючі вимірювальні прилади. Вони мають вбудовані перетворювачі з уніфікованими вихідними струмовими сигналами, з виходів яких інформацію про вимірювану величину можна передати на ЕОМ та інші засоби автоматизації. Діапазони вимірювань приладів визначені Держстандартами.

Наприклад, для вимірювання температури перегрітої пари 565 °С, необхідно вибрати діапазон вимірювань 0...600 °С або 200...600 °С. А для вимірювання витрати перегрітої пари 230 т/год. витратоміром змінного перепаду тиску, верхня межа вимірювання дорівнює 250 т/год.

Вибір вимірювальних приладів відбувається у два етапи. На першому етапі, на основі сукупності класифікаційних ознак, що відповідають поставленим вимогам, вибирають серію вимірювальних приладів. Наприклад, для вимірювання температури за допомогою ТПС і ТЕП, враховуючи, що

необхідна аналогова реєстрація величин вимірюваних температур, сигналізація граничних значень контрольованих температур, вибирають серію вимірювальних приладів А100-Н.

На другому етапі вибирають конкретну модифікацію вимірювального приладу в серії, що має весь набір необхідних функцій. Наприклад, для розглянутого вище випадку (первинний вимірювальний перетворювач – термоперетворювач опору) вибирають вимірювальний прилад серії А100-Н, модифікація 221.

При виборі технічних засобів автоматизації слід використовувати довідкову літературу та заводські каталоги продукції, що випускається.

Приклади вибору технічних засобів автоматизації типових ТП. *Приклад 1. Автоматизація системи вентиляції і кондиціонування повітря.* Проаналізувавши структурну схему комплексу технічних засобів, існуючі типові схеми автоматизації та вимоги технологічного регламенту, а також визначивши контури вимірювання, сигналізації, захисту, блокування та регулювання розроблено проект схеми автоматизації, яка є результатом комплексного підходу до автоматизації технологічних процесів. У результаті проектування отримуємо схему автоматизації (рис. 2), що виконана з дотриманням ГОСТ 21.408-2013.

Розроблена схема автоматизації забезпечить зменшення кількості небезпечних та надзвичайних ситуацій, часу планових та позапланових ремонтів, призведе до покращення умов праці персоналу за рахунок зменшення перебування людей в зонах посиленої дії шкідливих факторів.

Головним регульованим параметром в даній системі (див. рис. 2) є температура на вході в приміщення поз. 8, яка керується зміною надходження теплоносія у калорифер поз. 5 за допомогою триходового клапана та відкривання повітряних заслінок поз.1 та поз. 2. Поз. 3 – це контроль забрудненості фільтра, яка визначається падінням тиску на ньому, що вимірюється диференціальним датчиком тиску, який вимірює різницю тисків повітря до і після фільтру. На поз. 4 – здійснюється програмне керування витяжним вентилятором за допомогою програми, яка задана у контролері. На поз. 6

здійснюється вимірювання температури, а на поз. 7 програмне керування приточним вентилятором. Давачі температури ТЕ (4-1) та ТЕ (5-1) налаштовуються за допомогою двох універсальних аналогових входів контролера. На поз. 9 та 10 контролюємо температуру та вологість у приміщенні.

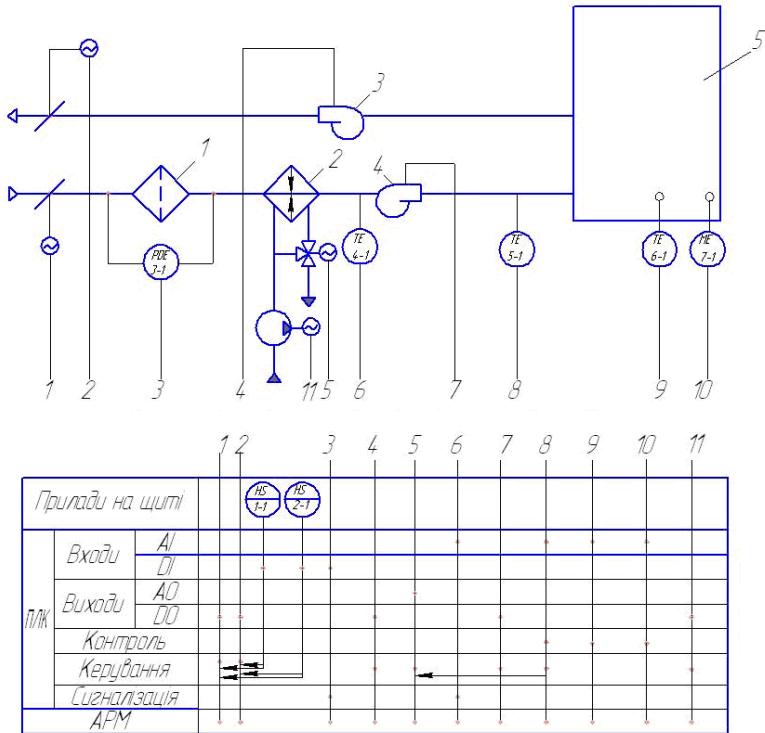


Рис. 2. Схема автоматизації системи вентиляції:

- 1 – фільтр, 2 – калорифер, 3 – витяжний вентилятор, 4 – приточний вентилятор, 5 – приміщення

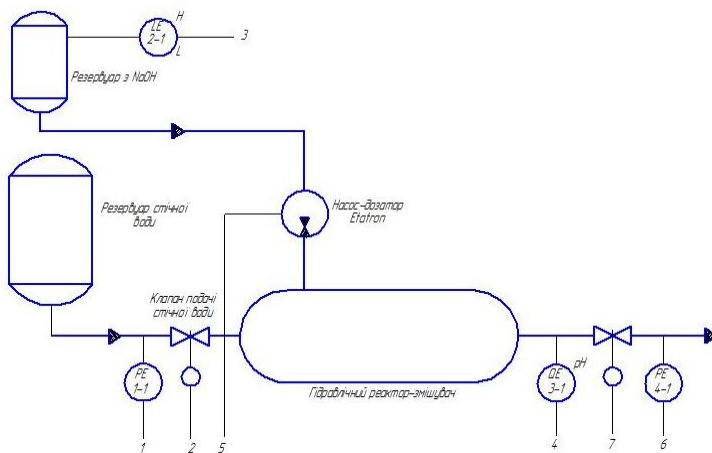
У результаті аналізу системи автоматизації для реалізації функцій автоматизованої системи управління виконуємо остаточний вибір технічних засобів автоматизації результати, якого представлені у вигляді специфікації (табл. 2).

Таблиця 2.2

Специфікація на технічні засоби автоматизації

| № п/п | Позиція на ФСА | Назва | Назва засобу та коротка технічна характеристика | Тип | К-сть |
|----------|-------------------|---------------|---|------------------------------------|-------|
| 1 | ТЕ 6-1 | Температура | Робочий діапазон вимірюваних температур: -40...+120°C. Напруга живлення постійного струму: 5...24 В | ДВТР-001, НПФ «РегМік» | 1 шт. |
| 2 | МЕ 7-1 | Вологість | Діапазон вимірювання відносної вологості: 0...100%. Напруга живлення постійного струму: 5... 24 В | | |
| 3 | ТЕ 4-1 5-1 | Температура | Діапазон вимірюваних температур: 0...+50°C. Номинальна статична характеристика (НСХ): 100М, Діапазон умовних тисків: 0,3МПа | ТСМ – 0101, ПП «Експорт-постач» | 2 шт. |
| 4 | PDE 3-1 | Перепад тиску | Діапазон тиску: 50...500Па, Температура корпусу: -30...+85 °С. Допустима вологість повітря: <90% відносної вологості | DS 205 В, ТОВ «Енергометрика» | 1 шт. |
| 5 | | | Програмований логічний контролер | МК – 51 | 1 шт. |

Приклад 2. Автоматизації процесу системи очищення стічних вод (рис. 3) реалізуються за допомогою технічних засобів, що включають: відбірні пристрої, засоби отримання первинної інформації, засоби перетворення і переробки інформації, засоби представлення і видачі інформації обслуговуючому персоналу, комбіновані комплектні та допоміжні пристрої.



| | | | | | | | | |
|-----------------|-------|--------------|---|--------|--------|---|--------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Місцеві прилади | | | | LE 2-2 | | | | |
| Прилади на щиті | | PI 1-2 | | | PI 3-2 | | PI 4-2 | |
| PIK | Входи | Аналогові | | | | | | |
| | | Дискретні | | | | | | |
| | | Аналогові | | | | | | |
| | | Дискретні | | | | | | |
| APM | | Індикація | | | | | | |
| | | Сигналізація | | | | | | |
| | | Керування | | | | | | |
| | | Блокдування | | | | | | |

Рис. 3. Схема автоматизації системи очищення стічних вод з використанням гідралічного реактора-змішувача

Вибір технічних засобів автоматизації для реалізації функцій автоматизованої системи управління. В системі автоматизації передбачено три контури автоматичного регулювання величини pH шляхом автоматизації дозування їдкого натрію та контур контролю витрати і провідності очищеної води.

Задавачами величини pH служать промислові електроди 1ELT014 фірми Etatron у виконанні для агресивних середовищ. Первинна обробка та реєстрація сигналів від датчиків

здійснюється мікропроцесорними трансмітерами 1ST 059 цієї ж фірми. Уніфіковані струмові сигнали 4 – 20 mA. надходять на модуль аналогових входів, розміщений на шасі ПЛК. Основні технічні характеристики електродів рН марки 1ELT014:

1. Діапазон вимірювань від 1 до 14 од. рН;
2. Температура середовища, що аналізується 0 - 100 °С;
3. Тиск середовища до 0,3 МПа;
4. Температура навколишнього повітря від 5 °С до 50 °С;
5. Електричний опір допоміжного електроду при 20 °С – не більше 20 кОм.

Основні характеристики трансмітера рН марки 1ST 059:

1. Наявність LCD дисплея;
2. Діапазон вимірювання 0 – 14 рН;
3. Температурна компенсація 0 – 100 °С;
4. Вихід 4 – 20 mA.

Функції регулюючого органу для дозування їдкою натрію в змішувачах-реакторах концентрованих стоків виконує насос-дозатор фірми Etatron. Для контролю за якістю очищеної води після іонообмінних фільтрів використовується величина електропровідності не більше 20 мкСм/см. Для контролю за електропровідністю використовується кондуктометр CD/B 1ST 097 фірми Etatron та давачі 1STE 039 K5 з полівінілхлориду. Пристрій САУ-М6 призначений для автоматизації технологічних процесів, пов'язаних з контролем і регулюванням рівня рідини. Технічні характеристики приладу САУ-М6:

1. Номінальна напруга живлення приладу - 220 В;
2. Допустимі відхилення напруги живлення від номінального значення -15...+10%;
3. Споживана потужність не більше 6 ВА;
4. Кількість каналів контролю рівня – 3;
5. Напруга на електродах датчика рівня не більше 10 В;
6. Опір рідини для спрацьовування каналу контролю не більше 500 кОм;
7. Габаритні розміри корпусу 130x105x65 мм;
8. Ступінь захисту корпусу IP44.

Програма роботи

1. Ознайомитися з принципами та правилами вибору

технічних засобів автоматизації.

2. Виконати обґрунтування та вибір технічних засобів автоматизації у відповідності до схеми автоматизації.

3. Описати основні етапи вибору технічних засобів автоматизації та представити специфікацію.

Порядок виконання роботи

1. Розглянути особливості вибору технічних засобів автоматизації, що описано у теоретичних відомостях.

2. Виконати аналіз розробленої структурної та функціональної схем автоматизації.

3. Виконати вибір технічних засобів автоматизації у відповідності до схеми автоматизації:

а) вибрати ПЛК за послідовністю та методикою, яка приведена у теоретичних відомостях;

б) вибрати первинні вимірювальні перетворювачі за послідовністю та методикою вибору первинних вимірювальних перетворювачів, яка приведена у теоретичних відомостях;

в) вибрати контрольно-вимірювальні приладів за послідовністю та методикою вибору контрольно-вимірювальних приладів, яка приведена у теоретичних відомостях.

4. Виконати обґрунтування та остаточний вибір ТЗА та КВП використовуючи каталоги та інтернет-ресурси виробників.

5. Результати проектування оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4.

Вимоги до оформлення звіту:

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;
- схема автоматизації та її опис;
- порівняння вибраних (2-3 позиції) технічних засобів автоматизації з приведеними параметрами у вигляді таблиці;
- обґрунтування вибору;
- перелік вибраних технічних засобів автоматизації у вигляді специфікації;
- висновок.

Контрольні запитання

1. Які особливості вибору ПЛК?
2. Які особливості вибору засобів зв'язку?
3. Опишіть методику вибору контролерного обладнання.
4. Опишіть методику вибору первинних вимірювальних перетворювачів.
5. Розкрийте суть прикладу вибору первинних вимірювальних перетворювачів.
6. Опишіть методику вибору контрольно-вимірювальних приладів.
7. Розкрийте суть прикладу вибору технічних засобів автоматизації у системі вентиляції і кондиціонування повітря.
8. Розкрийте суть прикладу вибору технічних засобів автоматизації у системі очищення стічних вод.

Практична робота №4

Вибір виконавчих механізмів та розрахунок регулюючих органів

Мета роботи

Навчитися виконувати вибір виконавчих механізмів та розрахунок регулюючих органів, які використовуються у системах автоматизації технологічних процесів.

Теоретичні відомості

Виконавчим механізмом (ВМ) називається пристрій, який реалізує керуючий (регулюючий) вплив на об'єкт, що формується регулятором (ПЛК) шляхом механічного переміщення регулюючого органу (РО). Виконавчі механізми складаються із двох функціональних вузлів: регулюючого (приводу), який здійснює керування виконавчим механізмом відповідно до інформації отриманої від регулятора; виконуючого (регулюючого органу), що впливає на процес регулювання шляхом зміни пропускнуої здатності комунікаційного елемента. У сучасних системах автоматизації використовуються ВМ різного принципу дії та конструктивного виконання. ВМ залежно від використовуваної енергії поділяються на: електричні; пневматичні; гідравлічні; електропневматичні; електрогідравлічні; пневмогідравлічні та ін. У деяких технологічних процесах у якості виконавчих механізмів іноді використовуються: засувки; шибери; скидні клапани; насоси; компресори; транспортні механізми; шнекові, пластинчасті та дискові живильники; позиціонери та ін.

Процес вибору виконавчих механізмів та регулюючих органів ґрунтується на задоволенні таких вимог: відповідність принципу дії, конструкції і задачі автоматизації; відповідність категорії виробничого приміщення; відповідність властивостям і значенням регулювального середовища; забезпечення необхідної надійності роботи і технічного ресурсу; безвідмовність роботи в навколишньому середовищі у місці установки; забезпечення необхідної швидкості регулювання та ін.

Методика вибору виконавчих механізмів та регулюючих органів. Перед тим, як визначити конкретний тип виконавчого механізму та відповідний йому регулюючий орган необхідно вибрати алгоритм та вид дії ВМ. Найбільш поширеними є чотири алгоритми автоматичного регулювання: аналогові пропорційно-інтегральні (ПІ) та пропорційно-інтегральні-диференціальні (ПІД) і імпульсні (або дискретні) ПІ та ПІД. ПІД алгоритми застосовуються у процесах, які мають великі перехідні запізнення, а у інших випадках застосовують ПІ-алгоритми. Щодо виду регулюючого впливу, то їх вибір залежить від типу ВМ. При виборі ВМ варто врахувати, що пневматичні ВМ є простішими у порівнянні з електродвигунними, мають змінну швидкість переміщення РО та меншу вартість, але для їх використання потрібні особливі умови робочого середовища, наприклад вибухонебезпечне середовище, додаткові джерела живлення та системи перетворення сигналів.

Після вибору типу ВМ потрібно визначити апаратний принцип реалізації управляючого впливу на ВМ. У багатьох випадках застосовують: автономні засоби (станції та блоки місцевого, або дистанційного управління ВМ); керування за допомогою фіксованих ПЛК (на пряму або через перетворювач); керування за допомогою модульних ПЛК та ПК.

Регулюючий орган являє собою змінний опір, який реалізується у вигляді шибера, клапана, поворотної заслінки тощо. У таких пристроях зміна опору до потоку речовини ΔP_{po} і пропускної здатності k_v відбувається за рахунок зміни прохідного перетину в залежності від лінійного h або кутового α ходу рухомої частини затвора (клапана, плунжера, заслінки тощо).

Пропускна здатність k_v ($m^3/год$) регулюючого органу відповідає витраті води через нього під дією різниці тисків у 0,1 МПа. При максимальному ході (умовному ході) штока h_s (або α_s) величина k_v є максимальною і носить назву *умовної пропускної здатності* - $k_{v,s}$. У безрозмірному вигляді *відносна пропускна здатність* - $k_v/k_{v,s}$. Якщо її визначають в залежності від ступеня відкриття h/h_s (або α/α_s), то вона називається *пропускною характеристикою РО*.

Основною регулювальною характеристикою РО є форма пропускної характеристики, яка в основному, залежить від конструкції РО. Форма пропускної характеристики РО може бути: лінійною, рівновідсотковою та нелінійною.

У багатьох технологічних процесах застосовуються різні конструкції РО. На рис. 1 показані найбільш поширені типи РО для рідинного регулювального середовища. Для сипучого та іншого типу регулювального середовища необхідно використовувати інші типи РО. Поворотні заслінки і кульові РО мають нелінійну пропускну характеристику в діапазоні кута повороту $0^\circ < \alpha < 60^\circ$. У діапазоні кута повороту від 60° до повного відкриття 90° вони, як правило, не здійснюють суттєвого регулюючого впливу. Тому при налаштуванні виконавчого механізму необхідно узгодити повний хід виконавчого механізму з робочим ходом РО.

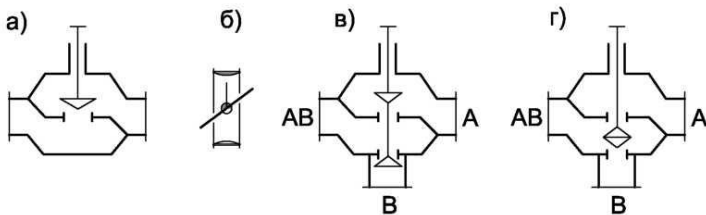


Рис. 3.1. Типи регулюючих органів: а) двоходовий (прохідний) сідловий; б) поворотна заслінка; в), г) триходовий

Регулюючі органи, які в процесі регулювання мають рівновідсоткову характеристику є найбільш універсальними, тому вони можуть застосовуватися в умовах розгалуженої трубопроводної мережі і змінного перепаду тиску. Це забезпечує практично лінійну витратну характеристику регулюючого органу при значно нижчому розрахунковому значенні P_{PO} ніж при лінійній пропускну характеристиці.

В РО зміна опору відбувається за рахунок зміни прохідного перетину, тобто шляхом дроселювання регульованого середовища з метою зміни його витрати на регульованій ділянці. Регульованою ділянкою є та частина трубопроводу на яку впливає РО. Перепад тиску на регульованій ділянці ΔP_{PD} (ΔP_{PV}) зберігається постійним у процесі регулювання і витрачається на

подолання опору споживача $\Delta P_{\text{спож.}}$ та на опір регулюючого органу $\Delta P_{\text{РО}}$.

Гідравлічний розрахунок регульованої ділянки виконується на розрахункову витрату рідини G_{max} при повному відкритті РО, опір якого становить $(\Delta P_{\text{РО}})_{\text{min}}$. Також, регульовану ділянку трубопроводу на якій встановлений РО характеризують авторитетом клапана a_v або модулем n_v . Значення a_v і n_v , а також співвідношення між ними обчислюються за формулами:

$$n_v = \frac{\Delta P_{\text{спож.}}}{(\Delta P_{\text{РО}})_{\text{min}}}; a_v = \frac{(\Delta P_{\text{РО}})_{\text{min}}}{(\Delta P_{\text{РО}})_{\text{min}} + \Delta P_{\text{спож.}}}; a_v = \frac{1}{1+n_v}; n_v = \frac{1}{a_v} - 1.$$

Однією з основних регульовальних характеристик є форма витратної характеристики РО при різних значеннях авторитету клапана a_v (або модуля n_v). Для забезпечення надійної роботи системи автоматичного регулювання (САР) в межах усього діапазону робочого ходу штоку РО необхідно, щоб форма витратної характеристики РО була лінійною або близькою до лінійної.

На рис. 2 і 3 наведені витратні характеристики РО, розрахунок яких виконують при різних значеннях a_v і n_v для РО з лінійною і рівновідсотковою пропускними характеристиками, а на рис. 4 та 5 – для регулюючої поворотної заслінки і запірно-регулюючої заслінки типу ГЕРЦ (Herz) (рис. 6). Розрахунок витратних характеристик виконується за умови постійного перепаду тиску в системі.

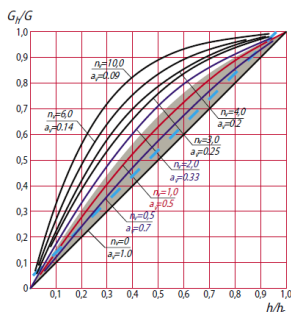


Рис. 2. Витратні характеристики РО з лінійною пропускною здатністю

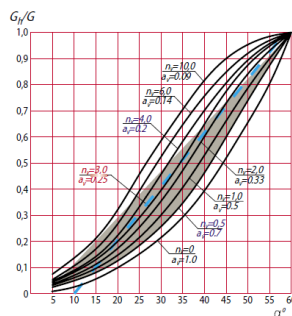


Рис. 3. Витратні характеристики РО типу поворотна заслінка

Таким чином при виборі РО можна прослідкувати форми витратних характеристик, які близькі до лінійних (рис. 2 – 5) виділені заштрихованою областю, в якій забезпечується найбільш надійна робота САР в межах усього діапазону робочого ходу штока РО. Описаний тут аналіз форм витратних характеристик показує яким чином можна визначати типи регулюючих органів, що найбільш ефективно підійдуть для конкретного трубопроводу. Вигляд цих характеристик міститься у технічній документації від виробника, або в довідковій літературі.

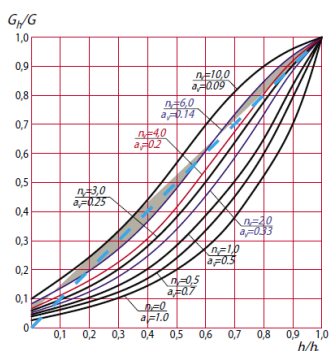


Рис. 4. Витратні характеристики РО з рівнопроцентною пропускнуою здатністю

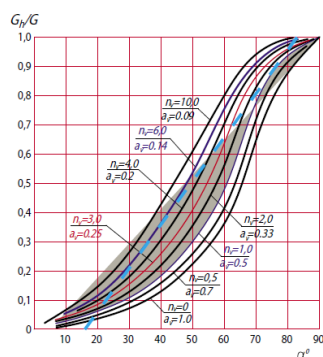


Рис. 5. Витратні характеристики РО типу ГЕРЦ 4219

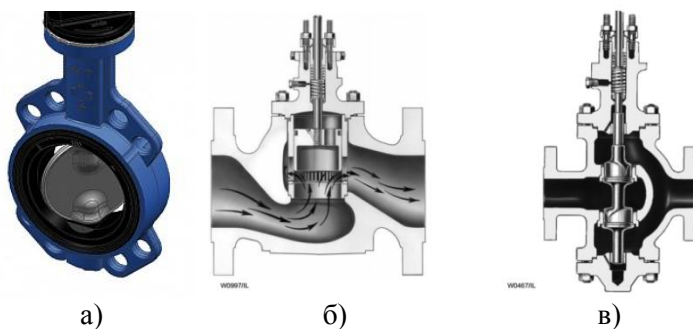


Рис. 6. Запірно-регулювальна заслінка ГЕРЦ (а), регулюючий орган з рівнопропорційною пропускнуою характеристикою (б, в)

Регулюючі органи з рівнопропорційною пропускною характеристикою застосовують для регулювання тепловіддачі різних теплообмінників (див. рис. 6, б, в). У цьому випадку витратна характеристика є найбільш сприятливою для регулювання, так як при відносно невеликій втраті тиску в РО досягається ефективний регулюючий вплив на регульований параметр у всьому діапазоні робочого ходу РО.

Є певна схожість форм витратних характеристик запірно-регулюючої заслінки типу ГЕРЦ (рис. 5) і регулюючого органу з рівнопропорційною пропускною характеристикою (рис. 4) в діапазоні авторитету $a_v > 0,25$, ($n_v < 3,0$).

Для кожного типу РО можна відзначити такий діапазон витратних характеристик, в якому даний тип РО буде забезпечувати найякісніше регулювання:

- РО з лінійною пропускною характеристикою слід застосовувати задаючись авторитетом клапана $a_v > 0,4$ ($n_v < 1,5$);

- РО з рівнопропорційною пропускною характеристикою слід застосовувати задаючись авторитетом клапана $0,1 < a_v < 0,3$ ($3 < n_v < 10$);

- для проміжних значень $0, < a_v < 0,4$ ($1,5 < n_v < 3,0$) можна вибрати будь-яку з двох форм пропускної характеристики (лінійну або рівнопропорційну), оскільки в цьому діапазоні вони дають приблизно однакову нелінійність;

- поворотну заслінку доцільно застосовувати, задаючись авторитетом клапана $0,2 < a_v < 0,7$ ($0,5 < n_v < 4,0$);

- запірно-регулюючу заслінку типу ГЕРЦ доцільно застосовувати, задаючись авторитетом клапана $0,15 < a_v < 0,5$ ($1,0 < n_v < 6,0$).

Рівнопроцентна пропускна характеристика найбільш універсальна, тому що в умовах розгалуженої трубопровідної мережі забезпечує практично лінійну витратну характеристику регулюючого органу при значно більш низькому розрахунковому значенні ΔP_{PO} , ніж при лінійній пропускній характеристиці. Лінійна пропускна характеристика зручна при необхідності використання регулюючих органів з високим значенням розрахункового опору ΔP_{PO} . Ту чи іншу характеристику необхідно вибирати з міркувань оптимізації умов автоматичного регулювання. Якщо основними збуреннями

САР є внутрішні, то доцільно застосовувати рівнопроцентну витратну характеристику, а якщо основними збуреннями САР є зовнішні, то доцільною є лінійна витратна характеристика.

Приклад вибору двоходових регулюючих органів. Оскільки у багатьох САР двоходові регулюючі органи застосовуються найчастіше, тому у даній роботі приводиться методика вибору таких РО. Якщо у вибраному технологічному процесі застосовуються інші РО, то необхідно застосувати методику яка підійде для конкретних типів РО. Вибір РО залежить від характеру вихідних даних, які можна розділити на два види:

Перший вид вихідних даних:

- розрахункова(і) витрата(и);
- перепад тиску на регульованій ділянці $\Delta P_{РД}$ ($\Delta P_{РУ}$);
- опір споживача $\Delta P_{спож.}$ (системи опалення або теплообмінники з теплопроводами і арматурою);
- необхідний опір регулюючого органу ($\Delta P_{РО,необх.})_{min}$;
- тип і типорозмір РО.

Другий вид вихідних даних:

- розрахункова(і) витрата(и);
- опір споживача $\Delta P_{спож.}$ (наприклад, система опалення, теплообмінник з теплопроводами і арматурою та ін.).
- опір регулюючого органу ($\Delta P_{РО.})_{min}$;
- розрахунковий перепад тиску на регульованій ділянці $\Delta P_{РД}$;
- тип та типорозмір РО.

Для першого виду вихідних даних вибір двоходового РО проводиться в такій послідовності:

1. Визначаємо необхідні вихідні дані для розрахунку (вибираємо з технічних характеристик попередньо вибраного РО):

- максимальна (або розрахункова) витрата рідини через двоходовий РО G_{max} , кг/год;
- перепад тиску на регульованій ділянці $\Delta P_{РД}$, Па;
- опір споживача (наприклад, система опалення, теплообмінник з теплопроводами і арматурою та ін.) $\Delta P_{спож.}$, Па;
- абсолютний тиск перед РО P_1 , МПа;
- температура перед РО T_1 , К;
- абсолютний тиск насиченої пари P_H , МПа при температурі T_1 (якщо є, то визначається з довідкових даних, або з карти

технологічних параметрів);

- густина рідини (наприклад води) ρ , кг/м³ при T_1 , визначається з довідкових даних, або з карти технологічних параметрів.

Необхідне мінімальне розрахункове значення перепаду тиску на РО $(\Delta P_{PO.необх})_{min}$, обчислюється за виразом:

$$(\Delta P_{PO.необх})_{min} = \Delta P_{PO} - \Delta P_{спож.}$$

Необхідне значення авторитету клапана a_v *необх.* визначається за формулою:

$$a_v \text{ необх.} = \frac{(\Delta P_{PO \text{ необх.}})_{min}}{(\Delta P_{PO \text{ необх.}})_{min} + \Delta P_{спож.}}$$

У відповідності до умов, викладених вище за значенням a_v *необх.* вибирається тип РО і необхідна форма його пропускної характеристики з рис. 2 – 5.

Необхідна розрахункова умовна пропускна здатність РО k_{vs} *необх.*, м³/год визначається за виразом:

$$k_{vs} \text{ необх.} = \frac{G_{max}}{\rho \sqrt{0,1(\Delta P_{PO \text{ необх.}})_{min}}} 10^2$$

Використовуючи технічні каталоги фірм виробників вибираємо такий типорозмір РО, значення умовної пропускної здатності якого k_{vs} , м³/год відповідатиме умові:

$$k_{vs} = (0,9 \dots 1,0) k_{vs \text{ необх.}}$$

Розрахунковий перепад тиску РО ΔP_{PO} , Па обчислюється за виразом:

$$\Delta P_{PO} = 0,1 \left(\frac{G_{max}}{k_{vs}} \right)^2$$

Прийнятий (вибраний) РО слід перевірити на виникнення кавітації шляхом визначення перепаду тиску ΔP_k , Па, при якому виникає кавітація за виразом:

$$\Delta P_k = k_k(P_1 - P_H)10^6$$

де k_k - коефіцієнт початку кавітації.

Слід вибирати РО з більш високими значеннями коефіцієнта початку кавітації k_k за табл. 1, або за технічними каталогами.

Табл. 1

Відповідність коефіцієнта початку кавітації k_k типу РО

| Тип РО | Коефіцієнт початку кавітації | Примітки |
|---------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Шиберний | 0,65 | |
| Односідловий клапан | 0,60 | |
| Двосідловий клапан | 0,51 | |
| Кульовий | 0,68 | |
| Заслінчастий | 0,36 | При куті поворота $\alpha=60^0$ |

Вибір типорозміру РО завершений, якщо в результаті виконаних розрахунків виконується умова $\Delta P_{PO} < \Delta P_k$. Якщо ця умова не виконується то вибір починається з початку за іншими параметрами до того моменту поки умова буде виконуватися.

Для другого виду вихідних даних вибір двоходового РО проводиться в такій послідовності:

Необхідні вихідні дані:

- максимальна (або розрахункова) витрата води через двоходовий РО G_{max} , кг/год;

- втрати тиску споживача (наприклад, система опалення, теплообмінник з теплопроводами і арматурою та ін.) $\Delta P_{спож.}$, Па;

- абсолютний тиск перед РО P_1 , МПа;

- температура води перед РО T_1 , К;

- абсолютний тиск насиченої пари P_H , МПа при температурі T_1 , (якщо ϵ , то визначається з довідкових даних, або з карти технологічних параметрів);

- густина рідини (наприклад води) ρ , кг/м³ при T_1 , визначається з довідкових даних, або з карти технологічних параметрів.

Вибираємо необхідний для нашої САР тип РО, а потім, відповідно до умов, які викладені вище вибираємо форму

пропускної характеристики (лінійна, рівнопроцентна або інша) та визначаємо авторитет клапана $a_{\nu \text{ необх.}}$.

Необхідне мінімальне розрахункове значення перепаду тиску на РО $(\Delta P_{\text{РО.необх}})_{\text{min}}$, Па обчислюємо за виразом:

$$(\Delta P_{\text{РО.необх}})_{\text{min}} = \frac{\Delta P_{\text{спож.}}}{\frac{1}{a_{\nu \text{ необх.}}} - 1}$$

Подальші розрахунки і вибір РО виконується так само, як і для першого виду вихідних даних. Розрахунковий перепад тиску на регульованій ділянці $\Delta P_{\text{РУ}}$, Па визначається за виразом:

$$\Delta P_{\text{РД}} = \Delta P_{\text{РО}} + \Delta P_{\text{спож.}}$$

Вибір типорозміру РО завершений, якщо в результаті виконаних розрахунків виконується умова $\Delta P_{\text{РО}} < \Delta P_{\text{к}}$. Якщо ця умова не виконується то вибір починається з початку за іншими параметрами до того моменту поки умова буде виконуватися.

Після визначення вказаних параметрів, як для першого так і для другого в виду вихідних даних визначають умовний прохід РО D_y , мм з урахуванням діаметру трубопроводу D_T за виконанням умови: $0,25D_T < D_y < D_T$.

Програма роботи

1. Ознайомитися з принципами та правилами вибору виконавчих механізмів та розрахунку регулюючих органів.

2. За технологічною схемою та за загальною структурою автоматизації виконати вибір виконавчих механізмів, уточнення та розрахунок параметрів регулюючих органів.

Порядок виконання роботи.

1. Розглянути принципи вибору виконавчих механізмів та розрахунок параметрів регулюючих органів, що описано у теоретичних відомостях.

2. У відповідності до методики та принципу реалізації управляючого впливу вибрати виконавчий механізм(и) та регулюючий орган(и).

3. Виконати обґрунтування та остаточний вибір ВМ та РО порівнявши найбільш придатні для відповідних умов пристрої різних виробників (у вигляді таблиці надавши 2-3 варіанти).

4. Виконати розрахунок РО у відповідності до технологічної схеми, розробленої схеми автоматизації та типу вихідних даних. Тип вихідних даних визначається з опису технологічного процесу та карти технологічних параметрів згідно варіанту. Якщо у описі технологічного процесу відсутні деякі вихідні дані, то їх необхідно прийняти з параметрів вибраного РО (п.2).

5. Якщо приведений у теоретичних відомостях тип РО відсутній у технологічній схемі та розробленій системі автоматизації, тобто використовується РО типу: шиббер, насос, компресор, транспортер чи інший, то його розрахунок необхідно узгодити з викладачем.

6. Результати проектування оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4.

Вимоги до оформлення звіту

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;
- вихідна технологічна схема та її опис;
- обґрунтування та остаточний вибір ВМ та РО у вигляді таблиць порівняння;
- розрахунок робочих параметрів регулюючих органів;
- висновок.

Контрольні запитання.

1. Що таке виконавчі механізми і з яких частин вони складаються?

2. У чому суть процесу вибору виконавчих механізмів та регулюючих органів?

3. Яка методика вибору виконавчих механізмів та регулюючих органів?

4. Що таке регулюючий орган.
5. Що таке пропускна здатність k_v , регулюючого органу?
6. Які є типи регулюючих органів?
7. Що таке витратні характеристики і які є форми витратних характеристик?
8. Яка особливість запірно-регулювальної заслінки ГЕРЦ?
9. Наведіть приклад вибору двоходовий регулюючих органів для першого виду вихідних даних.
10. Наведіть приклад вибору двоходовий регулюючих органів для першого виду вихідних даних.

Практична робота №5

Розрахунок схеми електроживлення та вибір апаратів управління і захисту

Мета роботи

Навчитися розраховувати схеми електроживлення, вибирати та розраховувати параметри апаратів захисту та управління.

Теоретичні відомості

Система електроживлення підприємств – це комплекс споруд на території підприємства, що включає систему електропостачання, обладнання перетворення, розподілу, регулювання і резервування електричної енергії, яка забезпечує функціонування підприємства, як в нормальних так і в аварійних режимах роботи.

Система електроживлення підприємства містить:

- електричні мережі загального призначення;
- пристрої вводу, захисту, комутації і розподілу постійного і змінного струмів;
- автономні джерела (основні і резервні) електричної енергії однофазного, трифазного і постійного струмів;
- системи електроживлення постійного і змінного струмів.

Проектування електропостачання та живлення – одне з обов'язкових завдань в комплексному проектуванні. Правильний вибір та розрахунок елементів електроживлення є одним з найважливіших факторів при проектуванні і експлуатації електричних мереж промислових об'єктів.

Вибір та розрахунок апаратів та пристроїв, які використовуються для електроживлення та захисту здійснюється на основі:

- Правила улаштування електроустановок. Розд. 1.2 – 1.4;
- ГОСТ Р 50571.2-94 «Электроустановки зданий» ч. 3;
- ДСТУ ІЕС 60287-(1-1 – 1-3):2009 «Кабелі електричні.

Обчислення номінальної сили струму» та ін.

Всі лінії електропередач та живлення мають активний опір, тому при проходженні по них електричного струму вони нагріваються, а також нагрівається їхня ізоляція. Для розрахунку ліній електроживлення та захисних апаратів, серед

інших, використовується температурний розрахунок. За цим розрахунком провідники будь-якого призначення мають задовольняти вимогам щодо гранично допустимого нагріву з урахуванням не тільки нормальних, а й післяаварійних режимів, а також режимів у період ремонту і можливих нерівномірностей розподілу струмів між лініями, секціями та ін.

Допустимі значення температури нагріву струмовідних частин кабелів, проводів і шин наведена у ПУЕ (п. 1.3.1 – 1.3.7). У відповідності до цих значень здійснюється розрахунок інших параметрів системи електроживлення.

Послідовність температурного способу розрахунку системи електроживлення:

1. Провідники, кабелі і шини вибирають таким чином, щоб температура їх нагрівання не перевищувала встановлених величин. В залежності від матеріалу провідника, класу ізоляції, робочої напруги визначають гранично допустимі температури. Цим температурам відповідають величини гранично допустимих довготривалих струмів, які встановлені в ПУЕ.

2. На основі ПУЕ (п. 1.3.8 – 1.3.31) визначають величину довготривалого допустимого струму, якщо відомі площа перерізу, тип ізоляції, робоча напруга і умови прокладання лінії. Обернена задача: визначають площу перерізу струмоведучої частини за допустимим довготривалим струмом навантаження і способом її прокладання.

3. Визначають площу поперечного перерізу провідника за умовами нагрівання, а величину розрахункового струму навантаження лінії порівнюють з найближчим більшим значенням допустимого струму, наведеного в ПУЕ.

Вибір електричних апаратів і провідників за умовами короткого замикання регламентується ПУЕ, розд 1.4. В ПУЕ встановлені вимоги щодо вибору і перевірки електричних апаратів і провідників за умов електродинамічної і термічної стійкості, а також комутаційної здатності в разі коротких замикань (КЗ) в електроустановках змінного струму. За умовами виникнення короткого замикання (КЗ) потрібно перевіряти: електричні апарати, струмопроводи, жили кабелів, фазні проводи, а також повітряні лінії електропередавання.

Обладнання автоматики і захисту призначені для автоматичної підтримки системи електроживлення у максимально працездатному стані при виникненні аварійних ситуацій і запобігання їх подальшого розвитку. При виникненні струмів перевантаження або короткого замикання провід лінії може бути пошкодженим. Тому для його захисту використовують плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі.

Плавкі запобіжники (FU) – це апарати, що захищають установки від перевантажень і струмів короткого замикання. Основними елементами запобіжника є плавка вставка, що включається послідовно з навантаженням, і дугогасильний пристрій, що гасить дугу, яка виникає після плавлення вставки. *Автоматичний вимикач (QF)* – це контактний комутаційний апарат, який служить для нечастих включень і відключень електричних кіл і захисту електроустановок від перевантаження і коротких замикань. *Теплові реле (КК)* – це електричні апарати, призначені для захисту електрообладнання від струмового перевантаження. *Контактори (К)* – це апарати дистанційної дії, призначені для частих включень і відключень силових електричних кіл при нормальних режимах роботи. *Магнітні пускачі (КМ)* призначені для дистанційної комутації кола живлення електродвигунів.

Відомо, що всі провідники мають активний опір, тому при проходженні по них електричного струму вони нагріваються. Якщо провідник ізолюваний, то нагрівається і ізоляція. При зростанні сили струму і часу його дії та незмінних умовах охолодження температура провідника підвищується. При цьому, підвищуються втрати енергії, більш інтенсивно старіє ізоляція погіршується її діелектричні властивості, що може викликати короткі замикання та призвести до виникнення пожежі, виходять з ладу контактні з'єднання тощо. Виходячи з цього провідники, кабелі і шини вибирають таким чином, щоб температура їх нагрівання не перевищувала допустимих величин. В залежності від матеріалу провідника, класу ізоляції і робочої напруги встановлені такі гранично допустимі температури: 70 °С для неізолюваних проводів і шин; 60 °С для проводів і кабелів з ізоляцією при напрузі до 10 кВ. Цим температурам відповідають величини гранично допустимих

тривалих струмів. Величини допустимого струмового навантаження для деяких проводів і кабелів також наведені у Правилах улаштування електроустановок (ПУЕ). По цих значеннях можна визначати величину довготривалого допустимого струму, якщо відомі площа перерізу, тип ізоляції, робоча напруга і умови прокладання лінії або навпаки можна визначити площу перерізу струмоведучої частини по необхідному допустимому довготривалому струму навантаження та способі прокладання.

Щоб визначити площу поперечного перерізу провідника за умовами нагрівання, величину розрахункового струму навантаження у лінії порівнюють з найближчим більшим значенням допустимого струму, наведеного в ПУЕ. По обраному струмі знаходять площу перерізу. При розрахунках мереж до 1000 В розрахунковий струм приймають рівним номінальному струму споживача.

Провідники і кабелі є елементами системи електроживлення, вони зв'язують джерела живлення з електроприймачами (установками та пристроями, електродвигунами, освітлювальними приладами, нагрівальними установками і т.ін.). Електроприймачі підключають до мережі через захисні апарати (запобіжники, автоматичні вимикачі, струмові реле та ін.). Таким чином, електричний струм проходить по колу: провідник - апарат захисту - електроприймач. Якщо струм у електричному колі спричинить недопустиме нагрівання провідника, то це може викликати появу аварійної ситуації. Наприклад, при струмах перевантаження або короткого замикання провід лінії електроживлення може бути пошкодженом до згоряння плавкої вставки запобіжника або спрацювання автоматичного вимикача. Тому площа перерізу струмоведучих частин, що вибрана за допустимим струмом, має бути перевірена по часо-струмовій характеристиці захисного апарата. У свою чергу апарат захисту повинен відповідати електричним параметрам електроприймача і проводу лінії.

У якості прикладу розглянемо процес вибору апаратів керування і захисту, а також розрахуємо поперечний переріз жил проводів і кабелів схеми електроживлення електроспоживачів, яка наведена на рис. 1. Живлення

здійснюється від розподільного щита. Далі від нього живиться *Силова зборка засувок* і *Щит живлення*, а від силової зборки живляться два асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Електродвигуни, силові зборки і пускова апаратура встановлені в приміщенні з нормальним середовищем. Технічні характеристики двигунів зазначені в табл. 1. Режим роботи двигунів виключає можливість тривалих перевантажень, умови їх пуску нескладні. Обидва двигуна можуть працювати одночасно, але їх пуск здійснюється окремо (одночасний пуск - не можливий). Технічні характеристики всіх електроспоживачів зазначені в табл. 2.

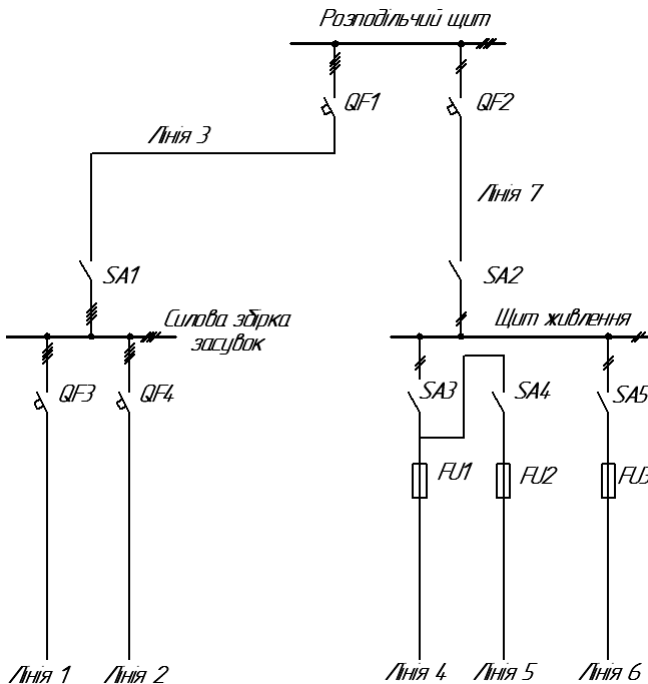


Рис. 1. Схема електроживлення електроспоживачів

Усі електроприймачі і апаратура живлення встановлені на щитах, що перебувають у приміщенні з нормальним

середовищем. Електропроводка від силового трансформатора до розподільчого щита виконана кабелем з алюмінієвими жилами, а вся інша - проводами з алюмінієвими жилами, прокладеними в захисних трубах.

Табл. 1

Технічні характеристики електродвигунів

| № лінії | Тип | Ном. потужність, P , Вт | Номін. напруга, U_n , В | Номін. струм, I_n , А | Кратність пускового струму | Пусковий струм, $I_{пуск}$, А |
|---------|----------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1 | A02-62-2 | 17000 | 380 | 32,5 | 7 | 228 |
| 2 | A02-51-4 | 7500 | 380 | 14,8 | 7 | 103,5 |

Табл. 2

Технічні характеристики електроприймачів

| № лінії | Назва і тип електроприймача | Номін. потужність, S , ВА (P , Вт) | Номін. напруга $U_{н.ф}$, В |
|-----------------------------------|--|---|------------------------------|
| 4 | Система регулювання температури: | | |
| | а) блок ручного управління БРУ-10 | 300 | 220 |
| | б) одно канальний вимірювач-регулятор МІК-21 | | |
| в) виконавчий механізм МЭО-25/100 | | | |
| 5 | Обчислювач об'єму газу | 20 | 220±5% |
| 6 | Схема сигналізації: | | |
| | а) 11 реле МКУ-48 | 110 | 220 |
| | б) 10 ламп Ц-220-10 | (100) | 220 |

Вибір апаратів керування, захисту і розрахунок поперечних перерізів проводів проводимо у такій послідовності:

1) визначаються тривалі і короткочасні розрахункові струми ліній;

- 2) по величині розрахункових струмів ліній проводиться вибір апаратів керування і захисту;
- 3) проводиться вибір поперечних перерізів провідників по величині розрахункових струмів ліній і за умовою відповідності обраних апаратів захисту, а також перевіряється відповідність обраних поперечних перерізів жил проводів і кабелів найменшим допустимим поперечним перетинам провідників по механічній міцності;
- 4) перевіряються надійність і селективність дії захисних апаратів при короткому замиканні у найбільш віддаленій точці мережі;
- 5) проводиться перевірка поперечних перерізів провідників по втраті напруги наприклад, при довгих мало навантажених лініях.

Приклад розрахунку. Визначаємо розрахункові струми ліній електропередач (див. рис. 1):

Лінія 1. Тривалим розрахунковим струмом лінії є номінальний струм двигуна $I_{довг.} = I_{н.дов} = 32,5$ А. Короткочасним струмом лінії буде пусковий струм двигуна $I_{кор.} = I_{пуск} = 228$ А.

Зауваження. Короткочасний, або пусковий струм асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором є в 5-7 разів вищим від номінального струму цих двигунів.

Лінія 2. Тривалим розрахунковим струмом лінії є номінальний струм двигуна $I_{довг.} = I_{н.дов} = 14,8$ А. Короткочасним струмом лінії буде пусковий струм двигуна $I_{кор.} = I_{пуск} = 103,5$ А.

Лінія 3. Тривалим розрахунковим струмом лінії буде сума номінальних струмів двигунів $I_{довг.} = \Sigma I_{н.дов} = 32,5 + 14,8 = 47,3$ А. Короткочасний струм лінії визначиться з умови, що двигун №2 працює, а двигун №1 пускається $I_{кор.} = I_{н.дов.2} + I_{пуск.1} = 14,8 + 228 = 242,8$ А.

Лінія 4. Розрахунковий струм лінії визначається за формулою: $I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,3}{220} = 1,37$ А.

Лінія 5. Розрахунковий струм лінії визначається за формулою: $I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,02}{220} = 0,09$ А.

Лінія 6. Розрахунковий струм лінії визначається за формулою $I = \Sigma I_p + 0,1 \Sigma I'_B$. У вказаній схемі (див. рис. 1) частина реле і

ламп схеми сигналізації можуть працювати одночасно, а частина, у цей же час може включатися. У розглянутому прикладі одночасно можуть працювати 5 реле і 5 ламп. Струм, що протікає через одне реле МКУ-48 визначається за формулою $I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,01}{220} = 0,046 \text{ А}$. Струм, що протікає через одну лампу Ц-220-10 дорівнює $I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,01}{220} = 0,046 \text{ А}$. Сума всіх струмів $\Sigma I_p = 0,046 \cdot 5 + 0,046 \cdot 5 = 0,46 \text{ А}$.

У розглянутому прикладі одночасно можуть включатися 2 реле і 2 лампи $\Sigma I'_в = 0,046 \cdot 2 + 0,046 \cdot 2 = 0,184 \text{ А}$. Тоді розрахунковий струм лінії буде $I = 0,46 + 0,1 \cdot 0,184 = 0,48 \text{ А}$.

Лінія 7. Розрахунковий струм лінії визначиться, як сума розрахункових струмів ліній 4, 5, 6 $I = 1,37 + 0,09 + 0,48 = 1,94 \text{ А}$.

Величини розрахункових струмів усіх ліній зведені в табл. 3.

Табл. 3

Величини розрахункових струмів

| Номер лінії | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------|---------------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| Розрахунковий струм, А | тривалий | 32,5 | 14,8 | 47,3 | 1,37 | 0,09 | 0,48 | 1,94 |
| | короткочасний | 228 | 103,5 | 242,8 | | | | |

Вибір апаратів керування і захисту. У відповідності до розрахункових струмів та умов роботи електроприймачів вибираємо такі апарати керування і захисту:

- а) у лініях 1 і 2 - автоматичні вимикачі і магнітні пускачі;
- б) у лінії 3 – автоматичний вимикач встановлений у розподільчому щиті і вимикач - на введенні в силову зборку засувок;
- в) у лініях 4, 5, 6 - вимикачі і запобіжники;
- г) у лінії 7 – автоматичний вимикач встановлений у розподільчому щиті і вимикач - на введенні в щит живлення.

Приклад послідовності вибору та розрахунку.

Вибір апаратів керування:

Лінія 3. Виходячи з параметрів мережі та необхідних параметрів пристроїв вибираємо пакетний вимикач типу ПВМЗ-100 за такими параметрами:

а) номінальна напруга живлення $U_n \geq U_{н.мережі} = 380 \text{ В}$, де U_n - номінальна напруга вимикача (перемикача), $U_{н.мережі}$ - номінальна напруга мережі;

б) номінальний струм I_n за тривалим розрахунковим струмом кола $I_{відк.} \geq I_{довг.}$, де $I_{відк.}$ - найбільший струм, що відключається вимикачем/перемикачем, $I_{довг.}$ - тривалий розрахунковий струм кола $I_n \geq I_{довг.} \text{ 63 А} > 47,3 \text{ А}$.

Лінії 4, 5, 6, 7. Беручи до уваги послідовність вибору, яка описана для лінії 3 вибираємо пакетні вимикачі типу ПВМ2-10 (враховуючи найбільший тривалий струм у лінії 7, що дорівнює 1,94 А) за такими параметрами: $U_n \geq U_{н.мережі} = \sim 220 \text{ В}$, $I_n \geq I_{довг.} \text{ 10 А} > 1,94 \text{ А}$.

Основні технічні характеристики вибраних апаратів керування, встановлених у розглянутій схемі зведені в табл. 4

Табл. 4

Основні технічні характеристики апаратів керування

| | | | | | | | |
|------------------------------|------------|------------|----|----|----|----|----|
| Номер лінії | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Позначення апарата | В1 | В3 | В4 | В6 | В7 | В8 | В2 |
| Тип апарата | ПВМ3-100 | ПВМ2-10 | | | | | |
| Номінальна напруга U_n , В | ~ 380 | ~ 220 | | | | | |
| Номінальний струм I_n , А | 63 | 10 | | | | | |

Вибір апаратів захисту системи електроживлення здійснюється за такими етапами:

а) вибираємо автоматичні вимикачі;

б) розраховуємо номінальний струм автоматичних вимикачів.

Приклад розрахунку.

Лінія 1. Вибираємо автоматичний вимикач типу АП50-3МТ за такими параметрами: $U_{н.а} \geq U_{н.м}$; $I_{н.а} \geq I_{довг.}$,

де $U_{н.а}$ - номінальна напруга автоматичного вимикача;

$U_{н.м}$ - номінальна напруга мережі;

$I_{н.а}$ - номінальний струм автоматичного вимикача;

$I_{довг.}$ - тривалий розрахунковий струм лінії.

$U_{н.а} \geq U_{н.л} \sim 500 \text{ В} > \sim 380 \text{ В}$; $I_{н.а} \geq I_{довг.}$ $50 \text{ А} > 32,5 \text{ А}$

Визначаємо номінальний струм комбінованого розчеплювача за формулою $I_{н.розч.} \geq I_{н.дов.}$ $I_{н.розч.} \geq 32,5 \text{ А}$. Виходячи з визначених параметрів вибираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{н.розч} = 40 \text{ А}$.

Визначаємо струм уставки (відсічення) електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача за формулою: $I_{уст.ел.магн} \geq 1,25 I_{пуск}$, де $I_{пуск}$ - пусковий струм двигуна. $I_{уст.ел.магн} \geq 1,25 \cdot 228 = 285 \text{ А}$. $\frac{I_{уст.ел.магн}}{I_{н.розч}} = \frac{285}{40} = 7,1$. Приймаємо $I_{уст.ел.магн} = 8 I_{н.розч}$.

Визначаємо номінальний струм уставки теплового елемента комбінованого розчеплювача за формулою $I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дов.}$: $I_{н.уст.тепл} \geq 32,5 \text{ А}$. Вибираємо автоматичний вимикач на $I_{н.уст.тепл} = 33 \text{ А}$.

Лінія 2. Вибираємо автоматичний вимикач типу АП50-3МТ за такими параметрами: $U_{н.а} \geq U_{н.с}$, $\sim 500 \text{ В} > \sim 380 \text{ В}$, $I_{н.а} \geq I_{довг.}$ $50 \text{ А} > 14,8 \text{ А}$. Визначаємо номінальний струм комбінованого розчеплювача $I_{н.розч} \geq I_{н.дов.}$, $I_{н.розч} \geq 14,8 \text{ А}$. Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{н.розч} = 16 \text{ А}$. Визначаємо струм уставки (відсічення) електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача $I_{уст.ел.магн} \geq 1,25 \cdot 103,5 = 130 \text{ А}$, $\frac{I_{уст.ел.магн}}{I_{н.розч}} = \frac{130}{16} = 8,1$. Приймаємо $I_{уст.ел.магн} = 8 I_{н.розч}$.

Визначаємо номінальний струм уставки теплового елемента комбінованого розчеплювача $I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дов.}$, $I_{н.уст.тепл} \geq 14,8 \text{ А}$. Вибираємо автоматичний вимикач на $I_{н.уст.тепл} = 15 \text{ А}$.

Лінія 3. Вибираємо автоматичний вимикач типу АП50-3МТ за такими параметрами: $U_{н.а} \geq U_{н.с}$, $\sim 500 \text{ В} > \sim 380 \text{ В}$, $I_{н.а} \geq I_{довг.}$, $50 \text{ А} > 47,3 \text{ А}$.

Визначаємо номінальний струм комбінованого розчеплювача $I_{н.розч} \geq I_{н.дов.}$, $I_{н.розч} \geq 47,3 \text{ А}$. Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{н.розч} = 50 \text{ А}$. Визначаємо струм уставки (відсічення) електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача за формулою $I_{уст.ел.магн} \geq 1,25(\sum I_{н.дв} + I'_{пуск})$:

де $\Sigma I_{н.дв}$ - сума номінальних струмів одночасно працюючих двигунів до моменту пуску двигуна (групи двигунів);

$I'_{пуск}$ - пусковий струм двигуна (або групи двигунів, що пускаються одночасно) найбільший приріст пускового струму.

$$\frac{I_{уст.ел.магн}}{I_{н.розч}} = \frac{304}{50} = 6. \text{ Приймаємо } I_{уст.ел.магн} = 8 I_{н.розч}.$$

Визначаємо номінальний струм уставки теплового елемента комбінованого розчеплювача $I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дов.}, I_{н.уст.тепл} \geq 47,3 \text{ А}$.
Вибираємо автоматичний вимикач на $I_{н.вуст.тепл} = 48 \text{ А}$.

Лінія 4. Вибираємо запобіжники типу ПТ з такими параметрами: $U_{н. зап.} \geq U_{н.мережі}$, де $U_{н. зап.}$ - номінальна напруга запобіжника; $U_{н.мережі}$ - номінальна напруга мережі.

За тривалим розрахунковим струмом лінії визначаємо номінальний струм запобіжника $I_{н.уст} \geq I_{довг.} > 1,37 \text{ А}$, де $I_{н.пл.вст}$ - номінальний струм плавкої вставки; $I_{довг.}$ - тривалий розрахунковий струм лінії. За номінальною розрахунковою напругою мережі визначаємо номінальну напругу запобіжника $U_{н. зап} \geq U_{н.мережі} \sim 250 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$. Приймаємо $I_{н.пл.вст} = 2 \text{ А}$.

Лінія 5. Вибираємо запобіжники типу ПТ з такими параметрами: $U_{н. зап} \geq U_{н.мережі}$, $\sim 250 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$; $I_{н.пл.вст} \geq I_{довг.}$, $I_{н.вст} > 0,09 \text{ А}$. Приймаємо $I_{н.пл.вст} = 0,3 \text{ А}$.

Лінія 6. Вибираємо запобіжники типу ПТ з такими параметрами: $U_{н. зап} \geq U_{н.мережі}$, $\sim 250 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$; $I_{н.пл.вст} \geq I_{довг.}$, $I_{н.вст} > 0,48 \text{ А}$. Приймаємо $I_{н.пл.вст} = 0,5 \text{ А}$.

Лінія 7. Вибираємо автоматичний вимикач типу PL6-B2/2 з такими параметрами: $U_{н.а} \geq U_{н.мережі}$, $\sim 230/400 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$; $I_{н.а} \geq I_{довг.}$, $2 \text{ А} > 1,94 \text{ А}$.

Після виконаних розрахунків виконуємо уточнення параметрів та остаточний вибір і приймаємо визначені технічні параметри пристрої. Основні розрахункові технічні характеристики визначених апаратів захисту зведені в табл. 5.

Табл. 5

Технічні характеристики апаратів захисту

| Номер лінії | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|
| Позначення апарата | QF3 | QF4 | QF1 | FU1 | FU2 | FU3 | FU4 | FU5 | QF2 |
| Тип апарата | АП50-3МТ | | | ПТ | | | | | АП50-2М |
| Струм розчеплювача авт. вим., $I_{н.розч.}, A$ | 40 | 16 | 50 | - | - | - | - | - | 4 |
| Струм уставки електромагн. розчеплювача $I_{уст.ел.магн.}$ | $8I_{н.розч}$ | | | - | - | - | - | - | $3,5I_{н.розч}$ |
| Струм уставки теплового розчеплювача $I_{н.уст.тепл.}, A$ | 33 | 15 | 48 | - | - | - | - | - | - |
| Струм плавкої вставки $I_{н.пл.вст.}, A$ | - | - | - | 2 | 0,5 | 0,5 | 1 | 0,5 | - |

Програма роботи.

1. Розглянути принцип розрахунку схеми електроживлення, вибору апаратів захисту та управління.
2. Виконати розрахунок системи електроживлення та вибір апаратів захисту мережі.

Порядок виконання роботи

1. Розглянути принцип розрахунку схеми електроживлення, вибору апаратів захисту та управління на основі матеріалу з теоретичних відомостей.
2. За варіантом принципової електричної схеми керування з попередніх лабораторних робіт та на основі прикладу, який описаний у теоретичних відомостях, розробити схему електроживлення електрообладнання технологічного процесу та системи автоматизації (наприклад, електродвигуни насосів, транспортерів, засувок, електричні перетворювачі, контролери, системи сигналізації та ін.). Креслення схеми електроживлення

виконати з дотриманням стандартів та умовних графічних позначень схем електроживлення на окремому аркуші формату А4-А3 з використанням програми AutoCAD Electrical, або AutoCAD чи будь якої іншої програми для виконання креслень. На цій схемі необхідно відобразити: 1) розподільчий щит (у якості елемента щита можна вказати лише клемний з'єднувач), 2) силову зборку, або щит підключення схеми керування електродвигуном (у якості елемента силової зборки чи щита можна вказати лише клемний з'єднувач), 3) лінії електроживлення (виконуються однолінійним чи багатолінійним способом), 4) апарати захисту та керування (визначені за вихідною схемою (схемами) з лабораторної роботи 5 та вибрані за технічними параметрами).

3. На основі прикладу, який розглянутий у теоретичних відомостях виконати вибір та розрахунок апаратів керування та захисту. Послідовність розрахунку та його результати представити (у вигляді таблиці) вставити в звіт з практичної роботи.

4. Результати виконання оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4.

Зауваження. Для оформлення креслення схеми електроживлення на окремому аркуші (А3-А1) можна використати функцію експорт креслення в PDF-формат. При цьому потрібно перейти за посиланням: *Файл > Експорт > PDF.*

Вимоги до оформлення звіту:

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;
- схему електроживлення;
- розрахунки та їх результати;
- висновок.

Контрольні запитання.

1. Як здійснюється вибір плавкого запобіжника?
2. Як визначити уставки автоматичного вимикача з комбінованим розчіплювачем.

3. Для чого використовуються автоматичні вимикачі з комбінованим розчіплювачем.
4. Для чого використовується теплове реле.
5. Як здійснюється вибір теплового реле?
6. Яке призначення автоматичних вимикачів в електричних колах?
7. Як здійснюється вибір провідників для електроспоживачів?