

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Кафедра автоматизації, електротехнічних та  
комп'ютерно-інтегрованих технологій

**04-03-433М**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт  
з навчальної дисципліни

«Проектування систем автоматизації»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за  
освітньо-професійною програмою «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані  
технології та робототехніка» денної і заочної форм навчання

Рекомендовано науково –  
методичною радою з якості  
ННІЕАВГ  
Протокол № 6 від 28.01.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Проектування систем автоматизації» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної і заочної форм навчання [Електронне видання] / Наумчук О. М. – Рівне : НУВГП, 2025. – 239 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 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: Христюк А. О., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

© О. М. Наумчук, 2025  
© НУВГП, 2025

## Зміст

Вступ.....	5
Лабораторна робота 1. Складання технічного завдання на розробку проекту системи автоматизації.....	6
Лабораторна робота 2. Розробка технологічних схем .....	18
Лабораторна робота 3. Розробка структури управління технологічним процесом.....	29
Лабораторна робота 4. Розробка схеми автоматизації технологічного процесу.....	36
Лабораторна робота 5. Вибір технічних засобів автоматизації.....	56
Лабораторна робота 6. Розробка схеми комплексу технічних засобів.....	70
Лабораторна робота 7. Вибір контролерного устаткування та мікропроцесорних засобів.....	79
Лабораторна робота 8. Проектування структури передачі даних з використанням промислових комп'ютерних мереж....	90
Лабораторна робота 9. Розробка алгоритмів керування та створення програм для програмованих-логічних контролерів	97
Лабораторна робота 10. Вибір виконавчих механізмів та розрахунок регулюючих органів.....	113
Лабораторна робота 11. Вибір SCADA-системи.....	124
Лабораторна робота 12. Проектування принципів електричних схем.....	132
Лабораторна робота 13. Проектування принципів електричних монтажних схеми з'єднань.....	145
Лабораторна робота 14. Проектування принципової електричної схеми підключень.....	154
Лабораторна робота 15. Програмування інтегральних схем з використанням мови VHDL.....	164
Лабораторна робота 16. Проектування схеми електроживлення підприємства.....	171
Лабораторна робота 17. Розрахунок параметрів схеми електроживлення та вибір апаратів управління і захисту.....	182
Лабораторна робота 18. Розробка та розрахунок системи захисту при виникненні короткого замикання в схемах електроживлення.....	195

Лабораторна робота 19. Проектування конструкції щитів і пультів.....	206
Лабораторна робота 20. Компонування обладнання в щитах і пультах.....	218
Лабораторна робота 21. Проектування принципів пневматичних схем.....	229
Лабораторна робота 22. Вибір технічних засобів пневматичних систем.....	235
Використана література.....	239

## Вступ

При проектуванні систем автоматизації з застосуванням робототехнічних комплексів ключову роль має дотримання державних та міжнародних стандартів, а також використання сучасних систем автоматизації проектних робіт. Їх застосування підвищує швидкість та якість виконання проектних робіт, а також зменшує навантаження на проектувальників при виконанні складних та рутинних операцій.

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

У лабораторних роботах розглянуто приклади розробки різних видів проектних робіт, від технічного завдання до проектування та вибору мікропроцесорних засобів, SCADA-систем та інших практичних задач, які зустрічаються в реальних проектах. При виконанні лабораторних робіт студенти використовують ліцензійне програмне забезпечення від корпорації Autodesk, зокрема: AutoCAD, AutoCAD Electrical, Inventor та Fusion, які надані у відповідності до програми співпраці з навчальними закладами.

# Лабораторна 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 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 та окрему складову проєктованого 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 систему автоматизації 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 зі створення 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 посилаання 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) пусканалагоджувальні 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 систем 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 описано в: «Системи проектної документації для будівництва» (СПДБ) та «Єдина система конструкторської документації» (ЄСКД).

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 розробляють 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 принципів (електричні, пневматичні);
- схеми (таблиці) з'єднань та підключення зовнішніх провідок;
- креслення розташування обладнання та зовнішніх провідок;
- 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. Вибрати технологічний процес (ТП), або установку, який/яка буде автоматизуватися та для якої розроблятиметься технічне завдання згідно варіанту наданого викладачем (може бути ТП за темою курсової, або бакалаврської роботи).
2. Розробити фрагмент технічного завдання на проектування



системи автоматизації технологічного процесу. При розробці технічного завдання оформити всі необхідні пункти, які описані в теоретичних відомостях.

3. Визначити структуру та перелік вихідних даних і матеріалів, що будуть розроблятися.

4. Визначити склад проектної документації на розроблювану систему автоматизації у вигляді переліку запланованих для розробки документів.

5. Результати роботи оформити у вигляді звіту.

### ***Вимоги до оформлення звіту:***

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;
- ТЗ на систему автоматизації з детальним описом всіх розділів (9 пунктів);
- 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?

## **Лабораторна робота 2**

### **Розробка технологічних схем**

#### **Мета роботи**

Навчитися розробляти технологічні схеми та звіти виробничих процесів та установок за допомогою програми AutoCAD Electrical

#### **Теоретичні відомості**

Розробка ефективної системи автоматизації можливо тільки з урахуванням всіх особливостей технології виробничого процесу, його регламенту, конструктивних особливостей устаткування та режимів його роботи. З огляду на це, перш ніж розпочати розробку системи автоматизації необхідно детально вивчити всі особливості фізичних чи хімічних процесів, які покладені в основу технологічного процесу, проаналізувати окремі елементи і тільки після цього приступити до розробки, або удосконалення технологічної схеми. При цьому, важливе значення має тип і структура виробництва, послідовність взаємодії обладнання, циклічність його роботи та інші показники.

Аналіз технологічного процесу дасть змогу оцінити реальний стан технологічного процесу (об'єкту). При цьому, беруться до уваги останні досягнення, існуючі підходи та системи автоматизації, які вже впроваджені. Такий підхід дасть змогу, у майбутньому, розробити оптимальний рівень автоматизації з урахуванням техніко-економічної доцільності її запровадження.

Вибір управляючих (регулюючих) каналів починається з вибору вхідних і вихідних величин цих каналів. Після цього аналізуючи їх статичні і динамічні характеристики та визначають ті, які найкраще реалізують мету управління у відповідності до технологічних регламентів. При проектуванні нових технологічних об'єктів доцільно одночасно створювати технологічний процес та на його основі розробляти систему автоматизації. Такий підхід, дасть змогу, у подальшому, виконати вибір місця розташування технічних засобів автоматизації. Більшість об'єктів, що автоматизуються, є об'єктами з розподіленими параметрами. Тому від правильного вибору місць для отримання інформації про стан процесу чи

апарату, чи об'єкту залежить показність сигналів, а також це впливатиме на динамічні та статичні характеристики об'єкта, і відповідно його структуру, параметри настроювання та показники функціонування системи.

Розробка схем, що застосовуються у проектах автоматизації технологічних процесів регламентується нормативними положеннями:

1. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів ДСТУ БА.2.4-3-95 (ГОСТ 21.408-93).

2. Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної та робочої документації ДСТУ Б А.2.4-4:2009 (ГОСТ 21.101).

3. Склад та зміст проектної документації на будівництво ДБН А.2.2-3:2014

4. Єдина система конструкторської документації (ЄСКД) та ін.

Види і типи схем і правила виконання схемної документації встановлюються групою стандартів ЄСКД «Правила виконання схем». Вони визначають комплектність, вимоги і правила розробки й оформлення схемної документації на вироби всіх галузей промисловості як ручним, так і автоматизованим способом.

Технологічна схема є конструкторським документом, на якій у вигляді умовних зображень або позначень показано складові частини виробу (установки) і зв'язки між ними. Загальні правила виконання схем визначаються ГОСТ 2.701 і ГОСТ 2.702. В Україні також застосовують схеми зарубіжних стандартів зокрема, американські ANSI або IEEE, які дещо відрізняються від позначень за ГОСТ, ДСТУ та ЄСКД. Технологічні схеми виконують без дотримання масштабу. При потребі, можливо відхилитися від установлених правил виконання схем, але такі відхилення повинні бути однакові для всіх типів схем комплекту і пояснені на полі схеми чи в нормативних документах

При розробці, або удосконаленні технологічного процесу виконують:

1. Технологічну схему та її опис. Схема технологічного процесу має відповідати прийнятим стандартам, а її опис має пояснювати деталі та елементи технологічного процесу.

2. Технологічні карти на основі технічних паспортів на

обладнання та документації на основні технічні засоби. Сюди варто включити все, що використовуються у цьому технологічному процесі: технологічні регламенти, технічні паспорти, фотографії, метрологічні параметри, посадові інструкції та ін.

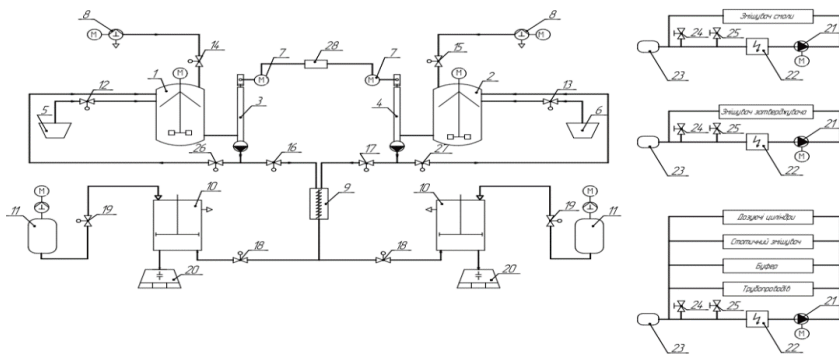
Технологічне та інженерне обладнання і комунікації, трубопроводи, газоходи, повітропроводи та ін., показують застосовуючи умовне позначення згідно ISO 10628 та ДСТУ ISO 14617-1:2018 «Графічні умовні позначки для схем. Частина 1. Загальні відомості та індекси». Приклад виконання технологічної схеми у відповідності до ISO 10628:1997 показано на рис. 2.1.

Технологічна схема повинна бути виконана з застосування графічних позначень і має містити наступну інформацію:

1. Тип обладнання, яке потрібно для реалізації технологічного процесу, за виключенням приводів.
2. Стандартні позначення обладнання.
3. Маршрут і напрямок вхідних та вихідних матеріалів та потоків енергії.
4. Назву та швидкість потоків вхідних та вихідних матеріалів.
5. Назву технологічних маршрутів енергії, або технологічних маршрутів енергоносіїв.
6. Характеристики робочих умов процесу.

На технологічних трубопроводах, які зображені на технологічних схемах показують регулюючу і запірну арматуру, що безпосередньо бере участь у процесі керування технологічним процесом та використовують для установки технічних засобів автоматизації, наприклад первинні вимірювальні пристрої, а також вказують діаметри умовних поперечних перерізів.

Технологічні апарати і трубопроводи допоміжного призначення показують тільки в тих випадках, коли вони механічно з'єднуються чи взаємодіють із засобами автоматизації.



а)

### Експлікація

Позн.	Найменування	К-сть
1	Змішувач смоли	1
2	Змішувач затверджувача	1
3	Дозуючий циліндр смоли	1
4	Дозуючий циліндр затверджувача	1
5	Резервуар для заливки смоли	1
6	Резервуар для заливки затверджувача	1
7	Гідравлічний насос	2
8	Вакуумний насос	2
9	Статичний змішувач	1
10	Буфер для подачі компаунда	2
11	Ресивер	2
12	Клапан подачі смоли	1
13	Клапан подачі затверджувача	1
14	Вакуумний клапан відкачки вакуумного змішувача смоли	1
15	Вакуумний клапан відкачки вакуумного змішувача затверджувача	1
16	Клапан подачі смоли в статичний змішувач	1
17	Клапан подачі затверджувача в статичний змішувач	1
18	Клапан подачі компаунда в буфер	2
19	Клапан створення тиску в буфері	2
20	Прес-форма	2
21	Циркуляційний насос перекачки води	3
22	Проточний електронагрівач	3
23	Розширювальна ємність	3
24	Клапан закачування води в систему	3
25	Клапан зливу води з системи	3
26	Клапан включення режиму циркуляції смоли	1
27	Клапан включення режиму циркуляції затверджувача	1
28	Синхронізатор	1

б)

Рис. 2.1. Технологічна схема (а) та експлікація (б) виконана у відповідності до ISO 10628

Технологічне устаткування, його елементи, трубопроводи повинні зображуватися на схемах з відповідними пояснюючими написами, із указівкою їхніх номерів і напрямку руху матеріальних потоків. Окремі агрегати й установки технологічного устаткування можна зобразити відірвано один від одного з відповідними вказівками на їхній взаємозв'язок.

Одним з широкоживаних програмних продуктів, що використовується для проектування технологічних систем є *AutoCAD Electrical*. Він має повний набір функцій для розробки технологічних схем. Крім того, у *AutoCAD Electrical* до стандартних функцій *AutoCAD* додані спеціалізовані можливості, що прискорює створення креслень різноманітних систем.

Проект створений в *AutoCAD Electrical* має деревоподібну структуру, що відображається в диспетчері проектів. Інформація про кожен аркуш проекту може включати до десяти параметрів. Крім цього в диспетчері проектів можна попередньо переглянути аркуш проекту або інформацію про кожен файл проекту. Всі дії з проектом, зокрема відкриття, закриття, створення нового проекту, друк і багато іншого виконуються з диспетчера проектів.

Використання *AutoCAD Electrical* у проектуванні технологічних схем та установок дає змогу значно скоротити час і зусилля на проектування завдяки застосуванню:

- 1) Автоматизація рутинних процесів: автоматичне маркування ліній зв'язку, позиційних позначень, контактів, тощо.
- 2) Бібліотеки умовних графічних позначень (УГП).
- 3) Бази даних у форматі MS Access з можливістю їх поповнення.
- 4) Багаторазове використання ділянок схем в різних проектах, як за допомогою інструментів копіювання, так і за допомогою збереження цих ділянок в меню УГП, що доступне для будь-якого проекту.
- 5) Швидке внесення змін за допомогою технології наскрізного проектування, тобто при внесенні змін в будь-яку

частину проекту вони автоматично відображаються у всіх його складових.

6) Автоматичний і автоматизований контроль помилок.

7) Автоматизоване генерування текстових вихідних документів, що входять у склад конструкторської документації.

Інтерфейс AutoCAD Electrical має всі можливості та подібний до звичайного AutoCAD. Але на відміну від нього має комплекс інструментів спеціального призначення. Їх застосування забезпечує автоматизацію проектування.

Основним елементом будь якої програми для проектування електричних систем є наявність бібліотеки умовних графічних позначень (УГП). У програмі AutoCAD Electrical наявні всі необхідні бібліотеки УГП, які застосовуються для проектування різних систем згідно з Держстандарту України. Доступ до необхідного позначення здійснюється за допомогою «Графическое меню», яке знаходиться на панелі «Вставить компонент» (Схема > Графическое меню > Вставить компонент > Вставить компоненты КИП) (рис. 2.2).

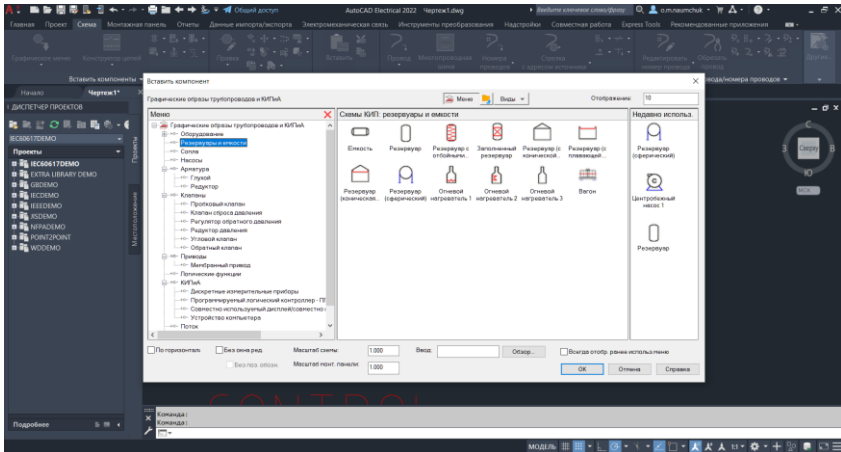


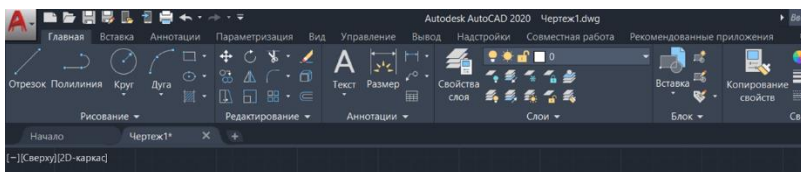
Рис. 2.2. Зовнішній вигляд меню «Вставить компонент» для додавання компонентів технологічних схем

При використанні графічного меню для вставлення елементів технологічної схеми потрібно використовувати наявні умовно графічні позначення технологічних апаратів та пристроїв, а

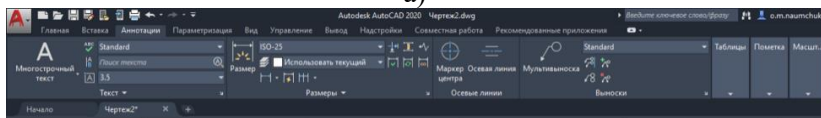
також регулюючу та запірну арматуру. У випадку відсутності необхідних елементів у графічному меню їх можна знайти в мережевих бібліотеках, або виконати самостійно використовуючи графічні примітиви з вкладки «Главная».

Для полегшення розуміння схем на них можуть приводитися пояснюючі написи. До них відносяться: короткі пояснення принципу дії й послідовності включень елементів схеми в сукупності з наведеними відомостями про режим роботи, часові та інші характеристики схем керування, захисту й сигналізації. Ці короткі пояснення приводяться в послідовності роботи елементів схеми з посиланням на УГП.

Для того, щоб вставляти написи, виноски, або короткі пояснення на технологічних схемах використовують шрифти, які в програмі *AutoCAD* можна настроювати і редагувати в основному меню, або на панелі «Аннотации». Для вибору необхідного шрифту потрібно скористатися одним зі способів, який зображений на рис. 2.3.



а)



б)

Рис. 2.3. Видяг меню *Аннотации* на головному екрані (а) та розгорнутий видяг панелі *Аннотации* (б)

Об'єкти анотацій містять розміри, примітки та інші пояснювальні позначення або об'єкти інших типів, які зазвичай використовуються для додавання різноманітної інформації до креслення. Як правило, об'єкти анотацій масштабуються інакше, ніж види креслення, і масштаб залежить від того, який видяг вони матимуть під час друку. Для того щоб керувати стилями



тексту (вибір шрифту), який буде нанесено на кресленнях потрібно скористатися опцією: *Аннотации* > *Standart* > *Управление стилями текста...* (рис. 2.4).

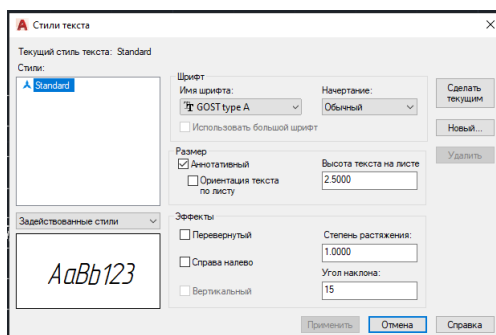


Рис. 2.4. Вигляд меню для налаштування стилю тексту, який буде відображатися на кресленні

Написи на кресленнях виконують креслярським шрифтом відповідно до ГОСТ 2.304-81. Розмір шрифту визначає висота  $h$  великих літер в міліметрах.

Для створення експлікацій та специфікації технологічного обладнання у AutoCAD Electrical можна використовувати інструмент генерування звітів. Для цього необхідно перейти на вкладку «Отчеты» та натиснути кнопку «Отчеты» (рис. 2.5). В отриманому списку вибрати «Спецификация» або «Табличка». В отриманому вікні перевірити чи для кожного компоненту вказано виробника та номер за каталогом (марку, модель пристрою).

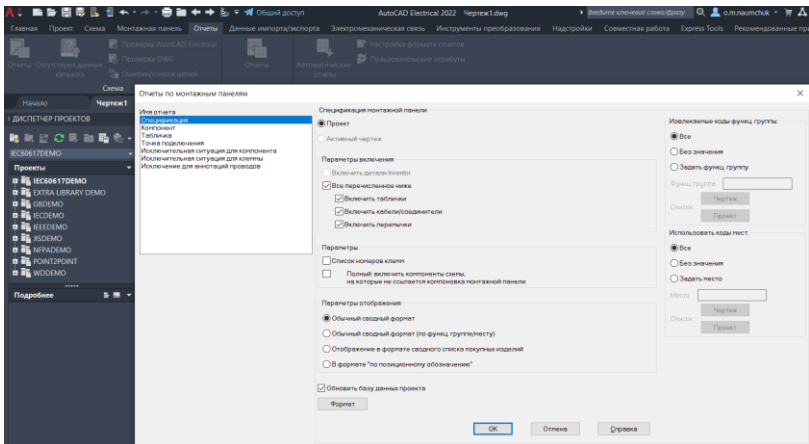


Рис. 2.5. Зовнішній вигляд панелі «Отчеты»

Якщо виробник та номер за каталогом у певного компонента технологічної схеми відсутні, або вони створювалися самостійно, то необхідно скасувати створення специфікації та відредагувати атрибути елемента, додавши відсутні дані у відповідні поля. Після цього, специфікацію необхідно розмістити на кресленні натиснувши кнопку «Вставить в чертёж», що на панелі «Формирование отчетов».

## Програма роботи

1. Розглянути особливість розробки технологічних схем та можливості використання програми AutoCAD Electrical для їх створення.

2. Використовуючи базу умовних графічних позначень навчитися розробляти технологічну схему у відповідності до стандарту ISO 10628.

## Порядок виконання роботи

1. Розглянути правила розробки технологічних схем та особливість використання програми AutoCAD Electrical, що описаний у теоретичних відомостях.

2. Створити новий проект у програмі AutoCAD Electrical. Для цього запустіть програму та виберіть *Создать > Выбор шаблона acadiso.dwt* або інший шаблон, придатний для виконання схем.

3. Розробити технологічну схему у програмі AutoCAD

Electrical згідно ДСТУ ISO 10628 (варіанти схем студенти вибирають при оформленні технічного завдання у лабораторній роботі 1). При цьому, необхідно використовувати «Графическое меню», яке знаходиться на панелі «Вставить компонент» кнопка «Вставить компоненты КИП» на вкладці «Схема» (див. рис. 2). При відсутності зображення конкретного технологічного апарату у графічному меню програми AutoCAD Electrical потрібно виконати його самостійно за допомогою графічних примітивів, які знаходяться на вкладці меню «Главная».

4. Додати текстовий опис технологічної схеми у звіті та «Перелік елементів схеми», або «Експлікацію» (рис. 1, б) у програмі AutoCAD Electrical.

5. Виконане завдання оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4. Звіт має бути підготовлений так, як на друк. Додатково зберегти у окремий файл результат виконання технологічної схеми на листі відповідного формату з заповненим кутовим штампом зберегти та надати на перевірку разом зі звітом у форматі *.dwg*.

*Зуваження.* Для оформлення (друкування) креслення на окремому аркуші (А4-А0) можна використати функцію експорт креслення в PDF-формат. При цьому потрібно перейти за посиланням: *Файл > Экспорт > PDF*.

### ***Вимоги до оформлення звіту***

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;
- скріншоти виконання основних етапів побудови, які описані у порядку виконання роботи;
- креслення розробленої технологічної схеми на окремому аркуші стандартного розміру (А3-А1) з заповненим основним написом;
- експлікацію (специфікацію) обладнання;
- висновок.

### **Контрольні запитання**

1. У чому суть розробки технологічного процесу та його

частин?

2. Які можливості містить програма AutoCAD Electrical для розробки технологічних процесів?

3. Які переваги використання програми AutoCAD Electrical при проектуванні технологічних схем?

4. Яка особливість інтерфейсу програми AutoCAD Electrical при розробці технологічних схем?

5. Як використовуються бібліотеки УГП у програмі AutoCAD Electrical?

6. Яка особливість створення специфікацій у AutoCAD Electrical?

## **Лабораторна робота 3**

### **Розробка структури управління технологічним процесом**

#### **Мета роботи**

Ознайомитися з принципами та правилами побудови структурних схем. Навчитися розробляти структурні схеми (блок-схеми) технологічних процесів.

#### **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 стадіях, що передують розробці 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 структури АСУ ТП з дотриманням ієрархії системи і взаємозв'язків між пунктами контролю і керування, оперативним персоналом і технологічним об'єктом.

Структурна схема призначена для відображення системи контролю та керування виробничими процесами об'єкта і встановлює зв'язки між щитами, пунктами керування, оперативними робочими постами основних груп технологічного обладнання і показує адміністративно-технічну суть управління об'єктом. Структурні схеми виконуються без дотримання масштабу.

На структурних схемах умовними графічними позначками, або довільним чином показують:

- оперативні і диспетчерські щити, пункти керування, які входять в структуру проектного об'єкта;
- диспетчерські і оперативні щити і пункти керування, які не входять до складу розроблюваного проекту автоматизації, але пов'язані з ним системами контролю і керування;
- цехи з розподілом на відділення, дільниці, агрегати або групи обладнання;

- лінії технологічних потоків;

- лінії оперативного зв'язку із зазначенням напрямку проходження інформації.

Оперативні і диспетчерські щити та пункти керування, які входять в структуру автоматизації об'єкта, зображують на схемі у вигляді прямокутників, усередині яких розміщують такі надписи: найменування щита або пункту, вид оперативного зв'язку, найменування основного чергового персоналу (наприклад, оператор, апаратник і т.д.), перелік основних задач.

Диспетчерські і оперативні щити та пункти управління, які не входять до структури даного проекту, зображуються на схемі кружками, в які вписують їх найменування і найменування чергового персоналу.

Для наочності креслення контурні лінії умовних зображень цехів, щитів, пультів і пунктів контролю та керування, лінії функціональних зв'язків між ними виконуються товстими лініями (0,5 мм), ніж лінії умовного поділу всередині умовних зображень (0,2 мм). При наявності ліній технологічних потоків останні виконуються лініями товщиною не менше 1 мм.

Види оперативного зв'язку позначаються літерами, наприклад: ДАК – дистанційне автоматизоване керування; К – контроль; С – сигналізація; ТК – телекерування і т.д., які наносяться над лініями зв'язку.

Перш ніж виконувати удосконалення та автоматизацію технологічного процесу потрібно здійснити його всебічний аналіз, який дасть змогу оцінити його реальний стан. При цьому, беруться до уваги останні досягнення, існуючі підходи та системи автоматизації, які вже впроваджені. Це допоможе розробити оптимальний рівень автоматизації з урахуванням техніко-економічної доцільності її запровадження.

У процесі аналізу здійснюють визначення (вибір) управляючих (регулюючих) каналів, який починається з вибору вхідних і вихідних величин цих каналів. Після цього, визначають статичні і динамічні характеристики управляючих (регулюючих) каналів та зосереджуються на тих, які найкраще реалізують мету управління у відповідності до технологічних регламентів (вимог). При сучасних підходах до автоматизації нових об'єктів

одночасно створюється технологічний процес (схема) її опис та система автоматизації.

Деколи перед виконанням технологічної схеми розробляють структурну блок-схему (рис. 3.1) на якій показують:

- технологічні процеси;
- стадії процесів;
- основні операції;
- технологічні установки, або групи технологічних установок;
- окреме обладнання.

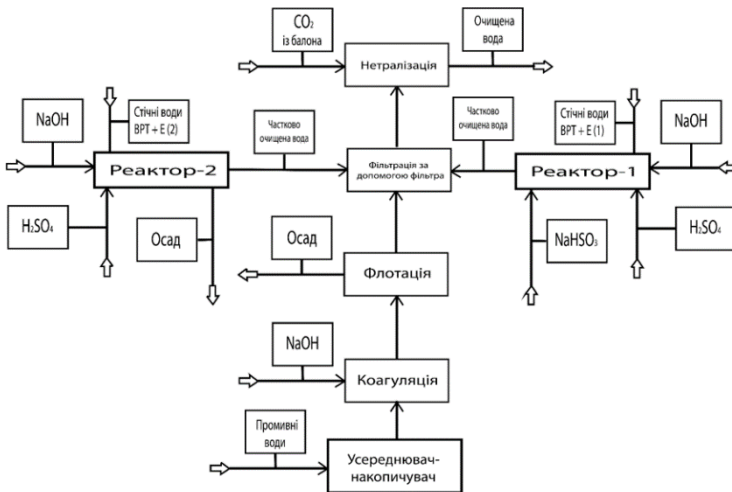


Рис. 3.1. Приклад виконання структурної блок-схеми технологічного процесу з основною та додатковою інформацією (за ISO 10628 )

У проектах з автоматизації складних технологічних процесів на початкових стадіях проектування розробляють *структурну схему контуру/ів технологічного процесу*. Розробка такої схеми допомагає узагальнити структуру технологічного процесу та розробити структуру проекрованої системи автоматизації. Також, такий підхід допомагає виконати розподіл на елементи, установки, підоб'єкти складних технологічних об'єктів процесу. На рис. 3.2 приведено приклад узагальненої (не деталізованої)

технологічної схеми процесу підготовки природного газу для виробництва аміаку. Такі схеми призначені для узагальнення системи управління та висвітлення усіх можливих зв'язків кожного її елементу.

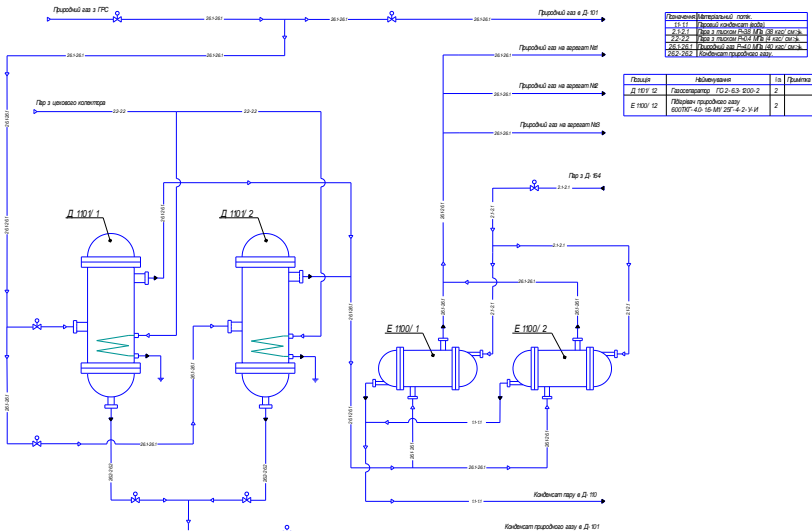


Рис. 3.2. Узагальнена технологічна схема процесу підготовки природного газу для виробництва аміаку

У свою чергу, на основі цієї схеми розроблена структурна схема процесу підготовки природного газу для виробництва аміаку з елементами структури управління (рис. 3.3). Такі схеми дають змогу уявляти структуру системи управління, в якій передбачена можливість управління процесом зі щита управління та з АРМ оператора та передбачати шляхи її подальшої автоматизації з застосування детальних схем автоматизації, принципів та монтажних схем.



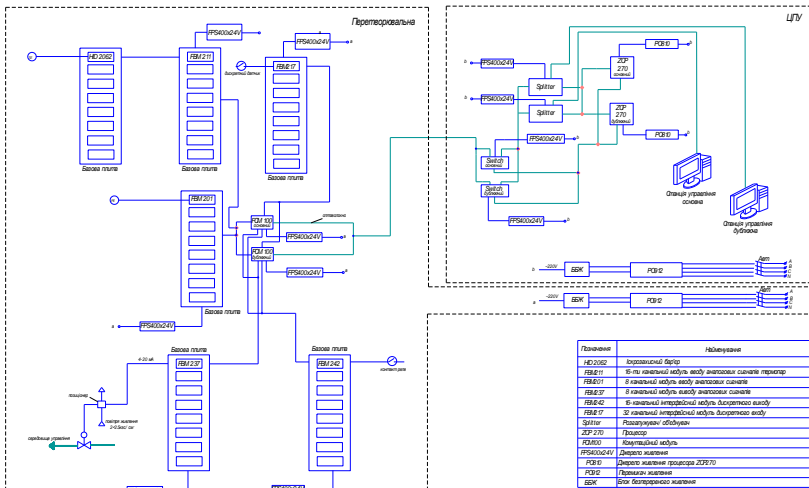


Рис. 3.3. Структурна схема процесу підготовки природного газу для виробництва аміаку з елементами структури управління

Розроблена таким чином структурна схема сприятиме виконанню деталізованої схеми технологічного процесу та проектуванню ефективної системи автоматизації з подальшою розробкою її всіх елементів та частин.

### Програма роботи

1. Ознайомитися з принципами та правилами побудови структурних схем.
2. За заданою технологічною схемою процесу створити структурну схему.
3. Описати принцип роботи та склад системи.

### Порядок виконання роботи

1. Розглянути правила розробки структурних схем технологічного процесу, що описаний у теоретичних відомостях.
2. Згідно заданого варіанту виконати аналіз технологічного процесу та визначити загальну структуру управління.
3. Створити структурну схему технологічного процесу використовуючи умовні позначення елементів у відповідності до вимог Держстандарту.

4. Відобразити на структурній схемі технологічного процесу основну та додаткову інформацію, за ISO 10628 та вказати напрямки потоків та їх параметри.

5. Виконання структурної схеми технологічного процесу здійснити у програмі AutoCAD Electrical згідно ДСТУ ISO 10628. Для цього можна використовувати «Графическое меню», яке знаходиться на панелі «Вставить компонент» кнопка «Вставить компоненты КИП» на вкладці «Схема» (так як при виконанні лабораторної роботи 3). При відсутності зображення конкретного графічного образу у графічному меню програми AutoCAD Electrical потрібно виконати його самостійно за допомогою графічних примітивів, які знаходяться на вкладці меню «Главная».

*Зауваження.* Структурна схема технологічного процесу не є схемою технологічного процесу, а лише відображає його загальну структуру та способи взаємодії її основних елементів.

6. Додати текстовий опис, назву та призначення всіх елементів схеми у програмі AutoCAD Electrical, або безпосередньо у звіт.

7. 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;
- скріншоти виконання основних етапів побудови, які описані у порядку виконання роботи;
- креслення розробленої структурної схеми технологічного процесу на окремому аркуші стандартного розміру (А3-А1) з заповненням основним написом;
- специфікацію обладнання та описи;
- висновок.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке структурна схема?
2. У чому суть розробки структурної схеми?

3. Які елементи відображають на структурній схемі?
4. Яке призначення структурної блок-схеми?
5. Яка особливість виконання структурної схеми у проектах з автоматизації складних технологічних процесів?
6. Наведіть приклад розробки структурної схеми?

## **Лабораторна робота 4**

### **Розробка схеми автоматизації технологічного процесу**

#### **Метароботи**

Ознайомитися з принципами та правилами розробки схем автоматизації. Навчитися створювати схеми автоматизації технологічних процесів розгорнутим способом.

#### **Теоретичні відомості**

*Схема автоматизації* - це основний технічним документом, що визначає функціонально-блокову структуру окремих вузлів автоматичного контролю, керування і регулювання технологічного процесу й оснащення об'єкта керування приладами і засобами автоматизації (у тому числі засобами телемеханіки та обчислювальної техніки).

При розробці схеми автоматизації (в літературі та на практиці також застосовується назва функціональна схема автоматизації) необхідно вирішити наступні завдання:

- отримання первинної інформації про стан технологічного процесу та обладнання;
- способи впливу на технологічний процес для управління ним;
- стабілізація технологічних параметрів процесу;
- контроль та сигналізація (при необхідності) технологічних параметрів процесу і стану технологічного обладнання.

Функціональні завдання автоматизації, як правило, реалізуються за допомогою технічних засобів, що включають в себе: відбірні пристрої, засоби отримання первинної інформації, засоби перетворення і обробки інформації, засоби представлення та видачі інформації обслуговуючому персоналу, комбіновані, комплектні і допоміжні пристрої, засоби регулювання та ін.

Результатом складання схем автоматизації є:

- 1) визначення методів вимірювання технологічних параметрів;
- 2) вибір основних технічних засобів автоматизації, які найбільш повно відповідають пропонованим вимогам і умовам роботи автоматизованого об'єкта;

3) визначення виконавчих механізмів, регулюючих, або запірних органів технологічного обладнання;

4) розміщення засобів автоматизації на щитах, пультах, технологічному обладнанні, трубопроводах тощо та визначення способів подання інформації про стан технологічного обладнання виконання та реалізація закон регулювання за допомогою регуляторів.

Схеми автоматизації розробляють в цілому на технологічний процес, технологічну (інженерну) систему або їх частину – технологічну лінію, блок обладнання, установку або агрегат.

*На схемі автоматизації зображують:*

- технологічне та інженерне обладнання і комунікації (трубопроводи, газоходи, повітропроводи) об'єкта, що автоматизується (далі – технологічне обладнання);

- технічні засоби автоматизації або контури контролю, регулювання та управління;

- лінії зв'язку між окремими технічними засобами автоматизації або контурами.

Контур контролю, регулювання та управління – це сукупність окремих функціонально поєднаних приладів, що виконують певне завдання з контролю, регулювання, сигналізації, управління тощо.

Технологічне обладнання та комунікації на схемах автоматизації зображують спрощено не показуючи на схемі обладнання комунікації та їх елементи, які не оснащуються технічними засобами автоматизації та не впливають на роботу систем автоматизації. Однак зображена в такий спосіб технологічна схема повинна давати ясне представлення про принцип її роботи і взаємодії з засобами автоматизації.

Технологічні апарати і трубопроводи допоміжного призначення показують тільки у випадках, коли вони механічно з'єднуються чи взаємодіють із засобами автоматизації. В окремих випадках деякі елементи технологічного устаткування допускається зображувати на схемах автоматизації у вигляді прямокутників із вказівкою найменування цих елементів або не показувати взагалі.

Біля датчиків, відбірних, приймальних та інших подібних за призначенням пристроїв варто вказувати найменування того

технологічного устаткування, до якого вони відносяться.

Технологічне обладнання зображують із дотриманням вимог держстандартів:

- обладнання, згідно з ГОСТ 2.780, ГОСТ 2.782, ГОСТ 2.788, ГОСТ 2.789, ГОСТ 2.790, ГОСТ 2.791, ГОСТ 2.792, ГОСТ 2.793, ГОСТ 2.794, ГОСТ 2.795;

- комунікації в залежності від середовищ, що транспортуються згідно з додатком 3 ГОСТ 14202;

- трубопровідна запірна арматура, яка використовується в системах автоматизації (не регульовальна) згідно з ГОСТ 2.785.

При формуванні умовних позначень технологічного обладнання та комунікацій можливо використовувати умовні позначення згідно міжнародних стандартів, зокрема ISO 10628.

Якщо позначення трубопроводів на технологічних кресленнях не стандартизовані, то на схемах автоматизації варто застосовувати умовні позначення, які прийняті в технологічних схемах.

У зображення технологічного устаткування, окремих його елементів і трубопроводів варто давати відповідні пояснювальні написи, а також вказувати стрілками напрямок потоків. Окремі агрегати й установки технологічного устаткування можна зображувати відірваними один від одного з відповідними вказівками на їхній взаємозв'язок. На трубопроводах, на яких передбачається установка відбірних пристроїв і регульовальних органів, вказують діаметри умовних проходів.

Схеми автоматизації виконують згідно з діючими держстандартами на умовне зображення технологічного обладнання без дотримання масштабу. Умовні графічні зображення та літерні позначення приладів і пристроїв виконують згідно з ДСТУ Б А.2.4-16:2008 «Автоматизація технологічних процесів. Умовні графічні зображення приладів і засобів автоматизації в схемах».

Усі вимірювальні і перетворювальні прилади, встановлені на технологічному об'єкті, зображуються на схемах автоматизації у вигляді кіл діаметром 10 мм. Якщо прилади розміщуються на щитах і пультах в центральних або місцевих операторських приміщеннях, то всередині кола проводиться горизонтальна роздільна лінія. У верхній частині кола розміщують позначення

параметрів, що контролюються, сигналізуються або регулюються та позначення функцій і функціональних ознак приладів і пристроїв. У нижній частині – позиційні позначення приладів і пристроїв.

Шрифт літерних позначень приймають 2,5 мм згідно з ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Місця розташування відбірних пристроїв і точок вимірювання вказуються за допомогою тонких суцільних ліній. Лінії зв'язку між приладами і контурами контролю та керування зображують на схемах суцільною тонкою лінією незалежно від виду сигналів та кількості проводів і труб.

Схеми автоматизації виконують двома способами:

- *розгорнутий*, за якого на схемі зображують склад і місце розташування технічних засобів автоматизації кожного контуру контролю та управління;

- *спрощений*, за якого на схемі зображують основні функції контурів контролю та керування (без виділення окремих технічних засобів автоматизації, що до них входять, та зазначення місця розташування).

***Розгорнутий спосіб виконання схем автоматизації.***

Технологічне обладнання зображують у верхній частині схеми. Прилади, вбудовані в технологічні комунікації, показують у розриві лінії зображення комунікацій відповідно до рис. 4.1, а ті, що встановлюються на технологічному обладнанні (за допомогою закладних пристроїв) показують поряд – відповідно до рис. 4.2.



Рис. 4.1

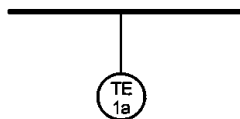
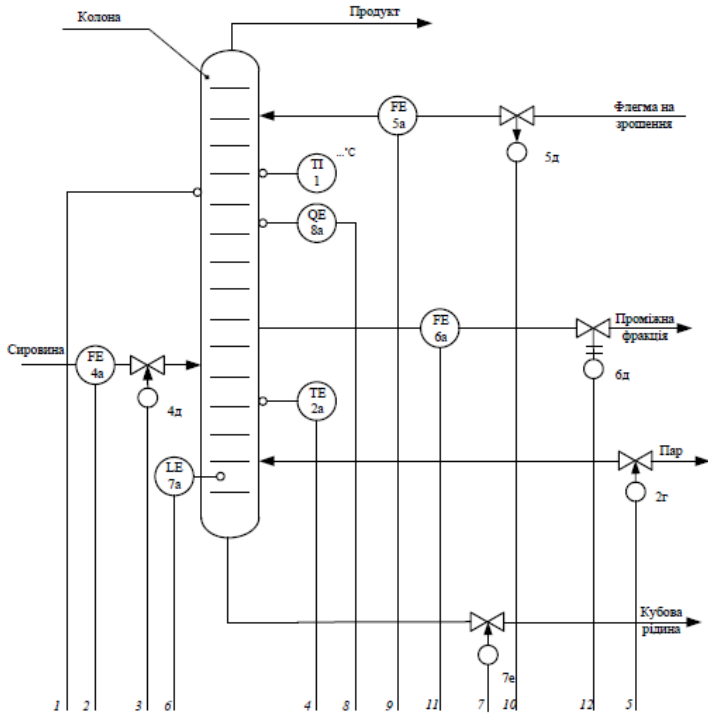


Рис. 4.2

Решту технічних засобів автоматизації показують умовними графічними зображеннями у прямокутниках, що розташовані у нижній частині схеми. Кожному прямокутнику присвоюють заголовки, що відповідають показаних у них технічних засобів (рис. 4.3).



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Прилади місцеві	PI 3a МПа	FI 4b М/тон	FE 4a Резул.	TE 2a °C	TE 5a Резул.	FE 6a мм	FE 5a Резул.	QI 8b м³/с	FI 5b М/тон	FE 6a Резул.	FI 6b М/тон	FE 6a Резул.
Щит керування	PI 3a PR 3b	FI 4b FAR 4s	FE 4a FC 4r	TE 2a TR 2b	TE 5a TC 2s	FE 6a LAR 7b	FE 5a LC 7s	QI 8b QR 8s	FI 5b FAR 5s	FE 6a FC 5r	FI 6b FAR 6s	FE 6a FC 6r

Рис. 4.3. Приклад виконання схеми автоматизації розгорнутим способом

Першим розташовують прямокутник у якому показані позаштатні прилади, що конструктивно не пов'язані з технологічним обладнанням під заголовком “Прилади місцеві”; нижче – прямокутник, у яких показані “Щити керування”, а також комплекси технічних засобів (за необхідності).



Заголовки прямокутників, що призначені для зображення щитів і пультів, вказують відповідно до назв, прийнятих у кресленнях загальних видів комплексів технічних засобів – відповідно до їх запису у специфікації обладнання. У нижній частині прямокутників під зображенням засобів автоматизації вказують назву параметру, який вимірюється або регулюється, вимірювального середовища та місце вимірювання (рис. 4.4).

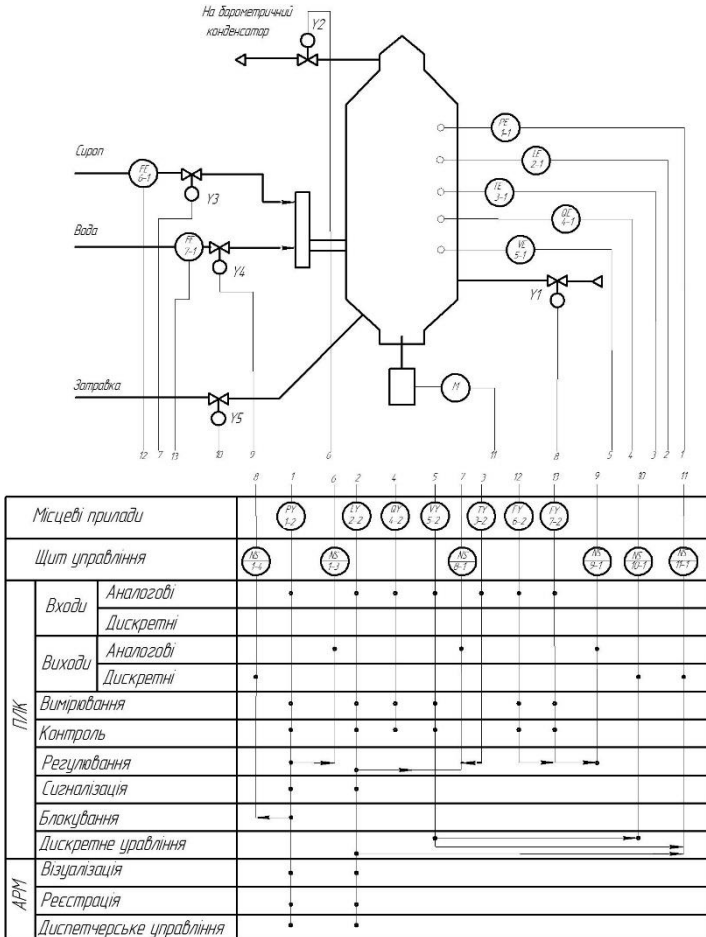


Рис. 4.4. Приклад виконання схеми автоматизації розгорнутим способом з відображенням ПЛК та АРМ

При великій протяжності або при складному розташуванні адресні лінії зв'язку допускається зображувати з розривом. Місця розривів нумерують арабськими цифрами наскрізною нумерацією в порядку їх розташування в прямокутниках, призначених для зображення щитів і пультів, в нижній частині схеми.

Допускається перетин адресних ліній зв'язку із зображеннями технологічного обладнання, а їх перетин між собою не допускається. Над цими лініями можна вказати граничні (максимальні або мінімальні) робочі значення величин, що вимірюються (регулюються) згідно з ДСТУ 3651.0, ДСТУ 3651.1, або в одиницях шкали приладу. Для позначення розрідження (вакууму) ставиться знак “-”. Під адресними лініями зв'язку вказують уставку регулювання, сигналізації і блокування, які повинні виконувати вимірювальні або регулюючі контури.

Для приладів, що вбудовуються безпосередньо в технологічне обладнання і не мають адресних ліній зв'язку з іншими приладами, граничні значення величин вказують поряд із позначенням приладів.

***Спрощений спосіб виконання схем автоматизації.*** При спрощеному способі виконання схем автоматизації контури контролю та управління, а також одиночні прилади наносять поряд із зображенням технологічного обладнання і комунікацій (або в їх розриві). У нижній частині схеми розміщується таблиця контурів, у якій вказують номери контурів та номер аркуша основного комплексу документації, на якому наведений склад кожного контуру. Приклад виконання схеми автоматизації спрощеним способом наведений на рис. 4.5.

Контур (незалежно від кількості елементів, що в нього входять) зображують у вигляді кола (овалу), який розділений горизонтальною рисою. У верхню частину кола записують літерне позначення, яке визначає вимірюваний (регульований) параметр, та функції, що виконуються даним контуром, а у нижню – номер контуру. Крім того, на схемі автоматизації зображують виконавчі механізми, регулюючі органи та лінії зв'язку, що поєднує контур із виконавчими механізмами.

Склад кожного контуру повинен бути наведений на:

- структурній схемі контуру;

- принципів (електричній, пневматичній) схемі контролю, регулювання і управління;
- схемі з'єднань зовнішніх підключень.

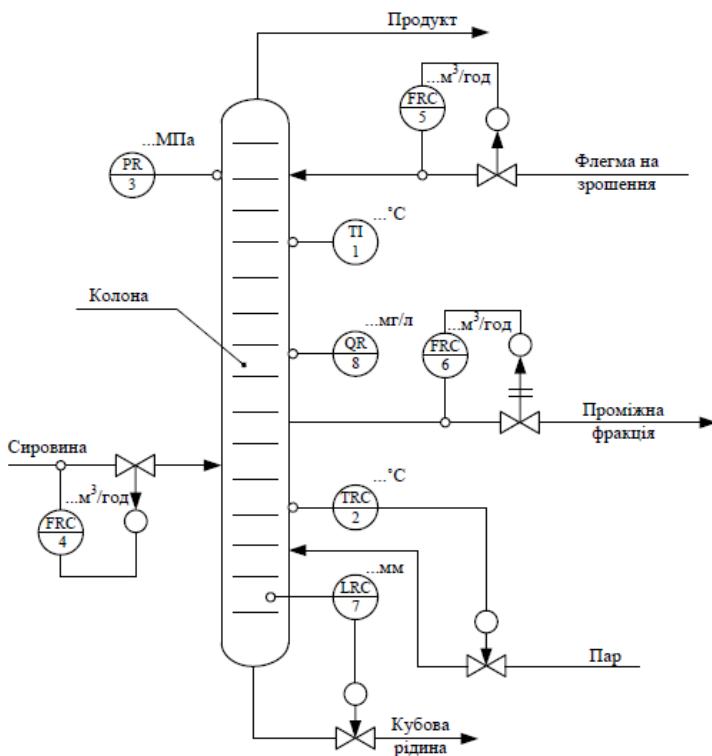


Рис. 4.5. Спрощений спосіб виконання схеми автоматизації

**Вимоги до оформлення схем автоматизації.** Схеми автоматизації можуть розроблятися з більшим чи меншим ступенем деталізації. Однак обсяг інформації, представлений на схемі, повинний забезпечити повне представлення про прийняті рішення з автоматизації даного технологічного процесу і можливість складання заявних відомостей приладів і засобів автоматизації, трубопровідної арматури, щитів і пультів, основних монтажних матеріалів і виробів, а на стадії робочого проекту – всього комплексу проектних матеріалів, передбачених

у складі проекту.

Схему автоматизації виконують, як правило, на одному листі, на якому зображують засоби автоматизації і апаратуру всіх систем контролю, регулювання, керування і сигналізації, що відноситься до даної технологічної установки. Допоміжні пристрої, такі як редуктори і фільтри для повітря, джерела живлення, реле, автомати, вимикачі і запобіжники в колах живлення, сполучні коробки та інші пристрої і монтажні елементи на схемах автоматизації не показують. Складні технологічні схеми рекомендується розділяти на окремі технологічні вузли і виконувати схеми автоматизації цих вузлів у вигляді окремих креслень на декількох аркушах.

Для *технологічних процесів з великим обсягом автоматизації* схеми можуть бути виконані роздільно по видах технологічного контролю і керування. Наприклад, окремо виконуються схеми автоматичного керування, контролю і сигналізації тощо. Для датчиків і приладів, що вказують положення регульовальних органів, виконавчих механізмів, необхідно показувати існуючий механічний зв'язок.

Прямокутники щитів і пультів варто розташовувати в такій послідовності, щоб при розміщенні в них позначень приладів і засобів автоматизації забезпечувалася найбільша простота і ясність схеми. У прямокутниках можна вказувати номери креслень загальних видів щитів і пультів. У кожному прямокутнику з лівої сторони вказують його найменування.

Прилади і засоби автоматизації, що розташовані поза щитами і не зв'язані безпосередньо з технологічним устаткуванням і трубопроводами, умовно показують у прямокутнику «*Прилади місцеві*». При кресленні схеми автоматизації варто уникати дублювання однакових її частин, які відносяться як до технологічного устаткування так і до засобів автоматизації

Для полегшення розуміння сутності об'єкта, можливості вибору діапазонів вимірювань і шкал приладів, уставок регуляторів на схемах автоматизації вказують граничні робочі (максимальні чи мінімальні) значення вимірюваних чи регульованих технологічних параметрів при сталих режимах роботи.

*Не передбачені стандартами умовні позначення, прийняті у*

даній схемі автоматизації, розташовують у вигляді таблиці над основним написом, по його ширині зверху вниз, на першому листі креслення, при необхідності ці таблиці можна виконувати на окремих аркушах. *Пояснювальний текст* розташовують звичайно над таблицею умовних позначок (чи над основним написом) чи в іншому вільному місці.

Контури технологічного обладнання на схемі автоматизації рекомендовано виконувати лініями товщиною 0,6 – 1,5 мм; трубопровідні комунікації – 0,6 – 1,5 мм; ТЗА – 0,5 – 0,6 мм; лінії зв'язку – 0,2 – 0,3 мм; прямокутники пунктів керування – 0,6 – 1,5 мм.

При виконанні схем автоматизації обома способами з зображенням приладів за ДСТУ Б А.2.4-16 відбірний пристрій для всіх постійно підключених приладів *не має спеціального позначення*, а зображується тонкою суцільною лінією, що з'єднує технологічний трубопровід чи апарат з первинним вимірювальним перетворювачем чи приладом.

При необхідності вказівки точного місця розташування відбірного пристрою чи точки вимірювання (всередині контуру технологічного апарата) наприкінці тонкої лінії зображується коло діаметром 2,5 мм. Підведення ліній зв'язку до символу приладу допускається зображувати в будь-якій точці кола (зверху, знизу, збоку). При необхідності вказівки напрямку передачі сигналу на лініях зв'язку допускається наносити стрілки.

***Зображення засобів вимірювання та автоматизації.*** Прилади, засоби автоматизації, електричні пристрої й елементи обчислювальної техніки на схемах автоматизації показуються відповідно до ДСТУ Б А.2.4-16 і галузевих нормативних документів. При відсутності в стандартах необхідних зображень дозволяється застосовувати нестандартні зображення, які варто виконувати на підставі характерних ознак зображуваних пристроїв.

*Порядок розташування літерних позначень* у верхній частині кола, що позначає прилад чи пристрій:

- позначення основної вимірюваної величини;
- позначення, що уточнює (якщо необхідно) основну вимірювану величину;
- позначення функціональної ознаки приладу.

При побудові умовних позначень приладів варто вказувати не всі функціональні ознаки приладу, а лише ті, котрі використовуються в даній схемі. Так, при позначенні показуючих і самописних приладів (якщо функція «покази» не використовується) варто писати *TR* замість *TIR*, *PR* замість *PIR* і т.п.

При використанні умовних позначень за ДСТУ Б А.2.4-16 необхідно керуватися наступними правилами:

1) Літера *A* застосовується для позначення функції сигналізації при спрощеному способі побудови умовних позначень, а також при розгорнутому способі, коли для сигналізації використовуються лампи вбудовані в прилад. У всіх інших випадках для позначення контактної пристрою приладу застосовується літера *S* і при необхідності символ лампи, гудка, дзвоника.

Граничні значення вимірюваних величин, за якими здійснюється, наприклад, включення/відключення, блокування, сигналізація, допускається конкретизувати додаванням літер *H* і *L*. Ці літери наносять праворуч від графічного зображення. Літеру *S* не слід застосовувати для позначення функції регулювання (в тому числі позиційного).

2) Для конкретизації вимірюваної величини біля зображення приладу (праворуч від нього) необхідно вказувати найменування чи символ вимірюваної величини, наприклад «напруга», «струм», рН, O<sub>2</sub> тощо.

3) При необхідності біля зображення приладу допускається вказувати вид радіоактивності, наприклад  $\alpha$ -,  $\beta$ - чи  $\gamma$ -випромінювання.

4) Літера *U* може бути використана для позначення приладу, що вимірює кілька різнорідних величин. Докладна розшифровка вимірюваних величин повинна бути приведена біля приладу чи на полі креслення.

5) Для позначення величин, не передбачених даним стандартом, можуть бути використані резервні літери. При необхідності застосування резервних літерних позначень вони повинні бути розшифровані на схемі. Не допускається в одній і тій же документації застосування однієї резервної літери для позначення різних величин;

7) В окремих випадках, коли позиційне позначення приладу не вміщається в колі, допускається нанесення його поза колом.

8) Літера *E* застосовується для позначення чутливих елементів, тобто пристроїв, що виконують первинне перетворення. Прикладами первинних перетворювачів є: термометри термоелектричні (термопари), термометри опору, давачі пірометрів, звужуючі пристрої витратомірів, давачі індукційних витратомірів тощо.

9) Літера *T* означає проміжне перетворення – дистанційну передачу сигналу, її рекомендується застосовувати для позначення приладів з дистанційною передачею показів, наприклад безшкальних манометрів (дифманометрів), манометричних термометрів з дистанційною передачею і т.п.

10) Літера *K* застосовується для позначення приладів, що мають станцію керування, тобто перемикач вибору виду керування (автоматичне, ручне).

11) Літера *Y* рекомендується для побудови позначень перетворювачів сигналів та обчислювальних пристроїв.

12) Порядок побудови умовних позначень із застосуванням додаткових літер наступний: на першому місці ставиться літера, що позначає вимірювану величину, на другому – одна з додаткових літер *E, T, K, Y*.

13) При застосуванні позначень, що розшифровують вид чи перетворення операції, виконувани обчислювальним пристроєм, наносяться праворуч від графічного зображення приладу.

14) В деяких випадках для уникнення неправильного розуміння схеми допускається замість умовних позначень приводити повне найменування перетворених сигналів. Також рекомендується позначати деякі рідко застосовувані чи специфічні сигнали, наприклад кодовий, часо-імпульсний, число-імпульсний і тощо.

15) При побудові позначень комплектів засобів автоматизації перша літера в позначенні кожного приладу, що входить у комплект, є найменуванням вимірюваної комплектом величини. Наприклад, у комплекті для вимірювання регулювання температури первинний вимірювальний перетворювач варто позначати *TE*, вторинний реєструючий прилад – *TR*, регулюючий блок – *TC* і т.п.

*Виятки з правил при використанні умовних позначень за ДСТУ Б А.2.4-16:*

1) всі пристрої, виконані у вигляді окремих блоків і призначені для ручних операцій, повинні мати на першому місці в позначенні літеру *H* незалежно від того, до складу якого вимірювального комплексу вони входять, наприклад, перемикачі електричних ланцюгів вимірювань (керування), перемикачі газових (повітряних) ліній позначаються *HS*, байпасні панелі дистанційного керування – *HC*, кнопки (ключі) для дистанційного керування, задавачі – *H* і т. п.;

2) при позначенні комплексу, призначеного для вимірювання декількох різнорідних величин, первинні вимірювальні перетворювачі (давачі) варто позначати у відповідності з вимірюваною величиною, вторинний прилад — *UP*;

3) в окремих випадках при побудові позначень комплектів, призначених для вимірювання якості непрямим методом, перша літера в позначенні давача може відрізнитися від першої літери в позначенні вторинного приладу (наприклад, для вимірювання якості продукту користуються методом температурної депресії). Давачами температури при цьому є термометри опору, вторинним приладом – автоматичний міст. Позначення такого комплексу при розгорнутому способі будуть: давачі – *TE*, вторинний прилад – *QR*.

*Щити, штативи, пульты керування* на схемах автоматизації зображуються умовно у вигляді прямокутників довільних розмірів, достатніх для нанесення графічних умовних позначень встановлюваних на них приладів, засобів автоматизації, апаратури керування і сигналізації за ДСТУ Б А.2.4-16. *Комплектні пристрої* (машини централізованого контролю, керуючі машини, напівкомплекти телемеханіки тощо) позначаються також у вигляді прямокутників.

Допускається перетинання лініями зв'язку зображень технологічного устаткування і комунікацій, натомість перетинання лініями зв'язку умовних позначень приладів і засобів автоматизації забороняється.

***Позиційні позначення приладів і засобів автоматизації.*** Всім приладам і засобам автоматизації, зображеним на схемах автоматизації, присвоюються *позиційні позначення* (позиції), що



зберігаються у всіх матеріалах проекту. *На стадії проекту* позиційні позначення виконують арабськими цифрами відповідно до нумерації і заявної відомості приладів, засобів автоматизації і електроапаратури. *На стадії робочої документації* при одностадійному проектуванні позиційні позначення приладів і засобів автоматизації утворюються з двох частин: позначення арабськими цифрами, номери функціональної групи і малих кирилических літер номерів приладів і засобів автоматизації в даній функціональній групі.

Позиційні позначення привласнюються кожному елементу функціональної групи в алфавітному порядку в залежності від послідовності проходження сигналу – від пристроїв одержання інформації до пристроїв впливу на керований процес (наприклад, приймальний пристрій – датчик, вторинний перетворювач – задавач – регулятор – показчик положення – виконавчий механізм, регулюючий орган).

Позиційні позначення окремих приладів і засобів автоматизації (наприклад, регулятор прямої дії, манометр, термометр) складаються тільки з порядкового номера. Вони повинні привласнюватися всім елементам функціональних груп, за винятком:

- а) відбірних пристроїв;
- б) приладів із засобів автоматизації, що поставляються комплектно з технологічним устаткуванням;
- в) регулювальних органів і виконавчих механізмів, що входять у дану систему автоматичного керування, але які замовляються і встановлюються у технологічних частинах проекту.

*При визначенні границь кожної функціональної групи* варто враховувати наступну обставину: якщо який-небудь прилад чи регулятор зв'язаний з декількома давачами чи отримує додаткові впливи під іншим параметром (наприклад, корегуючий сигнал), то всі елементи схеми, що здійснюють додаткові функції відносяться до тієї функціональної групи, на яку вони здійснюють вплив. Наприклад, регулятор співвідношення, зокрема, входить до складу тієї функціональної групи, на яку виявляється основний вплив по незалежному параметру. Те ж відноситься і до прямого цифрового керування, де вхідним колам

контуру регулювання привласнюється та сама позиція.

**Особливості використання графічних образів у програмі *AutoCAD Electrical*.** Графічні образи – це додаток, створений для розширення стандартних можливостей *AutoCAD Electrical*. Типовим прикладом цього інструменту являється графічні образи технологічних апаратів та пристроїв, насосів, виконавчих механізмів, пневматичних та графічних компонентів, КВПіА, а також інших компонентів, які постачається разом з *AutoCAD Electrical* і називається “*Графические образы трубопроводов и КИПиА*” (*P&ID*). *P&ID* - це схематична ілюстрація функціональних зв'язків трубопроводів, КВПіА та системного обладнання. Графічні образи *P&ID* містять всі трубопроводи, включаючи фізичну послідовність відводів, редукторів, клапанів, обладнання, КВПіА, блокувань управління та ін. Вказані графічні образи використовується для розробки технологічних процесів та схем автоматизації.

*P&ID* не являються окремими файлами, а входять у стандартну комплектацію *AutoCAD Electrical*. Фрагменти *P&ID* зберігаються у вигляді впорядкованих списків в підрозділах і кореневому розділі бібліотеки. Імена фрагментів і розділів бібліотеки можуть складатися з будь-яких символів, кількість фрагментів і розділів необмежена. При створенні розділу бібліотеки чи при додаванні фрагменту можна ввести довільний коментар.

Робота з схемами відбувається за допомогою панелі *Вставити компоненти КИП* (рис. 4.6), викликати її можна за допомогою меню *Вставити компоненти* → *Вставити компоненти КИП*.

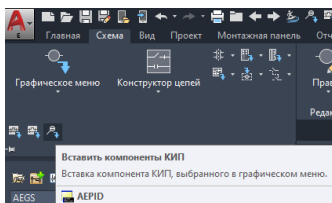


Рис. 4.6. Вікно панелі *Вставити компоненти КИП*

Після відкриття бібліотеки графічних образів проектувальник отримує доступ до необхідних позначень, які можна

використовувати для розробки технологічних схем, схем автоматизації та інших проектних документів (рис. 4.7). У лівій частині вікна розміщені розділені схеми, а у правій вміст вибраного розділу (у даному випадку розділ КВПіА).

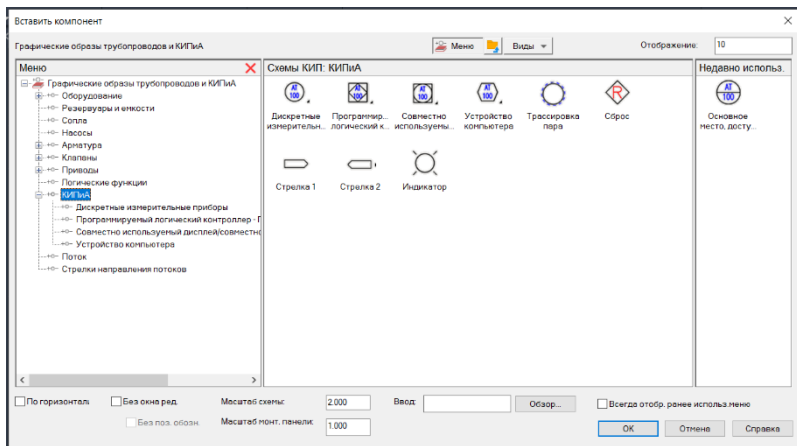


Рис. 4.7. Вікно компонентів *Графические образы трубопроводов и КИПиА*

Представлені графічні образи застосовуються для проектування систем автоматизації технологічних процесів. При виборі необхідного умовного позначення ТЗА зі представленого списку, наприклад *AT/100* потрібно вказати місце його встановлення на робочому просторі та після цього ввести необхідні атрибути в меню «Вставить / Редактировать компонент», яке після цього з'явиться, подібно, як це відбувається з іншими компонентами програми *AutoCAD Electrical*. Як видно з рис. 4.7 у запропонованому меню відсутні більшість літерно-цифрових позначень, що застосовуються на схемах автоматизації. Для того, щоб вказати саме той ТЗА, який потрібний у схемі автоматизації, необхідно вибраний з меню «Схемы КИП: КИПиА» компонент та відредагувати його під умовне позначення конкретного ТЗА (див. рис. 4.7). Це можна зробити за допомогою «Редактора атрибутов блоков» (рис. 4.8), який викликається подвійним клацанням миші на вставленому

об'єкті. На рис. 4.8 показано вигляд меню «*Редактор атрибутів блоків*» та можливі варіанти їх зміни.

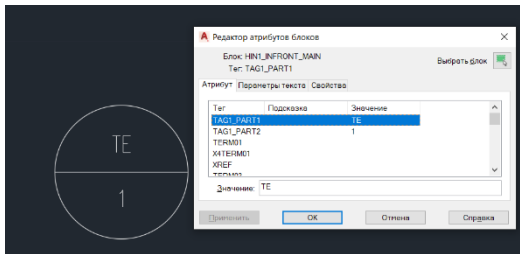


Рис. 4.8. Приклад редагування умовного позначення елемента схеми автоматизації за допомогою «*Редактора атрибутів блоків*»

Для прикладу розглянемо основні атрибути, які використовуються при редагуванні умовних позначень елементів схем автоматизації. Атрибут *TAG1* – є обов'язковим для формування назви позиційного позначення компонента. Значення за замовчуванням цього атрибута стає рядком коду, який використовується для формування позиційного позначення компонента при встановленні його у схему. Це значення використовується, як код (% F) в складі коду формату позиційного позначення, заданого в діалоговому вікні «*Свойства чертежа*». Якщо компонент має фіксоване позиційне позначення, то до імені атрибута автоматично додається суфікс *F* (наприклад, *TAG1F*).

Атрибути *TAG1\_PART1*, *TAG1\_PART2*, *TAG1\_PARTX* дозволяють розбити назву позиційного позначення компонента на дві частини (наприклад, повна назва позиційного позначення *MOT123* може бути розбите на два рядки, де в першому рядку буде значення *MDOT*, а в другому - *123*). Якщо компонент з розбитим на частини позиційним позначенням позначений, як фіксований, імена атрибутів автоматично змінюються на *TAG1F\_PART1* і *TAG1F\_PART2*.

Інші компоненти схеми автоматизації (позначки, написи, прямокутники щитів та ін.) можна вставляти в креслення схеми

використовуючи стандартні примітиви класичного *AutoCAD*, що знаходяться на панелі «*Главная*».

### **Програма роботи**

1. Ознайомитися з принципами та правилами проектування схем автоматизації та можливістю використання *AutoCAD Electrical* для їх розробки з теоретичних відомостей.

2. На основі виконаної у попередніх роботах схеми технологічного процесу, або її частини розробити схему автоматизації розгорнутим способом.

3. Додати текстовий опис схеми автоматизації та «*Перелік елементів схеми*» у вигляді розшифровки (специфікації) використаних ТЗА.

### **Порядок виконання роботи**

1. Розглянути правила розробки схем автоматизації та способи використання програми *AutoCAD Electrical* з теоретичних відомостей.

2. Вибрати схему технологічного процесу на основі якого виконуватиметься схема автоматизації (у якості варіанту використовуємо схему технологічного процесу, яка вказана в технічному завданні, або інший варіант, який студент погодив з викладачем).

3. Для виконання схеми автоматизації використати один з шаблонів програми *AutoCAD Electrical*. Для цього запустити програму та виберіть «*Создать > Шаблоны > А3-1.dwt*» або інший підходящий для цієї схеми.

4. Розробити схему автоматизації технологічного процесу розгорнутим способом, розмістивши всі засоби автоматизації на технологічній схемі згідно принципів та стандартів розробки схем автоматизації. Оформлення схеми виконати згідно вимог Держстандарту використовуючи бібліотеки засобів автоматизації з «*Графическое меню*», яке знаходиться на панелі «*Вставить компонент*» кнопка «*Вставить компоненты КИП*» на вкладці «*Схема*» програми *AutoCAD Electrical*. Приклад використання УГП ТЗА приведено в теоретичних відомостях.

5. Виконане завдання оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату А4. Звіт має бути підготовлений

так, як на друк. Додатково зберегти у окремий файл результат виконання схеми автоматизації на листі відповідного формату з заповненим кутовим штампом та надати на перевірку разом зі звітом у форматі .dwg.

*Зауваження.* Для оформлення (друкування) креслення на окремому аркуші (A4-A0) 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;
- скріншоти виконання основних етапів побудови, які описані у порядку виконання роботи;
- креслення розробленої схеми автоматизації на окремому аркуші стандартного розміру (A3-A1) з заповненим основним написом;
- перелік використаних ТЗА з розшифровуванням;
- опис розробленої схеми автоматизації;
- висновок.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке схема автоматизації?
2. Як зображають технологічне устаткування і комунікації при розробці схем автоматизації?
3. Які основні вимоги до оформлення схем автоматизації?
4. Які способи виконання схем автоматизації?
5. Які основні правила зображення засобів вимірювання і автоматизації на схемах автоматизації?
6. Наведіть приклад побудови умовного позначення приладу для вимірювання, реєстрації та автоматичного регулювання співвідношення витрат.
7. Якими правилами необхідно керуватися при використанні умовних позначень за ДСТУ Б А.2.4-16?
8. Які основні вимоги позиційного позначення приладів і засобів автоматизації на схемах автоматизації?

9. Які існують винятки при позиційному позначенні елементів функціональних груп схем автоматизації?

10. Які обставини потрібно враховувати при визначенні границь кожної функціональної групи схем автоматизації?

## **Лабораторна робота 5**

### **Вибір технічних засобів автоматизації**

#### **Мета роботи**

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

#### **Теоретичні відомості**

Вибір технічних засобів автоматизації є одним з важливих етапів у проектування систем автоматизації технологічних процесів. При *виборі первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків)* перевагу слід надавати таким, які використовують стандартизовані нормовані сигнали. Дуже часто на польовому рівні для забезпечення передачі даних між первинними та вторинними перетворювачами використовують вихідний струмовий сигнал 4-20 мА, при цьому віддаль між давачем і контролером може складати до 120 м. В цьому випадку значно спрощується їх взаємодія з програмованими-логічними контролерами (ПЛК).

При виборі первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків) потрібно враховувати такі фактори:

- допустиму похибку, що визначає клас точності;
- інерційність, що характеризується сталою часу;
- межі вимірювань з відповідною точністю;
- вплив фізичних параметрів контрольованого й навколишнього середовища (температури, тиску, щільності, вологості) на нормальну роботу;
- вплив контрольованого і навколишнього середовища з урахуванням абразивних властивостей, хімічних параметрів тощо;
- наявність у місці встановлення неприпустимих для його нормального функціонування вібрацій, магнітних і електричних полів, радіоактивних випромінювань та ін.;
- можливість їх застосування з погляду вимог пожежо- і вибухобезпечності;
- відстань, на яку може бути передана інформація;
- граничні значення вимірюваної величини та інші параметри.



Вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА) здійснюють на основі каталогів та Інтернет-сайтів фірм-виробників, або 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. 5.1.

Табл. 5.1

Специфікація на ТЗА

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

Для оцінки 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 вхідних 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 характеристик цих входів-виходів.

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.

**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 область 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  $-50...+200$  °С слід застосовувати мідні термоперетворювачі опору. При вимірюванні більш високих температур застосовують платинові ТПС і ТЕП різних градусувань. Платинові термоперетворювачі опору слід застосовувати при необхідності забезпечення підвищеної точності в діапазоні вимірювань температури  $-50...+500$  °С. 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  $1/2 \dots 3/4$  цього діапазону, а пульсуючий тиск – в межах  $1/3 \dots 2/3$  діапазону вимірювань. Наприклад, для вимірювання розрідження, яке змінюється в межах  $-35 \dots 65$  кПа, при використанні вимірювального приладу з вхідним сигналом  $0 \dots 5$  мА вибирають вимірювальний перетворювач тиску з вихідним сигналом  $0 \dots 5$  мА типу САПФІР-22ДВ, межі вимірювання якого складають  $100 \dots 0$  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-43 з уніфікованим вихідним струмовим сигналом  $0 \dots 5$  мА,  $0 \dots 20$  мА і  $4 \dots 20$  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  $50 \dots 1000$  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, САПФР-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 кондиціювання 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 розробляємо проект схеми автоматизації, яка є результатом комплексного підходу до автоматизації технологічних процесів. У результаті проектування отримуємо схему автоматизації (рис. 5.1), що виконана з дотриманням ГОСТ 21.408-2013.

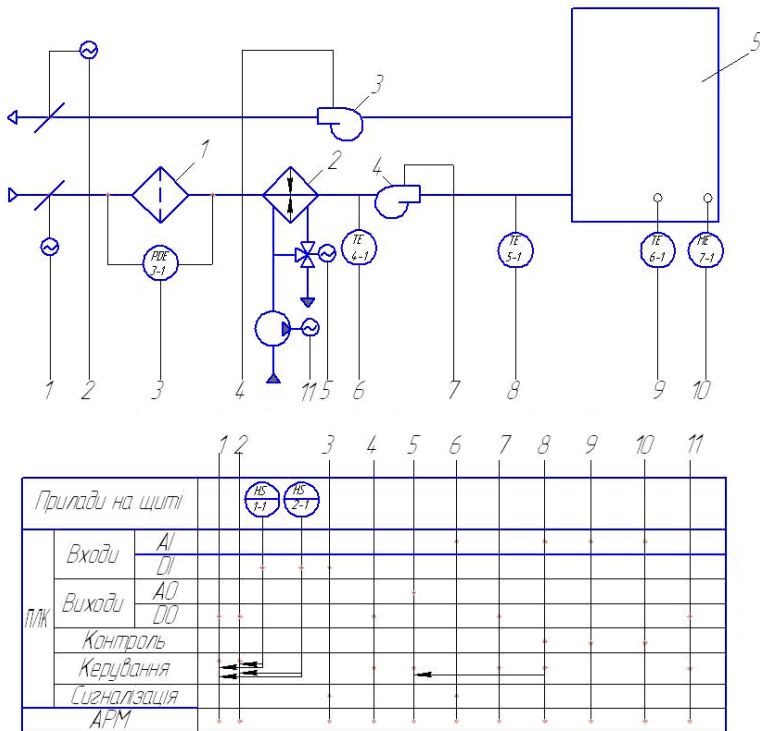


Рис. 5.1. Схема автоматизації системи вентиляції:

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






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 параметром в даній системі (див. рис. 5.1) є температура на вході в приміщення поз. 8, яка керується зміною надходження теплоносія у калорифер поз. 5 за допомогою триходового клапана та відкриванням 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 фільтра. 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 2 – х універсальних аналогових входів контролера. На поз. 9 та 10 контролюємо температуру та вологість у приміщенні.

Для остаточного вибору технічних засобів автоматизації виконують порівняння найбільш відповідних характеристик для прийнятої системи автоматизації. При цьому за основний критерій вибрано: відповідність технічних характеристик та ціна (Табл. 5.2).

Табл. 5.2

## Порівняння характеристик давачів температури

Марка	TSM-50M	Pt-100	ТХК-2388
Рисунок			
Макс. діапазон вимірювань	-40...+180 °С	-50...+250 °С	-40...+600 °С
Матеріал захисної арматури	Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 12Х18Н10Т
Максимальний робочий тиск	0,63 МПа	0,4 МПа	0,25-04 МПа
Матеріал клемної головки	Склопластик	Силіконова термоусадка	Карболіт, силумін
Показник теплової інерції, с	18...25	Не більше 40	Не більше 180
Клас допуску	A	1/3В	1 або 2
Ступінь захисту	IP54	IP67	IP55
Ціна, грн	265	180	830

Порівнявши технічні характеристики, якість та ціну вибираємо давач фірми ТЕРА Pt-100. На відміну від термопар, у термометрів опору немає необхідності у використанні спеціальних кабелів для з'єднання з датчиком.

Принцип роботи цього пристрою полягає у вимірюванні опору платинового елемента. Найбільш поширений тип (PT100) має опір 100 Ом при 0 °С і 138,4 Ом при 100 °С. Відношення між температурою і опором близьке до лінійного в невеликому діапазоні температур. Для точного вимірювання, необхідно, лінеаризувати опір, щоб отримати точну температуру.

Для використання в невибухонебезпечних умовах датчик опору  $Pt\ 100$  є в захищеному від впливу середовища виконанні. Для різних температурних діапазонів можна вибирати серед різних варіантів.

Після проведення аналізу цілої системи автоматизації для реалізації функцій автоматизованої системи управління виконуємо остаточний вибір технічних засобів автоматизації результати, якого представлені у вигляді специфікації (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Специфікація на технічні засоби автоматизації

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

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

б) 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 первинних вимірювальних

перетворювачів?

2. Опишіть методику вибору первинних вимірювальних перетворювачів.

3. Розкрийте суть прикладу вибору первинних вимірювальних перетворювачів.

4. Опишіть методику вибору контрольно-вимірювальних приладів.

5. Розкрийте суть прикладу вибору технічних засобів автоматизації у системі вентиляції і кондиціонування повітря.

6. Розкрийте суть прикладу вибору технічних засобів автоматизації у системі очищення стічних вод.

## **Лабораторна робота 6**

### **Розробка схеми комплексу технічних засобів**

#### **Мета роботи**

Навчитися розробляти 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 структури 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. 6.1).

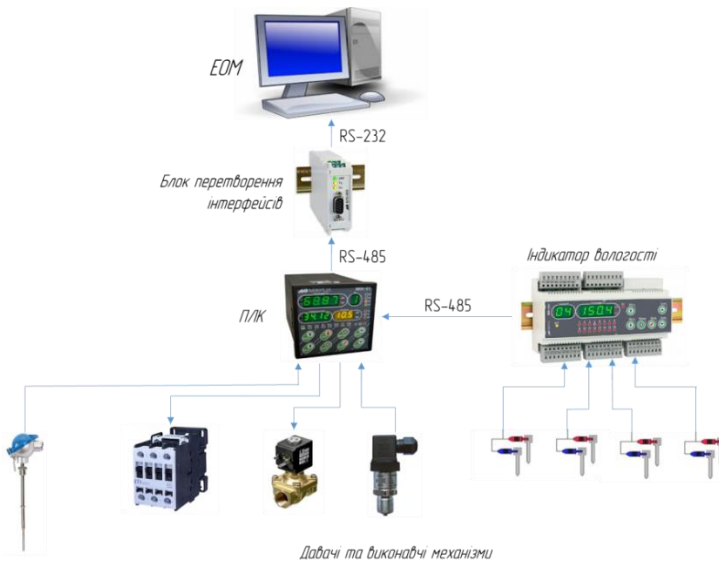


Рис. 6.1. Ієрархічна структура використання технічних засобів сучасних систем управління

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).

Основним способом зв'язку в сучасних системах управління є організація локальних обчислювальних (промислових) мереж і засобів управління. У системах управління використовуються промислові стандарти локальних обчислювальних мереж (Industrial Ethernet, Profibus, Modbus 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 процесори 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. 6.2.

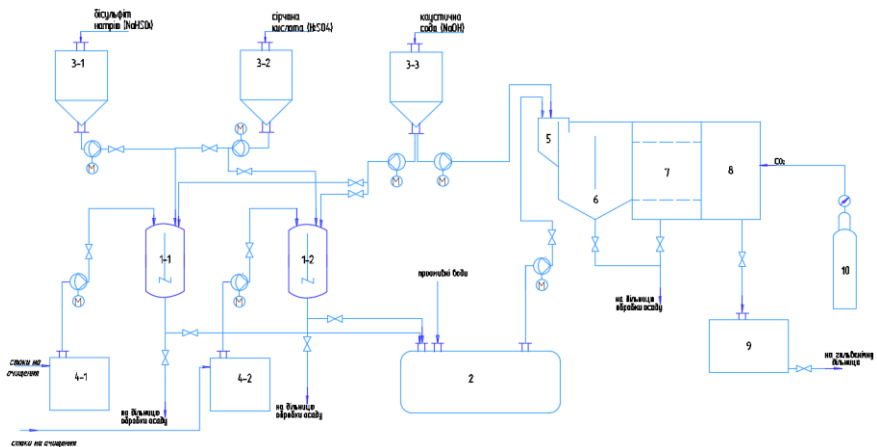


Рис. 6.2. Технологічна схема процесу очищення стічних вод гальванічного виробництва



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

- Промивні води від основної гальванічної дільниці і дільниці сріблення.

- Відпрацьовані технологічні розчини та електроліти.

Промивні води поступають по напірному трубопроводу в усереднювач-накопичувач (поз. 2). З усереднювача-накопичувача (поз. 2) стоки насосом (поз. 1, в) подаються в електрокоагулятор (поз. 5). Під дією постійного електричного струму в електрокоагуляторі (поз. 5) протікають два основні процеси:

- 1) коагуляція забруднень під дією електричного струму і перехід в розчин іонів металів, що розчиняються;

- 2) виділення при електролізі води пухирців електролітичного газу і закріплення на їх поверхні скоагульованих часток з наступною їх флотацією.

Після цього стічна вода змішується 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 її реакція доводиться до нейтральної величини рН=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 дільницю 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 цинк і алюмінійвмісних 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 описаного технологічного процесу очищення стічних вод гальванічного виробництва, проаналізувавши всі основні параметри та визначивши загальну структуру автоматизації, розроблено структурну схему КТЗ технологічного процесу (рис. 6.3).

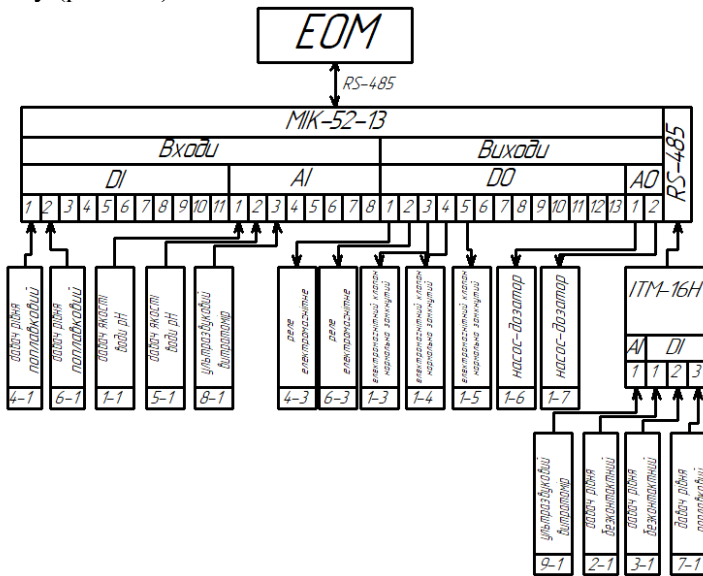


Рис. 6.3. Структурна схема комплексу технічних засобів виконана на основі технологічної схеми (рис. 6.2)

На приведеній структурній схемі КТЗ відображено основні технічні засоби АСУТП та зв'язки між ними. Безпосереднє управління устаткуванням здійснюється за допомогою програмованого логічного контролера МК-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 з об'єктом. Основою верхнього рівня АСУТП є автоматизоване робоче місце на основі персональних комп'ютерів для здійснення функцій оперативного диспетчерського контролю та управління технологічним процесом.

До структурної схеми комплексу технічних засобів додають назву та призначення всіх елементів схеми у вигляді специфікації (табл. 6.1). Для прикладу до розробленої структурної схеми (рис. 6.3) наведено назву та призначення технічних засобів без вказівки фірм виробників, що дасть змогу підібрати необхідне обладнання використовуючи пропоновані критерії. Такий перелік не є остаточним і може бути змінений чи уточнений на подальших етапах проектування системи автоматизації.

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.

## Перелік та призначення технічних засобів

Назва	Призначення
ПЛК МК-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 нормально замкнутий	Закриття та відкриття трубопроводу
Насос-дозатор	Дозування рідин
Реле електромагнітне	Подача напруги живлення на двигуни

**Програма роботи**

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

**Порядок виконання роботи**

1. Розглянути правила 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

роботах визначити загальну архітектуру системи автоматизації та технічні засоби, що використовуються 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. Розробку схеми виконати з дотриманням стандартів щодо розробки структурних схем на окремому аркуші формату А3-А1 з використанням комп'ютерних програм для виконання графічних робіт (AutoCAD, Fusion та ін.).

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

5. Розробити перелік визначених технічних засобів у вигляді специфікації.

6. 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 зображають 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?

## Лабораторна робота 7

### Вибір контролерного устаткування та мікропроцесорних засобів

#### Мета роботи

Навчитися виконувати вибір програмованих-логічних контролерів для реалізації функцій регулювання системи автоматизації.

#### 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.

Вибір ПЛК здійснюють на основі каталогів та Інтернет-сайтів фірм-виробників та їх офіційних дилерів. Важливими факторами при виборі ПЛК є співвідношення продуктивність/ціна. На всі вибрані ТЗА, в тому числі ПЛК, складають специфікацію за формою, що приведена у табл. 7.1.

Табл. 7.1

#### Специфікація на ПЛК

№ 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 вхідних і вихідних сигналів, використовуючи функціональну схему автоматизації.

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.

**Сучасні ПЛК** вирішують основні завдання оперативного управління в АСУ ТП, 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. Слід також враховувати складність цих функцій. Після оцінки основних вимог до найважливіших характеристик системи управління 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 і комп'ютери.

*Вибір ПЛК відбувається 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 керуватися такими міркуваннями:

- 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 по каталогах фірми здійснюється вибір моделей і комплектація ПЛК, а при необхідності і промислових комп'ютерів. 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 застосовують їх 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 програмовані контролери 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 використовується або 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 необхідні відповідні порти у контролера і комп'ютера. Також необхідно визначити стандартний інтерфейс, використовуваний для зв'язку.

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.).

На структурній схемі КТЗ ПЛК може бути зображений у вигляді блоку, як це показано на рис. 7.1. Таке зображення зручно для фіксованих контролерів. Якщо контролер модульний, то його конфігурація визначається при проектуванні і її необхідно відобразити на структурній схемі. У цьому випадку доцільно показувати структуру контролера.

Приклад схеми ПЛК із зображенням його структури показаний на рис. 7.1. Модульний програмований контролер 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 магистралі СМ.

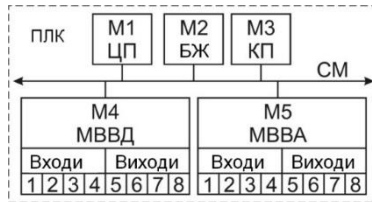


Рис. 7.1. Структура модульного ПЛК

При програмуванні комп'ютерних засобів системи 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, фіксоване число каналів аналогового і (або) дискретного вводу/виводу, вбудований ПІД-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 на DIN-рейку, а з'єднання з іншими модулями, наприклад, з модулем живлення, модулем аналогового введення та ін., здійснюються за допомогою роз'ємів або провідників з наконечниками «під гвинт». Найбільш поширеними є такі контролери: Simatic S7-200 і Simatic S7-300С - Siemens (Німеччина), Modicon TSX - Schneider Electric (Франція), FX1S і FX1N - Mitsubishi Electric (Японія),

VIPA (Японія).

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 дефрагментовані на окремі взаємопов'язані блоки. Дана архітектура дозволяє збільшити гнучкість, швидкість пусконаладження, 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, все частіше стали застосовуються ПК-сумісні контролери. Повна програмна і апаратна сумісність цих пристроїв з широко розповсюдженими офісними комп'ютерами забезпечує істотне скорочення термінів та вартості робіт при створенні різних систем автоматизації виробництва. Необмежена номенклатура плат вводу/виводу, як аналогових так і дискретних, можливість гнучкої модернізації систем з використанням найсучаснішого системного і спеціалізованого програмного забезпечення, а також постійне зниження цін на комп'ютерну техніку - ось основні визначальні чинники при виборі платформи АСУ ТП верхнього і нижнього рівнів.

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 (PC-104, VME, AT96 тощо), можливістю використання стандартного програмного забезпечення (ISaGRAF, C, C++, Assembler), SCADA-систем (WinCC, InTouch, Citect та ін.), 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). Для більшості практичних застосувань вплив цих недоліків може бути усунутий або знижений.

Вибір необхідного контролера/ів обумовлений великою кількістю різнотипних факторів. Один визначних факторів 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 розрахунку

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 багатофункціональність, зручність програмування, знижується його вартість. Однак при цьому можливе зниження надійності системи.

3. Відповідність міжнародним стандартам. Вибір контролера, відповідного Міжнародному стандарту якості ISO 9001, стандартам 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 операційну систему 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. Подальшим розвитком 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, Zenon, Movicon, MasterSCADA та ін.) дозволяє значно прискорити процес налаштування проекту і підвищити ефективність подання інформації, знизити витрати на придбання SCADA-системи та комунікаційних інтерфейсів. До таких контролерів відносяться, SIMATIC S7-1500, Modicon TSX та ін. 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 безударного 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.

### **Програма роботи**

1. Ознайомитися з принципами та правилами вибору програмованих-логічних контролерів.

2. Виконати обґрунтування та вибір програмованого-логічного контролера у відповідності до схеми автоматизації.

### **Порядок виконання роботи**

1. Розглянути особливості вибору програмованих-логічних контролерів, що описано у теоретичних відомостях.

2. Виконати аналіз розробленої структурної та функціональної схем автоматизації.

3. Виконати вибір ПЛК за послідовністю та методикою, яка приведена у теоретичних відомостях.

4. Виконати вибір модулів входу/виходу, розширення та інших елементів ПЛК за послідовністю та методикою, яка приведена у теоретичних відомостях.

5. Виконати обґрунтування та остаточний вибір ПЛК використовуючи каталоги та інтернет-ресурси виробників.

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;
- схема автоматизації та її опис;
- порівняння вибраних (2-3 позиції) ПЛК з приведеними параметрами у вигляді таблиці;
- обґрунтування вибору;
- перелік вибраного ПЛК, модулів входу/виходу та розширення і комутації 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. Розкрийте суть вибору ПЛК з врахуванням модулів вводу/виводу.
5. Наведіть основні технічні характеристики ПЛК.
6. Яким чином виконати огрунтування вибору ПЛК?

## **Лабораторна робота 8**

### **Проектування структури передачі даних з використанням промислових комп'ютерних мереж**

#### **Мета роботи**

Навчитись вибирати та розробляти структуру передачі даних з використанням промислових комп'ютерних мереж.

#### **Теоретичні відомості**

Основним способом передачі сигналів в сучасних системах автоматизації є організація локальних обчислювальних мереж (ЛОМ). В автоматизованих системах управління технологічними процесами (АСУ ТП) використовуються промислові стандарти локальних обчислювальних мереж. ЛОМ дозволяє об'єднувати усі ТЗА та засоби управління і організувати багатосторонній обмін інформацією. При проектуванні АСУ ТП необхідно вибрати відповідний стандарт промислової ЛОМ та обладнання для її реалізації (мережеві адаптери, кабелі та провідники, концентратори, перетворювачі та підсилювачі, комунікаційні процесори і т.д.).

Промисловою мережею називають комплекс обладнання і програмного забезпечення, які забезпечують обмін інформацією (комунікацію) між декількома пристроями (різні датчики, виконавчі механізми, ПЛК) в рамках промислової автоматизованої системи. Промислова мережа є основою для побудови розподілених систем збору даних і управління на промислових підприємствах. Для позначення промислових мереж часто використовується термін *Fieldbus*, який використовується для позначення мереж нижнього та середнього рівня АСУ ТП.

На рівні автоматизованої системи управління підприємством (АСУ П) та автоматизованої системи управління виробництвом (АСУ В) промислові мережі можуть взаємодіяти зі звичайними комп'ютерними мережами, зокрема використовувати глобальну мережу Інтернет.

Промислові мережі використовуються для:

- передачі даних між датчиками, контролерами і виконавчими механізмами;

- діагностики і віддаленої конфігурації датчиків і виконавчих механізмів;

- калібрування датчиків;

- живлення датчиків і виконавчих механізмів;

- зв'язку та передачі сигналів між датчиками, виконавчими механізмами, ПЛК та АСУ ТП верхніх рівнів.

Основні особливості (властивості) більшості промислових мереж:

- спеціальне конструктивне виконання (захист від пилу, вологи, вібрації, ударів та ін.);

- широкий температурний діапазоном (зазвичай  $-40 \div +70$  оС);

- підвищена міцність кабелю, ізоляції, роз'ємів, елементів кріплення;

- підвищена стійкість до дії електромагнітних завад;

- можливість резервування для підвищення надійності;

- підвищена надійність передачі даних;

- можливість самовідновлення після збою;

- детермінованість (визначеність) часу доставки повідомлень;

- можливість роботи в реальному часі (з малою, постійною і відомою величиною затримки);

- використання довгих ліній зв'язку (від сотень метрів до кількох

кілометрів).

В Україні більшість АСУ ТП використовують мережі Profibus, Modbus та Industrial Ethernet. В останні роки також використовують мережі на основі CANopen і DeviceNet. Поширеність тієї чи іншої промислової мережі зв'язана з можливістю використовувати обладнання від різних виробників від яких залежатиме тип промислової мережі.

Вибір та використання промислових мереж пов'язана з: 1) використанням мережевих інтерфейсів, які є невід'ємною частиною пристроїв верхнього та нижнього рівня системи автоматизації, 2) мережевого програмного забезпечення прикладного рівня моделі OSI, 3) використання промислового контролерного обладнання.

З'єднання промислової мережі з її компонентами (пристроями, вузлами мережі) виконується за допомогою інтерфейсів.

Найбільш важливими параметрами інтерфейсу є пропускна здатність і максимальна довжина з'єднання.

Промислові інтерфейси зазвичай забезпечують гальванічну розв'язку між пристроями. На фізичному рівні промислові мережі використовують один зі стандартних послідовних промислових інтерфейсів RS-422, RS-232, RS-485, CL (Current Loop, струмова петля) та ін. Застосування цих інтерфейсів пов'язано організації зв'язку, їх поширеністю та можливістю використання на польовому рівні системи автоматизації. Для обміну інформацією взаємодіючі пристрої використовують однакові протоколи обміну даними.

*Промислові мережі Profibus* часто реалізуються на основі мереж з шинною топологією, а для передачі сигналів використовують екрановану скручену пару. Profibus є відкритою універсальною мережею, яка відповідає міжнародним стандартам IEC 61158 і IEC 61784. Різновиди інтерфейсів Profibus:

- FMS - призначений в основному для зв'язку ПЛК один з одним, модулями вводу/виводу та станціями оператора (АРМ) на верхньому рівні для передачі великих обсягів інформації;

- DP - для роботи у реальному часі. Використовується для керування датчиками, приводами та виконавчими механізмами через централізований пристрій керування (ПЛК).

- PA - для використання у небезпечних/вибухонебезпечних зонах. Фізичний рівень (кабель передачі даних) Profibus дозволяє передачу даних по ньому до виробничого обладнання, та здійснює обмеження сили струму для запобігання вибухонебезпечних ситуацій. Це накладає обмеження на кількість підключених приладів.

Мережа Profibus застосовуються на польовому рівні, наприклад, з контролерами фірми Siemens серії Simatic S7. Також, для об'єднання розподілених модулів ПЛК Simatic S7-400 теж використовують мережу Profibus DP/PA.

Через Profibus виконується обмін даними між системами автоматизації і інтелектуальними приладами вводу/виводу, датчиками та виконавчими пристроями. Мережі Profibus польового рівня можуть прокладатися, як у звичайних умовах так і в умовах Ex-зон (до Ex-зони 1 включно).

Інтерфейс Profibus часто використовують для заміни аналогових інтерфейсів, що використовують стандартні сигнали 4-20мА. Для комутації пристроїв підключених по інтерфейсу Profibus використовується скручена пара, яка одночасно використовується, як для інформаційного обміну так і для подачі живлення до “польових” пристроїв. Приклад застосування мережі Profibus PA/DP на основі шинної топології RS 485-iS показано на рис. 8.1.

Мережа Profibus PA - це розширення базового протоколу Profibus в частині організації передачі у вибухонебезпечних середовищах. Вона може використовуватися для заміни аналогової технології 4-20 мА.

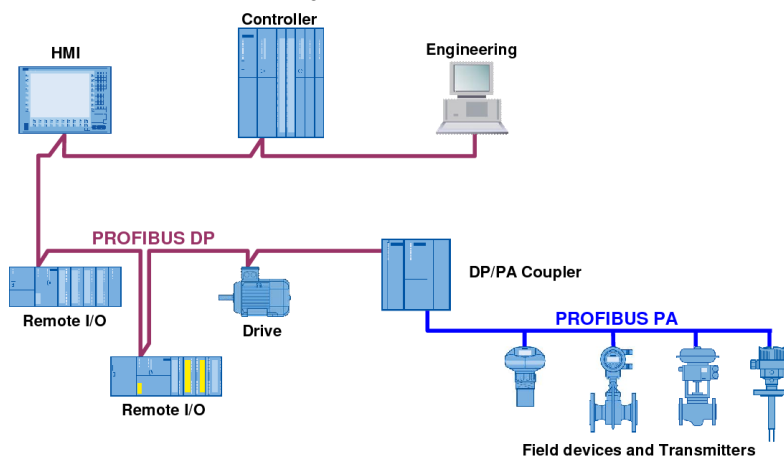


Рис. 8.1. Застосування мережі Profibus PA/DP на основі шинної топології RS 485-iS

*Промислова мережа Modbus* використовує комунікаційний протокол, заснований на технології master-slave. Широко застосовується в промисловості для організації зв'язку між різними пристроями, як нижнього так і верхніх рівнів АСУ ТП. Може використовувати для передачі даних через послідовні лінії зв'язку RS-485, RS-422, RS-232, а також мережі TCP/IP (Modbus TCP). Modbus був розроблений компанією Modicon (Schneider Electric) для використання у відповідних контролерах з програмованою логікою.

Фізична реалізація мережі Modbus здійснюється на основі трьохпровідної схеми. Передача даних здійснюється на основі шинної топології RS-485, в кінці шини ставляться термінатори, які можуть реалізуватися у вигляді опору 150 Ом з напругою живлення 5 В.

*Industrial Ethernet (промисловий Ethernet)* — це мережева технологія за протоколом Ethernet, який адаптований з метою застосування у промислових умовах для автоматизації та керування технологічними процесами. Мережа промислового рівня Industrial Ethernet застосовується в якості звичайної мережі, а також в якості мережі терміналів в багатокористуватських системах з клієнт/серверною архітектурою.

В невеликих системах підключення поодиноких станцій/серверів до мережі заводського рівня виконується через інтерфейс ВСЕ (Basic Process Communication). На підприємствах середнього та великого розміру Industrial Ethernet функціонує, як вискоелективна система промислового зв'язку зі швидкістю обміну даними 10, 100, 1000 Мбіт/с, з надійним захистом даних.

У Industrial Ethernet на фізичному рівні для передачі даних використовуються різні види каналів зв'язку:

1. На основі скрученої пари FC TP (Fast Connect twisted pair) — використовується для організації каналів зв'язку для офісних застосувань з можливістю використання в промислових умовах.

2. На основі промислових скручених пар ІТР (Industrial Twisted Pair), що дозволяє створювати канали зв'язку з підключенням через з'єднувачі D-типу. Довжина лінії зв'язку може досягати 100 м.

3. Оптичні канали зв'язку використовуються для побудови резервованих кільцевих топологій мережі. Виконуються оптоволоконним кабелем, не зазнають впливу електромагнітних полів і не потребують використання додаткової ізоляції.

4. Бездротові канали зв'язку використовуються для побудови локальних мереж. Компоненти бездротових мереж відповідають вимогам стандарту IEEE 802.11b і забезпечують можливість передачі даних зі швидкістю 1...11 Мбіт/с. Доступ через бездротові канали до локальної мережі Industrial Ethernet здійснюється через модулі RLM (Radio Link Module).

5. Комбіновані системи використовуються для поєднання різних видів каналів зв'язку. Узгодження різних видів каналів зв'язку між собою, що працюють з різними швидкостями передачі (10/100) забезпечують Industrial Ethernet Switches та медіаконвертери.

Використання Industrial Ethernet у промисловій автоматизації здійснюється за допомогою мережевих ліній (кабелів), з'єднувачів (конекторів) та мережного обладнання (концентратори, комутатори, мости, тощо), які здатні працювати у промислових умовах експлуатації.

Особливості застосування Industrial Ethernet:

- великі розміри обслуговування поряд з низькою густиною підключення активного обладнання;
- складна електромагнітна обстановка;
- складні умови навколишнього середовища (кліматичні, механічні та хімічні впливи);
- застосування мережних пристроїв зі швидкостями передачі інформації вище 100 Мбіт/с
- підключенні до інформаційної системи контролерів, комутаторів, перетворювачів частоти та інших активних пристроїв, розміщених на різних механізмах;
- застосування активного обладнання для побудови різнорідних промислових мереж.

### **Програма роботи**

1. Проаналізувати розроблену схему автоматизації технологічного процесу.

2. Виконати обґрунтований вибір промислової ЛОМ та обладнання для її реалізації (мережеві адаптери, кабелі та провідники, концентратори, перетворювачі та підсилювачі, комунікаційні процесори і т.д.).

### **Порядок виконання роботи**

1. Розглянути основні типи та характеристики промислових локальних мереж та особливості їх вибору з теоретичних відомостей.

2. За схемою автоматизації та за загальною структурою автоматизації, що розроблена у попередніх лабораторних

роботах визначити архітектуру системи автоматизації (локальна, клієнт-серверна, розподілена)

3. На основі вибраних у попередніх лабораторних роботах технічних засобів автоматизації, програмованого-логічного контролера та інших засобів автоматики, що використовуються на різних ієрархічних рівнях системи управління вибрати тип промислової мережі.

4. Виконати вибір обладнання для фізичної реалізації промислової мережі (мережеві адаптери, кабелі, провідники, концентратори, перетворювачі, підсилювачі, комунікаційні пристрої та ін.) та надати перелік у вигляді специфікації.

5. Виконати обґрунтування та остаточний вибір промислової мережі та повного комплекту обладнання для її організації з каталогів виробників.

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;
- опис та обґрунтування вибраної промислової локальної мережі;
- перелік компонентів фізичного рівня у вигляді специфікації;
- висновок.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке промислові локальні мережі і для чого вони призначені?

2. Які промислові мережі найбільш поширені на Українських підприємствах?

3. Яке призначення промислових мереж АСУ ТП?

4. Що потрібно проаналізувати для обґрунтованого вибору структури та типу промислової мережі?

5. Яка особливість промислової мережі Profibus?

6. Яка особливість промислової мережі Modbus?

7. Яка особливість промислової мережі Industrial Ethernet?



## **Лабораторна робота 9**

### **Розробка алгоритмів керування та створення програм для програмованих-логічних контролерів**

#### **Мета роботи**

Навчитись розробляти алгоритми керування та створювати програми для ПЛК мовою FBD в середовищі LOGO!Soft Comfort.

#### **Теоретичні відомості**

У відповідності до міжнародного стандарту IEC-1131.3 (МЕК 6-1131/3) програмування ПЛК здійснюється на таких мовах:

графічні

- SFC (Sequential Function Chart) послідовні функціональні схеми;

- LD (Ladder Diagram) релейні діаграми;

- FBD (Function Block Diagram) функціональні блокові діаграми;

текстові

- ST (Structured Text) структурований текст;

- IL (Instruction List) інструкції.

Використання даного стандарту відповідає концепції відкритих систем, тому його застосування дає змогу розробляти програми для ПЛК незалежно від: конкретного устаткування, типу процесора, операційної системи та модулів вводу-виведення.

Найбільшого застосування здобули мови: LD (Ladder Diagram) для релейно-контактних схем та FBD (Functional Block Diagram) мова функціональних блокових діаграм.

Мова FBD (Function Block Diagram) - графічна мова програмування високого рівня, яка дозволяє створювати програми, як набір функцій, процедур та функціональних блоків, входи та виходи яких зв'язані між собою інформаційними зв'язками. У загальному, FBD нагадує функціональну структуру, де кожна функція виконується з урахуванням роботи іншої функції.

Особливість мови програмування FBD: 1) є графічною і базується на використанні потоків даних; 2) функціональні блоки з'єднуються за допомогою входів/виходів; 3) послідовність

виконання команд зверху-вниз та зліва-направо; 4) легка та інтуїтивно зрозуміла для сприйняття.

Основними елементами програми є FFB (функції, процедури та функціональні блоки) та зв'язки, що поєднують ці елементи між собою. Графічно в редакторі FBD ці елементи зображені у вигляді прямокутників з входами і виходами. Загальний вигляд програми на мові FBD наведений на рис. 9.1.

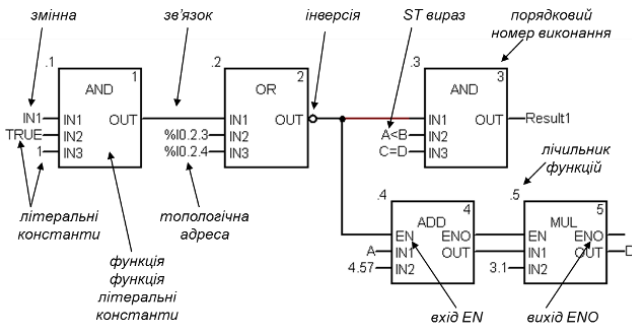


Рис. 9.1. Приклад фрагменту програми на мові FBD

Входи FFB є вхідними формальними параметрами, а виходи – вихідними. У якості фактичних параметрів на входи можна подавати змінні, топологічну адресу, літеральні константи, результат записаного ST виразу або зв'язок з виходом іншого FFB.

Булеві та числові входи FFB можуть бути зв'язані з однотипними виходами інших FFB, організовуючи таким чином FBD ланцюги (Networks). У одній секції може бути декілька FBD ланцюгів. На рис. 9.1 показано тільки один ланцюг. Зв'язки забезпечують передачу розрахованих вихідних значень FFB на прив'язані до них входи інших FFB.

Один вихід FFB може бути зв'язаний з декількома входами FFB, формуючи таким чином розгалуження. Так, на рис. 9.1 вихід OUT функції OR ("2"), з'єднаний одночасно з входом IN1 функції AND та входом EN функції ADD.

Один вхід безпосередньо можна зв'язати тільки з одним виходом іншого FFB. Типи входів та виходів повинні співпадати.

Булеві входи та виходи можуть бути інвертовані, що позначається кружком.

Кожний FFB в межах секції повинен мати унікальну назву. При встановленні в FBD секції функції або процедури, вони отримують унікальний в межах секції ідентифікатор – лічильник. Елементарні та похідні функціональні блоки ідентифікуються іменем екземпляру.

Крім того, FFB має порядковий номер виконання, який встановлюється автоматично FBD редактором у залежності від: розміщення його в ланцюгу (найвищий пріоритет), взаємного розміщення ланцюгів в секції, взаємного розміщення прив'язаних входів та ін. Дозволяється явно змінювати послідовність виконання, якщо це не суперечить послідовності у ланцюгу.

Для зміни послідовності виконання програми користувача програмним шляхом можна використовувати мітки (Label) та переходи по міткам (Jump). Мітку можна розмістити тільки з лівого краю. На перетині з міткою не повинно бути жодних елементів чи зв'язків.

Крім переходів по мітках можна викликати підпрограми, використовуючи спеціальний елемент “SR”. Якщо підпрограма пишеться на FBD, то для дострокового її завершення використовується елемент повернення з підпрограми <R>.

Вхід EN для FFB дає можливість управляти виконанням даного блока, а вихід ENO для контролю за виконанням. Так наприклад, у фрагменті програми, зображеному на рис. 9.1, функції ADD (додавання) та MUL (множення) будуть виконуватися тільки в тому випадку, коли на виході функції OR буде логічний нуль (зверніть увагу на інверсію). Параметри EN/ENO є опціональними і можуть бути показані/сховані у редакторі FBD.

Для розробки програм мовою FBD використовується спеціальне середовище, яке дозволяє створювати програму, редагувати її та виконувати симуляцію. У даній лабораторній роботі розглядається приклад використання середовища LOGO!Soft Comfort, яке спеціально розроблено для програмування контролерів Simens Logo! У випадку використання контролерів іншого виробника та типу, можливо,

потрібно буде використовувати інше середовище, наприклад, середовище програмування UNITY PRO, яке використовується для написання програм контролерів Modicon від Schneider Electric.

Для прикладу розробки алгоритмів керування та написання програми для контролера (ПЛК Simens Logo!) розглянемо схему автоматизації (рис. 9.2), яка складається двох теплових вузлів, кожен з яких має по 4 контури регулювання температури (температура димових газів на вході, температура димових газів на виході, температура води на вході в тепловий вузол, температура води на виході). Також дана схема автоматизації має контур регулювання тиску води на вході в тепловий вузол та контур регулювання тиску води на виході. Тиск води регулюється включенням та виключенням насосів.

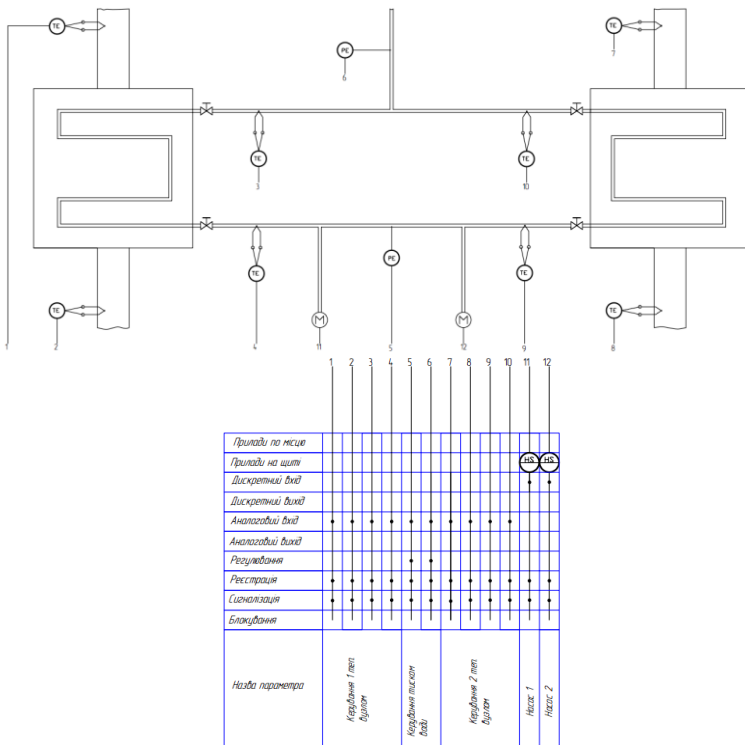


Рис. 9.2. Схема автоматизації теплового вузла

Проаналізувавши дану схему розглянемо процес створення програми для ПЛК Siemens Logo! контуру регулювання тиску води на вході в теплові вузли (позначено цифрою 5). В цьому контурі в якості чутливого елемента використовується датчик тиску (0...10 bar) з аналоговим сигналом 4...20 мА. В якості регулятора тиску та температури використовується ПЛК Siemens LOGO! з відповідними модулями, а в якості виконавчого механізму – насос, який підтримує необхідний тиск в системі.

Розробка програми мовою FBD виконуємо в середовищі LOGO!Soft Comfort. Створення програми відбувається шляхом простого розташування і з'єднання програмних елементів на робочому полі (поверхні) програмування. Також в LOGO!Soft Comfort є зручний інструмент - симуляція програм у режимі Offline, за допомогою якого можна одночасно подивитися статус елементів програми, а також її роботу в цілому.

На початку створюємо новий проект та вибираємо мову за допомогою, якої розроблятимемо програму, у нашому випадку це - FBD (рис. 9.3).

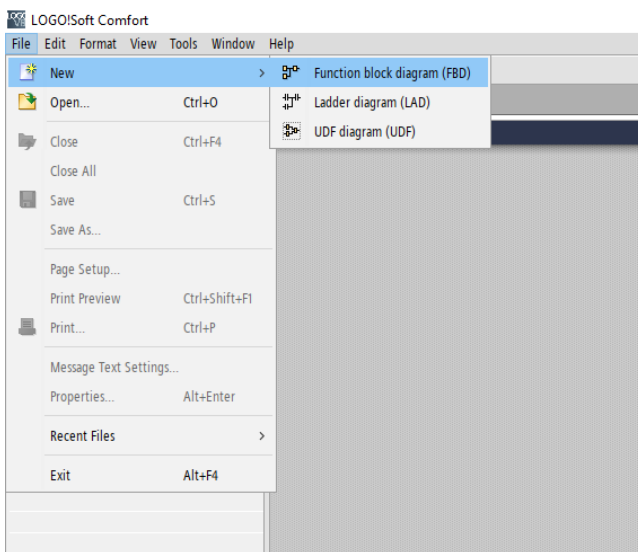


Рис. 9.3. Початкове вікно LOGO!Soft Comfort

Перший крок створення FBD-програми полягає у виборі необхідних функціональних блоків для реалізованого алгоритму схеми. Ці блоки можна вибрати на панелі програмування (рис. 9.4). У нашому прикладі, на початку ми додаємо аналоговий вхід.

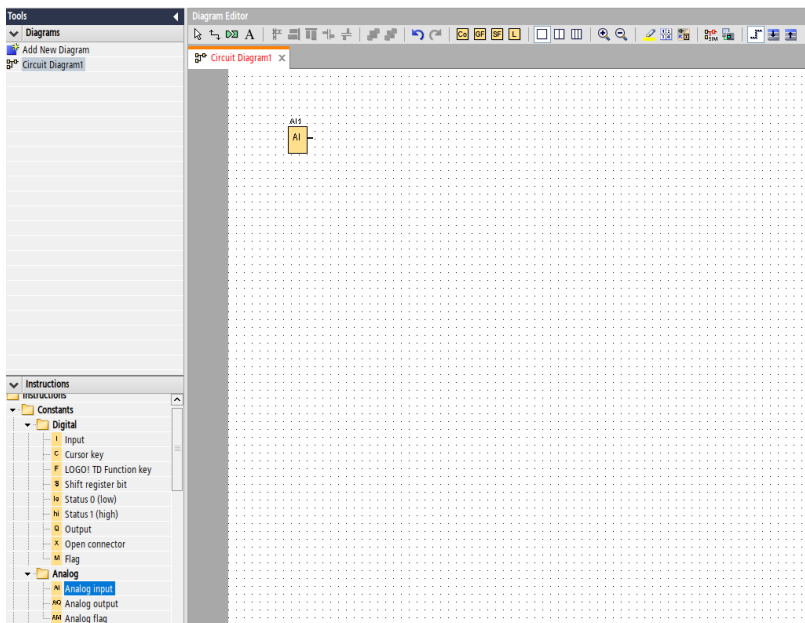


Рис. 9.4. Зовнішній вигляд робочого поля LOGO!Soft Comfort з доданим FBD-блоком

Після цього додаємо блок *analog amplifier* який призначений для нормалізації (приведення до нормуючого значення) аналогового сигналу (рис. 9.5).

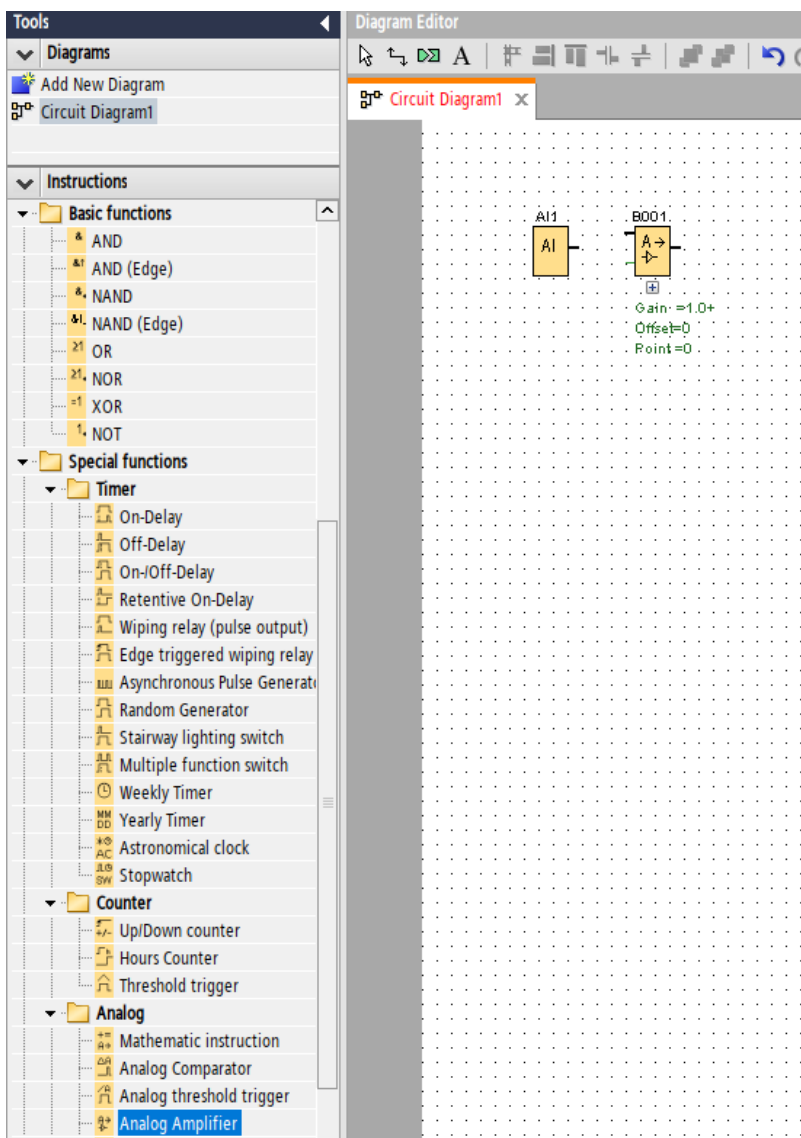


Рис. 9.5. Вибір та додавання блоку *Analog Amplifier* для нормалізації сигналу

Для виведення детальної інформації про кожен блок можна використовувати підказку, яка викликається натиснувши правою кнопкою миші (ПКМ) на відповідний блок та натиснути команду Help (рис. 9.6).

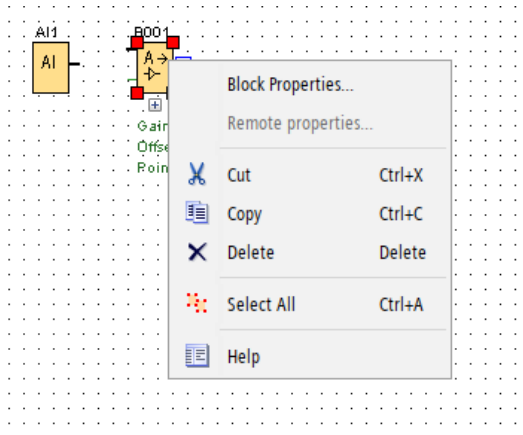


Рис. 9.6. Виклик довідкової інформації по кожному блоці

Після вибору блоку потрібно його налаштувати за допомогою меню, що приведено на рис. 9.7. Активація меню відбувається за допомогою подвійного натискання лівою кlawішею миші (ЛКМ). Обираємо сигнал датчика в вкладці *Sensor*, ставимо межу вимірювання у вкладці *Measurement Range*, переносимо плаваючу кому у вкладці *Decimal places*, щоб датчик (0...10 bar) показував не від 0 до 1000, а від 0 до 10.00.



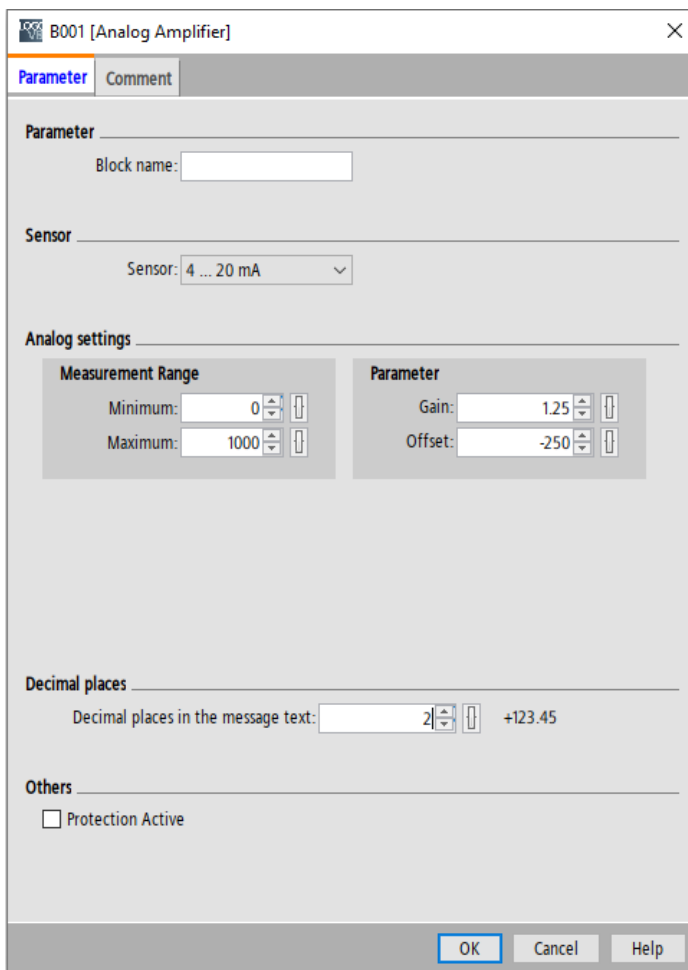


Рис. 9.7. Меню налаштування блоку *Analog Amplifier*

Після цього додаємо аналоговий вихід так, як це показано на рис. 9.8.

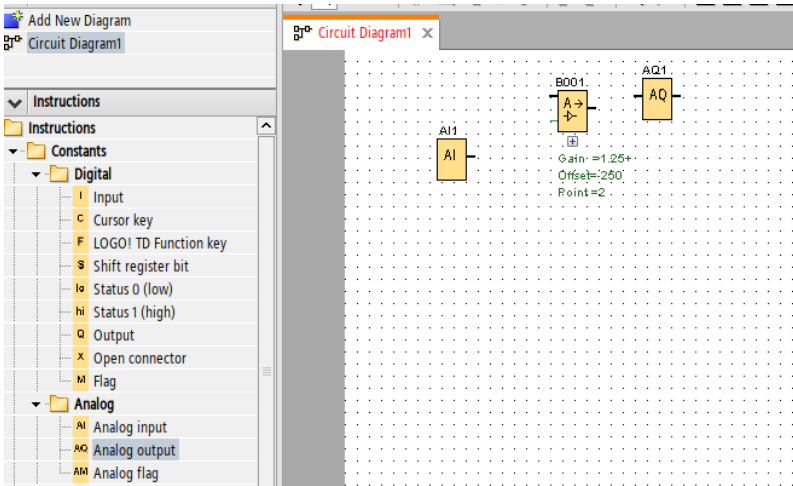


Рис. 9.8. Додавання аналогового виходу

Також додаємо та налаштуємо аналоговий пороговий вимикач *Analog threshold trigger*, який буде вмикати насос для підтримки тиску в системі – 4 бар (рис.9.9).

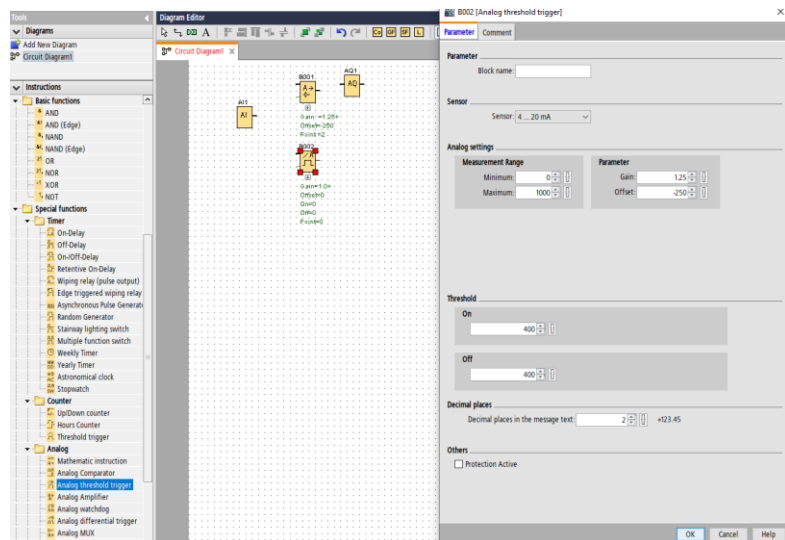


Рис. 9.9. Додавання та налаштування аналогового порогового вимикача *Analog threshold trigger*

Далі додаємо блоки *NAND* (логічний елемент НЕ-І), High (являє собою булеву 1) та дискретний вихід *Q1* який відповідає за включення і виключення насосу (рис. 9.10).

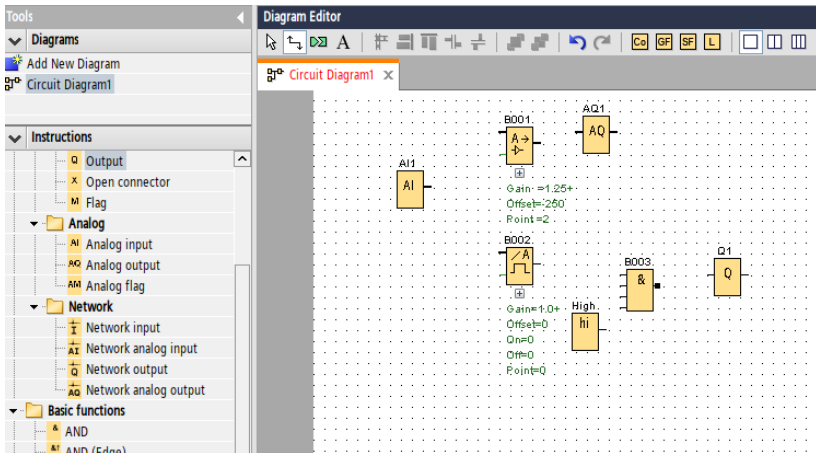


Рис. 9.10. Додавання окремих блоків на робоче поле середовища програмування

Після цього, проводимо з'єднання всіх доданих блоків (рис. 9.11). Зокрема, з'єднання у вигляді товстої лінії вказує на аналоговий сигнал, а тонкою на дискретний.

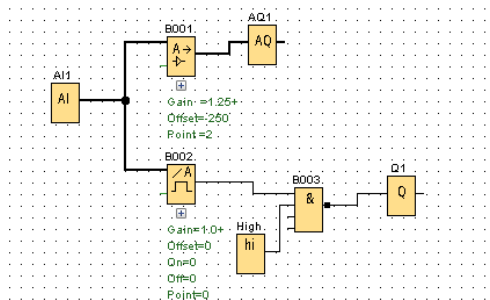


Рис. 9.11. З'єднання доданих блоків

Формуємо текстове повідомлення (рис. 9.12), яке буде створюватися у процесі роботи даного контуру та налаштуємо його виведення (рис. 9.13, а, б, в).

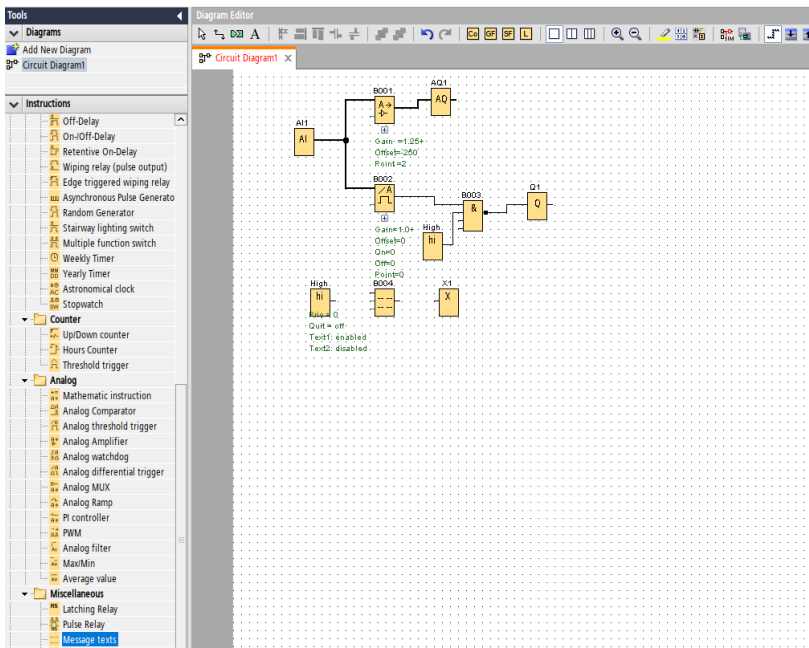
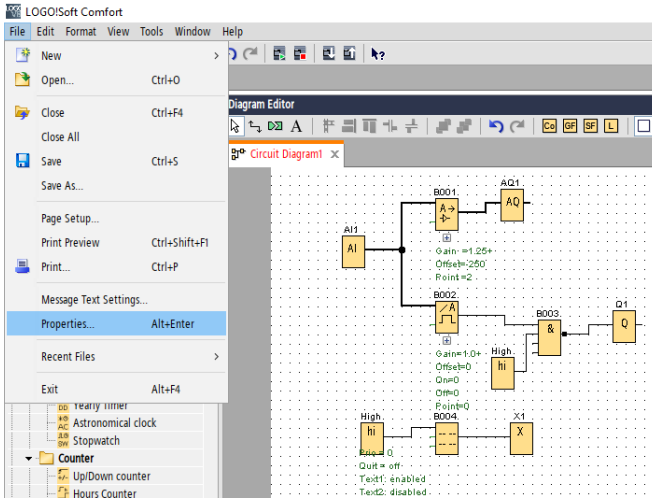
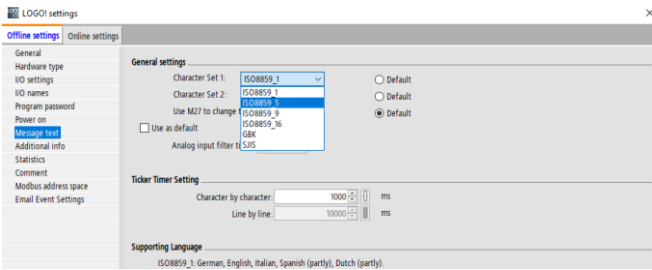


Рис. 9.12. Вигляд FBD програми з формування текстового повідомлення

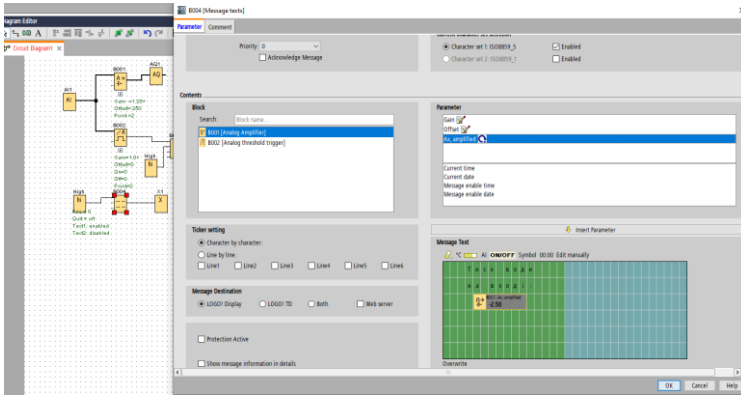
За допомогою контекстного меню *Properties...* (рис. 9.13, а, б) вибираємо мову виведення сигналу, у нашому випадку це українська мова вказуючи її шифр (*ISO 8859\_5*) та формуємо саме текстове повідомлення, так як показано на рис. 9.13, в.



a



б



в

Рис. 9.13. Налаштування та виведення текстового повідомлення

Після цього перевіряємо працездатність системи в режимі симуляції натиснувши кнопку *F3* і переконуємося, чи все правильно працює (рис. 9.14).

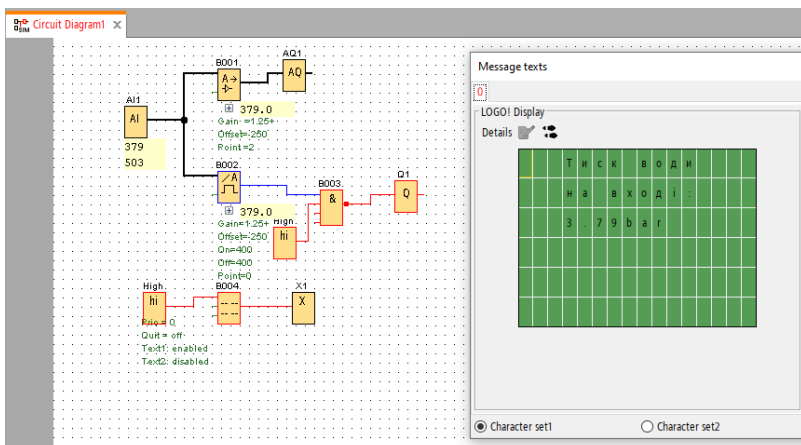


Рис. 9.14. Перевірка розробленої програми в режимі симуляції

У кінцевому результаті отримуємо заключний фрагмент програми, який відобразить відповідний тиск та вмикатиме у роботу насос при його зміні (рис. 9.15).

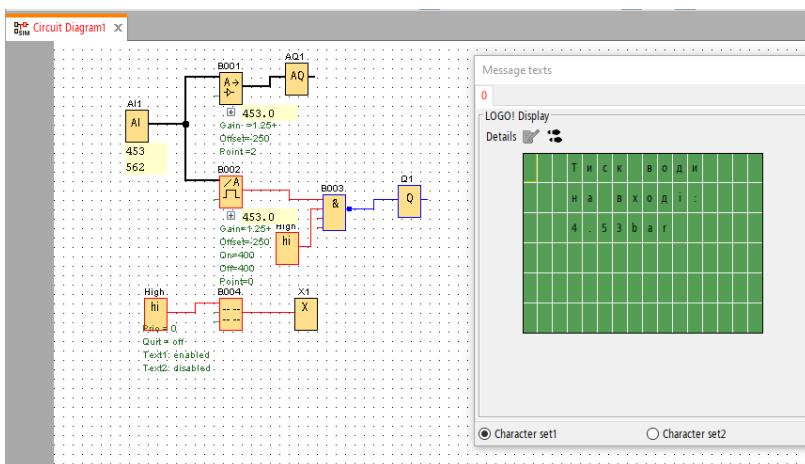


Рис. 9.15. Зовнішній вигляд готової програми мовою FBD

## **Програма роботи**

1. Проаналізувати розроблену схему автоматизації та обрати контури регулювання для яких розроблятиметься програма.

2. Розробити програму регулювання обраного контуру мовою FBD в середовищі LOGO!Soft Comfort.

## **Порядок виконання роботи**

1. За схемою автоматизації та за загальною структурою автоматизації, що розроблена у попередніх лабораторних роботах визначити контури регулювання та алгоритми регулювання, які будуть реалізовуватися за допомогою регулюючого пристрою та для якого буде створюватися програма/ми.

2. Виконати детальний аналіз схеми автоматизації, вибрати один з контурів регулювання та визначити всі його складові: чутливий елемент (датчик), перетворюючий пристрій (якщо є), регулюючий пристрій (контролер), виконавчий механізм з регулюючим органом та ін., а також параметри регулювання, які потрібно задати у програму регулювання цього контуру.

3. Розробити програму керування вибраного контуру.

*Зауваження.* В даній лабораторній роботі в якості регулюючого пристрою вибрано ПЛК Siemens LOGO! і відповідне для нього середовище програмування LOGO!Soft Comfort. Якщо у вашій системі автоматизації використовується інший ПЛК, тоді потрібно вибрати відповідне програмне середовище та за допомогою його, по аналогії з розглянутим у теоретичних відомостях прикладом розробити програму керування на мові FBD для даного ПЛК.

4. Встановити та ознайомитись з середовищем програмування мовою FBD. У даній лабораторній роботі використовується середовище LOGO!Soft Comfort від Simens.

5. Розробити програму контуру регулювання мовою FBD в середовищі LOGO!Soft Comfort.

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;
- вихідну технологічну схему та її опис;
- опис алгоритмів регулювання;
- виконану програму мовою FBD та основні скріншоти її формування;
- розрахунок робочих параметрів регулюючих органів;
- висновок.

### **Контрольні запитання.**

1. Які мови використовуються для програмування ПЛК?
2. Яке призначення мови FBD?
3. Наведіть приклад фрагменту програми на мові FBD.
4. Яка особливість середовища програмування LOGO!Soft Comfort?
5. Як додаються блоки в середовищі програмування LOGO!Soft Comfort і як задаються їхні параметри?
6. Яким чином формується аналоговий та дискретний сигнал для передачі даних між блоками в середовищі LOGO!Soft Comfort?
7. Яким чином формуються текстові повідомлення в середовищі LOGO!Soft Comfort?
8. Як відбувається додавання та формування типів блоків у середовищі LOGO!Soft Comfort?



## **Лабораторна робота 10**

### **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 пропускної 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; транспортерні 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.* Спочатку вибирають 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  $\Delta P_{po}$  і пропускної здатності  $k_v$  відбувається за рахунок зміни прохідного перетину в залежності від лінійного  $h$  або кутового ходу  $\alpha$  рухомої частини затвора (клапана, плунжера, заслінки тощо).

*Пропускна здатність*  $k_v$ , м<sup>3</sup>/год. регулюючого органу відповідає витраті води через нього під дією різниці тисків (0,1 МПа). При максимальному ході (умовному ході) штока  $h_s$  (або  $\alpha_s$ ) величина  $k_v$  є максимальною і носить назву *умовної пропускної здатності* -  $k_{vs}$ . У безрозмірному вигляді *відносна пропускна здатність* -  $k_v/k_{vs}$ . Якщо її визначають у залежності від ступеня відкриття  $h/h_s$  (або  $\alpha/\alpha_s$ ), 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. 10.1 показані найбільш поширені типи

РО для рідинного регулювального середовища. Для сипучого та іншого типу регулювального середовища використовують 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  $60^\circ$  до повного відкриття  $90^\circ$  вони, як правило, не здійснюють суттєвого регулюючого впливу. Тому при налаштуванні виконавчого механізму необхідно узгодити повний хід виконавчого механізму з робочим ходом РО.

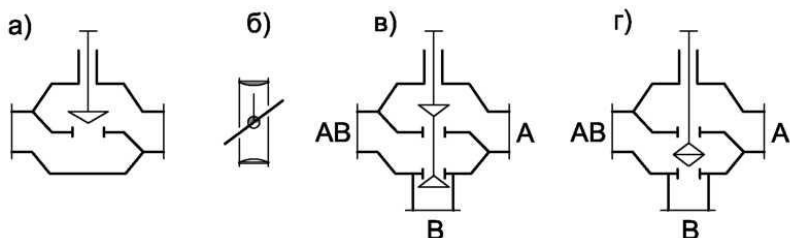


Рис. 10.1. Типи регулюючих органів для рідин: а) двоходовий (прохідний) сідловий; б) поворотна заслінка; в), г) триходовий

Регулюючі органи, які в процесі регулювання мають рівновідсоткову характеристику є найбільш універсальними, тому вони можуть застосовуватися в умовах розгалуженої трубопровідної 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  $\Delta P_{PD}$  ( $\Delta P_{PV}$ ) зберігається постійним у процесі регулювання і витрачається на подолання опору споживача  $\Delta P_{спож.}$  і на опір регулюючого органу  $\Delta P_{PO}$ .

Гідравлічний розрахунок регульованої ділянки виконується на розрахункову витрату рідини  $G_{max}$  при повному відкритті РО, опір якого становить  $(\Delta P_{PO})_{min}$ . 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 регулювальних 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.10.2 і 10.3 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. 10.4 та 10.5 – для регулюючої поворотної заслінки і запірно-регулюючої заслінки типу ГЕРЦ (Herz) (рис. 10.6). Розрахунок витратних характеристик виконувався для умови постійного перепаду тиску в системі.

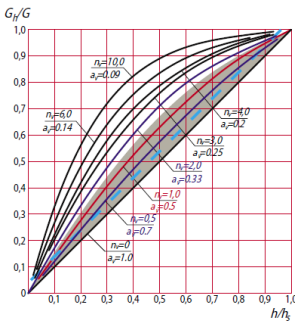


Рис. 10.2. Витратні характеристики РО з лінійною пропускною здатністю

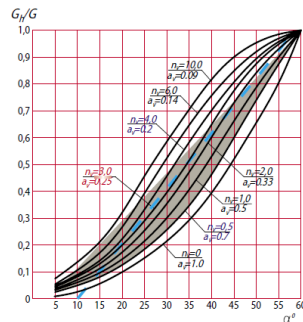


Рис. 10.3. Витратні характеристики РО типу поворотна заслінка

Таким чином при виборі РО можна прослідкувати форми витратних характеристик, які близькі до лінійних (рис. 10.2 – 10.5) виділені затонованою 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.

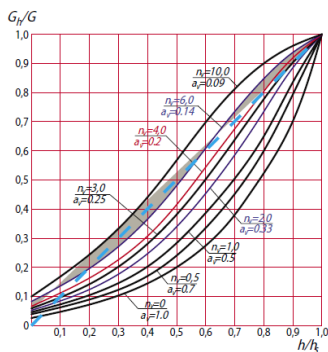


Рис. 10.4. Витратні характеристики РО з рівнопроцентною пропускною здатністю

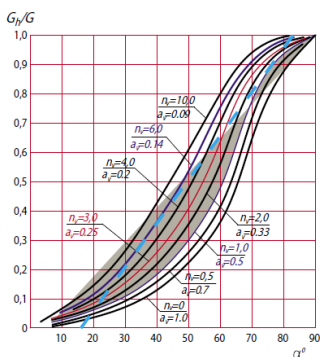
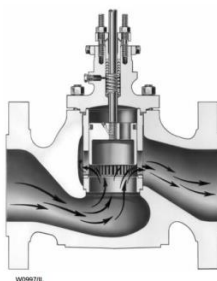


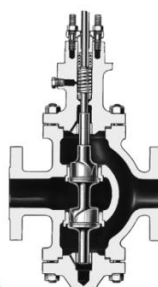
Рис. 10.5. Витратні характеристики РО типу ГЕРЦ 4219



а)



б)



в)

Рис. 10.6. Запірно-регулювальна заслінка ГЕРЦ (а), регулюючий клапан з рівнопропорційною пропускною характеристикою (б, в)

Регулюючі клапани з рівнопропорційною пропускною

характеристикою застосовують для регулювання тепловіддачі різних теплообмінників (див. рис. 10.6, 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. 10.5) і регулюючого клапана з рівнопропорційною пропускною характеристикою (рис. 10.4) 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 клапана буде забезпечувати найякісніше регулювання:

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

- клапани 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 трубопроводної мережі забезпечує практично лінійну витратну характеристику регулюючого органу при значно більш низькому розрахунковому значенні  $\Delta P_{PO}$ , ніж при лінійній пропускній характеристиці. Лінійна пропускна характеристика зручна при необхідності використання регулюючих органів з високим значенням розрахункового опору  $\Delta P_{PO}$ . Ту чи іншу характеристику необхідно вибрати 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  $\Delta P_{PD}$  ( $\Delta P_{PY}$ );
- 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  $\Delta P_{PD}$ ;
- 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  $\Delta P_{PD}$ , 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)  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> при  $T_1$ , визначається з довідкових даних, або з карти технологічних параметрів.

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

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

Необхідне значення авторитету клапана  $a_{v \text{ необх.}}$  визначається за формулою:

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

У відповідності до умов, викладених вище за значенням  $a_{v \text{ необх.}}$  вибирається тип РО і необхідна форма його пропускної характеристики з рис. 10.2 – 10.5.

Необхідна розрахункова умовна пропускна здатність РО  $k_{vs \text{ необх.}}$ , м<sup>3</sup>/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  $k_{vs}$ , м<sup>3</sup>/год відповідатиме умові

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

Розрахунковий перепад тиску РО  $\Delta P_{PO}$ , 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  $\Delta P_K$ , Па, при якому виникає кавітація за виразом:

$$\Delta P_K = k_K (P_1 - P_n) 10^6$$

де  $k_K$  - коефіцієнт початку кавітації.

Слід вибирати РО з більш високими значеннями коефіцієнта початку кавітації  $k_K$  за табл. 10.1, або за технічними каталогами.

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.



Табл. 10.1

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 $\alpha=60^\circ$

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 є, то визначається з довідкових даних, або з карти технологічних параметрів);
- густина рідини (наприклад води)  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> 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 пропускну характеристики (лінійна, рівнопроцентна або інша) та визначаємо авторитет клапана  $a_v$  *необх.*

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

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

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

$$\Delta P_{pд} = \Delta P_{pо} + \Delta P_{спож}$$

Вибір типорозміру РО завершений, якщо в результаті виконаних розрахунків виконується умова  $\Delta P_{pо} < \Delta P_k$ . 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  $D_y$ , р 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 іншого типу, наприклад: шибер, 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;
- вихідну технологічну схему 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.

## Лабораторна робота 11 Вибір SCADA-системи

### Мета роботи

Навчитись виконувати обґрунтований вибір SCADA-системи.

### Теоретичні відомості

У сучасних системах автоматизації технологічних процесів взаємодія між оператором, який знаходиться на верхньому рівні управління і технологічним обладнанням та пристроями автоматики, які знаходяться на нижніх рівнях управління, здійснюється за допомогою спеціального програмного забезпечення АСУ ТП верхнього рівня, яке називають SCADA-системою.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – система супервізорного керування і збору даних або система керування і моніторингу, яка вміщує програмно-апаратні засоби, що взаємодіють між собою через комп'ютерні мережі.

Більшість SCADA-систем виконують такі основні функції:

- збір інформації про контрольовані технологічні параметри від контролерів нижніх рівнів і датчиків;
- збереження прийнятої інформації та її архівування;
- графічне представлення перебігу ТП та архівної інформації в зручній для сприйняття формі;
- сприйняття команд оператора і передача їх на контролери нижніх рівнів і виконавчі механізми;
- реєстрація подій, пов'язаних з ТП та дій обслуговуючого персоналу;
- оповіщення експлуатаційного і обслуговуючого персоналу про виявленні аварійні події з реєстрацією дій персоналу;
- відображення архівної інформації у різних формах з метою аналізу порівняння;
- організація зв'язку багаторівневої системи керування.

В основному, SCADA-системи складаються з таких підсистем:

1. Драйвери або сервери введення-виведення — програми, що забезпечують зв'язок SCADA з промисловими контролерами, перетворювачами та іншими пристроями введення-виведення

інформації.

2. Диспетчерська система (головний термінал) (MTU англ. Master Terminal Unit) — збирає дані про процес і відправляє команди процесору (керування).

3. Програмований логічний контролер (PLC англ. Programmable Logic Controller) використовується як польовий пристрій з яким здійснюється зв'язок.

4. Комунікаційна інфраструктура (CS англ. Communication System) використовується для реалізації промислової мережі.

5. Система реального часу — програма, що забезпечує обробку даних в межах заданого часового циклу з урахуванням пріоритетів.

6. Людино-машинний інтерфейс (НМІ англ. Human Machine Interface) — інструмент, який подає дані про хід процесу людині операторові, що дозволяє йому контролювати процес і управляти ним.

7. Абонентський кінцевий блок (віддалений термінал) (RTU англ. Remote Terminal Unit), що під'єднується до датчиків процесу, перетворює сигнал з датчика в цифровий код і відправляє дані в диспетчерську систему.

8. Програма-редактор для розробки людино-машинного інтерфейсу.

9. Система логічного управління — програма, що забезпечує виконання призначених для користувача програм (скриптів) логічного управління в SCADA-системі. Набір редакторів для їх розробки.

10. База даних реального часу — програма, що забезпечує збереження історії процесу в режимі реального часу.

11. Система управління повідомленнями — програма, що забезпечує автоматичний контроль технологічних подій, віднесення їх до категорії звичайних, попереджувальних та аварійних, а також обробку цих подій.

12. Генератор звітів — програма, що забезпечує створення призначених для користувача звітів про технологічні події. Набір редакторів для їх розробки.

13. Зовнішні інтерфейси — стандартні інтерфейси обміну даними між SCADA та іншими додатками. Зазвичай OPC, DDE, ODBC, DLL і т. д.

Архітектура сучасних SCADA-систем буває: автономною, клієнт-серверною та розподіленою.

*Автономні.* При використанні даної архітектури система складається з однієї або декількох робочих станцій оператора, що не пов'язані одна з одною. Всі функції системи виконуються за допомогою декількох незалежних станцій.

*Клієнт-серверні.* Основні функції виконуються на сервері, а оператори використовують клієнтські станції для моніторингу та управління процесом. Високонадійні системи будуються на базі подвійного або потрійного резервування серверів і дублювання клієнтських станцій оператора, дублювання здійснюється підключенням до мережі сервер-сервер і клієнт-сервер. При даній архітектурі є можливість поділу функцій SCADA-системи між серверами. Наприклад, збір даних і управління ПЛК виконується на одному сервері, архівування даних — на другому, а взаємодія з клієнтами — на третьому.

*Розподілені.* У цій архітектурі задачі управління та візуалізації здійснюються на декількох взаємопов'язаних обчислювальних пристроях, часто з функцією взаємного резервування. Розподілені SCADA-системи з взаємним резервуванням відрізняються підвищеною надійністю.

В кожній SCADA-системі існує графічний об'єктно-орієнтований редактор з набором анімаційних функцій. У більшості SCADA-систем динамізація зображень реалізована на основі bmp-файлів. Деякі системи використовують векторну графіку та мета-файли (з розширенням wmf), це дає можливість здійснювати широкий набір операцій над будь-яким об'єктом і швидко оновлювати зображення на екрані.

Загальний вигляд графічного людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ) суттєво залежить від типу технологічного процесу, прийнятих стандартів (корпоративних, галузевих) на побудову автоматизованих систем та індивідуальних потреб замовника. Існують типові підходи до розробки графічного інтерфейсу на базі АРМ.

Графічна підсистема АРМ оператора має багатовіконний інтерфейс з можливістю відображення у вікнах сторінок процесу, трендів, тривоги та іншої службової інформації. Для складних технологічних процесів, вся доступна інформація не може

вміститися в одному вікні, в один момент відображається тільки одна сторінка процесу.

Залежно від термінології прийнятої для вибраної SCADA/HMI сторінки, які призначені для відображення технологічного процесу або його частини, часто називають мнемосхемами. Приклад загального вигляду екрану людино-машинного інтерфейсу SCADA-системи Vijeо Citect показано на рис. 11.1.

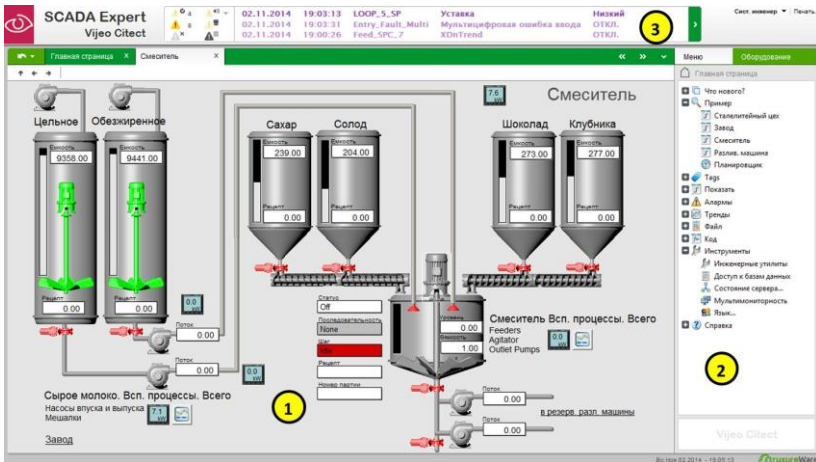


Рис. 11.1. Вигляд екрану людино-машинного інтерфейсу SCADA-системи Vijeо Citect: 1 – сторінка (мнемосхема) процесу; 2 – панель (меню) доступу до інших сторінок та команд; 3 – вікно відображення активних тривог та подій

Зазвичай кількість сторінок процесу не обмежується системою, оператор не може вчасно зреагувати на зміни в системі, постійно їх перемикаючи. Тому в більшості випадків в графічній підсистемі є головна мнемосхема, де відображається найбільш загальна інформація про весь процес. Всі технологічні параметри, що потребують підвищеного контролю з боку оператора, повинні відслідковуватися підсистемою тривог (наприклад, вихід значення технологічних параметрів за аварійні межі).

Графічна підсистема повинна бути розроблена таким чином, щоб тривоги, які з'явилися, відразу привертати увагу оператора.

Останні тривоги, як правило, показуються у вигляді постійно видимого вікна тривоги або окремого підсвічуваного елемента, що вказує на наявність нештатної ситуації в системі.

Для обміну операційної системи та елементами окремих програмних модулів SCADA використовується механізм - OPC (OLE for Process Control). OPC - це відкрита технологія зв'язку (open connectivity) в області промислової автоматизації та управління виробництвом. OPC – це стандарт взаємодії між програмними компонентами системи збору даних і управління, заснований на об'єктній моделі COM/DCOM від Microsoft.

OPC є узагальненим засобом організації взаємодії між різними джерелами і одержувачами даних, такими як пристрої, бази даних і системи візуалізації інформації про контрольований об'єкт автоматизації.

Для обґрунтованого вибору SCADA-системи потрібно врахувати: функціональні можливості, потужність, зручність розробки прикладних програм та ін. У процесі вибору SCADA-системи потрібно проаналізувати:

- здатність SCADA -програм вирішувати завдання користувача;
- наявність засобів для розробки прикладного програмного забезпечення;
- наявність інформації про впровадження SCADA-системи на різних об'єктах управління;
- доступність технічної підтримки;
- наявність і повнота російськомовної (україномовної) версії технічної документації;
- вартість ПЗ SCADA-системи, ліцензій, документації, навчання, відновлення ПЗ та супроводу.
- корпоративно-виробничий або відомчий досвід експлуатації АСУТП.

Конкретний вибір SCADA-системи здійснюється за такими етапами:

1. Вибрати операційну систему (Windows, QNX, DOS, LINUX та ін.).
2. Визначити типи контролерів, які підтримує SCADA-система і чи є у ній пакет розробки драйверів вводу/виводу.



3. Визначити масштабованість системи (обсяг сигналів вводу/виводу).

4. Визначити ПЗ для розробки баз даних, програмування станцій оператора і контролерів, підтримки інтерфейсів та ін.

5. Визначити наявність технічної підтримки при розробці та експлуатації SCADA-системи.

6. Встановити наявність супровідної документації та вартість SCADA-системи.

Після вибору конкретної SCADA-системи її архітектури та детальної структури переходять до розробки проекту вибраної SCADA/HMI. Розроблення та введення в дію проекту для SCADA/HMI – це комплекс робіт, який включає:

- попередню підготовку вихідних даних до проекту;
- створення проекту, його відлагодження;
- запуск та налагодження на об'єкті.

Програмна структура та процес розроблення проектів у різних програмах SCADA/HMI мають свої особливості. На відміну від функціонального призначення, реалізація середовищ розробки відрізняються один від одного.

Попередня підготовка вихідних даних – це етап при якому задіяний розробник/и та замовник проекту. Цей етап містить такі роботи:

- підготовка переліку мнемосхем процесу;
- визначення особливостей побудови людино-машинного інтерфейсу;
- підготовка переліку технологічних параметрів для відображення, сигналізації, трендового архіву та вимог до них;
- визначення форми звітів;
- визначення додаткових функцій SCADA та ін.

При створенні проекту використовується SCADA програми, які виконують: конфігурування проекту, розробку SCADA-програм (елементів) для ПК, розробку HMI-програм. Для розробки проектів та їх відлагодження використовується: середовище розробки та середовище виконання проекту.

Середовище розробки (Design-Time) - використовується на стадії розробки системи та містить набір різних редакторів. Після його застосування отримуємо набір пов'язаних файлів, що і є проектом.

Середовище виконання (Run-Time) - містить всі програмні елементи для реалізації функції SCADA системи. Воно використовується для запуску та виконання розробленого проекту

### **Програма роботи**

1. Проаналізувати розроблену схему автоматизації технологічного процесу.

2. Виконати обґрунтований вибір SCADA-системи, яка відповідає параметрам контролерного обладнання та технічних засобів автоматизації нижнього рівня системи автоматизації.

### **Порядок виконання роботи**

1. Розглянути основні типи та характеристики SCADA-систем та особливості їх вибору з теоретичних відомостей.

2. За схемою автоматизації та за загальною структурою автоматизації, що розроблена у попередніх лабораторних роботах визначити архітектуру системи автоматизації, програмовані-логічні контролери та технічні засоби автоматизації, що використовуються на різних ієрархічних рівнях системи управління.

3. Виконати вибір SCADA-системи у відповідності до схеми автоматизації та з огляду на вибрані ПЛК та інтерфейси, а також проаналізувавши основні показники: ціна, якість кількість сигналів та ін.

4. Виконати обґрунтування та остаточний вибір SCADA-системи використовуючи послідовність, яка приведена у теоретичних відомостях з каталогів 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;
- опис та обґрунтування вибраної SCADA-системи;
- перелік SCADA-системи компонентів у вигляді

специфікації;  
- висновок.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке SCADA система і для чого вона призначена?
2. З яких основних частин складається SCADA система і які SCADA системи найбільш поширені на українських підприємствах?
3. Яке призначення SCADA-систем?
4. Що потрібно проаналізувати для обґрунтованого вибору Scada-систем?
5. Послідовність вибору Scada-системи.
6. Алгоритм розробки SCADA-системи.

## **Лабораторна робота 12**

### **Проектування принципових електричних схем**

#### **Мета роботи**

Ознайомитися з основними правилами проектування принципових електричних схем та навчитися виконувати їх розробку за допомогою програми AutoCAD Electrical

#### **Теоретичні відомості**

Принципові електричні схеми визначають повний склад приладів, апаратів і пристроїв (а також зв'язки між ними) дія яких забезпечує вирішення задач керування, регулювання, захисту, вимірювання і сигналізації. Принципові схеми служать підставою для розробки інших документів проекту, монтажних таблиць щитів і пультів, схем з'єднань та зовнішніх підключень, тощо. Ці схеми також використовують для вивчення принципу дії, вони необхідні при налагоджувальних та експлуатаційних роботах. Розробка принципових електричних схем регламентується у ГОСТ 2.701, ГОСТ 2.702, ДСТУ Б А.2.4-3-95 (ГОСТ 21.408-93) «Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів», ДБН В.2.5-27-2006 «Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд» та ін.

При розробці систем автоматизації технологічних процесів принципові електричні схеми виконують для окремих самостійних елементів, установок або частин автоматизованої системи, наприклад, схема керування засувкою, схема автоматичного і дистанційного керування насосом, схема сигналізації рівня в резервуарі і т. п.

Принципові електричні схеми, що охоплюють цілий комплекс окремих елементів або установок агрегатів дають повне представлення про зв'язки між всіма елементами керування, блокування, захисту і сигналізації цих установок чи агрегатів. Прикладом таких схем може служити принципова електрична схема керування насосною установкою, що складається з насоса, вакуум-насоса і декількох електрифікованих засувок.

При розробці принципових електричних схем застосовують:

- творчий підхід;

- оптимальне компонування елементарних електричних кіл і типових функціональних вузлів у єдину схему з урахуванням обмежень та можливого спрощення і мінімізації.

Розробка принципових електричних схем розглядається у контексті:

- контролю;
- керування;
- регулюванням проєктованого об'єкта.

Принципова електрична схема повинна бути спроектована так, щоб її експлуатація у виробничих умовах була простою, потребувала мінімум витрат і уваги експлуатаційного персоналу, забезпечувала можливість проведення ремонтних і налагоджувальних робіт з дотриманням відповідних заходів безпеки.

Графічне оформлення будь якої ПЕС потрібно виконувати зрозуміло, просто і компактно, так щоб це сприяло найкращому сприйняттю її змісту.

Порядок розробки принципових електричних схем:

1) на підставі технічного завдання складають чітко сформульовані технічні вимоги до ПЕС;

2) відповідно до технічних вимог встановлюють умови і послідовність дії схеми;

3) кожна із заданих умов дії схеми зображається у вигляді елементарних кіл;

4) елементарні кола поєднують у загальну схему;

5) здійснюють вибір апаратури і виконують електричний розрахунок параметрів окремих елементів схеми;

6) коректують схему відповідно до можливостей прийнятої апаратури;

7) перевіряють у схемі можливість виникнення помилкових чи обхідних кіл або її неправильної роботи при ушкодженнях окремих кіл чи контактів;

8) розглядають можливі варіанти і приймають остаточне рішення.

При розробці ПЕС важливу роль відіграє використання загальноприйнятих стандартів оформлення. Зокрема, для позначення електричних кіл застосовують арабські цифри і прописні літери латинського (іноді кириличного) алфавіту.

Усі технічні засоби, відображені на ПЕС, повинні бути однозначно визначені і записані в перелік елементів і пристроїв за формою відповідно до ГОСТ 2.702-75.

Розглянемо приклад розробки принципової схеми керування 2-ма електродвигунами, яка зображена на рис. 12.1. Такі схеми можуть застосовуватися для приводу вентиляторів у автоматичних системах кондиціонування, або насосів чи транспортерів. Пуск асинхронних двигунів здійснюється за допомогою магнітних пускачів котушки, яких КМ1, або КМ2 будуть замикати робочі контакти, а, отже, і подавати напругу на двигуни 1М, або 2М при натисканні кнопок 1SB2, або 2SB2. При чому, це можна здійснити тільки в ручному режимі, коли перемикач 1SA1 (2SA1) перебуває в положенні Р. При цьому контактор КМ1 (КМ2) через свій власний контакт КМ1.1 (КМ2.1) заблокуються.

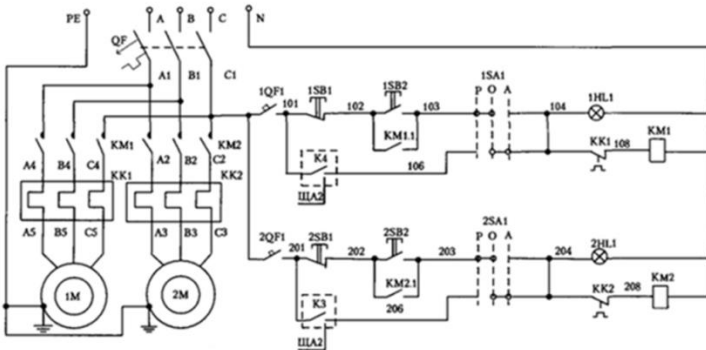


Рис. 12.1. Принципова електрична схема керування 2-ма асинхронними електродвигунами

Вмикання двигуна 1М (2М) здійснюється при натисканні на кнопку 1SB1 (2SB1). У положенні А, перемикача 1SA1 (2SA1), що відповідає автоматичному режиму, двигуни будуть вмикатися автоматично за допомогою контактів реле К4 (К3), які управляються контролером і показані на іншій принциповій схемі. На це вказує штрих-пунктирна лінія навколо цих контактів і посилання на певний номер аркуша принципової схеми. При перевантаженні двигуна спрацьовує теплове реле КК1 (КК2)

розмикаючий контакт, якого припиняє подачу напруги на котушку контактора КМ1 (КМ2).

Зв'язок принципової схеми з переліком елементів (табл. 12.1) здійснюється через позиційні позначення. При цьому в графі «Назва», крім назви типу і марки, приводяться основні технічні характеристики елемента або пристрою. Наприклад, для двигунів 1М, 2М вказується номінальні потужність, частота обертання, напруга і струм.

Табл. 12.1

Перелік елементів до принципової електричної схеми

Позиційне позначення	Назва	Кількість	Примітка
На механізмі			
1М, 2М	Двигун асинхронний 3ф., тип MDХМА90-32,1,5кВт, 1410хв <sup>-1</sup> , 380В, 3,5А	2	
На щиті місцевого управління (ЩМУ)			
QF	Вимикач автоматичний ТемDin 3С, I <sub>n</sub> =10А; U <sub>n</sub> =380В	1	
КМ1, КМ2	Контактор типу 11МС6.10, I <sub>n</sub> =6А, U <sub>c</sub> =220В, 1 зам. дод. Контакт	2	
КК1, КК2	Реле теплове, тип 11RF9,5, I <sub>ср</sub> =3-5А	2	
1QF1, 2QF1	Вимикач автоматичний, тип ТемDin 1С, I <sub>n</sub> =1А; U <sub>n</sub> =220В	2	
1SB1, 2SB1	Кнопка управління, тип 8LM2ТВ104.1 розмірний контакт, штовхач червоного кольору	2	На дверях ЩМУ 1
1SB2, 2SB2	Кнопка управління, тип 8LM2ТВ102.1 зам. контур, штовхач чорного кольору	2	На дверях ЩМУ 1
1SA1, 2SA1	Перемикач, 3-поз. стабільний, тип 8DM2TS130	2	На дверях ЩМУ 1
1НЛ1, 2НЛ1	Арматура світлосигнальна зелена, тип 8LP2ТЛ223, з лампою розжарювання 220В змінного струму	2	На дверях ЩМУ 1

Для виконання креслень принципових електричних схем зручним та ефективним інструментом програми AutoCAD Electrical є можливість роботи над проектом/ми. Для цього використовується вкладка «Проект» (рис. 12.2), яка надає всі можливості для організації документів цілого проекту. У функції «Диспетчер проектів», використовуються опції для заощадження часу та підвищення продуктивності під час роботи над проектом. Це дозволяє створювати проекти, редагувати, повторно позначати компоненти, вносити зміни до файлу з документами проекту та отримувати доступ до опцій експорту з

інших проєктів.

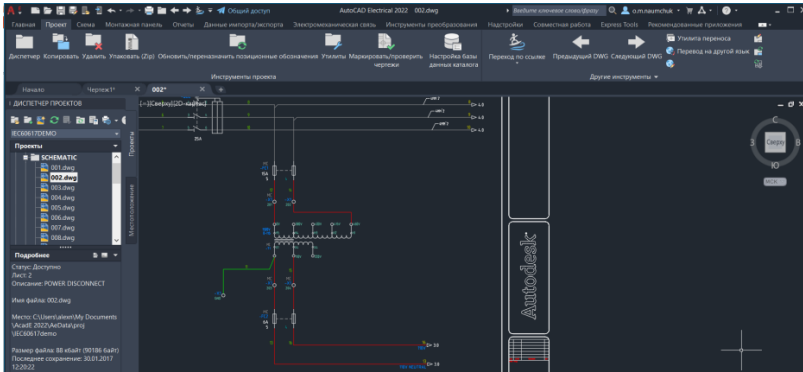


Рис. 12.2. Інтерфейс AutoCAD Electrical при виборі панелі «Проект»

Основним робочим простором при проектуванні принципів електричних схем у програмі AutoCAD Electrical є середовище з відповідним набором інструментів, яке активізується при виборі панелі «Схема». При виборі панелі «Конструктор цепей» програма AutoCAD Electrical пропонує вибрати доступні електричні кола, які вже є готовими до використання (рис. 12.3).

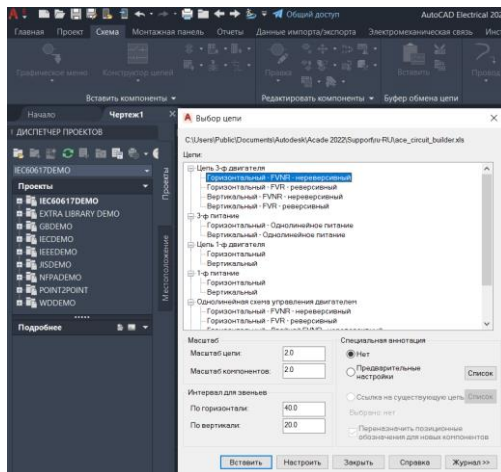


Рис. 12.3. Зовнішній вигляд меню для вибору існуючої принципової електричної схеми



Серед таких кіл можна вибрати найбільш підхоже для подальшого використання, або подібне до того, яке потрібно розробити. При натисканні кнопки «*Налаштувати*» відкривається меню, що дозволяє налаштувати вибрану схему під особливі параметри, серед яких: налаштування двигуна, графічне відображення двигуна, виводи клем та ін. При натисканні кнопки «*Вставити*» програма автоматично створює типову схему, яку потім можна налаштовувати та змінювати (рис. 12.4).

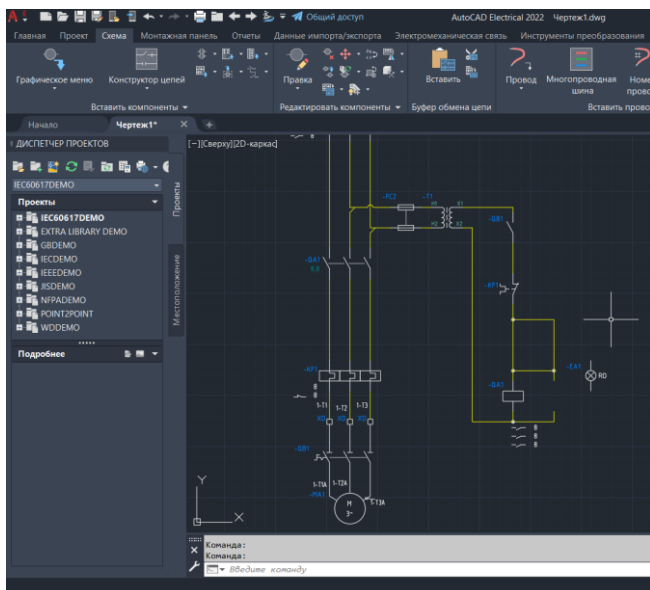


Рис. 12.4. Зовнішній вигляд вставленої принципової електричної схеми керування трифазного нереверсивного двигуна

Якщо на схемі необхідно видалити зайвий компонент, то його потрібно виділити та натиснувши на клавішу «*Delete*», а електричний провід у місці розриву з'єднати за допомогою кнопки «*Провод*», що на панелі меню «*Вставити провода / номер проводов*». Якщо ж на схему потрібно вставити новий компонент, то для цього можна використати «*Обозреватель каталогов*» на панелі «*Вставити компонент*» після чого з вкладки «*Категория*» вибрати необхідну категорію, наприклад

«*Выключатели*», потім вказати конкретну марку чи модель та вибрати її з каталога доступних виробників, як це показано на рис. 12.5. Якщо необхідного компонента немає, то його можна віднайти застосувавши кнопку «*Глобальный поиск*», або вибрати інший, аналогічний, який є в наявному каталозі. При виборі вказаного компонента та підведенні його до електричної лінії програма автоматично вставить компонент створивши розрив провідника та прив'яже його до вказаного вами електричного кола.

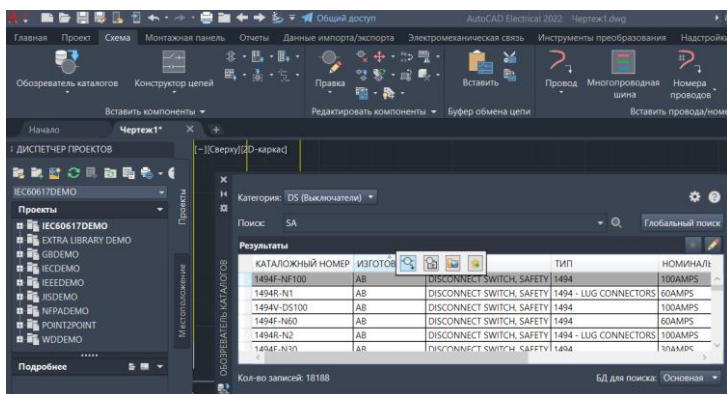


Рис. 12.5. Зовнішній вигляд меню «*Вставить компонент*» при додаванні компонентів електричних схем з каталогу виробників

Якщо при виборі у каталозі необхідний графічний образ не відображається, або він відсутній, то його можна віднайти за допомогою графічного меню «*Вставить компонент*», що автоматично відкриється. Також це меню можна відкрити з головного меню «*Схема*». Зовнішній вигляд меню для пошуку та вставлення компоненту показано на рис. 12.6. У графах меню віднаходимо необхідний компонент, або його аналог та вставляємо у відповідне місце.

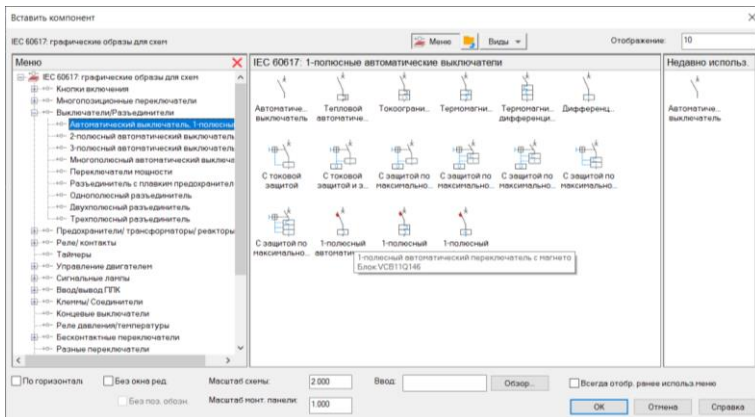


Рис. 12.6. Зовнішній вигляд меню для вставлення компоненту

Після виконання вибору відповідного елементу та виконання команди «Вставка образа, выбраного в графическом меню» відкриється вікно «Вставить / Редактировать компонент» (рис. 12.7). При цьому, вказуються автоматичні дані компонента з вибраного каталогу, а також тут можна ввести необхідні дані, наприклад виводи, номінальні значення, позиційні позначення та інші. Варто зауважити, що вказані в даному меню опції будуть зв'язувати компонент з відповідним його відображенням на монтажній схемі, а також вони можуть використовуватися при автоматичному формуванні звітів та специфікацій.

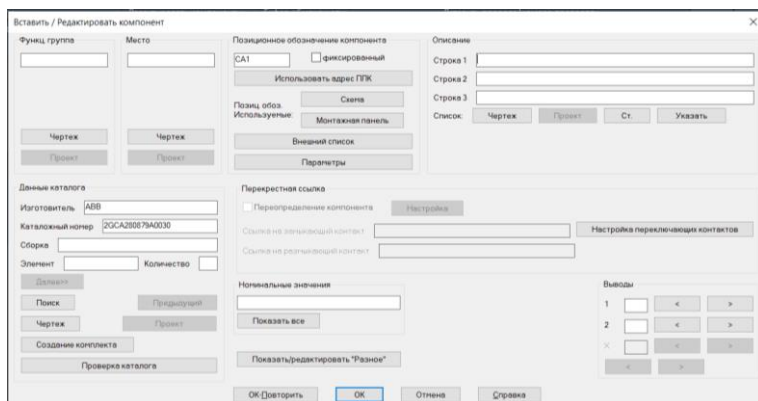


Рис. 12.7. Вигляд вікна «Вставить/Редактировать компонент»

Після цього, необхідний електричний компонент можна вставити у відповідному місті схеми на провіднику/ах, а програма автоматично виконає їх з'єднання. Якщо необхідно вставити новий провід, чи відредагувати існуючий, то це можна зробити використавши вкладку «Провод», яка знаходиться на панелі «Вставити провода/номера проводів». В процесі розстановки провідників AutoCAD Electrical автоматично прив'язує кінці проводів та виконує їх маркування до вибраних (вставлених) електричних елементів.

На будь-якому етапі виконання схеми у AutoCAD Electrical передбачена можливість редагування вибраних елементів та провідників. Для цього використовується відслідковуване (контекстне) меню компонента (рис. 12.8, а) та відслідковуване (контекстне) меню провідника (рис. 12.8, б). Відслідковуване меню компонента або провідника являє собою радіальне контекстне меню, яке викликається наведенням курсора на об'єкт електричної схеми і клацанням на ньому правою кнопкою миші. Доступні параметри в меню залежать від типу об'єкта, на який наведено курсор.

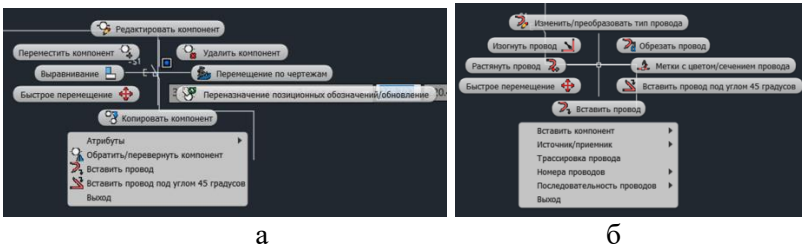


Рис. 12.8. Зовнішній вигляд відслідкованого (контекстного) меню компонента (а) і провідника (б)

Невід'ємною частиною будь-якої електричної схеми є «Перелік елементів та пристроїв», який виконується у табличному вигляді або у вигляді специфікації. Для створення специфікацій у AutoCAD Electrical можна використовувати інструмент генерування звітів. Для цього необхідно перейти на вкладку «Отчеты» та натиснути кнопку «Отчеть» (рис. 12.9). В отриманому списку вибрати «Спецификация» або «Табличка»,

а у наступному вікні перевірити чи для кожного компоненту вказано виробника та номер за каталогом (марку, модель пристрою).

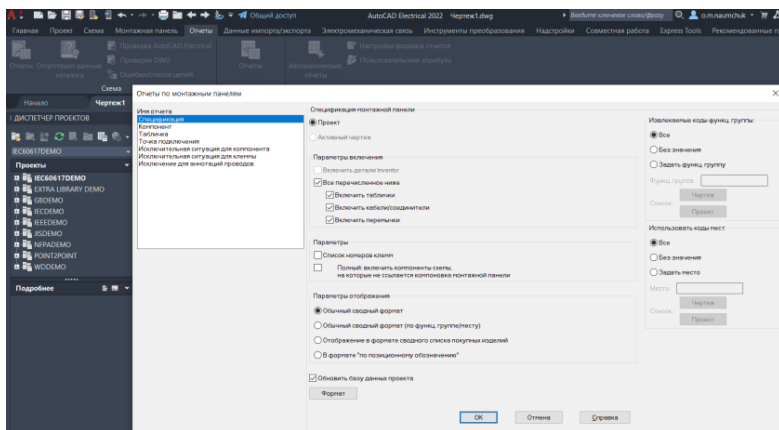


Рис. 12.9. Зовнішній вигляд панелі «Отчеты»

Якщо виробник та номер за каталогом у певного компонента принципової електричної схеми відсутні, необхідно скасувати створення специфікації та відредагувати атрибути елемента, додавши відсутні дані у відповідні поля. Після цього, специфікацію необхідно розмістити на кресленні натиснувши кнопку «Вставить в чертеж», що на панелі «Формирование отчетов», або зберегти у файл з відповідним розширенням та вставити у звіт.

## Програма роботи

1. Розглянути основні правила розробки принципових електричних схем та особливості використання програми AutoCAD Electrical для їх розробки.

2. Використовуючи базу умовних графічних позначень навчитися розробляти прості принципові електричні схеми керування.

## Порядок виконання роботи

1. Розглянути правила розробки принципових електричних схем та особливості використання програми AutoCAD Electrical,

що описано у теоретичних відомостях.

2. За схемою автоматизації розробити принципову електричну схему. Для цього необхідно проаналізувати схему автоматизації та визначити установки, пристрої чи окремі елементи для яких необхідно розробити принципові електричні схеми. Це можуть бути: електроприводи керування транспортерами, живильниками, насосами чи компресорами, окремі елементи та пристрої вимірювання, регулювання і сигналізації, тощо.

2.1. При розробці принципової електричної схеми, наприклад, ПЕС керування двигуном(ами) транспортера або насоса визначити: тип двигуна, систему керування (ручна, автоматична чи дистанційна), систему захисту, блокування, тощо.

2.2. Вибрати типову(і) або стандартну(і) схему(и), що застосовують у промисловості (якщо не існує то розробити) підлаштувати її під умови технологічного процесу та системи автоматизації. Для цього доречно скористатися з каталогів фірм виробників, або загальнодоступними ресурсами в інтернеті.

*Зуваження.* Якщо у попередньо розробленій схемі автоматизації є декілька систем керування (наприклад, ПЕС керування декількома насосами, транспортерами, компресорами) і ці схеми відмінні одна від одної, то потрібно виконати окремі ПЕС для кожної установки.

2.3. Якщо це передбачено умовами технологічного процесу та системи автоматизації, то об'єднати окремі електричні схеми у загальну принципову електричну схему (об'єднану), а якщо це не можливо, то створити декілька принципових схем на декількох чи одному аркуші зі вказівкою приналежності та структури.

3. Якщо у схемі автоматизації відсутні схеми для яких потрібно розробляти принципові-електричні схеми, тоді потрібно вибрати одну з типових принципових електричних схем керування електроприводами, попередньо узгодивши її вид з викладачем. При цьому описати принцип її дії, а також перелік елементів схеми.

4. Створити новий проект у програмі AutoCAD Electrical. Для цього запустіть програму та виберіть *Создать > Выбор шаблона ACAD\_ELECTRICAL\_IEC.dwt* або *ACAD\_ELECTRICAL.dwt*, або інший підходящий шаблон.

5. Відкрити проект на панелі меню «Схема» у вкладці панелі «Конструктор цепей» вибрати доступну принципову електричну схему керування, яка найбільш підхожа для вибраного варіанту. Використовуючи кнопку «Настроить» за допомогою меню налаштувати вибрану схему під параметри вказані у варіанті.

6. Вставити необхідні електричні компоненти схеми за допомогою вкладки «Вставить компонент». Для цього виберіть «Обозреватель каталогов» або «Графическое меню та з каталогу виробників виберіть найбільш підхожі до схеми компоненти та вставте їх у певних місцях на робочому полі схеми, або на відповідних електричних лініях відповідно до схеми. При відсутності конкретного електричного компоненту у списку виробників що представлені в AutoCAD Electrical вибрати аналог з графічного меню «Вставить компонент».

7. Виконати з'єднання, або редагування вибраних та встановлених на робоче поле елементів провідниками з меню «Вставить провода/номер проводов > Провод».

8. Виконати остаточне оформлення схеми, додати перелік використаних елементів у текстовому вигляді на полі схеми, або на додатковому аркуші.

*Зауваження.* Для оформлення схеми на окремому аркуші (A3-A1) можна використати функцію експорт креслення в PDF-формат. При цьому потрібно перейти за посиланням: *Файл > Экспорт > PDF*

9. Результати роботи оформити у вигляді звіту.

### ***Вимоги до оформлення звіту***

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;
- креслення розробленої/них принципової/вих електричної/них схем/и на окремому аркуші стандартного розміру (A3-A1) з заповненим основним написом;
- висновок.

### **Контрольні запитання**

1. У чому суть розробки принципових електричних схем?

2. Яка особливість програми AutoCAD Electrical?
3. Які переваги використання програми AutoCAD Electrical при проектуванні принципових електричних схем?
4. Яка особливість інтерфейсу програми AutoCAD Electrical?
5. Як використовуються бібліотеки УГП у програмі AutoCAD Electrical?
6. Яка специфіка використання AutoCAD Electrical при використанні панелі «Конструктор цепей»?



## **Лабораторна робота 13**

### **Проектування принципових електричних монтажних схеми з'єднань**

#### **Мета роботи**

Ознайомитися з основними правилами проектування монтажних схем з'єднань графічним способом та навчитися виконувати їх розробку за допомогою програми AutoCAD Electrical

#### **Теоретичні відомості**

Монтажні схеми (з'єднань) призначені для відображення взаємного розташування приладів та пристроїв у щитах і пультах, їх взаємозв'язку між собою та для подальшого виконання монтажних робіт. Монтажні схеми виконують без дотримання масштабу, на них зображують усі елементи й пристрої, які розташовують у щитах або пультах, при цьому їх розташування повинне приблизно відповідати дійсному.

На монтажній схемі відображаються:

- пристрої та елементи у вигляді прямокутників або умовних графічних позначень з вказівкою усіх контактних з'єднань через які здійснюються електричний зв'язок та від яких відходять провідники;

- провідники з вказівкою марки, перерізу та при потребі кольору;

- кабелі з вказівкою марки, кількості і переріз жил.

На монтажних схемах повинні бути зображені всі пристрої і елементи, що зображені на принциповій електричній схемі, їх вхідні і вихідні елементи (з'єднувачі, плати, затискачі і т.п.), а також з'єднання між цими пристроями і елементами. На них приводять характеристики вхідних і вихідних кіл пристроїв і елементів або інші вихідні дані, необхідні для вибору конкретних проводів і кабелів (багатожильних проводів, електричних шнурів).

Характеристики вхідних і вихідних кіл рекомендується вказувати у вигляді таблиць, що поміщаються замість умовних графічних позначень вхідних і вихідних елементів. При зазначенні даних про проводи і кабелі (багатожильних проводах,

електричних шнурках) у вигляді умовних позначок ці позначення розшифровують на полі схеми. Однакові марку, переріз та інші дані про всі або більшість проводів і кабелів допускається вказувати на полі схеми.

Деколи замість, або разом зі схемою з'єднань виконують таблицю з'єднань (при потребі) слід поміщати на першому аркуші схеми або виконувати у вигляді самостійного документа, її розташовують, як правило, над основним написом. Іноді такі таблиці називають кабельними журналами.

Таблицю з'єднань у вигляді самостійного документа виконують на аркуші формату А4 (ГОСТ 2.104) для складних схем, насичених пристроями щитів і пультів. У цьому випадку прилади, пристрої, зборки затискачів на кресленнях не показують. Форму таблиці з'єднань вибирає розробник схеми залежно від відомостей, які необхідно помістити на схемі.

У таблиці вказують номер кабелю, номер проводки за принциповою схемою, затискач зборки і пристрій, що з'єднується проводкою, номер, на яку входить проводка. Таблиці з'єднань виконують окремим документом і позначаються ТЕ4 (таблиця електричних з'єднань).

Розглянемо приклад розробки схеми з'єднань принципової електричної схеми керування електродвигунами, що розглядалася у попередній лабораторній роботі (див. рис. 12.1). Розташування апаратури на цій схемі має приблизно відповідати її розміщенню у конструкції щита керування (рис. 13.1). Поруч із кожним апаратом проставлений порядковий номер і позиційне позначення. У середині кожного елемента проставлена нумерація виводів, яка відповідає заводському маркуванню.

Монтаж силових кіл на монтажній схемі показаний прямим з'єднанням провідників між апаратами, а з'єднання кіл керування виконані адресним методом. Електричне коло 104 виконане у такий спосіб. Виводи 2 і 4 перемикача 1SA1 (апарат 9) перемкнуті між собою, а з виводу 2 виходить провід 11-1 (апарат 11, вивід 1). Другий кінець цього проводу підключається до лампи 1HL1 (апарат 11) має маркування 9-2 (апарат 9, вивід 2). Крім того, з виводу 1 апарата 11 відходить провід 1-12 (на клемник ХТ1), який на другому кінці має маркування 11-1. Провід, що з'єднує клему 12 клемної колодки ХТ1 з контактом теплового реле КК1, має

маркування 5-95 і 1-12 відповідно з боку клемника і реле. Таким чином виконується адресація всіх елементів монтажно́ї схеми у відповідності до вихідної принципової електричної схеми.

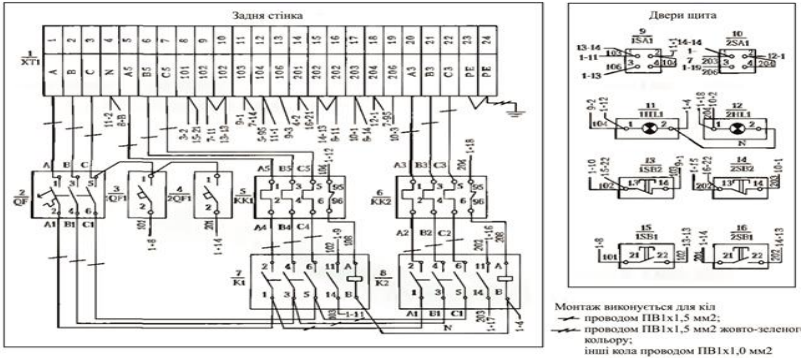


Рис. 13.1. Монтажна схема керування електродвигунами виконана у щиті місцевого керування

На полі креслення схеми зазначається, які проводки яким проводом монтувати, а для захисного нульового проводу - вказано колір, крім цього, тут можуть бути зазначені способи ведення монтажу. Наприклад: «Монтаж виконати з використанням перфорованих коробів 25х25мм з місцевою установкою». «Провідники, що з'єднують клемник ХТ1 з апаратурою на дверях щита, виконати у вигляді джгута в спіральній трубі діаметром 10мм» і т.п.

Розробка принципової монтажно́ї схеми з'єднань за допомогою програми AutoCAD Electrical можна виконувати з основного робочого простору при виборі панелі «Схема». Також для розробки монтажних схем, зокрема монтажних панелей можна використовувати інструменти AutoCAD Electrical для роботи з монтажними схемами та компоновання елементів на монтажних панелях щитів. На вкладці «Монтажна панель» (рис. 13.2) знаходяться інструменти для створення власних компонентів, бібліотека компонентів, а також інструменти для розробки анотацій монтажних схем (збірних креслень) та ін.

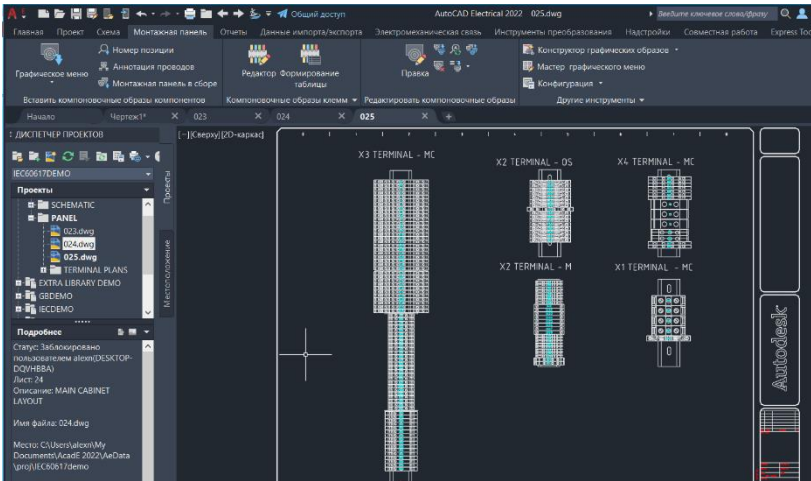


Рис. 13.2. Интерфейс AutoCAD Electrical при выборе панели меню «Монтажная панель»

При разработке монтажных схем, які встановлюються у щитах або пультах необхідно вибрати конфігурацію щита з каталогу, який знаходимо у графічному меню «Вставить компоновочный образ», що викликається з вкладки «Монтажная панель» (рис. 13.3). Якщо конфігурації відповідного щита з бази даних виробників немає, то тоді можна накреслити зовнішні обриси щита засобами AutoCAD, які активуються з меню «Главная».

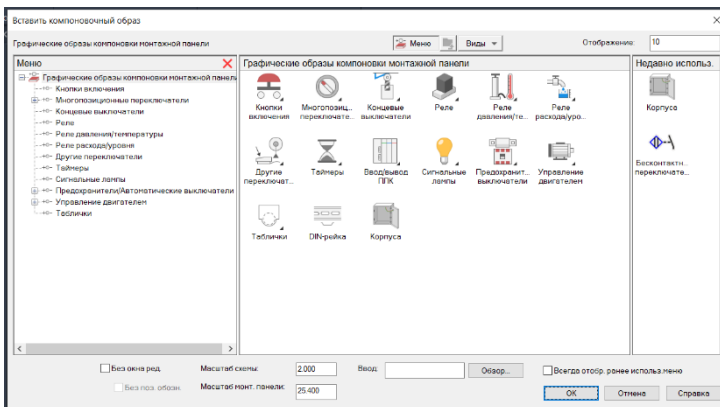


Рис. 13.3. Видяг меню «Вставить компоновочный образ»

Наступним компонентом, після формування зовнішнього обрису щита, який використовується на монтажних схемах є клемна колодка. Її можна вставити в схему за допомогою редактора клемних колодок (рис. 13.4), який дозволяє вивести повну інформацію про монтажні з'єднання, а при необхідності відредагувати її за допомогою меню «Редактор клемных колодок», яке знаходиться на вкладці «Монтажная панель». У цьому редакторі можна вибрати необхідну клемну колодку, яка відповідатиме параметрам монтажної схеми, а також всі її атрибути.

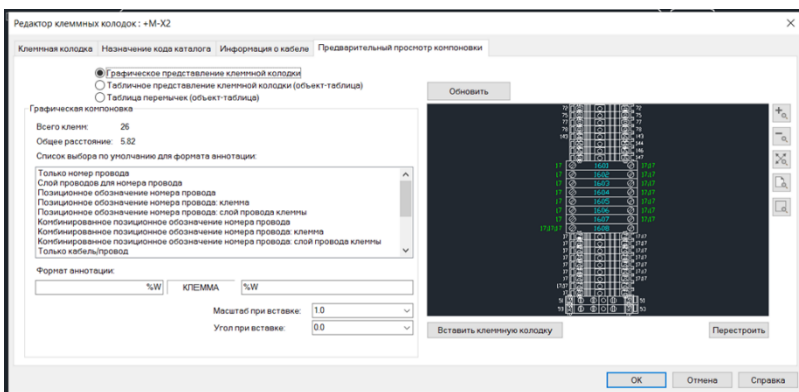


Рис. 13.4. Зовнішній вигляд меню *Редактор клемных колодок*

Найефективнішим способом створення монтажних схем є використання асоціативних зв'язків з розробленою раніше принциповою схемою. Для того щоб у повній мірі використати цей спосіб, попередньо розроблена принципова електрична схема повинна містити всі бібліотечні компоненти, які вставлені за допомогою бібліотек з графічного меню. Якщо ж деякі компоненти створені вручну без прив'язки до схеми, тобто без наявності перехрестних посилань та асоціацій, то їх потрібно вставити на монтажну схему самостійно, або створити за допомогою засобів 2D геометрії AutoCAD. Щоб створити монтажну схему з використання асоціативних зв'язків з принциповою електричною схемою необхідно на вкладці «Монтажная панель» в меню «Вставить компоновочные образы

компонентов» вибрати команду «Список схем». У меню «Список компонентів схеми», що з'явиться після цього, вибираємо необхідний проект схеми (рис. 13.5), або вибираємо його з файлу за допомогою кнопки «Обзор». Після цього відзначаємо всі, або деякі компоненти з запропонованого списку.

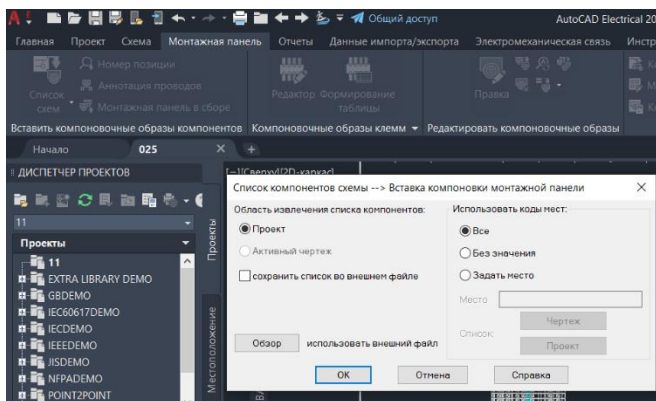


Рис. 13.5. Вигляд вікна для вибору «Список компонентів схеми»

При виконанні вставлення окремих компонентів зі схеми є можливість вказати їх атрибути за допомогою відповідного меню вставки компонента. У випадку відсутності певних компонентів на принциповій схемі, або у випадку коли потрібно додати компонент, що не входить до принципової електричної схеми на основі, якої створюється монтажна схема, то тоді потрібно створити його вручну, або вибрати з наявних графічних образів компонентів з графічних образів монтажної панелі. Після виконання всіх побудов виконується остаточне оформлення монтажної схеми.

## Програма роботи


1. Розглянути загальні правила виконання принципових монтажних схем з'єднань.
2. На основі принципових електричних схем розробити принципову монтажну схему з'єднань.

## Порядок виконання роботи

1. Розглянути правила розробки принципів електричних монтажних схем та особливості використання програми AutoCAD Electrical, що описано у теоретичних відомостях.

2. На основі принципової електричної схеми керування, яка виконана на попередній лабораторній роботі та беручи до уваги розглянутий у теоретичних відомостях приклад монтажною схемою (рис. 13.1) розробити ескіз принципової монтажною схемою за своїм варіантом.

*Зауваження.* Якщо у попередній лабораторній роботі є декілька електричних схем (наприклад, схема керування декількома насосами, транспортерами, засувками) і ці схеми відмінні одна від одної, то потрібно виконати окремі монтажні схеми для кожної установки.

3. Для оформлення креслення монтажною схемою створити новий проект у програмі AutoCAD Electrical. Для цього запустити програму та виберіть «Создать > Шаблоны > A3-1.dwt» або інший підходящий для цієї схеми. Після цього на панелі «Диспетчер проектов» натискаємо на кнопку «Новый проект»  та в панелі «Создание нового проекта» вказуємо назву проекту: *Монтажна схема* та заповнюємо інші необхідні поля, які потім автоматично додаються до елементів оформлення всіх документів проекту.

*Зауваження.* Зазвичай виконання монтажною схемою здійснюється у щиті керування, а позначення елементів схеми виконується згідно каталогів виробників.

4. Вибраємо конфігурацію щита з каталогу, який знаходимо у графічному меню «Вставить компоновочный образ», що викликається з вкладки «Монтажная панель» (див. рис. 13.5). Якщо конфігурація необхідного щита з бази даних виробників відсутня, то креслимо його зовнішні обриси засобами AutoCAD, які активуються з меню «Главная».

5. Якщо монтажна схема передбачає клемну колодку, то до зовнішнього обрису щита додаємо клемну колодку за допомогою редактора клемних колодок (див. рис. 13.4) та меню «Редактор клемных колодок», який знаходиться на вкладці «Монтажная панель».

6. Створюємо (додаємо) монтажну схему з використання

асоціативних зв'язків з принциповою електричною схемою, що розроблена у попередній лабораторній роботі. Для цього в меню «Вставить компоновочные образы компонентов» вибираємо команду «Список схем» та у меню, яке після цього з'явиться «Список компонентов схемы» виділяємо необхідний проект, тобто вибираємо відповідний файл принципової електричної схеми за допомогою кнопки «Обзор». Після цього здійснюємо налаштування кожного компонента схеми при вставленні його на монтажну площину.

*Зауваження.* Якщо створення монтажної схеми за допомогою асоціативних зв'язків неможливо, то її виконання здійснюється поелементно з застосуванням меню «Графические образы компоновки монтажной панели» згідно каталогів виробників.

7. 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;
- скріншоти виконання основних етапів побудови, які описані у порядку виконання роботи;
- креслення принципової електричної схеми (з попередньої роботи) та монтажної схеми на окремому аркуші стандартного розміру (А3-А1) з заповненим основним написом;
- висновок.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке принципова електрична монтажна схема?
2. Яка особливість побудови монтажних схем?
3. Яка особливість розробки таблиці з'єднань?
4. Вкажіть в якому порядку розробляють принципові електричні монтажні схеми.
5. Як графічно позначаються елементи, пристрої і лінії зв'язку на монтажних схемах?
6. Які методи використовуються при з'єднанні провідників на монтажних схемах?



7. Яка особливість маркування провідників монтажною схемою?

8. Як виконується розробка переліку комплектуючих елементів монтажною схемою?

## **Лабораторна робота 14**

### **Проектування принципової електричної схеми підключень**

#### **Мета роботи**

Ознайомитися з основними правилами проектування схем підключень графічним способом та навчитися виконувати їх розробку за допомогою програми AutoCAD Electrical

#### **Теоретичні відомості**

Схема зовнішніх проводок (зовнішніх підключень) - це схема на якій за допомогою умовно-графічних позначень відображені електричні та інші зв'язки між приладами і засобами, які встановлені поза щитами і на щитах, а також підключення електропроводок до приладів і щитів. Схеми з'єднань і підключень зовнішніх проводок – це комбіновані схеми на яких показані електричні проводки та інші пристрої, які мають зовнішнє рідклучення, наприклад підключення первинних вимірювальних перетворювачів.

Схеми з'єднань і підключень визначають межі проектування між суміжними частинами проекту. Виконуються на підставі принципів схем живлення, специфікації приладів і обладнання, креслень виробничих приміщень, а також монтажних схем.

Схеми з'єднань і підключень використовують під час монтажу електропроводок, що забезпечують живлення щитів, пультів, установок, приладів та апаратів.

На кресленнях зовнішніх підключень відображаються:

1. Монтажні символи первинних перетворювачів, відбірних і виконавчих пристроїв;
2. Умовні позначення щитів, пультів і пунктів контролю, щитів живлення електроенергії;
3. Монтажні символи засобів автоматизації, що встановлюються за межами щитів, електроприводів та іншого обладнання, яке має зовнішні з'єднувальні лінії;
4. З'єднувальні, розділювальні, протяжні та інші коробки;
5. Лінії прокладені за межами щитів, електричних та трубних проводок;
6. Лінії захисного заземлення;

7. Лінії живлення;

8. Розгалуження електропроводок за межами щитів, обв'язки приладів і засобів, які встановлені за межами щитів разом з допоміжним обладнанням (редуктори, фільтри, розділювальні та інші ємності);

9. Загальні пояснення і примітки;

10. Креслення що відносяться до них;

11. Перелік монтажних матеріалів;

12. Основний напис.

Схему підключень виконують без дотримання масштабу на основі умовних графічних позначень і текстових пояснень в однолінійному зображенні на одному або декількох листах формату (А3-А1) згідно ГОСТ 2.301-68.

Схему підключення допускається не виконувати, якщо всі підключення можуть бути показані на монтажній схемі.

Вказані прилади, пристрої і засоби показують у вигляді кола і умовних літерних позначень, що застосовуються на інших схемах, наприклад принципівих.

На схемі підключення зображають:

- пристрої у вигляді прямокутника або спрощеного зовнішнього окреслення;

- вхідні і вихідні елементи (з'єднувачі, затискачі, планки і т.п.);

- проводи і кабелі зовнішнього монтажу, які підводяться до ввідних елементів.

Вхідні і вихідні елементи пристрою розташовують, як правило, відповідно до їх дійсного розташування у виробі. Проводи і кабелі зображують у багатолінійному поданні.

Вхідні і вихідні елементи повинні бути марковані. Силові кола або проводи зображаються товстими лініями, щоб відрізнити їх від інших проводів.

Особливості графічного методу побудови схем підключень

В графічному методі умовними графічними позначеннями показують:

- вимірювальні пристрої та первинні перетворювачі;

- щити, пульти та локальні пункти управління, контролю, сигналізації та вимірювання;

- позащитові прилади і засоби;

- з'єднувальні та протяжні коробки;

- електропроводки та кабелі, що прокладаються поза щитами;
- вузли приєднання електропроводок до приладів, апаратів, коробок;
- запірну апаратуру, елементи для з'єднання та відгалуження;
- комутаційні затискачі розміщені поза щитами;
- захисне заземлення.

На схемі підключення показують підключення електропроводок до групових установок позашитових приладів, з'єднувальних коробок виконавчих механізмів, щитів (включаючи клемні), окремих пристроїв, пультів, комплексів, їх складових частин та ін. Приклад виконання такої схеми приведено на рис. 14.1.

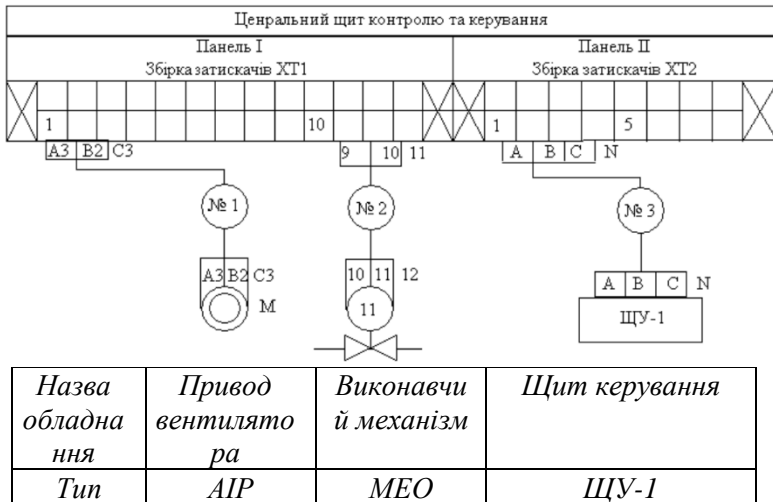


Рис. 14.1. Приклад виконання схеми підключень графічним способом

Шафи, пульти, окремі прилади та апарати зображують у вигляді прямокутників або кіл, усередині яких розміщують відповідні надписи. Зв'язки одного призначення показують суцільною лінією і лише в місцях під'єднання до приладів, виконавчих механізмів та інших апаратів проводи розділяють, щоб привести їх маркування.

На лініях зв'язку, що означають проводи або кабелі, вказують

номер проводки, марку, переріз та довжину проводів і кабелів (якщо проводка виконана в трубі, то необхідно також навести характеристику труби). Відрізки кабелів і імпульсних труб, що протилежні підключенню, закінчують фігурною дужкою з посиленням на позначку і (або) номер аркуша основного комплекту, на якому наведена схема зовнішніх з'єднань. Розміщення зображень вхідних і вихідних елементів повинне приблизно відповідати їх дійсному розміщенню.

Для кожної зовнішньої електричної проводки незалежно від призначення приводиться її технічна характеристика, в котру входять:

- тип (марка) провідника,
- кількість жил,
- січення,
- колір (при необхідності),
- кількість робочих жил (вказується в прямокутнику),
- довжина кабелю або джгута.

Довжину вказують один раз для всієї лінії проводки, що відходить безпосередньо від первинного приладу, при цьому вказують повну довжину кабелю або джгута до місця його підключення: затискачів щитів, коробок, приладів, тощо.

Крім описаних вище схем підключень у проектах з автоматизації виконують електричні схеми підключення технічних засобів автоматизації до сигнальних (вхідних) модулів ПЛК. Розглянемо особливості та електричні схеми підключення датчиків температури, а саме термопар до аналогових модулів введення інформації SM331 ПЛК Simatic S7-300 [1].

Для виконання підключення необхідно дотримуватися таких умов:

- термопари повинні встановлюватися на мінімальній відстані від аналогового модуля для безпосереднього підключення кабелю до модуля;

- у разі віддаленого розташування термопар від аналогового модуля компенсаційні проводи замінюються на мідні, підключення яких здійснюється через проміжний клемник, поруч з яким встановлюється зовнішній компенсаційний блок.

Структурна схема підключення термопар до аналогових модулів SM331 ПЛК Simatic S7-300 наведена на рис. 14.2.

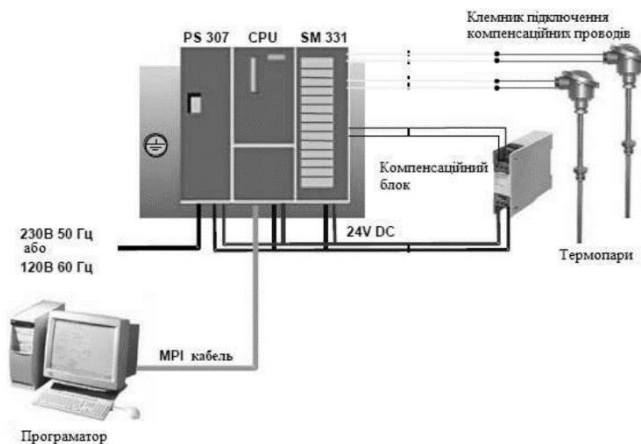


Рис. 14.2. Структурна схема підключення термопар до аналогових модулів введення SM331 ПЛК Simatic S7-300

Електричну схему підключення термопар за допомогою компенсаційних проводів з внутрішньою компенсацією температури холодного спаю наведено на рис. 14.3.

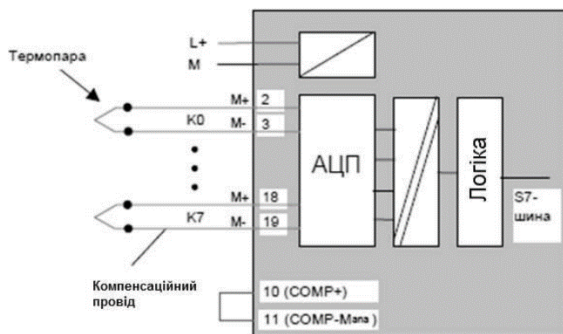


Рис. 14.3. Схема підключення термопар до аналогового модуля SM331

Відповідно до вказаної схеми підключень (рис. 14.3) розробляють електричну схему зовнішніх підключень термопар до аналогового модуля введення SM331, яка наведена на рис. 14.4.

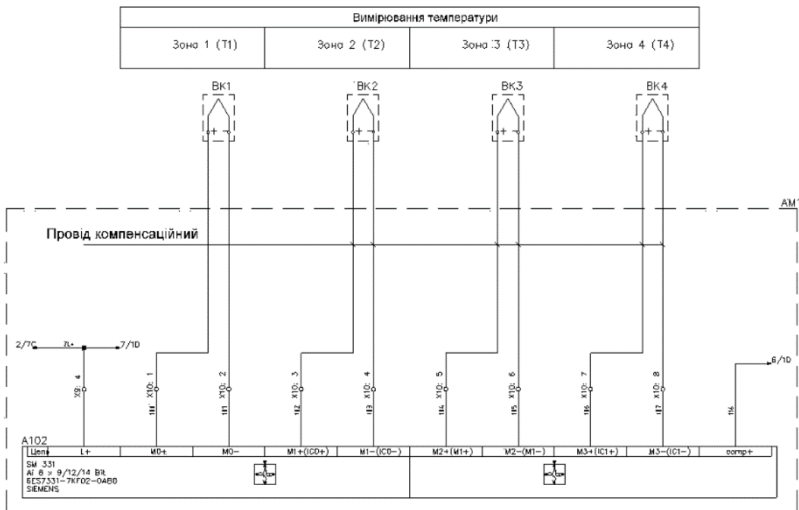


Рис. 14.4. Електрична схема зовнішніх підключень термодар до аналогового модуля введення SM331

Схеми зовнішніх підключення виконують для кожного пристрою/ів, блоків та комплектів монтаж яких здійснюють окремо. При цьому, додатково вказують назву пристрою/ів, чи блоків, наприклад: «Схема електрична зовнішніх підключень виконавчих механізмів».

Технічні засоби, які наводяться на схемах підключення, зображують у вигляді умовних позначень, або спрощено зовнішніми обрисами у вигляді прямокутників з контактними елементами. Вхідні і вихідні елементи (контакти) окремих пристроїв, або блоків показують повністю у вигляді електричних кіл.

Розробка принципової схеми зовнішніх підключень за допомогою програми AutoCAD Electrical можна виконувати з основного робочого простору при виборі панелі «Схема». Також для розробки схем зовнішніх підключень, зокрема підключення елементів системи автоматизації до модулів введення/виведення контролерів можна використовувати інструменти AutoCAD Electrical для роботи з ПЛК. На вкладці «Схема» (рис. 14.5) знаходяться інструменти для створення схем підключень.

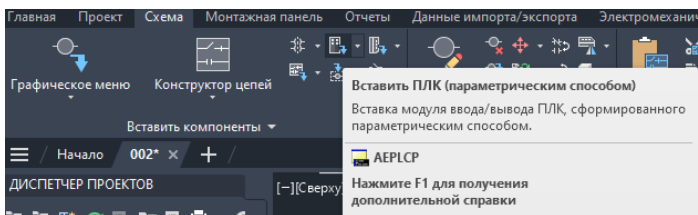


Рис. 14.5. Видял панелі «Вставить компоненты > Вставить ПЛК» у AutoCAD Electrical при виборі панелі меню «Схема»

При використанні цієї панелі можна вибирати різноманітні компоненти та модулі більшості ПЛК, що випускається промисловістю. Для цього потрібно вибрати певний модуль та вказати його параметри за допомогою вікна «Параметрический выбор ПЛК» (рис. 14.6) та виконати відповідні налаштування.

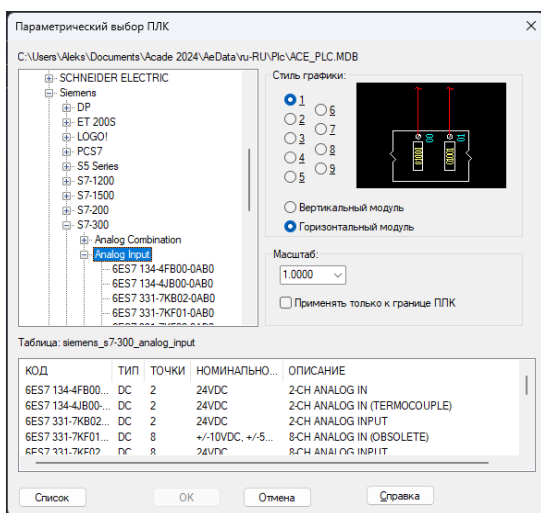


Рис. 14.6. Зовнішній вигляд меню «Параметрический выбор ПЛК»

Після відповідних налаштувань можна встановити відповідну панель та виконати її підключення до відповідних зовнішніх пристроїв (рис. 14.7) подібно, як це показано на рис. 4. Крім того, розробку схеми зовнішніх підключень можна виконати засобами класичного AutoCAD, які активуються з меню «Главная».



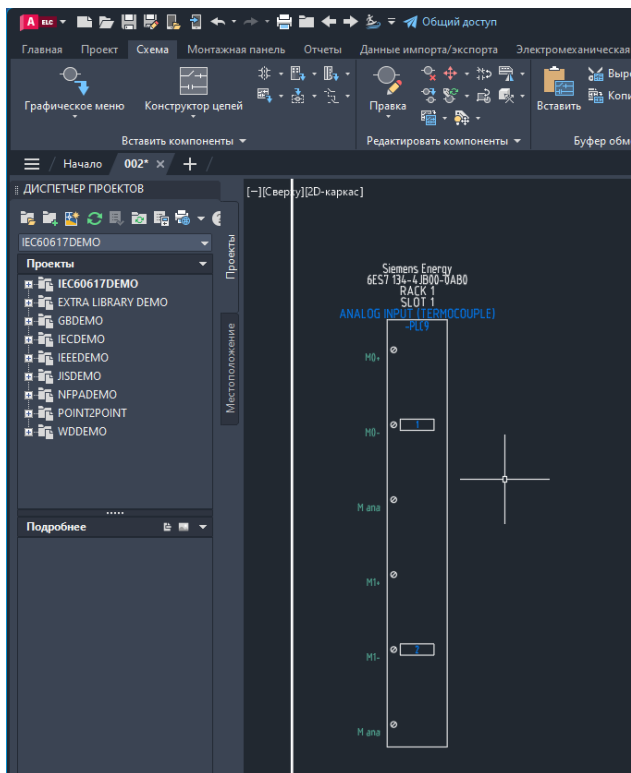


Рис. 14.7. Видяг робочого поля програми AutoCAD Electrical зі встановленим модулем аналогових входів контролера Simatic S7-300

При виконанні вставлення окремих компонентів на схемі зовнішніх підключень є можливість вказати їх атрибути за допомогою відповідного меню, або виконати редагування вставленого компонента. Після виконання всіх побудов виконується остаточне оформлення монтажної схеми.

### Програма роботи

1. Розглянути загальні правила виконання принципових схем зовнішніх підключень.
2. На основі принципових електричних схем розробити


принципову схему зовнішніх підключень.

### **Порядок виконання роботи**

1. Розглянути правила розробки принципів схем зовнішніх підключень та особливості використання програми AutoCAD Electrical для їх виконання, що описано у теоретичних відомостях.

2. На основі принципової електричної схеми керування, яка виконана на попередніх лабораторних роботах та беручи до уваги розглянутий у теоретичних відомостях приклад розробити принципову схему зовнішніх підключень за своїм варіантом.

*Зауваження.* Якщо у попередній лабораторній роботі є декілька електричних схем (наприклад, схема керування декількома насосами, транспортерами, засувками) і ці схеми відмінні одна від одної, то потрібно виконати окремі схеми підключень для кожного елемента зовнішніх підключень.

3. Для оформлення креслення монтажної схеми створити новий проєкт у програмі AutoCAD Electrical. Для цього запустіть програму та виберіть «Создать > Шаблоны > А3-1.dwt» або інший підходящий для цієї схеми. Після цього на панелі «Диспетчер проєктів» натискаємо на кнопку «Новый проєкт»  та в панелі «Создание нового проєкта» вказуємо назву проєкту: *схема підключення* та заповнюємо інші необхідні поля, які потім автоматично додадуться до елементів оформлення всіх документів проєкту.

4. Розробляємо схему підключення за допомогою програми AutoCAD Electrical, меню «Вставить компоненты > Вставить ПЛК» на панелі меню «Схема». Якщо конфігурація необхідних елементів ПЛК відсутня, то креслимо схему підключення засобами AutoCAD, які активуються з меню «Главная».

5. Результати проєктування 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;

- скріншоти виконання основних етапів побудови, які описані у порядку виконання роботи;
- креслення принципової електричної схеми зовнішніх підключень на окремому аркуші стандартного розміру (A3-A1) з заповненням основним написом;
- висновок.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке принципова електрична схема зовнішніх підключень?
2. Яка особливість розробки схем підключень?
3. Вкажіть в якому порядку розробляють принципові електричні схеми пвдключень.
5. Поясніть сутність виконання схеми підключень графічним способом?
6. Поясніть як виконується схема підключення термопар до аналогових модулів введення на прикладі аналогових модулів введення SM331 ПЛК Simatic S7-300?
7. Як здійснюється розробка принципової схеми зовнішніх підключень за допомогою програми AutoCAD Electrical?

## **Лабораторна робота 15**

### **Програмування інтегральних схем з використанням мови VHDL**

#### **Мета роботи**

Навчитися розробляти поведінкові програми і моделювати роботу інтегральних схем за допомогою мови VHDL

#### **Теоретичні відомості**

Програмована логіка (FPGA, (англ. field-programmable gate array) останнім часом стає основною технологією, що використовується для створення електронних систем в різних галузях. Зокрема, такі технології є актуальними в сферах розроблення рішень для Інтернету речей, вбудованих систем, розроблення апаратних систем для різних галузей промисловості, промислової автоматизації, систем керування роботами, високопродуктивних обчислень, штучного інтелекту та ін.

Програмована логічна інтегральна схема, ПЛІС (англ. programmable logic device, PLD) — електронний компонент, який використовують для створення цифрових інтегральних схем. На відміну від звичайних цифрових мікросхем, логіку роботи ПЛІС не визначають при виготовленні, а задають за допомогою програмування. Для цього служать програматори і налагоджувальні середовища, що дозволяють задати бажану структуру цифрового пристрою у вигляді принципової електричної схеми або програми спеціальними мовами опису апаратури (Verilog, VHDL, AHDL та ін.).

ПЛІС широко використовується для побудови різних за складністю і можливостям цифрових пристроїв. Розширення сфери застосування ПЛІС визначається зростаючим попитом на пристрої, які здатні швидко перебудовувати виконувані функції, скороченням проектно-технологічного циклу нових або модифікованих виробів, наявністю режимів зміни внутрішньої структури в реальному часі, підвищенням швидкодії, зниженням споживаної потужності, розробкою оптимізованих поєднань з мікропроцесорами і сигнальними процесорами, а також зниженням цін на ці пристрої.

Найбільшого поширення в галузі проектування

(програмування) ПЛІС набули: мова опису апаратних засобів інтегральних схем, VHDL; мова опису апаратних засобів та моделювання електронних систем, Verilog; мова проектування і верифікації моделей системного рівня, SystemC та ін.

Однією з найбільш поширених мов проектування інтегральних систем та інших елементів електронних систем є мова VHDL (Very high speed integrated circuits Hardware Description Language). Ця мова була розроблена у 1980 році в результаті реалізації в США проекту по створенню надшвидкісних інтегральних схем. У 1987 році Інститутом Інженерів з Електрики та Електроніки (IEEE) вона була визнана стандартною для розробки електронних систем у США. Зараз VHDL є найбільш поширеною у світі мовою такого призначення, її застосовують при розробці багатьох систем автоматизованого проектування.

VHDL— це мова опису апаратних засобів інтегральних схем та багатьох інших елементів у системах автоматизованого проектування. Основне її призначення це використання у якості інструментального засобу проектування ПЛІС та надвеликих інтегральних схем (НВІС). VHDL базується на принципі нисхідного проектування і є універсальною для проектування виробів цифрової електроніки.

На даний час мова VHDL використовується в якості міжнародного стандарту опису обчислювальних систем будь якого рівня складності (мікросхема, плата, блок, пристрій, ЕОМ, комплекс, тощо). Вона може бути використана на всіх етапах розробки електронних систем: проектування, верифікація, синтез і тестування апаратури, обмін даними про проект між різними системами автоматизованого проектування.

У мові VHDL важливе значення надається типам даних оскільки вони дають змогу визначати особливість розробленого елемента чи пристрою. Ця мова використовується для розробки різноманітних варіантів апаратних проектів, тому засоби контролю типів даних мають велике значення. Такий підхід дає розробнику можливість представити сукупність ліній зв'язку (шин) у вигляді масиву бітів або цілого числа.

Кожен тип даних у VHDL має певний набір прийнятих значень, формат збереження та передачі даних і набір дозволених

операцій. У цій мові визначена значна кількість різних типів даних, а також використовуються засоби для утворення користувачських типів даних. У VHDL використовується скалярні і агрегатні типи даних. Об'єкт, який віднесений до скалярного типу, розглядається як закінчена одиниця інформації. Агрегатні типи даних являють собою впорядковану сукупність скалярних одиниць, об'єднаних однаковою ім'ям. Крім того, типи даних поділяються на базові та користувачські.

Розроблений на мові VHDL проект являє собою опис явищ у дискретних системах. Такі явища представляються різними категоріями даних: константи, сигнали та змінні. Константи (constant) використовують для визначення сталих значень, які залишаються незмінними у всьому проекті. Сигнали (signal) – це інформація, що передається між елементами проекту і може бути представлена у вигляді вхідних та вихідних даних розроблюваного обладнання. Змінні (variable) – це інформаційна одиниця, яка використовується для опису внутрішніх операцій у елементах проекту, вони можуть синтезуватися у комірках пам'яті та змінюватися у ході виконання операцій.

Як і у будь якій мові програмування у мові VHDL використовуються оператори, які можна розділити на дві групи: послідовні і паралельні. Послідовні оператори (sequential statement) подібні до операторів багатьох мов програмування. Такі оператори обов'язково використовуються для опису послідовних процесів у частинах програм *process*, або в підпрограмах *procedure* чи *function* і виконуються послідовно один за одним у порядку запису. Паралельні оператори (concurrent statement) виконуються при будь яких змінах сигналів, що задані у вигляді вихідних даних. Такі оператори виконуються не за послідовним принципом, а тоді, коли реалізація інших операторів програми створила умови для їхнього виконання. У мові VHDL також використовується багато інших операторів, про їх особливості та способи використання детально описані у спеціальній літературі.

Розглянемо особливості описів схем на мові VHDL. Опис будь якої схеми або її фрагменту складається з двох частин. Перша, називається сутністю (entity), містить опис зовнішнього інтерфейсу схеми (перелік входів, виходів та інших компонентів).

Друга називається архітектурою (architecture) і містить опис, що визначає внутрішню будову та функціонування схеми.

Приклад опису сутності на мові VHDL:

```
ENTITY <ім'я сутності> IS  
  <вхідні і вихідні порти>;  
  [< фізичні та інші параметри>; ]  
END [ [entity] ім'я_сутності ]
```

Щоб написати повну VHDL-програму, потрібно описати всі вхідні і вихідні сигнали і визначити тип кожного з них. Опис сутності починається ключовими словами *ENTITY ... IS*. Він містить ім'я сутності і опис її зовнішніх виводів, що називаються портами. Крім того, опис може включати інші зовнішні параметри, такі як часові і температурні залежності тощо.

Завершується опис ключовим словом *END*, за яким (для зручності сприйняття тексту програми і додаткового контролю коректності блочної структури) бажано вказати реквізити блоку, що завершується. В даному випадку це *entity* та *ім'я сутності*.

Опис архітектури може виконуватись двома способами:

- як опис структури схеми (*structural*), тобто схеми з'єднань її складових елементів – схем нижчого ієрархічного рівня, аж до рівня з'єднання вентилів (*dataflow*);

- як опис поведінки схеми (*behavioral*).

Опис архітектури починається ключовими словами *ARCHITECTURE ... OF ... IS*, між якими вказується ім'я архітектури та ім'я сутності, якій вона відповідає. Далі вказуються декларації та тіло архітектури.

Приклад опису архітектури:

```
ARCHITECTURE <ім'я архітектури> OF <ім'я сутності> IS  
  <декларації типів, сигналів, констант та ін.>  
BEGIN  
  <тіло архітектури>  
END [ [architecture] <ім'я-_архітектури> ]
```

Розглянемо опис схеми на мові VHDL за допомогою прикладу опису роботи принципової схеми D-тригера, яка представлено на рис. 15.1

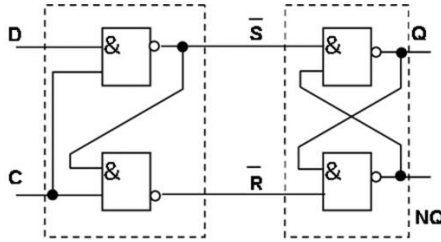


Рис. 15.1. Принципова схема синхронного D-тригера на логічних елементах І-НІ

Опис сутності D-тригера на мові VHDL:

```
ENTITY d_flipflop IS
PORT ( D, C: IN bit;
      Q, NQ: OUT bit );
END ENTITY d_flipflop;
```

Цей опис свідчить, що схема на ім'я *d\_flipflop* має чотири зовнішні виводи (порти), з них два входи (IN): *D* та *C*; і два виходи (OUT): *Q* та *NQ*. Усі порти належать до типу *bit*, тобто сигнал на їх виводах може набувати значень “0” і “1”.

Опису архітектури D-тригера здійснюється через опис його поведінки. Даний D-тригер працює так, що при  $C = 1$ , сигнал на виході *Q* повторює значення сигналу на вході *D*, а при  $C = 0$ , тригер зберігає попередній стан і сигнал на виході *Q* не змінюється. Сигнал на виході *NQ* є інверсією сигналу на виході *Q*.

Поведінку тригера можна описати так:

```
ARCHITECTURE behaviour OF d_flipflop IS
BEGIN
PROCESS (C,D)
BEGIN
IF C = '1' THEN
Q <= D AFTER 5 ns;
NQ <= not D AFTER 5 ns;
END IF;
END PROCESS;
END ARCHITECTURE behaviour;
```

Оператор *PROCESS (C,D)* вказує на те, що робота схеми описується процесом, де зміна сигналів на виходах можлива



лише внаслідок зміни вхідних сигналів  $C$  або  $D$ . Оператор  $IF$  визначає, що при  $C = '1'$ , сигнал  $Q$  набуває значення  $D$ , а  $\overline{NQ}$  – інверсії  $D$ . Ключове слово *AFTER* вказує на те, що вказані зміни значень на виходах  $Q$ ,  $\overline{NQ}$  відбувається не миттєво, а з затримкою на 5 наносекунд.

Цей приклад, дає змогу уявити особливість використання типів даних, операторів та способів розробки простих проектів інтегральних схем на мові VHDL. Використання такого підходу сприятиме здобуттю практичних навиків у розробці інтегральних схем та опису їх поведінки.

### **Програма роботи**

1. Розглянути особливість використання мови VHDL для розробки та моделювання поведінки інтегральних схем.
2. Навчитися розробляти поведінкові програми інтегральних схем.

### **Порядок виконання роботи**

1. Розглянути приклад розробки поведінкової програми з використанням мови VHDL, що описаний у теоретичних відомостях
2. Проаналізувати поведінку інтегральної схеми (варіанти схем надає викладач) та розробити програму на основі мови VHDL. При цьому, можна використовувати безкоштовне середовище розробки VHDL, наприклад *EDAplayground* (<https://edaplayground.com/home>), Online VHDL Testbench Template Generator (<https://vhdl.lapinoo.net/testbench>), або будь-який текстовий редактор. Також, для розробки поведінкових програм мовою VHDL можна використовувати програмне середовище для програмування ПЛК.
3. Описати алгоритм функціонування розробленої програми.
4. Результати роботи оформити у вигляді звіту.

### **Вимоги до оформлення звіту**

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;

- скріншоти виконання основних етапів побудови, які описані у порядку виконання роботи;
- виконану програму та її опис з коментарями;
- висновок.

### **Контрольні запитання**

1. Які вимоги використання мов проектування?
2. Що таке VHDL?
3. Які типи даних використовуються у мові VHDL?
4. Як виглядає розроблений на мові VHDL проект?
5. Які оператори використовуються у мові VHDL?
6. Яка особливість описів схем на мові VHDL?
7. Наведіть приклад опису вхідних та вихідних сигналів на мові VHDL?
8. Наведіть приклад опису архітектури на мові VHDL?

## **Лабораторна робота 16**

### **Проектування схеми електроживлення підприємства**

#### **Мета роботи**

Ознайомитися з основними правилами проектування принципів схеми електроживлення підприємств та навчитися виконувати їх розробку за допомогою програми AutoCAD Electrical

#### **Теоретичні відомості**

Електричне навантаження промислових підприємств визначає вибір всіх елементів системи електропостачання та електроживлення: лінії електропередач, трансформаторних підстанцій, живильних та розподільчих мереж та ін.

Проектування, вибір та розрахунок елементів системи електроживлення є одним з найважливіших факторів при проектуванні і експлуатації електричних мереж промислових об'єктів. Виконання проектів систем електроживлення здійснюється на основі:

- Правила улаштування електроустановок. Розділ 1.2 «Електропостачання і електричні мережі»;
- ДСТУ ІЕС 60287-(1-1 – 1-3):2009 «Кабелі електричні. Обчислення номінальної сили струму»
- ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» та ін.

При проектуванні систем електроживлення промислових підприємств враховують такі фактори:

1. Система електроживлення повинна бути надійною і забезпечувати безперебійне (гарантоване) електроживлення основного обладнання та необхідних господарських потреб.
2. Вибір схеми електроживлення та його обладнання обґрунтовується техніко-економічними показниками.
3. Електрозабезпечення здійснюється від електричної мережі загального призначення.
4. Система електроживлення повинна передбачати постійний місцевий та дистанційний технічний контроль.
5. Обладнання, яке використовується в системі електроживлення, повинно бути надійним і комплектуватися за

блочним принципом.

6. Струмозподільні мережі проектуються так, щоб витрати провідникових матеріалів були мінімальними.

7. Якість електроенергії на виході системи електроживлення має відповідати установленим нормам якості електроенергії на входах кіл живлення обладнання.

8. Прилади автоматичного захисту повинні виконувати свої функції при виникненні відповідних аварійних та ненормальних ситуаціях.

Визначення параметрів системи електроживлення потребують:

1. Проводи і кабелі, які є елементами мережі електроживлення і служать зв'язуючим елементом джерела живлення з електроприймачами (електродвигунами, освітлювальними приладами, нагрівальними установками і т.ін.).

2. Електроприймачі підключають до мережі через захисні апарати (запобіжники, автоматичні вимикачі, струмові реле).

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.

Розробка проектів електроживлення промислових підприємств виконується для таких електроприймачів:

- основного та допоміжного технологічного обладнання;
- контрольно-вимірювальних приладів, регулюючих пристроїв;
- електроприводів транспортерів, виконавчих механізмів, засувок (вентилів), тощо;
- приладів сигналізації, блокування та захисту;

- електро-, пневмо-, гідро устаткування, перетворювачів та інших засобів напругою до 380 В змінного і 440 В постійного струму та ін.

Вибір схеми електроживлення визначається необхідною безперебійністю електропостачання, територіальним розташуванням джерел живлення та електроприймачів, величиною навантаження, особливостями технологічного процесу, зручністю експлуатації, а також іншими характеристиками об'єкта.

При виборі внутрішніх мереж важливою умовою є необхідність забезпечення відповідного ступеня надійності електропостачання. Виходячи з цього, на початку, приймають рівень надійності живильної лінії зі всіма апаратами та електроприймачами, що отримуватимуть живлення по цій лінії.

Мережі напругою до 1 кВ, призначені для забезпечення електроприймачів, умовно поділяють на живильні та розподільвальні.

Живильна мережа з'єднує ТП і цехові РП (розподільвальні панелі, щити, шафи, шинопроводи і т.п.), а розподільвальна мережа служить для живлення силових електроприймачів. Найчастіше у якості внутрішньоцехових живильних мереж застосовують шинні магістральні мережі. Такі мережі бувають гнучкими чи універсальними.

Радіальні схеми живильної мережі застосовують у випадку складних умов оточуючого середовища (вибухонебезпечні і пожежонебезпечні зони, наявність струмопровідного пилу, хімічно агресивного середовища), а також при підвищених вимогах до надійності електропостачання споживачів, зокрема для споживачів 1-ї категорії.

Також, радіальні схеми живлення застосовуються для живлення потужних електроприймачів і окремих розподільних пунктів, від яких самостійними лініями живляться більш дрібні електроприймачі. Вони забезпечують високу надійність живлення окремих споживачів, зокрема при виникненні аварії ці мережі локалізуються і це не призводить до знеструмлення інших споживачів.

Розглянемо приклад принципової схеми системи електроживлення підприємства, яка зображена на рис. 16.1.



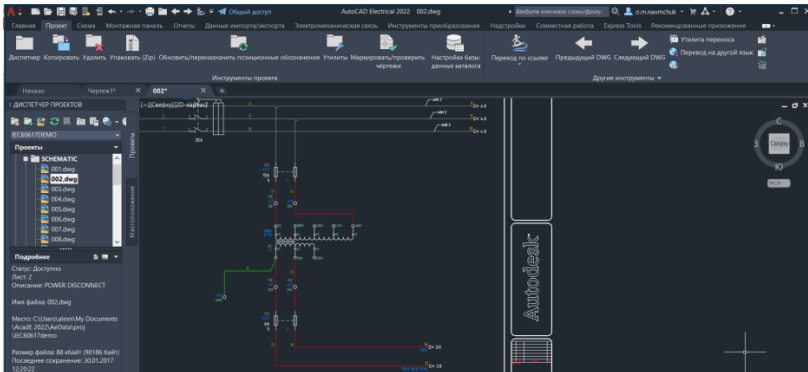


Рис. 16.2. Интерфейс AutoCAD Electrical при выборе панели «Проект»

При проектуванні принципів електричних схем електроживлення у програмі AutoCAD Electrical використовуємо панель «Конструктор цепей», яка активізується при виборі меню «Схема». При виборі цієї панелі програма AutoCAD Electrical пропонує вибрати доступні електричні кола, які вже є готові до використання (рис. 16.3). У ній є типові схеми електроживлення, які можна налаштувати під власний проект (рис. 16.4).

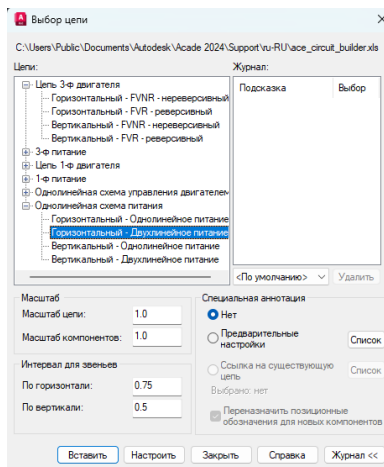


Рис. 16.3. Зовнішній вигляд меню для вибору існуючої принципової електричної схеми електроживлення

Серед таких схем можна вибрати найбільш підходящий варіант для подальшого використання, або подібний до того, який потрібно розробити. При натисканні кнопки «*Настроить*» відкривається меню, що дозволяє налаштувати вибрану схему під особливі параметри, серед яких: налаштування двигуна, графічне відображення двигуна, виводи клем та ін. При натисканні кнопки «*Вставить*» програма автоматично створює типову схему, яку потім можна налаштувати та змінювати (рис. 16.4).

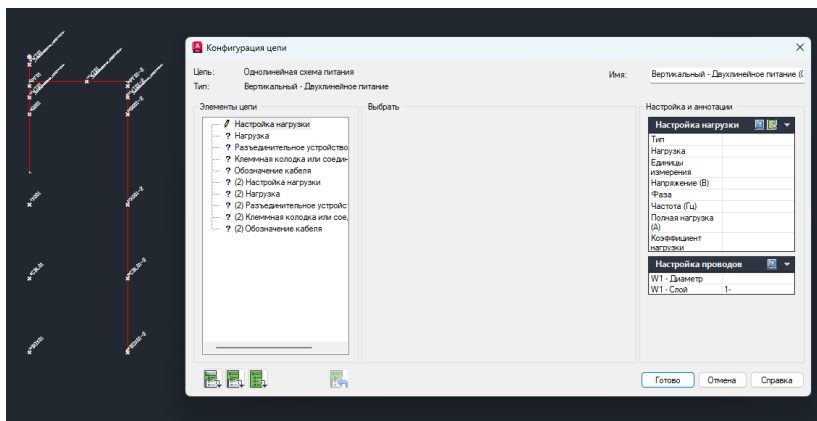


Рис. 16.4. Зовнішній вигляд вставленої принципової електричної схеми живлення з елементами налаштування

Якщо на схемі необхідно видалити зайвий компонент, то його потрібно виділити та натиснути на клавішу «*Delete*», а електричний провід у місці розриву з'єднати за допомогою кнопки «*Провод*», що на панелі меню «*Вставить провода / номер проводов*». Якщо ж на схему потрібно вставити новий компонент, то для цього можна використати «*Обозреватель каталогов*» на панелі «*Вставить компонент*» після чого з вкладки «*Категория*» вибрати необхідну категорію, наприклад «*Выключатели*», потім вказати конкретну марку чи модель та вибрати її з каталога доступних виробників, як це показано на рис. 16.5. Якщо необхідного компонента немає, то його можна віднайти застосувавши кнопку «*Глобальный поиск*», або вибрати інший, аналогічний, який є в наявному каталозі. При виборі



вказаного компоненту та підведенні його до електричної лінії програма автоматично вставить компонент створивши розрив провідника та прив'яже його до вказаного електричного кола.

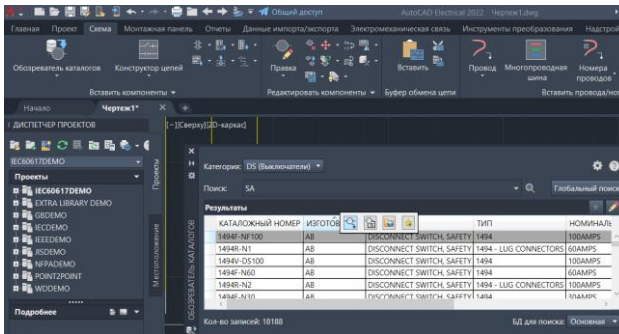


Рис. 16.5. Зовнішній вигляд меню «Вставити компонент» при додаванні компонентів електричних схем з каталогу виробників

Якщо при виборі у каталозі необхідний графічний образ не відображається, або він відсутній, то його можна віднайти за допомогою графічного меню «Вставити компонент», що автоматично відкривається. Також це меню можна відкрити з головного меню «Схема». Зовнішній вигляд меню для пошуку та вставлення компоненту показано на рис. 16.6. У графах меню віднаходимо необхідний компонент, або його аналог та вставляємо у відповідне місце.

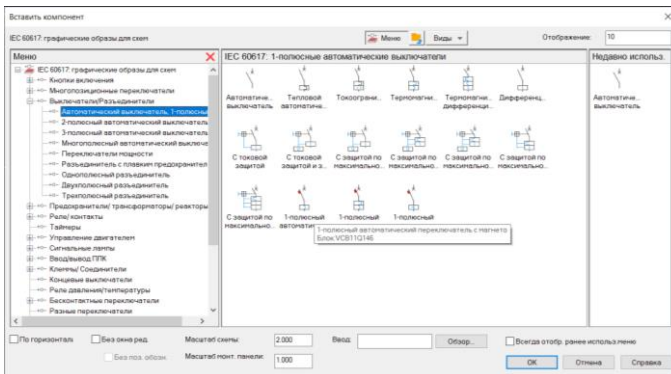


Рис. 16.6. Зовнішній вигляд меню для вставлення компоненту

Після виконання вибору відповідного елемента та виконання команди «Вставка образа, выбраного в графическом меню» відкриється вікно «Вставить / Редактировать компонент» (рис. 16.7). При цьому, вказуються автоматичні дані компонента з вибраного каталогу, а також тут можна ввести необхідні дані, наприклад виводи, номінальні значення, позиційні позначення та інші. Варто зауважити, що вказані в даному меню опції будуть зв'язувати компонент з відповідним його відображенням на монтажній схемі, а також вони можуть використовуватися при автоматичному формуванні звітів та специфікацій.

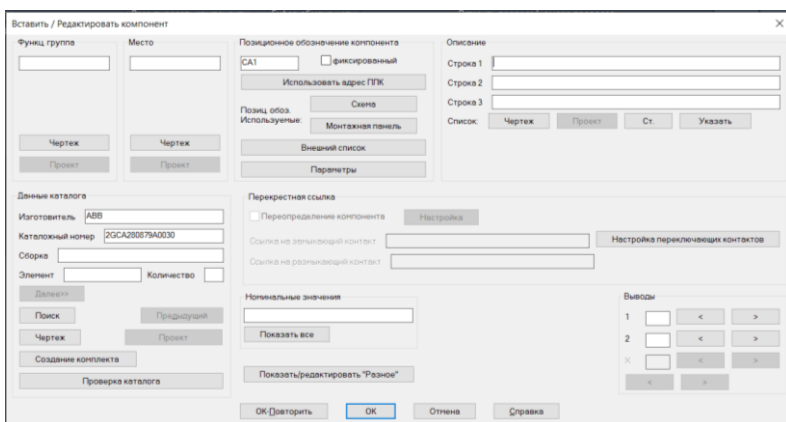


Рис. 16.7. Видяк вікна «Вставить / Редактировать компонент»

Після цього, необхідний електричний компонент можна вставити у відповідному місті схеми на провіднику/ах, а програма автоматично виконає їх з'єднання. Якщо необхідно вставити новий провід, чи відредагувати існуючий, то це можна зробити використавши вкладку «Провод», яка знаходиться на панелі «Вставить провода/номера проводов». В процесі розстановки провідників AutoCAD Electrical автоматично прив'язує кінці проводів та виконує їх маркування до вибраних (вставлених) електричних елементів.

На будь якому етапі виконання схеми у AutoCAD Electrical передбачена можливість редагування вибраних елементів та

провідників. Для цього використовується відслідковуване (контекстне) меню компонента та провідника, так само, як для будь якого електричного компонента, що детально розглядалося у попередніх лабораторних роботах.

Для формування *переліку елементів та пристроїв схеми електроживлення* використовуємо опцію створення специфікацій за допомогою якої можна генерувати відповідні звіти. Для цього необхідно використовувати вкладку «Отчеты» аналогічно до того, як це було розглянуто у попередніх лабораторних роботах.

### **Програма роботи**

1. Розглянути основні правила розробки принципів електричних схем електроживлення та особливості використання програми AutoCAD Electrical для їх розробки.

2. Використовуючи базу умовних графічних позначень навчитися розробляти принципові електричні схеми живлення підприємств.

### **Порядок виконання роботи**

1. Розглянути правила розробки принципів електричних схем електроживлення підприємств та особливості використання програми AutoCAD Electrical, що описано у теоретичних відомостях.

2. За схемою автоматизації розробити принципову електричну схему електроживлення обладнання технологічного процесу та засобів автоматизації. Для цього необхідно проаналізувати схему автоматизації та визначити установки, пристрої чи окремі елементи та типові схеми електроживлення для них.

2.1. При розробці принципової електричної схеми електроживлення, визначити всі електроспоживачі, їх тип та можливі варіанти живлення і резервування.

2.2. Вибрати типову(і) або стандартну(і) схему(и), що застосовують у промисловості (якщо не існує то розробити) та підлаштувати її під умови технологічного процесу та розробленої системи автоматизації.

2.3. Об'єднати електричні схеми живлення окремих

пристроїв у загальну принципову електричну схему електроживлення.

3. Після виконання схеми представити перелік її елементів та описати принцип її дії.

4. Створити новий проект у програмі AutoCAD Electrical. Для цього запустіть програму та виберіть *Создать > Выбор шаблона ACAD\_ELECTRICAL\_IEC.dwt* або *ACAD\_ELECTRICAL.dwt*, або інший підходящий шаблон.

5. Відкрити проект на панелі меню «Схема» у вкладці панелі «Конструктор цепей» вибрати доступну принципову електричну схему електроживлення, яка найбільш підхожа для вибраного варіанту. Використовуючи кнопку «Настроить» за допомогою меню налаштувати вибрану схему під параметри вказані у варіанті.

6. При потребі вставити необхідні електричні компоненти схеми за допомогою вкладки «Вставить компонент». Для цього виберіть «Обозреватель каталогов» або «Графическое меню та з каталогу виробників виберіть найбільш підхожі до схеми компоненти та вставте їх у певних місцях на робочому полі схеми, або на відповідних електричних лініях відповідно до варіанту. При відсутності конкретного електричного компоненту вказаного у списку виробників що представлені в AutoCAD Electrical вибрати аналог з графічного меню «Вставить компонент».

7. Виконати з'єднання, або редагування вибраних та встановлених на робоче поле елементів провідниками з меню «Вставить провода/номер проводов > Провод».

8. Виконати остаточне оформлення схеми, додати перелік використаних елементів у текстовому вигляді на полі схеми, або на додатковому аркуші.

*Зауваження.* Для оформлення схеми на окремому аркуші (A3-A1) можна використати функцію експорт креслення в PDF-формат. При цьому потрібно перейти за посиланням: *Файл > Экспорт > PDF*

9. Результати роботи оформити у вигляді звіту.

### ***Вимоги до оформлення звіту***

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;
- креслення розробленої/них принципової/вих електричної/них схем/и електроживлення на окремому аркуші стандартного розміру (A3-A1) з заповненим основним написом;
- висновок.

### **Контрольні запитання**

1. У чому суть розробки принципових електричних схем живлення?
2. Які види живильних мереж використовують при проектуванні схем електроживлення?
3. Яка особливість використання програми AutoCAD Electrical для проектування схем електроживлення?
4. Яка специфіка використання панелі «*Конструктор цей*» AutoCAD Electrical для проектування схем електроживлення?
5. Як налаштувати принципову електричну схему живлення при використанні панелі «*Конструктор цей*»?
6. Як вставити електричний компонент на вибрану з панелі «*Конструктор цей*» типову схему електроживлення?

## **Лабораторна робота 17**

### **Розрахунок параметрів схеми електроживлення та вибір апаратів управління і захисту**

#### **Мета роботи**

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

#### **Теоретичні відомості**

Проектування електроживлення підприємства на якому впроваджується система автоматизації – 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 (ПУЕ). Розд. 1.2 – 1.4;
- ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств;
- 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.

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*

пускарі (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 (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 пошкодженим 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. 17.1. Електроживлення цієї системи здійснюється від *Розподільного щита*. Далі від нього живиться *Силова зборка засувок і Щит живлення*. В свою чергу, від силової зборки засувок отримують живлення два асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Електродвигуни, силові зборки і пускова апаратура встановлені в приміщенні з нормальним середовищем. Технічні характеристики двигунів зазначені в табл. 17.1. 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 системи зазначені в табл. 17.2.

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.

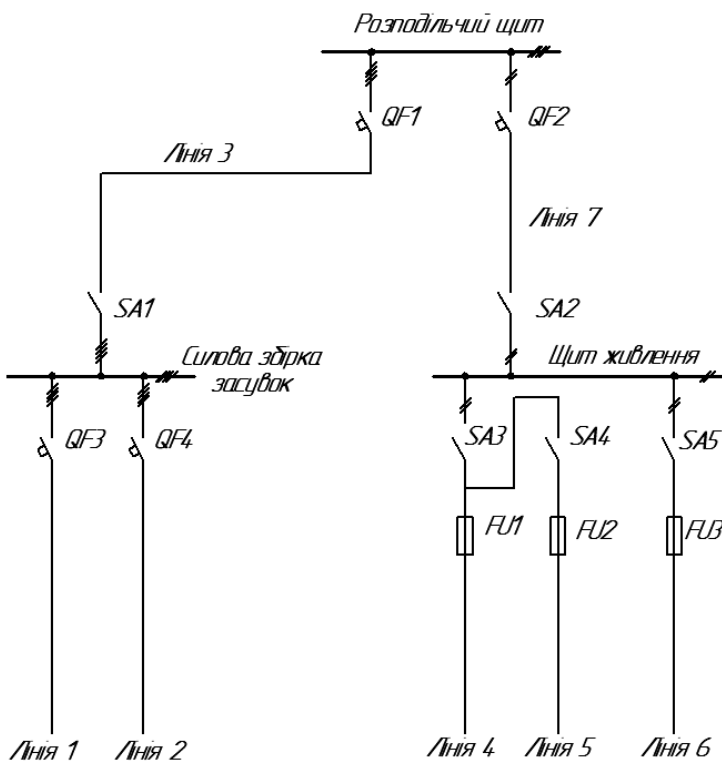


Рис. 17.1. Схема електроживлення електроспоживачів

Таблиця 17.1

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

Таблиця 17.2

## 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 МК-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 виконання розрахунку.** Визначаємо розрахункові струми ліній електропередач (див. рис. 17.1):

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 в 5-7 разів вищий 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  $I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,01}{220} = 0,046$  А. Струм, що протікає через одну лампу Ц-220-10 дорівнює  $I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,01}{220} = 0,046$  А. Сума всіх струмів  $\Sigma I_p = 0,046 \cdot 5 + 0,046 \cdot 5 = 0,46$  А.

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

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

Визначені величини розрахункових струмів усіх ліній зведені в табл. 17.3.

Таблиця 17.3

## 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 виконання 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  $U_n \geq U_{н.мережі} = 380$  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  $I_n \geq I_{довг.}$  63 А > 47,3 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:  $U_n \geq U_{н.мережі} = \sim 220$  В,  $I_n \geq I_{довг.}$  10 А > 1,94 А.

Основні технічні характеристики вибраних апаратів керування, встановлених у розглянутій схемі зведені в табл. 17.4.

Таблиця 17.4

## Основні технічні характеристики апаратів керування

Номер лінії	3	4	5	6	7	8	9
Позначення апарату	B1	B3	B4	B6	B7	B8	B2
Тип апарату	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 виконання розрахунку.*

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

де,  $U_{n.a}$  - номінальна напруга автоматичного вимикача;

$U_{n.m}$  - номінальна напруга мережі;

$I_{n.a}$  - номінальний струм автоматичного вимикача;

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

$U_{n.a} \geq U_{n.m} \sim 500 \text{ В} > \sim 380 \text{ В}$ ;  $I_{n.a} \geq I_{довг.} 50 \text{ А} > 32,5 \text{ А}$

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

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  $I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дв}$ :

$I_{н.уст.тепл} \geq 32,5$  А. Вибираємо автоматичний вимикач на  $I_{н.уст.тепл} = 33$  А.

Лінія 2. Вибираємо автоматичний вимикач типу АП50-3МТ за такими параметрами:  $U_{н.а} \geq U_{н.с}, \sim 500$  В >  $\sim 380$  В,  $I_{н.а} \geq I_{довг.} 50$  А >  $14,8$  А. Визначаємо номінальний струм комбінованого розчеплювача  $I_{н.розч} \geq I_{н.дов.}, I_{н.розч} \geq 14,8$  А. Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом  $I_{н.розч} = 16$  А. Визначаємо струм уставки (відсічення) електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача  $I_{уст.ел.магн} \geq 1,25 \cdot 103,5 = 130$  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  $I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дов.}, I_{н.уст.тепл} \geq 14,8$  А. Вибираємо автоматичний вимикач на  $I_{н.уст.тепл} = 15$  А.

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

Визначаємо номінальний струм комбінованого розчеплювача  $I_{н.розч} \geq I_{н.дов.}, I_{н.розч} \geq 47,3$  А. Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом  $I_{н.розч} = 50$  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,  $\sum I_{н.дв}$  - 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.

$I_{уст.ел.магн} \geq 1,25 (\sum I_{н.дов} + I'_{пуск.}), I_{уст.ел.магн} \geq 1,25 \cdot 242,8 = 304$  А,  
 $\frac{I_{уст.ел.магн}}{I_{н.розч}} = \frac{304}{50} = 6$ . Приймаємо  $I_{уст.ел.магн} = 8 I_{н.розч}$ .

Визначаємо номінальний струм уставки теплового елемента комбінованого розчеплювача  $I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дов.}, I_{н.уст.тепл} \geq 47,3$  А. Вибираємо автоматичний вимикач на  $I_{н.уст.тепл} = 48$  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  $I_{н.уст} \geq I_{довг.} > 1,37$  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 пристроїв. Основні розрахункові технічні характеристики визначених апаратів захисту зведені в табл. 17.5.

Таблиця 17.5

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., $I_{н.розч.}, \text{ А}$	40	16	50	-	-	-	-	-	4
Струм уставки електромагн. розчеплювача $I_{уст.ел.магн.}$	$8I_{н.розч}$			-	-	-	-	-	$3,5I_{н.розч}$
Струм уставки теплового розчеплювача $I_{н.уст.тепл.}, \text{ А}$	33	15	48	-	-	-	-	-	-
Струм плавкої вставки $I_{н.пл.вст.}, \text{ А}$	-	-	-	2	0,5	0,5	1	0,5	-



### **Програма роботи.**

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

### **Порядок виконання роботи**

1. Розглянути правила виконання розрахунку схеми електроживлення, вибору апаратів захисту та управління на основі матеріалу з теоретичних відомостей.
2. На основі розглянутого у теоретичних відомостях прикладу виконати визначення розрахункових струмів ліній електропередач.
3. На основі розглянутого у теоретичних відомостях прикладу виконати вибір та розрахунок апаратів керування та захисту.  
*Зауваження.* Послідовність розрахунку та його результати представити у вигляді таблиці.
4. 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;
- розроблена схему електроживлення;
- послідовність розрахунку струмів ліній електропередач та їх результати;
- послідовність вибору і розрахунок апаратів керування та захисту;
- висновок.

### **Контрольні запитання.**

1. Яка особливість визначення струмів ліній електропередач?
2. Як здійснюється вибір плавкого запобіжника?
3. Як визначити уставки автоматичного вимикача з комбінованим розчіплювачем.
4. Для чого використовуються автоматичні вимикачі з

комбінованим розчіплювачем.

5. Для чого використовується теплове реле.
6. Як здійснюється вибір теплового реле?
7. Яке призначення автоматичних вимикачів в електричних колах?
8. Як здійснюється вибір провідників для електроспоживачів?

## **Лабораторна робота 18**

### **Розробка та розрахунок системи захисту при виникненні короткого замикання в схемах електроживлення**

#### **Мета роботи**

Навчитися розробляти та розраховувати систему захисту та виконувати вибір захисних апаратів при виникненні у колах електроживлення короткого замикання.

#### **Теоретичні відомості**

Правила та послідовність вибору електричних апаратів і провідників за умовами виникнення короткого замикання регламентується ПУЕ, розд 1.4. Зокрема, у п.п. 1.4.9 – 1.4.22 детально описано послідовність визначення струмів короткого замикання для вибору апаратів і провідників, визначені вимоги щодо вибору і перевірки електричних апаратів і провідників за умови електродинамічної і термічної стійкості, а також комутаційної здатності при виникненні коротких замикань (КЗ) в електроустановках змінного струму. За умовами виникнення короткого замикання потрібно перевіряти: електричні апарати, струмопроводи, жили кабелів, фазні проводи, а також повітряні лінії електропередач.

В електроустановках напругою до 1 кВ при визначенні струмів КЗ враховують такі умови:

- усі джерела, які беруть участь у живленні точки КЗ, працюють одночасно з номінальним навантаженням;
- усі синхронні машини мають автоматичні регулятори напруги та пристрої форсування збудження;
- коротке замикання настає в момент часу за якого струм КЗ матиме найбільше значення;
- електрорушійні сили всіх джерел живлення збігаються за фазою;
- розрахункову напругу приймають на 5 % більше за номінальну;
- враховують вплив на струми КЗ приєднаних до цієї мережі синхронних компенсаторів, синхронних і асинхронних електродвигунів.

Розглянемо приклад визначення струмів КЗ. Виконаємо наближені розрахунки струмів однофазного короткого замикання в лініях електроприводів і ліній живлення потенціометра (лінії 1 і 6), що розглядалися у попередній лабораторній роботі. Для того, щоб розрахувати струми короткого замикання спочатку потрібно визначити можливі місця його виникнення. Відомо, що коротке замикання виникає за відповідних умов та у найбільш характерних точках. Для нашого прикладу такими місцями є точки  $K1$  і  $K2$  (рис. 18.1). Для визначення місць появи струмів короткого замикання спочатку необхідно побудувати схему для розрахунку струмів короткого замикання. У нашому випадку така схема наведена на рис. 18.1, а, відповідно, параметри ліній електроживлення цієї схеми, наведені у табл. 18.1. Для зручності виконання розрахунків ділянки ліній схеми електроживлення позначені літерами.

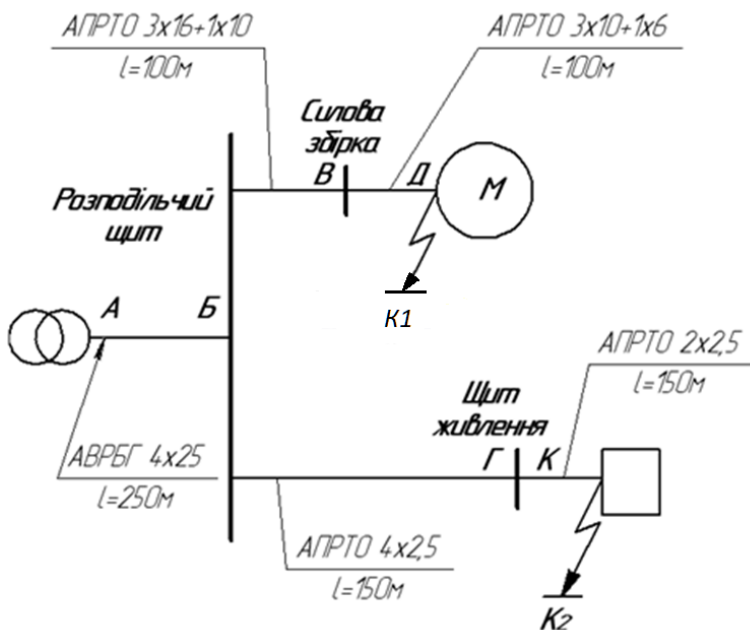


Рис. 18.1. Спрощена схема електроживлення для розрахунку струмів КЗ

Таблиця 18.1

## Поперечний перетин провідників

№ лінії	1	2	3	4	5	6	7
Поп. перетин, мм <sup>2</sup>	10	2,5	16	2,5	2,5	2,5	2,5

Розглянемо приклад визначення струмів короткого замикання у схемі, що показана на рис. 18.1. Для початку *визначаємо струм КЗ у розрахунковій точці К1*. Алгоритм розрахунку передбачає визначення повного опору для кола фаза-нуль за формулою:

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{(\sum R_{\phi} + \sum R_0)^2 + (\sum X_{\phi} + \sum X_0)^2} + Z_{T(1)} \quad (1)$$

де,  $R_{\phi} = \frac{vl}{S_{\phi}}$  - активний опір провідника фази відповідної

ділянки кола, Ом; (2)

$X_{\phi} = al$  - індуктивний опір провідника фази відповідної ділянки кола, Ом; (3)

$R_0 = \frac{vl}{S_0}$  - активний опір ділянки з нульовим проводом, м; (4)

$X_0 = al$  - індуктивний опір ділянки з нульовим проводом, Ом; (5)

$l$  - довжина ділянки, км;

$S_{\phi}, S_0$  – поперечний перетин провідника відповідно фазного і нульового проводу, мм<sup>2</sup>;

$a$  - коефіцієнт, що залежить від конструкції провідників: 0,07 - для кабелів; 0,09 - для проводів прокладених у захисних трубах;

$v$  - коефіцієнт, що залежить від матеріалу провідників: 19 - для мідних проводів і кабелів; 32 - для алюмінієвих проводів і кабелів;

$R_T = \frac{ck^2}{S_T}$  - активний опір фази живильного трансформатора, Ом; (6)

$X_m = d R_m$  - індуктивний опір фази живильного трансформатора, Ом; (7)

$S_m$  - потужність трансформатора, кВА;

$c$  - коефіцієнт, який залежить від типу трансформатора: 4 - для трансформаторів до 60 кВА; 3,5 - до 180 кВА; 2,5 - до 1000 кВА; 2,2 - до 18000 кВА;

$d$  - коефіцієнт, який залежить від типу трансформатора: 2 - для трансформаторів до 180 кВА; 3 - до 1000 кВА; 4 - до 1800 кВА;

$$Z_{T(1)} = \frac{22}{S_T} K^2 - \text{опір кола трансформатора, Ом}; \quad (8)$$

$K = \frac{U_{нс}}{380}$  - розрахунковий повний опір трансформатора при відведенні струму КЗ на землю, Ом; (9)

*Зауваження.* У випадку нашої розрахункової схеми необхідно визначити тип трансформатора, який використовується для живлення цієї схеми.

Потужність вказаного трансформатора становить 1000 кВА, саме такий тип трансформатора найчастіше використовується у схемах електроживлення.

Для виконання розрахунку необхідно визначити активний опір фазного й нульового провідників ділянок мережі за формулами (5.2) і (5.4).

$$R_{\phi AB} = \frac{32 \cdot 0,25}{25} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$R_{\phi BB} = \frac{32 \cdot 0,1}{16} = 0,20 \text{ Ом};$$

$$R_{\phi BD} = \frac{32 \cdot 0,1}{10} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$R_{0AB} = \frac{32 \cdot 0,25}{25} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$R_{0BB} = \frac{32 \cdot 0,1}{10} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$R_{0BD} = \frac{32 \cdot 0,1}{6} = 0,53 \text{ Ом}.$$

Після цього визначаємо суму всіх фазних опорів для відповідної ділянки до точки  $KI$  можливого виникнення КЗ:

$$\Sigma R_{\phi} = R_{\phi AB} + R_{\phi BB} + R_{\phi BD} = 0,32 + 0,2 + 0,32 = 0,84 \text{ Ом};$$

$$\Sigma R_0 = R_{0AB} + R_{0BB} + R_{0BD} = 0,32 + 0,32 + 0,53 = 1,17 \text{ Ом}.$$

Подібний розрахунок виконуємо для визначення індуктивного опору фазного і нульового проводів відповідних ділянок мережі за формулами (3) і (5):

$$X_{\phi AB} = 0,07 \cdot 0,25 = 0,017 \text{ Ом};$$

$$X_{\phi BB} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом};$$

$$X_{\phi BD} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом};$$

$$X_{0AB} = 0,07 \cdot 0,25 = 0,017 \text{ Ом};$$

$$X_{0BB} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом};$$

$$X_{0BD} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом}.$$

Після цього визначаємо суму всіх індуктивних опорів для

відповідної ділянки до точки  $KI$  можливого виникнення КЗ:

$$\Sigma X_{\phi} = X_{\phi AB} + X_{\phi BB} + X_{\phi BD} = 0,017 + 0,009 + 0,009 = 0,035 \text{ Ом};$$

$$\Sigma X_0 = X_{0AB} + X_{0BB} + X_{0BD} = 0,017 + 0,009 + 0,009 = 0,035 \text{ Ом}.$$

Як видно з розрахунку, індуктивні опори фазного і нульового проводів виявляються незначними і можуть не враховуватися в подальших розрахунках. Розрахунковий повний опір трансформатора при появі струму КЗ визначаємо за формулою (5.8):

$$Z_{T(1)} = \frac{22}{1000} = 0,02 \text{ Ом}; K = \frac{U_{н.с}}{380} = \frac{380}{380} = 1.$$

Відповідно розраховуємо повний опір для кола фаза-нуль за формулою (5.1):

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(0,84 + 1,17)^2} + 0,02 = 2,03 \text{ Ом}.$$

Струм однофазного короткого замикання визначаємо за формулою:

$$I_{к.з.(1)} = \frac{U_{н.с}}{\sqrt{3}Z_{\phi-0}}, I_{к.з.(1)} = \frac{380}{1,73 \cdot 2,03} = 107, \text{ А} \quad (10)$$

Кратність струму короткого замикання повинна бути не менше  $\frac{I_{к.з.(1)}}{I_{н.розч.}} = 3$ ;

де,  $I_{н.розч.}$  – паспортне значення (вказане в технічній документації) струму розчеплювача автоматичного вимикача, А.

У нашому прикладі це значення  $\frac{I_{к.з.(1)}}{I_{н.розч.}} = \frac{107}{40} < 3$ , тому необхідна умова не виконується. Щоб виконалася ця умова, тобто щоб струм КЗ перевищував номінальний струм розчеплювача в 3 рази, необхідно зменшити повний опір кола струму короткого замикання. Для цього потрібно збільшувати поперечний переріз провідників (див. табл. 18.1), тобто вибрати інший ближчий за технічними показниками провід і перерахувати всі показники знову. З огляду на це, прийемо переріз нульових проводів рівним перетину фазних проводів на лініях БВ і ВГ і перерахуємо відповідні показники:

$$R_{\phi BB} = R_{0BB} = \frac{32 \cdot 0,1}{16} = 0,2 \text{ Ом};$$

$$R_{\phi ВГ} = R_{0ВД} = \frac{32 \cdot 0,1}{10} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$\Sigma R_{\phi} = \Sigma R_0 = 0,32 + 0,2 + 0,32 = 0,84 \text{ Ом};$$

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(0,84 + 0,84)^2} + 0,02 = 1,7 \text{ Ом}.$$

Після цього, струм однофазного короткого замикання буде  $I_{к.з.(1)} = \frac{380}{1,73 \cdot 1,7} = 130 \text{ А}$ , а кратність струму короткого замикання стане більшою  $\frac{I_{к.з.(1)}}{I_{н,расц}} = \frac{130}{40} > 3$ . Отже необхідна умова виконана.

Після визначення струмів КЗ необхідно перевірити *селективність дії автоматичних вимикачів* при появі розрахованого струму вище КЗ  $I_{к.з.(1)} = 130 \text{ А}$ . У нашій схемі цей струм проходить послідовно через два автоматичні вимикачі QF1 і QF3 (див. рис. 17.1 з попередньої лабораторної роботи) з номінальними струмами розчеплювачів відповідно 50 А і 40 А. При появі струму КЗ повинен спрацювати тільки автоматичний вимикач QF3 з номінальним струмом розчеплювача 40 А.

Визначаємо час спрацьовування автоматичного вимикача по часово-струмовій характеристиці при кратності струму перевантаження у нашому прикладі – 3,2. Час спрацьовування автоматичного вимикача дорівнює 18 сек. (часово-струмові характеристики автоматичних вимикачів визначаємо з технічних параметрів в технічних паспортах та інструкціях з експлуатації).

Визначаємо час спрацьовування автоматичного вимикача QF1 по часово-струмовій характеристиці при кратності струму перевантаження, у нашому прикладі - 2,5 час спрацьовування автоматичного вимикача дорівнює 30 сек. Таким чином, автоматичний вимикач QF3, що має менший час спрацьовування спрацює раніше, тобто умова селективності дії автоматичних вимикачів виконана.

Для перевірки автоматичного вимикача на розмикаючу здатність розраховуємо струм трифазного короткого замикання за формулою (10)  $I_{к.з.(3)} = \frac{U_{н.с}}{\sqrt{3}Z_{\phi}}$ , а значення  $Z_{\phi}$  знаходимо за

$$\text{формулою } Z_{\phi} = \sqrt{(\sum R_{\phi} + R_{Т})^2 + (\sum X_{\phi} + X_{Т})^2}.$$

Активний і індуктивний опору фази живильного трансформатора визначаємо за формулами (6) і (7):

$$R_{Т} = \frac{2,5 \cdot 1}{1000} = 0,0025 \text{ Ом};$$

$$X_{m} = 3 \cdot 0,0025 = 0,0075 \text{ Ом}.$$

У результаті отримаємо загальний опір дорівнює:  $Z_{\phi} = \sqrt{(0,84 + 0,0025)^2 + (0,035 + 0,0075)^2} = 0,84 \text{ Ом}$ , а струм КЗ



$I_{к.з.(3)} = \frac{380}{1,73 \cdot 0,84} = 260$  А, таким чином визначений струму КЗ набагато менший гранично допустимого для даного автоматичного вимикача, а це означає, що цей пристрій підходить за розрахунковими параметрами.

Визначення струму КЗ у розрахунковій точці К2, виконаємо аналогічно до визначення струму КЗ у точці К1. Розраховані параметри приведено нижче:

$$R_{\phi AB} = 0,32 \text{ Ом} \quad R_{0AB} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$R_{\phi BD} = \frac{32 \cdot 0,15}{2,5} = 1,92 \text{ Ом};$$

$$R_{0BD} = \frac{32 \cdot 0,15}{2,5} = 1,92 \text{ Ом};$$

$$R_{0DE} = \frac{32 \cdot 0,05}{2,5} = 0,64 \text{ Ом};$$

$$R_{0DE} = \frac{32 \cdot 0,05}{2,5} = 0,64 \text{ Ом};$$

$$\Sigma R_{\phi} = 0,32 + 1,92 + 0,64 = 2,88 \text{ Ом};$$

$$\Sigma R_0 = 2,88 \text{ Ом};$$

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(2,88 + 2,88)^2 + 0,02} = 5,78 \text{ Ом}.$$

Струм однофазного короткого замикання рівний  $I_{к.з.(1)} = \frac{380}{1,73 \cdot 5,78} 38$  А. Умова необхідної кратності струму короткого замикання відносно номінального струму запобіжника в цьому випадку виконується, оскільки  $\frac{I_{к.з.(1)}}{I_{н.вст}} = \frac{38}{0,5} > 3$ .

Для розрахунку втрат напруги у провідниках необхідно визначити втрати напруги у всіх лініях розглянутого прикладу. Для цього, виконаємо спрощену схему розрахунку втрат напруги, яка наведена на рис. 18.2.

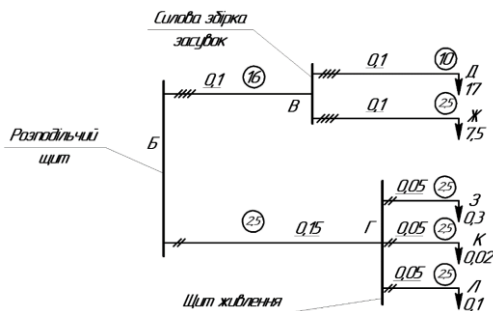


Рис. 18.2. Схема для визначення втрат напруги

На рис. 18.2 зазначені навантаження вказані у  $\text{kВт}$ , довжина ділянок у  $\text{км}$  і переріз проводів у  $\text{мм}^2$ . Розрахункові величини провідників обрані за умовами дії довготривалого розрахункового струму. Оскільки споживані потужності окремих споживачів: двигунів, вимірювальних приладів, регуляторів та інших пристроїв найчастіше задаються у вигляді повної потужності, то з метою спрощення розрахунку втрат напруги проведемо за повною потужністю. У цьому випадку допускається похибка у бік збільшення втрат напруги хоча у дійсності втрати будуть меншими.

Втрати напруги  $\Delta U$  від точки  $B$  (рис. 18.2) до найбільш віддалених точок визначаються сумою втрат напруги на окремих ділянках. Визначаємо втрати напруги на ділянках трифазної лінії змінного струму за формулою:

$$\Delta U = \frac{100 \sum Pl}{\gamma U_n^2 F}, \% \quad (11).$$

$$\Delta U_{БВ} = \frac{100}{31,7 \cdot 0,38^2} \frac{24,5 \cdot 0,1}{16} = 3,38\%;$$

$$\Delta U_{ВД} = \frac{100}{31,7 \cdot 0,38^2} \frac{17 \cdot 0,1}{10} = 3,72\%;$$

$$\Delta U_{ВЖ} = \frac{100}{31,7 \cdot 0,38^2} \frac{7,5 \cdot 0,1}{2,5} = 6,55\%.$$

Втрата напруги від точки  $B$  до точок  $\Gamma$  і  $Ж$  складуть:

$$\Delta U_{БВД} = \Delta U_{БВ} + \Delta U_{ВД} = 3,38 + 3,72 = 7,1\%;$$

$$\Delta U_{БВЖ} = \Delta U_{БВ} + \Delta U_{ВЖ} = 3,38 + 6,55 = 9,93\%.$$

Враховуючи задані режими і короткочасність роботи електродвигунів, отримані значення втрат напруги в лініях  $B-B-D$  і  $B-B-Ж$  у цьому випадку можна вважати допустимими.

Визначаємо втрати напруги на ділянках двохпровідної однофазної мережі змінного струму за формулою:

$$\Delta U = \frac{200 \sum Pl}{\gamma U_n^2 F}, \% \quad (12)$$

де,  $\gamma$  - питома провідність матеріалу проводів ( $\gamma = 53 \text{ м/Ом} \cdot \text{мм}^2$  - для мідних провідників і  $\gamma = 31,7 \text{ м/Ом} \cdot \text{мм}^2$  - для алюмінієвих провідників);

$U_n$  - номінальна напруга мережі,  $\text{kВ}$  (для трифазної мережі  $U_n$  - фазна напруга);

$F$  - переріз провідників,  $\text{мм}^2$ ;

$P$  - навантаження,  $\text{kВт}$ ;

$I_a$  - активна складова струму, А;

$l$  - довжина ділянки, км.

$$\Delta U_{БГ} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,68 \cdot 0,15}{2,5} = 5,38\%$$

Втрата напруги на даній ділянці перевершує значення допустимих відхилень напруги на вході обчислювача об'єму газу (5%), тому необхідно збільшити переріз провідників лінії БГ з 2,5 мм<sup>2</sup> до 4 мм<sup>2</sup> та виконати перерахунок з новими показниками:

$$\Delta U_{БГ} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,68 \cdot 0,15}{4} = 3,34\%;$$

$$\Delta U_{ГЗ} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,3 \cdot 0,05}{4} = 0,786\%;$$

$$\Delta U_{ГК} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,02 \cdot 0,05}{4} = 0,033\%;$$

$$\Delta U_{ГЛ} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,1 \cdot 0,05}{4} = 0,26\%.$$

Втрата напруги від точки Б до точок Г, З, К, Л складе:

$$\Delta U_{БГЗ} = \Delta U_{БГ} + \Delta U_{ГЗ} = 3,34 + 0,786 = 4,126\%;$$

$$\Delta U_{БГК} = \Delta U_{БГ} + \Delta U_{ГК} = 3,34 + 0,033 = 3,373\%;$$

$$\Delta U_{БГЛ} = \Delta U_{БГ} + \Delta U_{ГЛ} = 3,34 + 0,26 = 3,6\%.$$

Показники розрахованих втрат напруги по окремих ділянках мережі зведені в табл. 18.2.

Таблиця 18.2

Розрахункові втрати напруги по окремих ділянках мережі

Умовне позначення лінії	БВД	БВЖ	БГЗ	БГК	БГЛ
Втрата напруги $\Delta U$ , %	7,1	9,93	4,126	3,524	3,497

Таким чином, розраховані втрати напруги не перевершують значень допустимих відхилень напруги на затисках електроприймачів. У зв'язку з тим, що при розрахунках втрат напруги був збільшений перетин лінії БГ до 4 мм<sup>2</sup>, необхідно виконати повторно розрахунки струму короткого замикання в точці К2. Визначимо активні опори фазного й нульового провідника на ділянці БГ:

$$R_{ФБД} = \frac{32 \cdot 0,15}{4} = 1,2 \text{ Ом} \quad R_{0БД} = 1,2 \text{ Ом}$$

Користуючись даними розрахунків, викладеними вище (струм

КЗ в точці К2), отримаємо:

$$\Sigma R_{\phi} = 0,32 + 1,2 + 0,64 = 2,16 \text{ Ом};$$

$$\Sigma R_0 = 2,16 \text{ Ом};$$

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(2,16 + 2,16)^2 + 0,02} = 4,34 \text{ Ом}.$$

Струм однофазного короткого замикання буде дорівнювати

$$I_{\text{к.з.}(1)} = \frac{380}{1,73 \cdot 4,34} = 50,7 \text{ А}.$$

Кратність струму КЗ стосовно номінального струму плавкої вставки запобіжника при збільшенні перетину лінії *БД*, як і слід було сподіватися зріс. Таким чином спрацювання елементу захисту (плавкий запобіжник) відбуватиметься більш надійно.

### **Програма роботи.**

1. Розглянути принцип розрахунку струмів короткого замикання та втрат напруги.
2. Виконати розробку схеми виникнення струмів КЗ, провести їх розрахунок та визначити втрати напруги.

### **Програма роботи**

1. Ознайомитися прикладами розрахунку струмів короткого замикання та втрат напруги, що приведені у теоретичних відомостях.
2. У відповідності до розробленої на попередніх лабораторних роботах схеми електроживлення визначити точки появи струмів короткого замикання. Для цього виконати спрощену схему електроживлення для розрахунку струмів КЗ.
3. Виконати розрахунок дії апаратів захисту при виникненні струму короткого замикання у відповідних точках його появи.
4. Виконати остаточний вибір розрахованих пристроїв за уточненими параметрами по каталогах виробників.
5. Побудувати схему для розрахунку втрат напруги та визначити їх показники на кожній окремій ділянці схеми електроживлення.

*Зуваження.* Креслення схем виконати з дотриманням стандартів та умовних графічних позначень схем електроживлення на окремому аркуші формату А4-А3 з використанням програми AutoCAD Electrical, або AutoCAD.

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;
- схеми виникнення короткого замикання та спаду напруг;
- розрахунки та їх результати;
- висновок.

### **Контрольні запитання.**

1. Як регламентується послідовність вибору електричних апаратів і провідників за умовами виникнення короткого замикання?

2. Які умови враховують при визначенні струмів КЗ в електроустановках напругою до 1 кВ?

3. Як здійснюється визначення точок можливого виникнення КЗ?

4. Охарактеризуйте алгоритм визначення струм КЗ у розрахункових точках.

5. Як здійснюється перевірка селективності дії автоматичних вимикачів при появі розрахованого струму вище КЗ?

6. Який алгоритм визначення втрат напруги у провідниках?

## **Лабораторна робота 19**

### **Проектування конструкції щитів і пультів**

#### **Мета роботи**

Розглянути способи проектування щитів і пультів та навчитися використовувати Autodesk Inventor для проектування щита управління для розташування обладнання системи автоматизації

#### **Теоретичні відомості**

Щити і пульти, що використовують в промисловості, виконують роль пристроїв у яких встановлюються різноманітне обладнання: програмовані-логічні контролери та модулі вводу/виводу, перетворювачі, пристрої аварійної автоматики та сигналізації, засоби відображення та обліку та ін. Також на них розташовують різноманітне електротехнічне обладнання і вони є сполучною ланкою між устаткуванням і обслуговуючим персоналом. На фасадних частинах щитів і пультів розміщують елементи та пристрої керування, мнемосхеми, пояснюючі написи, освітлювальні пристрої, тощо. Також вони служать несучою конструкцією для встановлення приладів, засобів керування і контролю та електропроводок.

За призначенням щити поділяються на: місцеві, агрегатні, блочні, центральні і допоміжні. На місцевих щитах монтується прилади і засоби керування частини установки (індивідуальної установки), або окремого апарату. В основному місцеві щити є шафовими і розміщені біля контрольованого об'єкта, тобто у виробничому приміщенні. Агрегатні щити призначені для монтажу засобів контролю і управління одним технологічним агрегатом, а також однотипними агрегатами і технологічними установками, які розміщені в одному приміщенні. Такі щити зазвичай постачаються заводом-виробником у комплекті з агрегатом. Блочні щити служать для розміщення приладів і засобів керування роботою пов'язаних між собою агрегатів, що утворюють комплексну установку.

Центральні щити (диспетчерські) – це щити, на яких зосереджують засоби контролю і регулювання технологічних процесів цеху, заводу або комплексу технологічно пов'язаних

виробництва. Центральні щити встановлюються у спеціальних приміщеннях. Допоміжні щити – це щити неоперативного призначення. Вони поділяються на: релейні - на них розміщують електроапаратуру, елементи систем електричної сигналізації, блокування і управління; живлення – служать для підведення електроенергії; з підігрівом (малогабаритні) – застосовуються при монтажі приладів на відкритих площадках і в неопалюваних приміщеннях.

За конструкцією розрізняють: щити шафові нормальних габаритних розмірів (повногабаритні), шафові малогабаритні, панельні з каркасом, штативи і допоміжні пристрої до щитів.

Склад, зміст і порядок оформлення документації на щити і пульти визначаються ПУЕ:

- глава 3.4 «Панелі і шафи керування, захисту та автоматики»;
- глава 4.1 «Розподільні установки напругою до 1,0 кВ змінного струму і до 1,5 кВ постійного струму»;
- глава 4.2 «Розподільні установки і підстанції напругою понад 1 кВ» та ін.

Під час проектування електротехнічної частини проектів з автоматизації, зазвичай не розробляють весь комплект технічної документації на щити і пульти, тому що вони виконуються заводами-виробниками.

У випадку потреби виготовлення нестандартних конструкцій щитів і пультів необхідно розробити:

- креслення загальних видів щитів і пультів,
- перелік встановлюваних приладів і апаратури,
- розміщення апаратури на щитах,
- особливості з'єднань, тощо.

Особливість виконання креслення конструкції промислового щита з листового металу був розглянутий на лабораторних роботах дисципліни «Комп'ютерна інженерна графіка та 3D моделювання». У даній лабораторній роботі розглядаються особливості розробки всіх необхідних елементів конструкції щита для підготовки до компонування на ньому пристроїв розробленої схеми автоматизації. Зокрема, отворів та вирізів для електричних провідників (кабелів), завісів, вирізи під індикатори та перемикачі та встановлені прилади. Для виконання цих операцій потрібно створити ескізи майбутніх елементів.

Розглянемо процес створення вирізів у корпусі щита (рис. 19.1). Для цього використовуючи відповідний інструмент вирізаємо отвір(и) (рис. 19.2) за такою послідовністю:

1. Виберіть вкладку «3D-модель > Изменить > Отверстие».
2. Задайте необхідні параметри отворів
3. Натисніть кнопку «OK»

У результаті отримуємо отвори, як це показано на рис. 19.3.

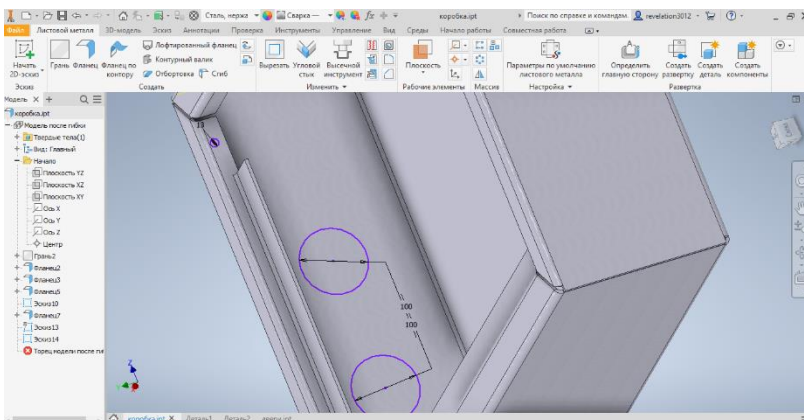


Рис. 19.1. Ескізи для виконання завісів та отворів

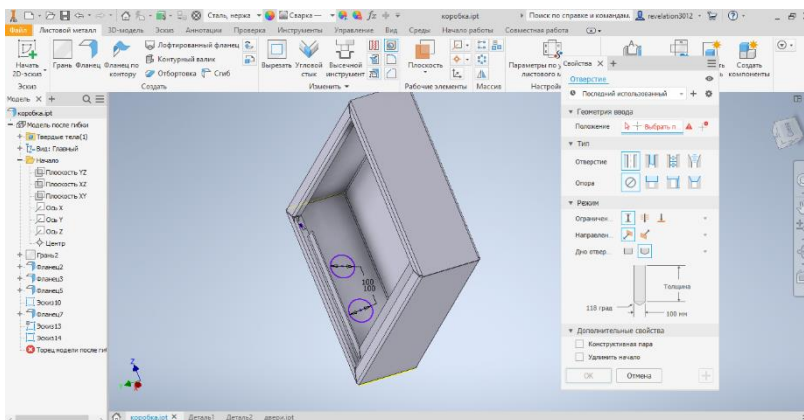


Рис. 19.2. Інструмент створення отворів.



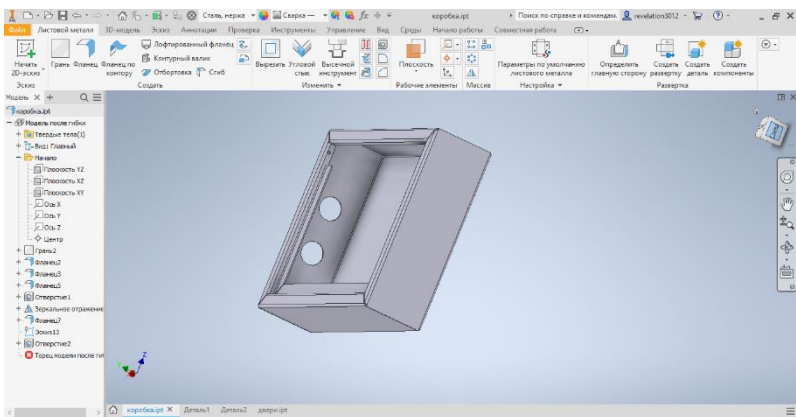


Рис. 19.3. Вигляд отриманих отворів на бічній поверхні

Для створення отворів під кронштейни використаємо інструмент *«Вирезать»*. Послідовність виконання вирізів розглянемо нижче, коли будемо вирізати отвори для елементів на дверях щита.

При створенні ескізу профілю, який буде використовуватися для вирізу по згинах, рекомендується спроектувати на ескіз розгорнуту геометрію. Дана команда у програмі Inventor використовується для проектування плоскої грані разом з лініями згину, які можна використовувати для нанесення розмірів на ескіз. Це можна зробити за описаною нижче послідовністю.

1. Спочатку виберіть плоску грань для створення ескізу, а потім за допомогою команди *«Создать развертку»* виберіть межі обраної грані ескізу.

2. На вкладці ескіз створіть необхідний ескіз за відповідними розмірами, а потім виконайте команду *«Вирезать»* на панелі *«Развертка»*.


3. За допомогою команди ескізу *«Разделить»*, що знаходиться на вкладці *«Изменить»* видаліть геометрію моделі зі згином з площини ескізу.

4. Якщо необхідно виконати декілька вирізів, то необхідно натиснути *«Выбор тел»*.

5. Після цього, можна вказати параметри вирізів: встановлюються глибина і напрямок вирізу:

- *Глубина: До следующего, До выбраного, От и до, Насквозь.*

- Щоб задати товщину виберіть меню *Товщина*:

- Вкажіть один з варіантів відступів: 

Для створення конструкції дверей щита та отворів під пристрої скористаймося тією ж послідовністю та інструментом, що розглянуті вище. Послідовність розробки дверей щита показана на рис. 19.4 – 19.6.

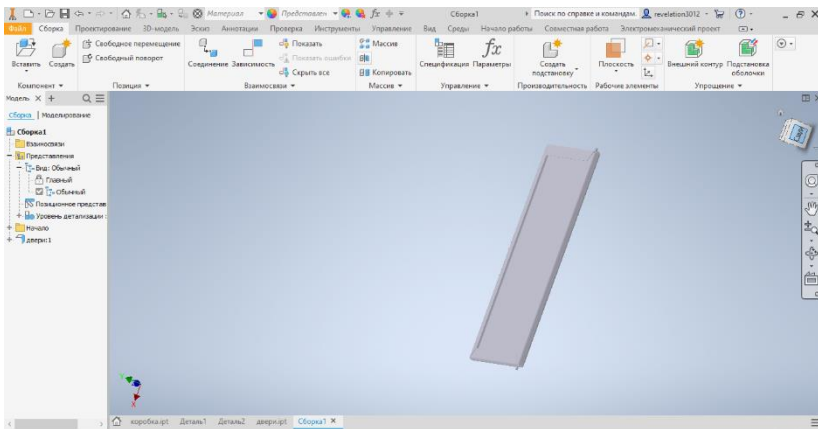


Рис 19.4. Розробка моделі дверей щита з листового тіла

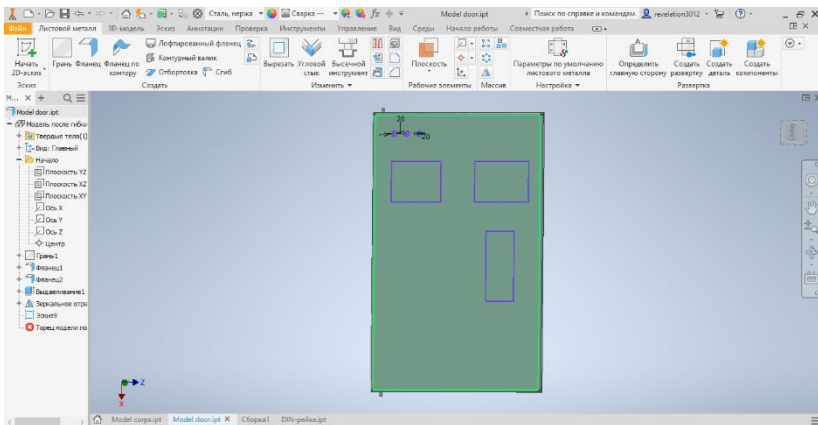


Рис. 19.5 Створення ескізу на розгортці дверей щита для утворення отворів (якщо потрібно)

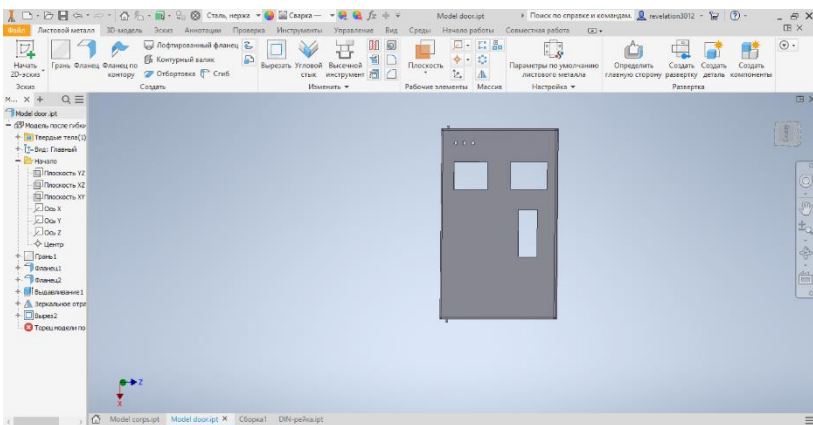


Рис. 19.6. Видяг готових отворів для встановлення обладнання на дверях щита

За допомогою функції «Сборка» (Файл > Создать > Сборка) та болтових з'єднань, які детально розглядалися на лабораторних роботах дисципліни «Комп'ютерна інженерна графіка та 3D моделювання» виконаємо додавання та кріплення DIN-рейки за допомогою болтового з'єднання на монтажну частину щита. Для цього нам потрібно відкрити модель DIN-рейки, створити ескіз отворів для кріплення та використати інструмент «Отверстие», виконується подібно до попередніх етапів моделювання щита за послідовністю, яка показана на рис. 19.7-19.10.

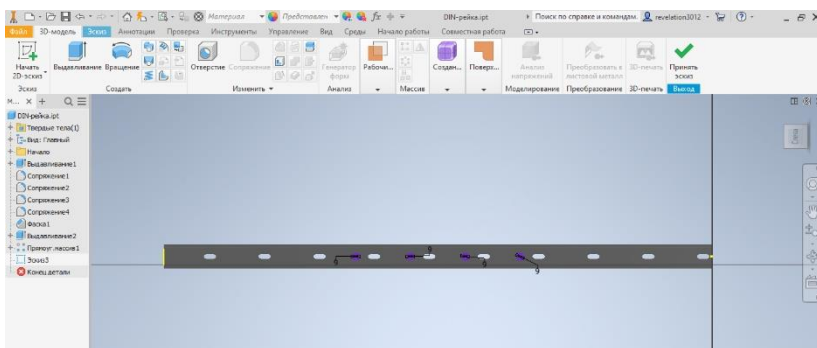


Рис. 19.7 Ескіз створення отворів для болтового з'єднання DIN-рейки

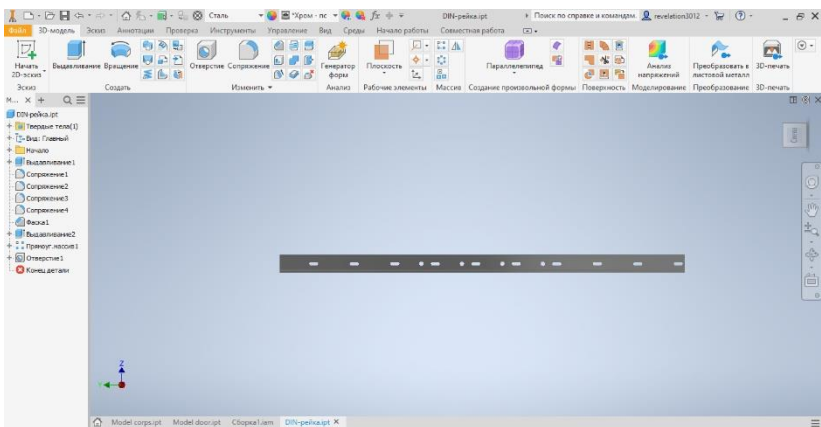


Рис. 19.8. Отримані отвори для болтового з'єднання DIN-рейки

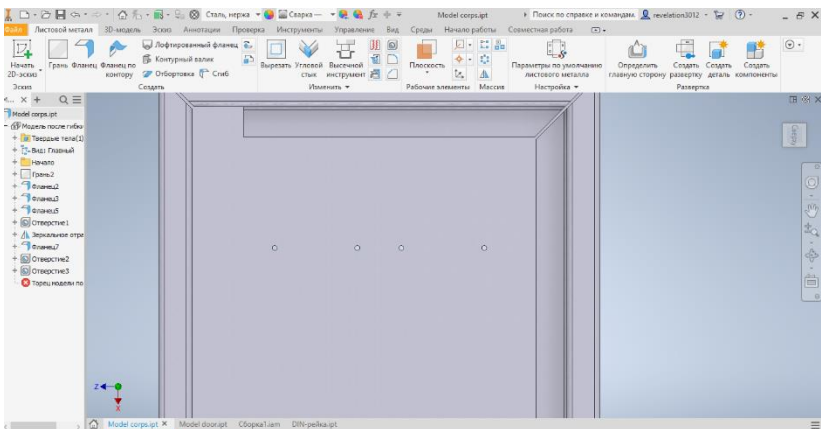


Рис. 19.9. Отвори у монтажній частині корпусу щита для болтового з'єднання

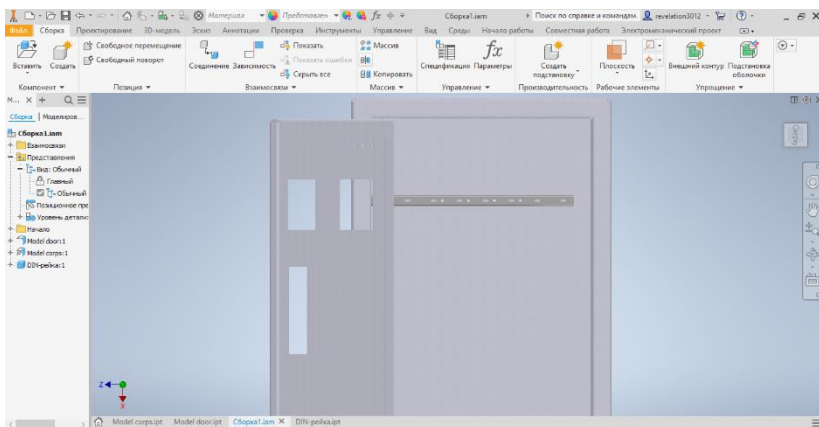


Рис. 19.10. Видяк закріпленої DIN-рейки на корпусі

На завершення виконуємо болтові з'єднання, для цього, використовуємо *Библиотека компонентов*. Готова конструкція виконаного щита показана на рис. 19.11.

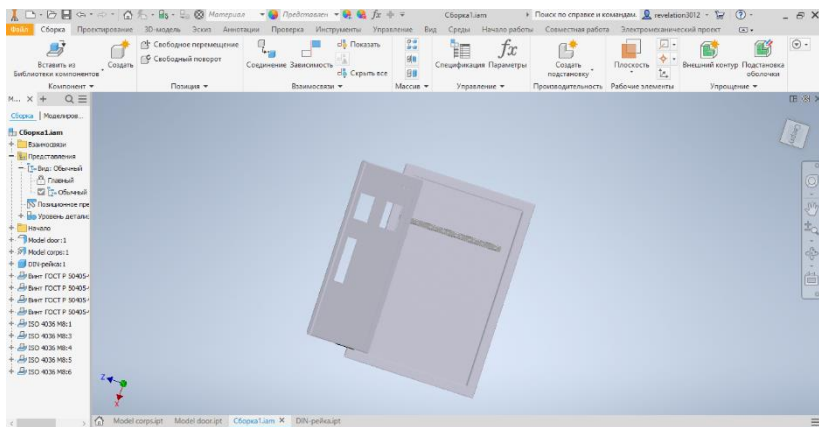


Рис. 19.11. Готова 3D модель щита з DIN-рейкою

Для остаточного оформлення конструкторської документації на розроблений щит необхідно зберегти розроблену модель у вигляді креслення. Для цього, виконуємо наступну послідовність «Файл > Создать > Чертеж». Щоб відобразити розроблену модель щита в 3-х основних видах та ізометрії використовуємо

функцію «Базовий» (рис. 19.12). Вибираючи відповідні сторони щита з опції «Размещение видов» створюємо його у відповідних проекціях. Для додання ізометричного виду зображення щита необхідно розмістити зображення у відповідній частині аркуша, зазвичай по діагоналі вниз від основного виду. Таким чином, отримуємо креслення щита в 3-х основних та ізометричному видах так, як це показано на рис. рис. 19.12.

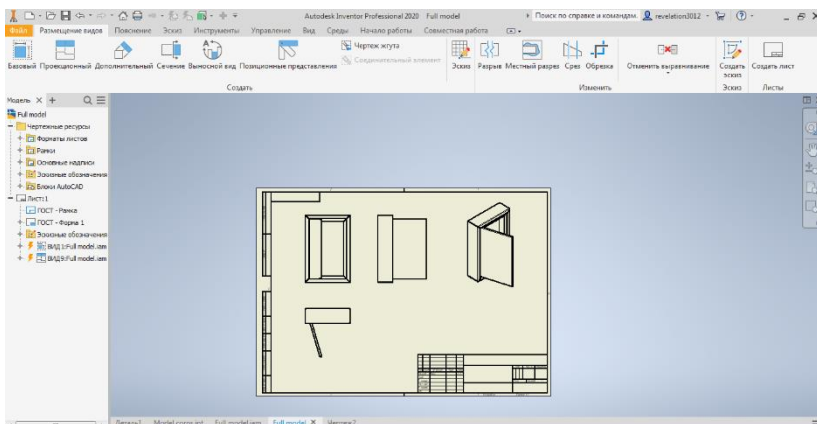


Рис. 19.12. Оформлення креслення щита на стандартному аркуші

Для додавання відповідних розмірів щита потрібно перейти на вкладку «Пояснения» головної панелі та використовуючи меню «Размеры» вказати необхідні розміри (рис. 19.13).

Для остаточного оформлення креслення щита необхідно заповнити основний напис у відповідності до ГОСТ 2.104-2006. Для цього потрібно натиснути підкатегорію «Текст в поле» в категорії «ГОСТ – Форма 1», що заходиться на лівій панелі робочого поля креслення (рис. 19.14).

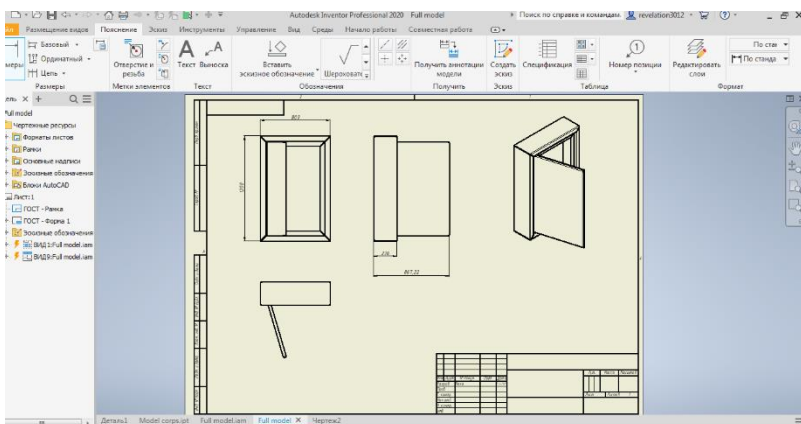


Рис. 19.13. Процес додавання розмірів щита

Для остаточного оформлення креслення щита необхідно заповнити основний напис у відповідності до ГОСТ 2.104-2006. Для цього потрібно натиснути підкатегорію «Текст в поле» в категорії «ГОСТ – Форма 1», що заходиться на лівій панелі робочого поля креслення (рис. 19.14).

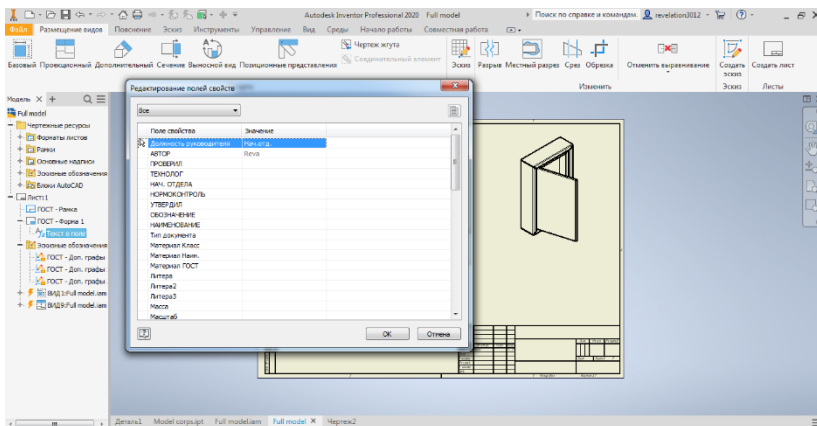


Рис. 19.14. Меню заповнення основного напису креслення щита

Після виконання всіх побудов креслення конструкції щита вважається виконаною і може бути використано для подальших розробок.

## **Програма роботи**

1. Розглянути особливості проектування конструкцій щитів і пультів.
2. Навчитися виконувати конструювання щитів і пультів за допомогою програми Autodesk Inventor.
3. Виконати остаточне оформлення креслення щита за вказаними розмірами.

## **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з правилами та особливостями проектування конструкції щитів і пультів з теоретичних відомостей.
2. На основі монтажної схеми, що розроблялася в попередніх лабораторних роботах виконати розрахунок габаритних розмірів конструкції щита. При цьому, врахувати геометричні розміри засобів автоматизації та інших пристроїв та особливість їх встановлення всередині щита та на його фасадній частині.
3. Виконати 3D-модель щита використовуючи алгоритм, який описаний в теоретичних відомостях.
4. Підготувати всі необхідні побудови в конструкції щита (отвори, завіси, DIN-рейки та ін.) для виконання компонування обладнання системи автоматизації.
5. Виконати креслення розробленого щита на окремому аркуші стандартного розміру (A3-A1) з нанесенням розмірів та заповненням основним написом. Розмістити всі основні 3 види та ізометричний вид.
6. Результати проектування оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату A4.

## ***Вимоги до оформлення звіту***

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;
- скріншоти виконання основних етапів побудови, які описані у порядку виконання роботи;
- креслення розробленого щита на аркуші стандартного формату (A3-A1) з розмірами та заповненням основним написом;



- файл/и зі всіма елементами щита у форматі *\*.ipt*;
- файл зборки щита у форматі *\*.iam*;
- висновок.

### **Контрольні запитання.**

1. Яке призначення щитів та пультів?
2. Яка особливість використання різних конструкцій щитів та пультів?
3. Як здійснюється створення ескізів для виконання різних побудов у програмі Autodesk Inventor?
4. Як виконується вирізання отворів у конструкції щита?
5. Як розробляються і додаються різні елементи конструкції щита (двері, завіси, кріплення та ін.)?
6. Як відбувається формування креслення розробленого щита на аркушах відповідного формату?

## **Лабораторна робота 20**

### **Компонування обладнання в щитах і пультах**

#### **Мета роботи**

Розглянути способи проектування щитів і пультів та навчитися виконувати компонуванням внутрішньощитової апаратури та обладнання на монтажній зоні та дверях щита

#### **Теоретичні відомості**

На щитах і пультах, які використовуються у технологічних об'єктах розташовують різноманітне обладнання (ПЛК, комутуюче обладнання, засоби сигналізації та блокування, перетворювачі сигналів, сигнальна апаратура та ін.) вони є сполучною ланкою між устаткуванням і обслуговуючим персоналом. На фасадних частинах щитів і пультів розміщують елементи та пристрої керування, мнемосхеми, пояснюючі написи, освітлювальні пристрої, тощо. Також вони служать несучою конструкцією для встановлення приладів, засобів керування і контролю та електропроводок.

Компонування апаратури на щитах виконують у такій послідовності:

1) визначають монтажну зону відповідної площини щита або штатива;

2) визначають на бічних стінках розміри тіні від приладів або апаратури встановленої на фасадній панелі або площині, з урахуванням зменшення площі від конструкцій, що підтримують хвостові частини приладів (опор і бічних швелерів);

3) намічають варіант взаємного розташування (композицію) апаратів і місця прокладки горизонтальних джгутів проводів;

4) підбирають відповідні способи установки апаратів, якщо апарат можна встановити на одній і тій же панелі декількома способами, перевагу слід віддати найбільш простому (по металоемності, кількості кріпильних деталей, компактності, тощо);

5) визначають монтажні зони апаратів на основі прийнятих способів установки;

6) визначають вертикальний розмір монтажної зони горизонтального ряду скомпонованих апаратів, для чого до

висоти монтажної зони апаратів ряду необхідно додати розмір місця для прокладки джгутів, проводів (труб).

При установці електричних апаратів між відкритими струмопровідними частинами різних фаз (полярності) рядів апаратів, а також між струмопровідними частинами і неізовольованими металокопструкціями повинні бути відстані не менш: 20 мм — по поверхні ізоляції та 12 мм — по повітрю.

Для кріплення апаратури на щитах використовують такі способи:

- безпосереднє кріплення на рейці за допомогою заціпки (придатне для використання рейок типу ТН або G-подібних профілів);

- за допомогою різноманітних пристосувань, таких як ковзаючі гайки і болти з гачками або головками Т-подібної форми;

- безпосереднім кріпленням апаратури на монтажну площину та каркас.

Рейки з G-подібним профілем головним чином використовуються при монтажі затискачів, які заціпками закріплюються рядами з допомогою регульованих кінцевих обмежувачів.

При проектуванні елементів у щитах і пультах потрібно дотримуватися таких вимог:

- а) виконання апаратів і приладів, що встановлюються на щитах (пультах), а також виконання самих щитів (пультів) повинно відповідати умовам виробничого середовища або щитового приміщення;

- б) у сухих і вологих виробничих приміщеннях допускається відкрита установка оперативних і неоперативних щитів (пультів);

- в) у вологих, пилюватих та хімічно активних середовищах оперативні і допоміжні неоперативні (релейні, живлення і т.п.) щити і пульти рекомендується встановлювати у спеціальних щитових приміщеннях (засклені операторських, диспетчерських тощо);

- г) для монтажу приладів неоперативного управління застосовують шафові щити, які розраховані на роботу в умовах підвищеної вологості, високих або низьких температур, агресивного середовища, що можуть встановлюватися у

виробничих приміщеннях.

Прилади і апарати на лицьовій стороні щитів і пультів розташовують відповідно до принципів компоновання, виходячи з умови забезпечення зручності і ефективності роботи оператора.

Апарати і прилади повинні встановлюватися таким чином, щоб забезпечити безпеку їх обслуговування, а виникаючі в процесі роботи окремих апаратів іскри або електричні дуги не могли запалити (пошкодити) навколишні предмети або викликати коротке замикання.

При розміщенні приладів і апаратів у щитах і пультах забороняється:

1) установка приладів і засобів автоматизації на бічних стінках і дверях щитів (крім дверей малогабаритних щитів);

2) установка внутріщитової апаратури на дверях і бічних стінках малогабаритних щитів, а також панелях пультів;

3) установка приладів та апаратів на допоміжних елементах щитів і пультів, допоміжних панелях з дверима, панелях з декоративними боковими стінками, вставках кутових, а також на кришках щитів.

Прокладання електричних проводок у щитах і пультах здійснюється ізольованими проводами з мідними жилами, з допустимими струмовими навантаженнями та ізоляцією, що відповідає розрахунковим параметрам електричних кіл. Для об'єднання електропроводок використовують короби або відкриті джгути.

Мінімально допустимі поперечні перетини проводів:

- багатожильні (гнучкі) - 0,35 мм<sup>2</sup>;

- одножильні - 0,5 мм<sup>2</sup>.

Особливості виконання електропроводок у щитах і пультах:

- використовують провідники з полівінілхлоридною ізоляцією, лакованим плетінням і т.п.;

- не використовують провідники з поліетиленовою ізоляцією;

- електричні кола різного призначення виконуються провідниками різного кольору;

- прокладаються окремо від трубних проводок, пневматичних і гідравлічних засобів автоматизації;

- приєднання електропроводок до зовнішніх апаратів і приладів здійснюється через зборки затискачів.

Для виконання компонування обладнання у щитах, яке використовується для автоматизації технологічного процесу необхідно визначити способи встановлення, визначити кріпильні елементи та розробити, або отримати 3D моделі відповідної апаратури. Дуже часто такі 3D моделі розробляють та надають для відкритого доступу на офіційних сайтах виробники обладнання. Також, багато 3D моделей можна отримати на спеціалізованих платформах. Одна з таких платформ 3Dfindit (<https://www.3dfindit.com/en/>). На ній розміщено апаратура різних виробників. Даний сайт (рис. 20.1), містить велику кількість каталогів різного устаткування, зокрема 3D моделі контролерів, модулів, кнопок, реле, контакторів і т.д. Для вибору 3D моделі необхідного обладнання (в нашому випадку це SIMATIC S7-1200) в пошуковому рядку вписуємо його марку та нумерацію.

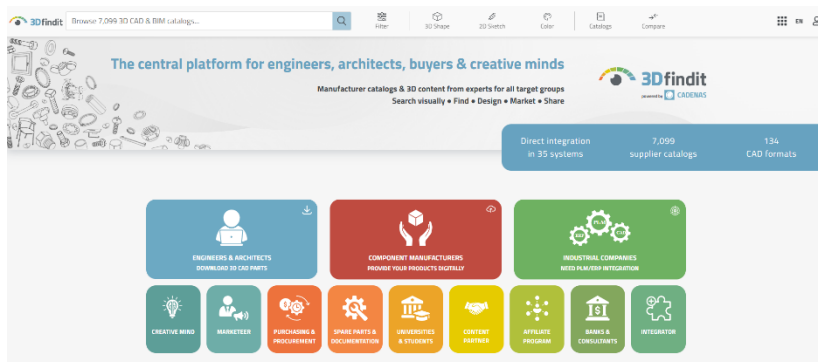


Рис. 20.1. Зовнішній вигляд головної сторінки пошукового ресурсу 3Dfindit

Після виконання пошуку отримаємо зображення необхідного процесорного (базового) модуля, а також модулів які можуть використовуватись з цим ПЛК. Для вибору клацаємо ЛКМ на зображенні базового модуля (*Basic device*) (рис. 20.2).

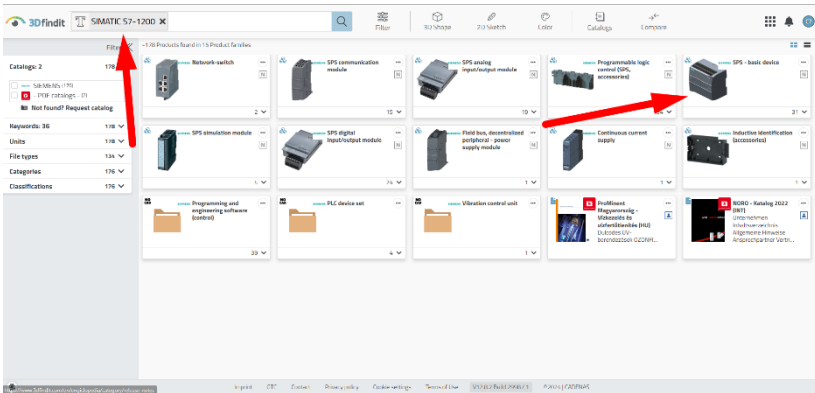


Рис. 20.2. Процес виконання пошуку базового модуля ПЛК SIMATIC S7-1200

Після вибору конкретного ПЛК, та відповідних модулів, можемо отримати додаткову інформацію про цей пристрій (рис. 20.3). Ці дані надаються у вигляді додаткового меню яке містить в собі підменю та таблицю асортименту в якій показані: *Номер продукту, Альтернативний продукт, Короткий опис, Повний опис та інша інформація.*

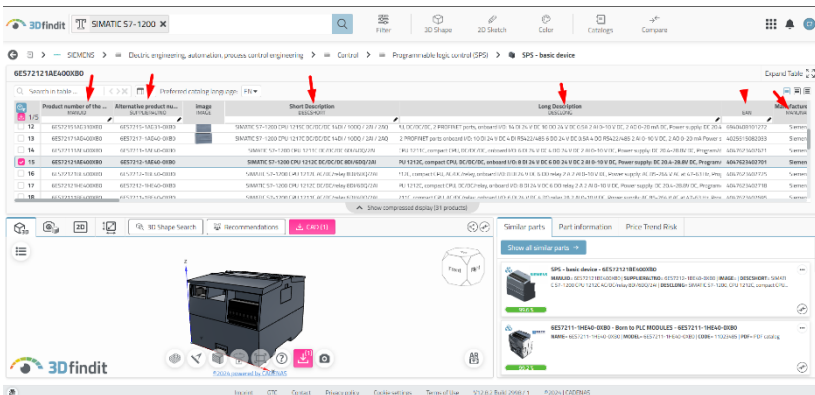


Рис. 20.3. Вигляд підменю з додатковою інформацією про вибраний пристрій

Для виконання компонування щита та встановлення 3D моделі

відповідного пристрою на монтажну зону, чи в інше місце його конструкції нам особливо потрібне меню, яке містить окремі вкладки з додатковою інформацією (рис. 20.4), а саме: *3D модель*, *Фото реального вигляду*, *2D креслення* та *геометричні розміри*.

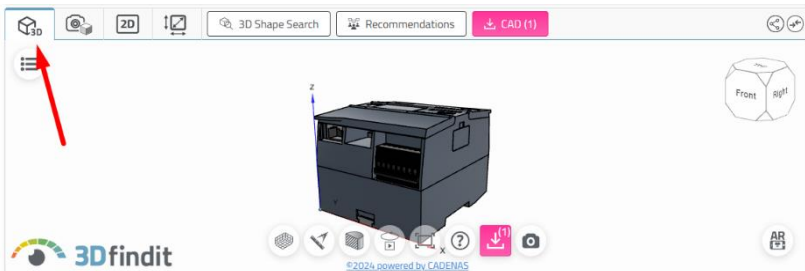



Рис. 20.4. Вигляд спеціального вікна з різними видами відображень вибраного пристрою

Також, у цьому вікні є 3 додаткові кнопки за допомогою, яких ми зможемо виконати певні дії з 3D моделями.

Кнопка “*3D Shape Serch*”  потрібна для детальної інформації, яку ми можемо отримати про 3D модель, без використання програм AutoCAD чи Inventor. За допомогою неї ми отримуємо зображення розрізів пристрою, вигляд його частин і т.д. При натисканні цієї кнопки ми переходимо в окреме меню вигляд якого показано на рис. 20.5.

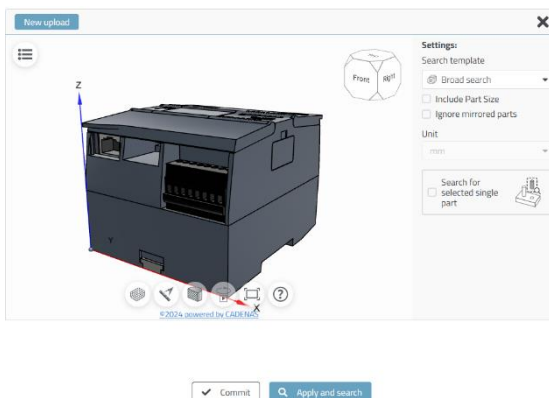



Рис. 20.5. Вигляд підменю *3D Shape Serch*

## При використанні кнопки “Recommendations”

можна здійснити пошук сумісних модулів вибраної 3D моделі ПЛК. При натисканні на цю кнопку отримаємо доступ до всіх можливих пов’язаних з цією моделлю зображень (рис. 20.6).



Рис. 20.6. Вигляд пошук сумісних модулів вибраної 3D моделі ПЛК при використанні опції “Recommendations”

Кнопка “CAD”  використовується для завантаження 3D моделі пристрою. При натисканні на неї відкриться меню з базою даних (рис. 20.7), для завантаження потрібного формату у вигляді 2D креслення, чи 3D модель, для різних програм. У нашому випадку ми використовуємо формат програми Inventor. Необхідний файл завантажується у архівованому вигляді який потрібно розархівувати та зберегти у відповідному місці на ПК. Після розпакування файлу, відкриваємо 3D модель корпусу щита у якому ми будемо монтувати пристрій та інші засоби.



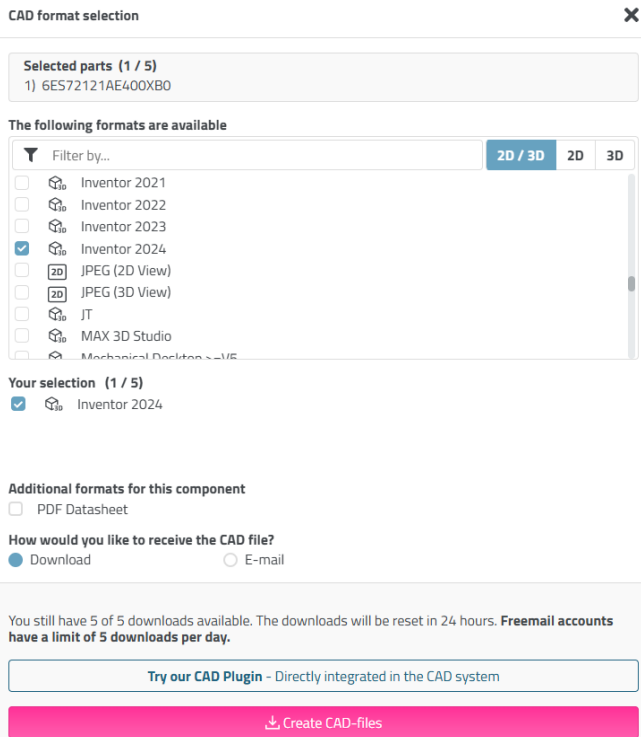


Рис. 20.7. Зовнішній вигляд меню для завантаження

Для компонування обладнання на щиті використовуємо програму Inventor (англ. версія) у режимі виконання зборки. Для цього у вкладці *Assemble*, відкриваємо функцію *Place* та вкладку *Place Component*, за допомогою якої додаємо завантажену модель до раніше розробленого проекту нашого щита (рис. 20.8).

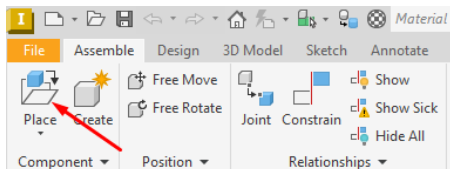


Рис. 20.8. Вигляд меню для виконання зборки у програмі Inventor

Після відкриття та додавання завантаженого пристрою/ів, ми можемо в середовищі Inventor розмістити його на монтажній зоні щита, або в іншому місці його конструкції (рис. 20.9).

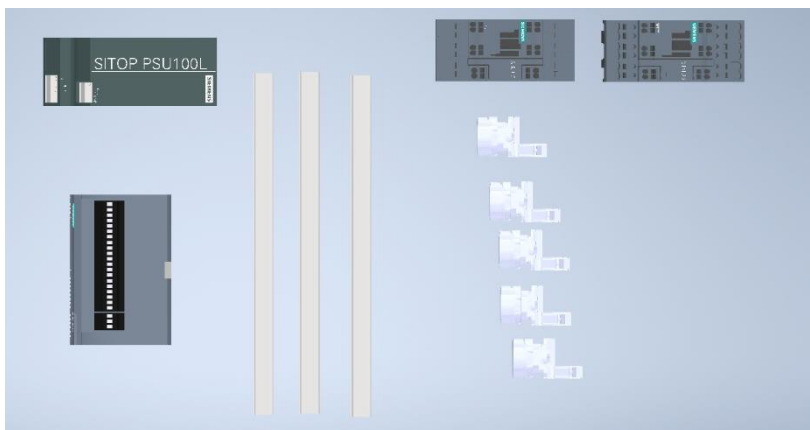


Рис. 20.9. Процес розміщення завантажених 3D моделей на монтажній зоні щита (кнопки, блок живлення SIMATIC, ПЛК SIMATIC S7-1200, DIN-рейки та реле)

Монтаж всіх завантажених приладів, монтажних елементів, болтових з'єднань та всіх інших елементів відбувається за допомогою, функцій з'єднання, які знаходяться на вкладках *Assemble* та *Design* програми Inventor. Детальніше про використання цих функції розглядалося на попередніх лабораторних роботах.

### **Програма роботи**

1. Розглянути особливості компоунання обладнання щитів і пультів.
2. Навчитися виконувати моделювання та компоунання обладнання за допомогою програми Autodesk Inventor.
3. Виконати остаточне оформлення креслення щита з компоновкою апаратури за вказаними розмірами.

### **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з правилами та особливостями

компонування обладнання щитів і пультів з теоретичних відомостей.

2. На основі розробленої конструкції щита з попередньої лабораторної роботи виконати розташування монтажних елементів для встановлення приладів згідно монтажною схемою.

3. Використовуючи платформу 3Dfindit та приклад розглянутий в теоретичних відомостях знайти та завантажити 3D моделі всіх необхідних пристроїв згідно монтажною схемою.

4. Виконати компоновку обладнання у внутрішньощитовій та фасадній частині щита.

5. Сформувані креслення розробленого щита зі встановленим обладнанням на окремому аркуші стандартного розміру (A3-A1) з нанесенням розмірів та заповненим основним написом. Розмістити 3 основні види та ізометричний вид так, як це показано у попередній лабораторній роботі.

6. Результати проектування оформити у вигляді звіту на стандартних аркушах формату A4, а також надати виконаний файл/и елементів щита для перевірки.

### ***Вимоги до оформлення звіту***

Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- мету роботи;
- програму та порядок виконання роботи;
- скріншоти виконання основних етапів побудови, які описані у порядку виконання роботи;
- креслення розробленого щита зі встановленим обладнанням на аркуші стандартного формату (A3-A1) з розмірами та заповненим основним написом;
- файл/и зі всіма елементами щита у форматі *\*.ipt*;
- файл зборки щита у форматі *\*.iam*;
- висновок.

### **Контрольні запитання.**

1. Яка послідовність виконання компоновки апаратури на щитах?

2. Які способи використовують для кріплення апаратури на щитах?

3. Яка особливість платформи 3Dfindit?
4. Як здійснюють пошук та завантаження пристроїв на платформі 3Dfindit?
5. Яка особливість формування зображень 3D моделей пристроїв на платформі 3Dfindit?
6. Яка особливість використання програми Autodesk Inventor для компонування пристроїв на щитах і пультах?
7. Як додаються завантажені пристрої до конструкції щита у програму Autodesk Inventor?
8. Як відбувається оформлення готового креслення розробленого щита?

## **Лабораторна робота 21**

### **Проектування принципів пневматичних схем**

#### **Мета роботи**

Розглянути способи проектування принципів пневматичних схем та навчитися використовувати програму AutoCAD Electrical для розробки принципової пневматичної схеми

#### **Теоретичні відомості**

Методи проектування принципів пневматичних схем:

- інтуїтивні,
- системні,
- за алгоритмом.

Метою розробки принципової пневматичної схеми є забезпечення виконання нею функцій керування пневматичними елементами. При виборі кінцевого варіанту перевага надається тому, який є більш надійним і простим в обслуговуванні навіть за рахунок більших матеріальних витрат.

Проектування принципової пневматичної схеми починають з вибору та розробки схеми, структури керування і послідовності проходження сигналу. Принципову пневматичну схему умовно поділяють на елементи введення (одержання) сигналу, обробки сигналу, видачі сигналу і виконання команд. Такий підхід доцільно застосовувати при проектуванні складних установок або систем, у яких управляюча частина відділена від виконавчої (силової).

Розробка принципової пневматичної схеми повинна починатися з виявлення послідовності проходження сигналу, який зображується знизу вгору. На принциповій схемі застосовуються спрощені умовні позначення. У великих принципових схемах підсистема енергопостачання (блок підготовки повітря, запірний кран, різні приєднувальні пристрої), для спрощення, зображується окремо. Зображення трубопроводів не обов'язково повинно відповідати дійсній (монтажній) схемі їх прокладання.

Складання принципової схеми відбувається за такою послідовністю. Першим етапом у розробці принципової

пневматичної схеми є постановка завдання, при цьому повинно бути вказано, як працюватиме виконавчий механізм/и системи. Якщо система керування складна і містить кілька виконавчих механізмів, то схему зручно розбити на кілька окремих схем, які можуть бути згруповані за функціональними групами. Якщо це можливо, то вони повинні розташовуватися одна за одною у відповідності до послідовності виконання операцій.

Розглянемо приклад проектування принципової пневматичної схеми керування двостороннім пневмоциліндром, яка показана на рис. 21.1.

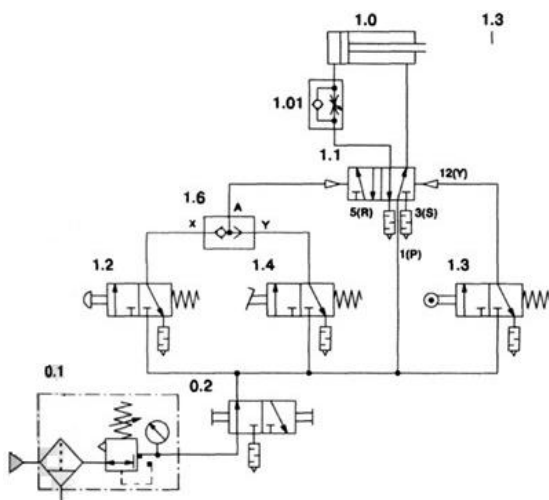


Рис. 21.1. Принципова пневматична схема керування двостороннім пневмоциліндром

Опис роботи цієї схеми виглядає наступним чином. Шток циліндра двосторонньої дії повинен висуватися при короткочасному натисканні на пневмокнопку або педаль (1.2, 1.4).

Розподільник 1.3, керований штовхачем з роликом, встановлений у тому місці, куди повністю переміщається висунутий шток циліндра, тому на схемі цей елемент зображений на рівні введення сигналів, а не там, де він розташований фізично, а реальне його розташування показане міткою, яка на схемі

позначена 1.3. Після досягнення крайнього положення шток циліндра повинен відразу повернутися у вихідне положення, якщо кнопка і педаль до цього моменту будуть відпущені. Таким чином відбувається керування пневмоциліндром, що проілюстровано на вказаній схемі.

Звернемо увагу на основні правила розробки принципів пневматичних схем:

1. Реальне просторове розташування елементів не береться до уваги.

2. Циліндри і розподільники повинні зображуватися горизонтально.

3. Потік енергії в колі керування спрямовується знизу вгору.

4. Джерело енергії може зображуватися у спрощеному виді.

5. Окремі елементи повинні показуватися у вихідному або невиключеному положенні. Елементи, що перебувають під дією сигналу керування, повинні зображуватися разом з перемикаючим пристроєм.

6. Лінії трубопроводів повинні бути прямими і по можливості без перетинів. Місця з'єднань трубопроводів зображуються під прямим кутом (трійники, хрестовини) і виділяються точкою.

Розробка проекту пневматичної системи включає такі етапи:

1. Розробляється ескізний проект, у рамках якого вибираються основні компоненти системи і джерела енергопостачання.

2. Розробляється технічний проект, у рамках якого ведеться:

- розробка пневматичної системи, включаючи визначення параметрів і вибір апаратури;

- розробка документації;

- уточнення додаткових вимог до системи;

- складання плану реалізації проекту;

- складання переліку елементів і специфікації;

- проведення розрахунків вартості.

У програмі AutoCAD Electrical є можливість виконувати принципові пневматичні схеми. Для цього використовується інструмент «Вставити пневматический компонент» на вкладці «Схема» панель «Вставка компонентов». Меню програми AutoCAD Electrical «Вставити пневматический компонент» (рис. 21.2) використовується для вставлення графічних образів пневматичних компонентів. За допомогою нього можна

змінювати компоновку пневматичних схем а також здійснювати їх виконання та доопрацювання з використанням будь яких інструментів креслення та редагування AutoCAD, включаючи розтягування, обрізання і переміщення.

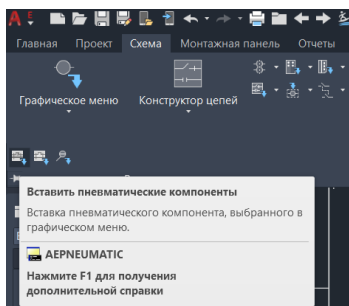


Рис. 21.2. Видяк меню програми AutoCAD Electrical «Вставить пневматический компонент»

Після цього отримаємо доступ до графічного меню «Графические образы пневматических систем» (Рис. 21.3), яке дає можливість доступу до графічних образів для пневмоавтоматичних систем з бібліотеки. Бібліотека графічних образів для пневматичних систем містить всі необхідні графічні образи для розробки пневматичної схеми.

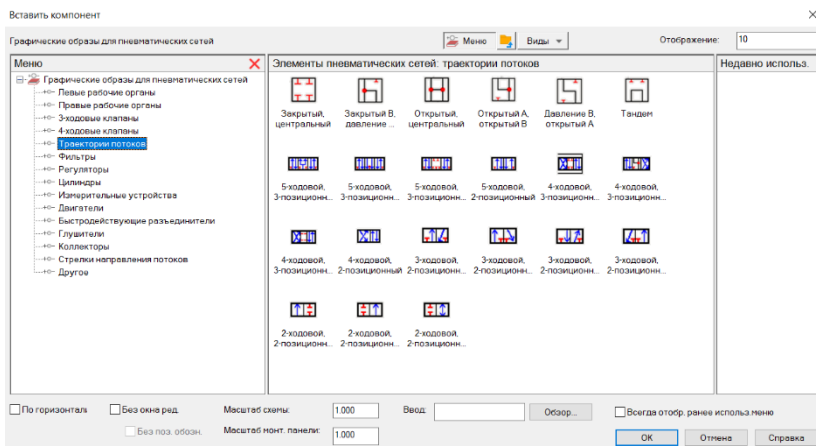


Рис. 21.3. Меню «Графические образы пневматических систем»



Використовуючи такий підхід можна створити принципову пневматичну схему різної складності та наповнення.

### **Програма роботи**

1. Розглянути особливості проектування принципових пневматичних схем.
2. Навчитися виконувати принципову пневматичну схему за допомогою програми AutoCAD Electrical.

### **Порядок виконання роботи**

1. За схемою автоматизації та за загальною структурою автоматизації, що розроблена у попередніх лабораторних роботах визначити контури регулювання які мають пневмоелементи, або у яких реалізується пневматична система керування.

2. Виконати детальний аналіз схеми автоматизації та вибрати один з контурів регулювання у якому використовується пневмоавтоматика та розробити принципову пневматичну схему цього контуру.

*Зуваження.* Якщо у схемі автоматизації контури пневмоавтоматики відсутні, тоді розробити принципову пневматичну схему за вказівкою викладача.

3. Розробка принципової пневматичної схеми виконується за відповідними державними стандартами з використанням умовних графічних позначень з програми AutoCAD Electrical.

4. 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;
- скріншоти виконання основних етапів побудови, які описані у порядку виконання роботи;
- креслення розробленої принципової пневматичної схеми на аркуші стандартного формату (А3-А1) з розмірами та заповненням основним написом;

- висновок.

### **Контрольні запитання.**

1. Які методи проектування принципів пневматичних схем?
2. Як визначається послідовність проходження пневматичного сигналу у принципівних схемах?
3. Наведіть приклад принципової пневматичної схеми керування двостороннім пневмоциліндром?
4. Які основні правила розробки принципівних пневматичних схем?
5. Як використовують програму AutoCAD Electrical для розробки принципівних пневматичних схем?
6. Яка особливість використання графічного меню *«Графические образы пневматических систем»* програми AutoCAD Electrical?

## Лабораторна робота 22

### Вибір технічних засобів пневматичних систем

#### Мета роботи

Навчитися виконувати обґрунтований вибір технічних засобів пневматичних систем для реалізації функцій пневмоавтоматичної системи управління або її частини.

#### Теоретичні відомості

Пневмоавтоматика – це комплекс технічних засобів для побудови систем автоматичного керування за допомогою пристроїв, які використовують стиснене повітря та інформація про їх функціонування представлена тиском чи витратою.

У пневмоавтоматиці використовуються пристрої для:

- збору інформації (датчики с пневматичним виходом, пневматичні кінцеві і шляхові вимикачі та ін.);
- перетворення і зберігання інформації (пневматичні регулятори, оптимізатори, обчислювальні аналогові пристрої, релейні системи);
- представлення інформації (показуючі і реєструючі пристрої, індикатори);
- перетворення у керуючий вплив (пневматичні виконавчі пристрої, пневмоциліндри, пневмоприводи, пневмозахвати та ін.).

Процес вибору технічних засобів пневматичних систем та його обґрунтування пов'язаний з аналітичними підходами та розрахунками, які включають аналіз принципової пневматичної схеми та обладнання, яке в ній використовується. На основі цього відбувається обґрунтований вибір технічних засобів пневмоавтоматики з урахуванням, умов використання, особливостей технологічного середовища, корпоративного досвіду та, що найважливіше, ціни та якості виконання.

Одним з ефективних інструментів вибору технічного обладнання пневматичних систем є різноманітні додатки та програми, які дають змогу автоматизувати та спростити процес вибору. Одним з таких засобів є програма *Pneumatic Dimensioning* (<https://www.festo.com/ua>) від фірми Festo. Зовнішній вигляд інтерфейсу програми показано на рис. 22.1. Дана програма дає

зможу за розробленою схемою виконати вибір та розрахунки типорозміру приводу та інших елементів, які використовуються у пневмосистемах.

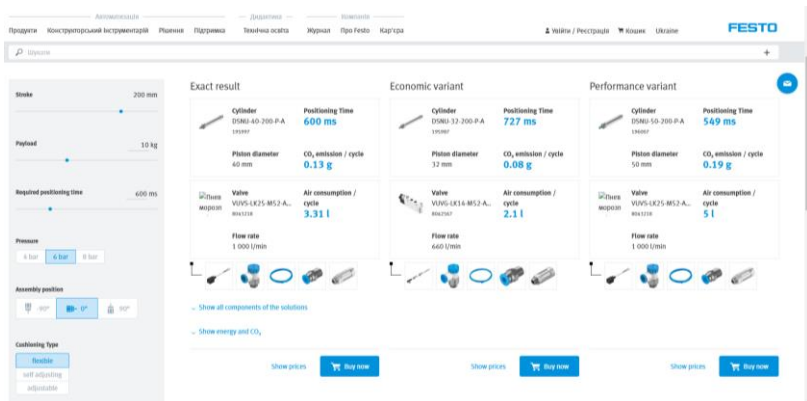


Рис. 22.1. Зовнішній вигляд інтерфейсу програми *Pneumatic Dimensioning*

Визначення типорозмірів пневмоприводів та інших елементів відбувається після введення таких параметрів, як маса, час циклу та робочий тиск системи. Програма дозволяє налаштувати та порівняти пневматичні схеми. Після введення відповідних параметрів виводяться три порівняльні розрахунки: точний результат, один для оптимальної продуктивності та один найбільш екологічний. Розрахунки також включають інформацію про споживання стисненого повітря та викиди CO<sub>2</sub> для даного рішення. Разом з тим, є можливість відразу додати замовлення на вибрані пневматичні елементи.

### Програма роботи

1. Ознайомитися з принципами та правилами вибору технічних засобів автоматизації.
2. Виконати обґрунтування та вибір технічних засобів пневматичних систем у відповідності до схеми автоматизації.
3. Описати основні етапи вибору технічних засобів пневматичних систем та представити специфікацію.

## **Порядок виконання роботи**

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

2. Виконати аналіз розробленої принципової пневматичної схеми, яка розроблена у попередній лабораторній роботі.

3. Виконати вибір технічних засобів пневматичних систем за послідовністю:

а) вибрати систему та елементи підготовки та подачі стисненого повітря;

б) вибрати інформаційні пристрої (розподільники, запобіжні та зворотні клапани, дроселі та ін.);

в) вибрати виконавчі пристрої (пневмоциліндри, пневмоприводи, пневмозахвати та ін.).

4. Виконати обґрунтування та остаточний вибір технічних засобів пневматичних систем 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. Що таке пневмоавтоматика?
2. Які етапи розробки пневмоавтоматичної системи?
3. Як відбувається процес вибору та обґрунтування технічних засобів пневматичних систем?
4. Які основні критерії вибору технічних засобів

пневматичних систем?

5. Які засоби та інструменти використовуються для вибору та обґрунтування технічних засобів пневматичних систем?

6. Як відбувається порівняльні розрахунки параметрів технічних засобів пневматичних систем?

### **Використана література**

1. Разживін О. В., Суботін О. В. Технічні засоби для проектування систем автоматизації: навчальний посібник. Краматорськ : ЦТРІ «Друкарський дім», 2017. 129 с.

2. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х. : Видавництво «Форт», 2017. 760 с.

3. Козяр М. М., Стрілець О. Р., Сафоник А. П. Інженерна графіка: Машинобудівне креслення : підручник. Херсон : Олді+, 2022. 476 с.

4. <https://www.festo.com/ua>

5. <https://www.3dfindit.com>

6. <https://www.autodesk.com>