

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

О. В. Разживін
О. В. Суботін

ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

**Навчальний посібник
для студентів спеціальності
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

Затверджено
на засіданні вченої ради
Протокол № 8 від 27.04.2017 р.

Краматорськ
ДДМА
2017

УДК 681.5 (075.8)

ББК 32.965

Р –17

Рецензенти:

І. А. Чуб, д-р техн. наук, професор, начальник кафедри ППНП Національного університету цивільного захисту України,

О. І. Семененко, канд. техн. наук, доцент кафедри «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Українського державного університету залізничного транспорту,

О. Ю. Приходько, канд. техн. наук, доцент, замісник завідувача кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ ХП

Разживін О.В.

Р-17 Засоби автоматизації технологічних процесів: навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / О. В. Разживін, О. В. Суботін. – Краматорськ : ДДМА, 2017. – 147 с.

ISBN

Викладаються методики вирішення найбільш важливих завдань проектування автоматизованих систем управління – аналізування об'єкта управління, розрахунок основних параметрів системи і її конфігурації, проектування, технічні засоби автоматизації, а також рекомендації щодо створення документації з проекту.

УДК 681.5:621.77

ББК 32.965

ISBN

© О. В. Разживін, О. В. Суботін, 2017

© ДДМА, 2017

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ПРОЕКТУВАННЯ	7
2 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	10
2.1 Завдання, що вирішуються при проектування автоматизованих систем управління	10
2.2 Розробка функціональної схеми автоматизації та умовні позначення елементів	12
2.3 Розрахунок і методика вибору виконавчих механізмів.....	17
2.3.1 Розрахунок і вибір механізмів електричних однооборотних	17
2.3.2 Розрахунок і вибір приводного електродвигуна горизонтального стрічкового конвеєра	18
2.3.3 Розрахунок і вибір електродвигуна похилого стрічкового конвеєра з прямим приводом.....	27
2.3.4 Розрахунок електропривода механізму підйому підвіски гака мостового крана.....	33
2.3.5 Розрахунок і вибір гальмівного пристрою.....	55
2.3.6 Методика вибору і розрахунку електропривода повітрорудки.....	57
2.4 Методика вибору засобів контролю технологічних параметрів.....	59
2.4.1 Загальні відомості про датчики.....	59
2.4.2 Методи ідентифікації типових ланок моделей датчиків за тимчасовими і частотними характеристиками.....	68
2.4.3 Контроль і вимір температури.....	78
2.4.4 Датчики вимірювання тиску.....	80
2.4.5 Вимірювання витрати. Витратоміри.....	92
2.4.6 Засоби контролю швидкості і переміщення.....	104
2.4.7 Вимірювання ваги. Дозування.....	110

3 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ.....	114
3.1 Розробка структурної електричної схеми АСУ.....	114
3.2 Вибір технічних засобів автоматизації на базі програмованих логічних контролерів.....	116
3.3 Конфігурація і параметрування апаратури центральних станцій в середовищі STEP 7.....	117
3.4 Проектування електричних схем підключення технічних засобів автоматизації до сигнальних модулів станції Simatic S7-300.....	126
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	139
ДОДАТОК А. Приклад оформлення графічної частини курсової роботи	141

ВСТУП

Курсова робота з дисципліни «Технічні засоби автоматизації» виконується з метою набуття вмінь і навичок системного сприйняття завдання проектування, розкриття взаємозв'язку між концепцією управління і конструкторською концепцією в рамках конкретного завдання автоматизації виробництва. Курсова робота є основним етапом підготовки студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» до дипломного проекту кваліфікаційного рівня бакалавра.

Результати захисту курсової роботи визначають рівні теоретичної і практичної підготовки студента в рамках виконання інженерних завдань, встановлених кваліфікаційною характеристикою спеціальності стосовно галузі проектування систем автоматизації.

Предметом проектування є один з таких варіантів:

– перший варіант – автоматизована система управління обладнанням на технологічному рівні, що працює в режимі реального часу;

– другий варіант – автоматизована виконавча система виробництва MES-рівня, що забезпечує оперативну обробку інформації в режимі машинного часу.

Зміст курсової роботи має повністю розкривати суть рішення задачі, поставленої в індивідуальному завданні на розробку проекту.

Як методологічний напрям повинен бути прийнятий системний підхід, який дозволяє розкрити цілісність процесу в умовах різноманіття типів зв'язків, а також об'єднати цифрові і аналогові канали, механічні та електронні засоби автоматизації, програмні та апаратні засоби.

Відповідно до цього студенти повинні виконати таке:

1. На основі системного аналізу технологічного процесу визначити нові вимоги до системи автоматизації, що забезпечують підвищення ефективності процесів і бажану тривалість життєвого циклу системи.

2. На основі огляду літературних відомостей розробити функціональну схему автоматизації та структуру системи, конфігурувати її апаратну комплектацію.

3. Здійснити вибір необхідних технічних засобів автоматизації необхідних для функціонування автоматизованої системи управління.

4. Для системи управління обладнанням розробити принципові схеми з'єднань апаратних компонентів системи.

5. Створити документацію проекту відповідно до вимог стандартів.

На всіх етапах проектування студенти повинні використовувати в якості інструментів проектування спеціальні програмні засоби, що забезпечують сучасні вимоги до якості проекту і скорочення часу на його розробку.

Тематика курсових робіт і дипломних проектів формується кафедрою і затверджується деканом факультету. При формуванні тематики враховуються рекомендації керівників практики від кафедри і бази практики.

Завдання на роботу розробляється керівником. При складанні завдання враховується доцільність використання розробок в спеціальній частині майбутньої дипломної роботи бакалавра.

Розрахунково-пояснювальна записка повинна бути оформлена відповідно до ГОСТ 2.105-85 «Загальні вимоги до текстових документів», а також ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки ». Розрахунково-пояснювальна записка повинна містити титульний аркуш, завдання, реферат, зміст, основну частину, перелік посилань і додатки.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ПРОЕКТУВАННЯ

Рекомендований перелік питань, що розглядаються в першому розділі, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Рекомендований перелік питань

Зміст першого розділу	
Система управління обладнанням технологічного рівня	1.1 Аналіз існуючого технологічного процесу і його недоліків 1.2 Аналіз сучасних підходів та технологічних рішень 1.3 Аналіз вимог до нової системи управління та розробка завдань проектування
Автоматизована виконавча система виробництва (інформаційна система)	1.1 Аналіз предметної області (існуючого процесу організації і управління виробництвом) 1.2 Аналіз сучасних підходів до створення інформаційних систем 1.3 Аналіз вимог до нової інформаційної системи і розробка завдань проектування

Починаючи проектування автоматизованої системи, необхідно поставити **цілі проектування** [1].

Цілі проектування зазвичай знаходяться в площині економічних показників, які, у свою чергу, визначаються однією з двох складових економічної ефективності – прямим або непрямим ефектом.

Для систем автоматичного управління обладнанням показниками ефективності є, головним чином, трудові та вартісні витрати, що пов'язані з прямим ефектом. На величину цих витрат впливають такі виробничі показники:

1. *Точність контролю, обліку і підтримання технологічних параметрів продукції.* Автоматизовані системи управління дозволяють зменшити трудові і вартісні витрати, збільшивши при цьому прибуток. Так, наприклад, якщо на прокатному стані підтримувати товщину смуги в межах нижнього поля допусків, можна істотно знизити витрату металу. Економічно вигідно підвищення точності при створенні систем вимірювання та обліку споживання енергетичних ресурсів, так як це сприяє зменшенню збитків. Завдання підвищення точності повинні вирішуватися шляхом ретельного аналізу всіх похибок і подальшої розробки комплексних заходів.

2. *Витрата енергетичних ресурсів (електроенергія, газ, вода і т. д.), сировини і матеріалів на технологічні потреби.* Автоматизовані системи управління дозволяють застосувати найбільш ефективні алгоритми управління, що оптимізують споживання енергетичних ресурсів, а також витрата сировини і матеріалів.

3. *Продуктивність процесу.* Продуктивність – це показник, який визначається як величина, зворотна сумі втрат часу на здійснення робочих рухів і виконання допоміжних операцій. Тому для підвищення продуктивності необхідно ретельно проаналізувати втрати часу і виключити або зменшити причини цих втрат.

4. *Коефіцієнт технічного використання.* Коефіцієнт технічного використання характеризує частку часу перебування обладнання в працездатному стані щодо деякого часу експлуатації, наприклад одного року. Він характеризує простої устаткування, пов'язані з його обслуговуванням і ремонтом. Системи автоматичного управління дозволяють підвищити надійність роботи обладнання і скоротити втрати часу на відновлення працездатності, що сприяє збільшенню дійсного фонду часу роботи обладнання, а також зменшенню матеріальних витрат, пов'язаних з обслуговуванням і ремонтом. Ефективними засобами підвищення надійності є:

- вибір елементів з найменшою вірогідністю відмови;
- проектування засобів захисту від аварій;
- розробка розвиненої системи діагностики.

Для автоматизованої виконавчої системи виробництва (MES-системи) економічна ефективність визначається непрямим ефектом, інтегральним показником якого є рентабельність. Рентабельність відображає ступінь ефективності використання матеріальних, трудових і грошових ресурсів виробництва. MES-системи покращують фінансові показники підприємства шляхом підвищення віддачі основних фондів, зменшення відсотка браку продукції, прискорення обороту грошових коштів, забезпечення своєчасності поставок, розширення мережі клієнтів.

Передпроектний аналіз. Проектування системи автоматизації повинно базуватися на результатах системного аналізу технологічного процесу або предметної області програмного додатка. При виконанні цієї роботи потрібно визначити мету, об'єкт, предмет і зміст аналізу.

Метою аналізу технологічного процесу (предметної області) є визначення вимог до автоматизованої системи управління, а також знаходження способів досягнення бажаного результату при мінімальних витратах.

Предметом аналізу повинен бути об'єкт автоматизації (технологічний процес, предметна область виконуваних робіт) і засоби автоматизації (апаратура управління, програми, канали передачі і т. п.).

Зміст аналізу – це перелік питань або завдань, які повинні бути вирішені. При аналізі технологічного процесу потрібно встановити недоліки існуючих засобів управління, а також визначити можливі

способи їх усунення з урахуванням сучасних досягнень науково-технічного прогресу. При аналізованні предметної області необхідно визначити недоліки в організації виконуваних робіт, процеси, не охоплені оперативним контролем, а також створити специфікацію функцій інформаційної системи.

Особливо уважно слід вивчити вимоги до технологічного процесу та особливості управління процесом.

Вимоги до технологічного процесу можна знайти в технічній документації – технічних умовах, галузевих нормативних документах і стандартах, в описах технологічних процесів, кресленнях, керівних матеріалах і т. п. Для врахування особливостей управління слід з'ясувати думки фахівців.

При розробці способів усунення виявлених недоліків можна покладатися тільки на власні знання. Слід врахувати, що в інвестиційному проекті найбільша увага приділяється його життєвому циклу – інвестори завжди вимагають надійного захисту своїх інвестицій на тривалий час (принцип «вкластися і не думати про модернізацію десять – п'ятнадцять років»). Тому розробник проекту повинен застосовувати в проекті перспективні рішення в організації апаратних і програмних засобів системи управління.

Саме цей обов'язок ставить перед будь-яким проектувальником завдання аналізу наукової літератури та інтернет-джерел.

Підсумком виконання першого розділу є:

1. Специфікація вимог до проектованої системи (як повинна бути влаштована система і які функції вона повинна виконувати?);
2. Перелік завдань проектування (що потрібно зробити для забезпечення вимог до нової системи управління?)

Формулюючи завдання проектування, розробник проекту, по суті, повинен логічно зв'язати висновки аналізу технологічного процесу з вмістом наступних розділів пояснювальної записки.

2 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

2.1 Завдання, що вирішуються при проектуванні автоматизованих систем управління

Завдання проектування, які рекомендовані формулювати, наведено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Задачі проектування

Завдання проектування залежно від теми	
Розрахунково-конструкторська частина	<ol style="list-style-type: none">1. Розроблення функціональної схеми автоматизації2. Розрахунок основних параметрів системи управління і обладнання3. Контрольовані параметри технологічного процесу і вибір вимірювальних перетворювачів4. Керуючі впливи і вибір виконавчих механізмів
Проектування системи управління обладнанням технологічного рівня	<ol style="list-style-type: none">1. Розроблення структурної схеми системи управління2. Вибір модульної системи автоматизації та її компонентів (<i>наприклад, Simatic S7</i>)3. Конфігурування системи управління4. Розроблення принципів електричних схем
Графічна частина	<ol style="list-style-type: none">1. Розроблення функціональної схеми автоматизації2. Розроблення схем електричних зовнішніх підключень технічних засобів автоматизації до модулів вводу / виводу інформації

При проектуванні системи управління обладнанням необхідно спочатку визначити час робочого циклу, а також параметри засобів вводу і виводу інформації, що забезпечують необхідну точність і динаміку процесу управління.

Після цих розрахунків можна почати вибирати апаратури управління, вимірювальних перетворювачів і виконавчих засобів, а також розробляти структурну схему. Для підтвердження правильності компонувальних рішень і отримання інформації для побудови принципів електричних схем необхідно виконати конфігурацію системи. Конфігурація дозволяє отримати також адресацію по всім сигнальним модулям.

Якість регулювання оцінюється шляхом моделювання всього каналу управління – регулятори, перетворювач енергії, двигун, а також канали зворотного зв'язку. Параметрами оцінювання є стійкість процесу, швидкодія і точність системи управління.

Якщо результат моделювання позитивний, виконується розроблення схем підключень каналів введення-виведення (за однією схемою каналу вводу і каналу виводу). Розробляється також схема з'єднань засобів управління з виконавчими пристроями.

На завершення розробляється функціональна схема автоматизації та схеми електричних зовнішніх підключень технічних засобів автоматизації до модулів станції центрального програмованого логічного контролера для однієї із завдань управління.

Процес проектування починається з визначення основних параметрів майбутньої системи. Очевидно, що склад параметрів систем управління обладнанням та виконавчих систем виробництва (систем обробки інформації) істотно розрізняється. У таблиці 2.2 наведені приблизні переліки завдань, які необхідно вирішити на цьому етапі проектування. Рекомендації про порядок вирішення цих завдань при розробці різних систем наводяться нижче.

Таблиця 2.2 – Приблизні переліки завдань

Зміст другого розділу проекту	
Система управління обладнанням технологічного рівня	Визначення тривалості робочого циклу системи Розрахунки точності і швидкодії вимірювально-перетворювальних каналів Розрахунок динамічних параметрів виконавчих пристроїв

Рекомендації щодо виконання другого розділу проекту системи управління технологічним обладнанням.

При розробленні проекту слід враховувати дві найбільш важливих властивості ієрархічної системи:

1 Властивість пріоритетів – в ієрархічній системі команди верхнього рівня обов'язкові для виконання нижчим рівнем.

2 Властивість взаємозалежності – функціональні можливості і характеристики нижчого рівня повинні бути порівнянні із завданнями і командами вищого рівня.


Облік цих властивостей вимагають зосередити увагу, у першу чергу, на нижньому рівні, тому що саме тут формуються динамічні характеристики системи і її точність.

2.2 Розробка функціональної схеми автоматизації та умовні позначення елементів

На функціональних схемах технологічне обладнання повинно бути показано спрощено, однак давати чітке уявлення про принцип роботи і взаємодії. Технологічні апарати, трубопроводи, датчики, прилади та інші засоби автоматизації показуються умовними зображеннями відповідно до ДСТУ, повинні мати відповідні написи і позначення [1, 2].

Напрямки матеріальних та інформаційних потоків показуються стрілками.

Стандартами встановлено два способи побудови умовних позначень – спрощений і розгорнутий. Для спрощеного способу досить застосування основних умовних позначень:


 – первинний вимірювальний прилад, встановлений за місцем;


 – прилад, який встановлюється на щиті;

 – регулюючий орган.

Позначення літерами вимірювальних приладів наведені в таблиці 2.3.

Різновиди приладів позначаються комбінацією літер, наприклад:

 – прилад для вимірювання тиску, реєструючий, встановлений на щиті;

 – прилад для вимірювання розміру, який показує, встановлений за місцем.

При використанні умовних позначень необхідно дотримувати таких правил:

- сигналізація граничних значень конкретизується додаванням літери Н (верхнє значення) або L (нижнє значення);

- для позначення не передбачених стандартами величин можуть бути використані резервні літери;

- допускається розтягнення окружності або нанесення додаткових позначок поряд;

- літеру Е можна застосовувати для позначення первинних перетворювачів, датчиків;

- літеру Т можна застосовувати для позначення дистанційної передачі інформації;

- літеру К можна застосовувати для позначення перемикачів;

- літеру У можна застосовувати для позначення перетворювачів сигналів і обчислювальних пристроїв;

- якщо умовне позначення не розкриває суті приладу, допускається наводити додаткову інформацію, наприклад: «кодовий», «імпульсний» і т. п.;

– скомпоновані панелі, блоки, пульти і т. п. позначаються прямокутником з відповідним написом або обмежуються тонкою суцільною лінією;

– лінію зв'язку не допускається проводити через умовні позначення, але допускається перетин зображень технологічного обладнання.

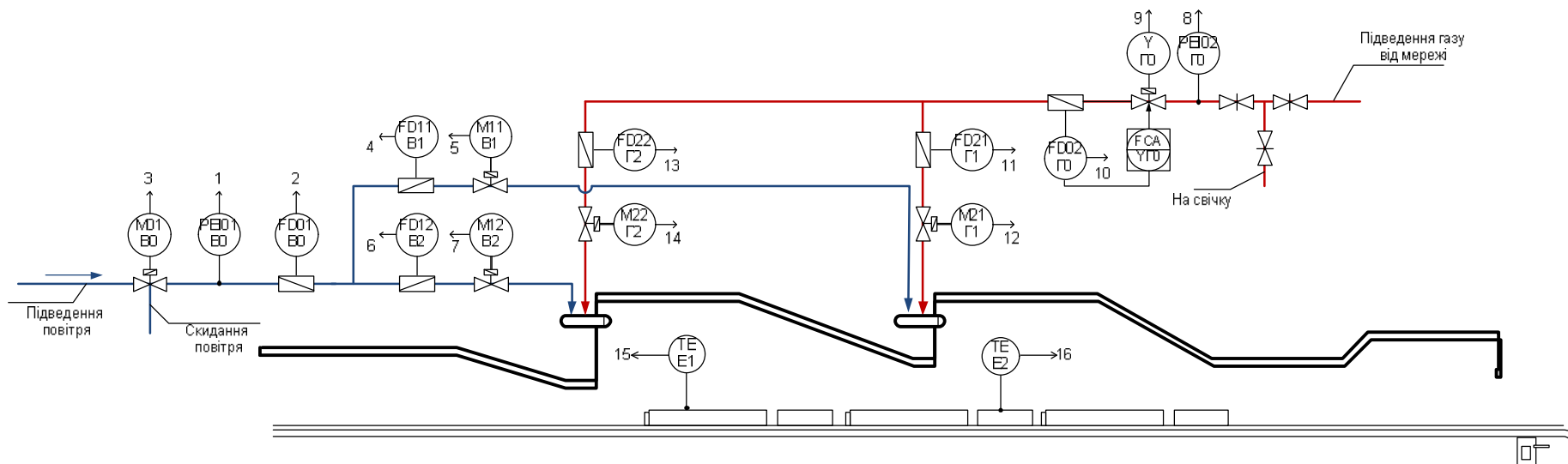
Таблиця 2.3 – Літерні позначення вимірювальних приладів

Позначення	Вимірювальна величина	Функція інформації	Позначення	Вимірювальна величина	Функція інформації
A	–	Сигналізація	M	Вологість	–
B	–	–	N	–	–
C	–	Регулювання	O	–	–
D	Густина	–	P	Тиск	–
E	Електрична величина	–	Q	Якість, склад, концентрація	Інтегрування
F	Витрата	Співвідношення	R	Радіо-активність	Реєстрація
G	Розмір	–	S	Швидкість, частота	Сигналізація
H	Ручний вплив	Верхня межа	T	Температура	–
I	–	Показання	U	Декілька величин	–
J	Автоматичне. перемикання	–	V	В'язкість	–
K	Час	–	W	Маса	–
L	Рівень	Нижня межа	X	(Резерв)	–

Усім приладам і засобам автоматизації присвоюються позиційні позначення, що зберігаються в усіх матеріалах проекту. Позиційне позначення утворюється з двох частин: номера групи з арабськими цифрами і номера приладу в цій групі, наприклад 1–3.

Приклад побудови функціональної схеми автоматизації (ФСА) наведено на рисунках 2.1 і 2.2.

Опис ФСА АСУ подачі ГВС до пальників зварювальної зони методичної печі. На цьому об'єкті автоматизації газоповітряна суміш складається з газової суміші природного газу та підігрітого в рекуператорах атмосферного повітря. До пальників газова суміш подається в співвідношенні 1:1, а газоповітряна 1:10.



Шкаф управління, ПЛК	Прилади за місцем																				
	Сигнали																				
Повітря	Примечання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
		Тиск на вхід	Общий расход	Відкрити	Зачинити	Відкрито	Зачинено	Положення	Витрата горілка 1	Відкрити	Зачинити	Відкрито	Зачинено	Положення	Витрата горілка 2	Відкрити	Зачинити	Відкрито	Зачинено	Положення	
		AI	DO	AI	DO	DI	DI	AI	AI	DO	DO	DI	DI	AI	AI	DO	DO	DI	DI	AI	
	Управління	FRCA M01	FRCA M02	FRCA M11	FRCA M12	FRCA M21	FRCA M22	FRCA M01	FRCA M02	FRCA M21	FRCA M22	FRCA M01	FRCA M02	FRCA M11	FRCA M12	FRCA M21	FRCA M22	FRCA M01	FRCA M02	FRCA M11	FRCA M12
		AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO
		AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO
	Газ	Тиск на вхід	Общий расход	Відкрити	Зачинити	Відкрито	Зачинено	Положення	Витрата горілка 1	Відкрити	Зачинити	Відкрито	Зачинено	Положення	Витрата горілка 2	Відкрити	Зачинити	Відкрито	Зачинено	Положення	
		AI	DO	AI	DO	DI	DI	AI	AI	DO	DO	DI	DI	AI	AI	DO	DO	DI	DI	AI	
		AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO	AI	DO
	Температура зварювальної зона 1	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI
		AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI
	Температура зварювальної зона 2	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI
AI		AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	

Рисунок 2.1 – Функціональна автоматизації схема ACS подачі ГВС до пальників зварювальної зони методичної печі

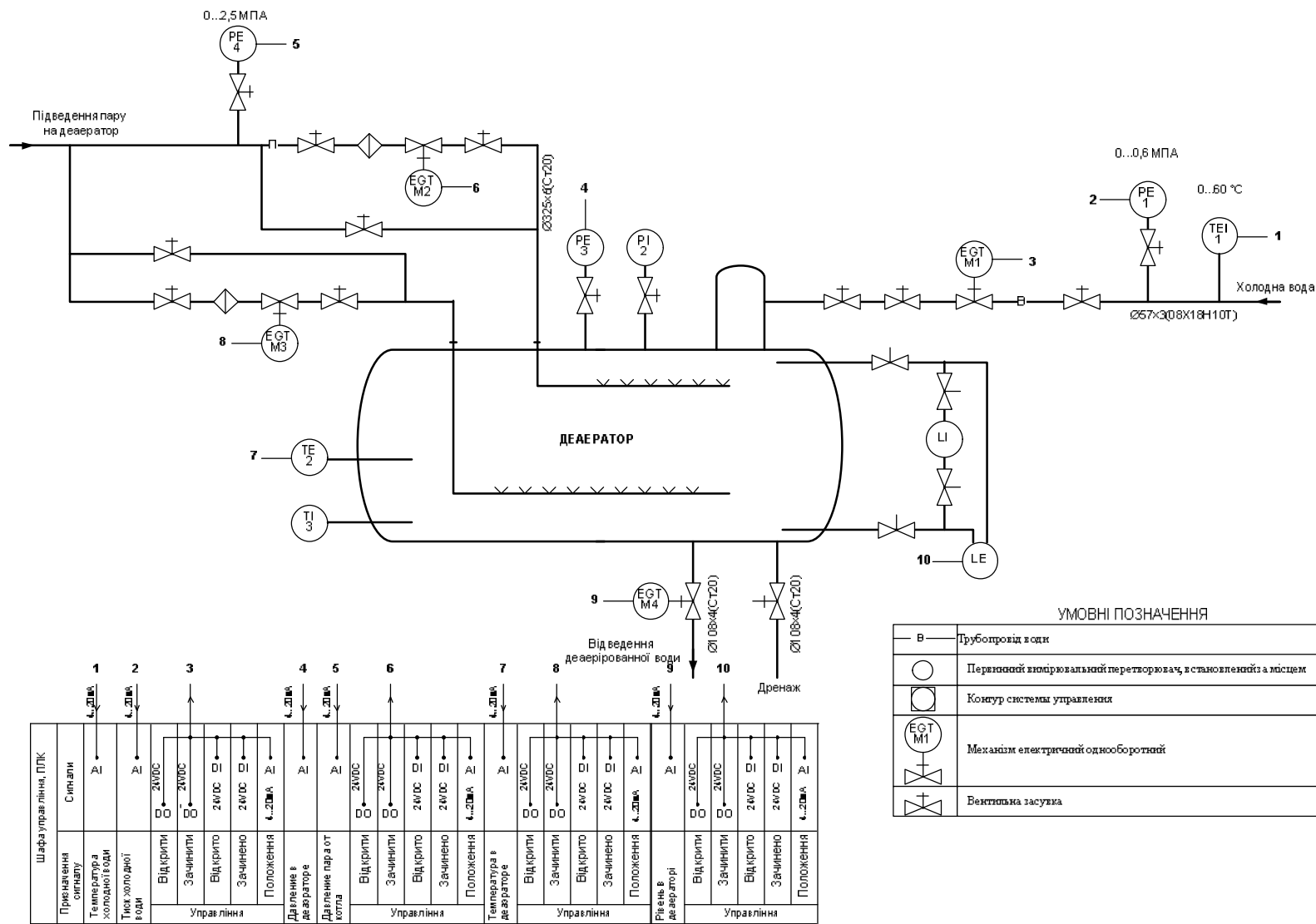


Рисунок 2.2 – Приклад ФСА деаераторного пристрою

Обсяг, що подається на горіння суміші залежить від температури слябів у зварений зоні. Контроль температури у зварений зоні проводиться в контурі E і здійснюється термopарами TI / E1 і TE / E2. За показаннями термopар змінюється величина витрати газоповітряної суміші, що подається до пальників. При регулюванні газоповітряної суміші, яка подається на горіння, застосовано дросельний спосіб регулювання витрати.

Система подачі повітря організована в контурі B0. Подача повітря на горіння здійснюється від індивідуального вентилятора. Управління вентилятором відбувається з місцевого щита управління вентилятором. На щиті управління розташована світлосигнальна апаратура, яка спалахує при включенні вентилятора. Щит управління вентилятором розташовується на стіні поруч з вентилятором.

Для забезпечення стійкої роботи вентилятора на мінімальному навантаженні передбачене автоматичне скидання повітря в атмосферу за допомогою регульовального клапана M01 / B0. Загальний витрата повітря, що подається на горіння, контролюється витратоміром FD01 / B0, а тиск – датчиком PE01 / B0. Залежно від показання витратоміра FD01 / B0, відбувається регулювання величини витрати шляхом зміни положення шиберної заслінки. Заслінці надається руху механізмом електричним однооборотним M01 / B0. Далі повітря подається на горіння через металевий рекуператор, який встановлено в системі димовидалення. У рекуператорі відбувається нагрівання повітря до 350–400⁰С.

Регулювання витрати повітропостачання, що подається безпосередньо до пальників, відбувається за показаннями витратомірів FD11 / B1 і FD12 / B2і для контурів B1 і B2 відповідно до зони печі шляхом зміни положення шиберних заслінок. Шиберним заслінкам надається руху такими МЕО:

- контур B1 M11 / B1;
- контур B2 M12 / B2.

Регулювання витрати природного газу здійснюється за індивідуальними контурами, залежно від вибору, теплового навантаження печі або тиску внутрішньопічного простору.

Подача природного газу відбувається по контуру Г0 від цехової ГРС (газорозподільна станція) середнього тиску (6,35кПа) в обсязі не більше 3 500 м³/год. Загальна витрата природного газу контролюється витратоміром FD02 / Г0, а тиск – датчиком PE02 / Г0. Регулювання загальної подачі газу здійснюється за показаннями витратоміра шляхом зміни кутового положення центральної заслінки FCA Y / Г0.

Далі природний газ під тиском 1,785 кПа подається до пальників зварної зони. Об'ємна витрата, що підводиться до пальників газу, різна по зварних зонах. Регулювання витрати на пальники здійснюється за показаннями витратомірів FD21 / Г1 і FD22 / Г2 для контурів залежно від зони печі шляхом зміни положення шиберних заслінок. Шиберним заслінкам надається руху такими МЕО:

- контур пальника Г1 M21 / Г1;
- контур пальника Г2 M22 / Г2.

2.3 Розрахунок і методика вибору виконавчих механізмів

2.3.1 Розрахунок і вибір механізмів електричних однооборотних

Регулювання тиску і витрати на подачу рідин або газів здійснюється шляхом управління становищем шиберних заслінок. Для управління положеннями шиберних заслінок найбільше застосування знайшли регульовані механізми електричні однооборотні (МЕО) [3].

Вибір МЕО здійснюється на основі методики розрахунку, наведеної нижче. При виборі моделі виконавчого механізму потрібно врахувати величину моменту, необхідного для повороту заслінки. Для заслінок величину моменту, необхідну для їх обертання, визначаємо за формулою (ньютон-метр) [4]

$$M = \kappa \cdot (M_p + M_m), \quad (2.1)$$

де M_p – реактивний момент, Н·м;

M_m – момент тертя опору, Н·м;

κ – коефіцієнт, що враховує затяжку заслінок і забруднення з'єднань, $\kappa = 2 \div 3$.

Момент на валі повинен дорівнювати або бути більше моменту, необхідного для обертання шиберної заслінки.

Реактивний момент, обумовлений прагненням потоку закрити заслінку, визначається за формулою (ньютон-метр)

$$M_p = 0,07 P \cdot D_y^3, \quad (2.2)$$

де $F = P \cdot S$ – сила опору на заслінці, Н·м;

ΔP_{po} – перепад тиску на заслінці, Па;

D_y – діаметр шиберної заслінки, м;

S – площа перетину труби, м².

Момент сил тертя визначається за формулою (ньютон-метр)

$$M_m = 0,785 \cdot D_y^2 \cdot P_{инач} \cdot r_{ш} \cdot \lambda, \quad (2.3)$$

де $r_{ш}$ – радіус шийки вала заслінки, м;

$\lambda = 0,05$ – коефіцієнт тертя опору.

Приклад. Розрахунок і вибір МЕО.

Для заслінок величину моменту, необхідну для їх обертання, визначаємо за формулою (2.1). Момент на валі повинен дорівнювати або бути більше моменту, необхідного для обертання шиберної заслінки.

Реактивний момент, обумовлений прагненням потоку закрити заслінку, визначається за формулою (2.2).

Дані для розрахунку: $\Delta P_{po} = 43\,000$ Па; $S = 0,325$ м², $D_y = 0,083$ м.

Реактивний момент визначається за формулою (2.2)

$$M_{p1} = 0,07 \cdot 43000 \cdot 0,083^3 = 103,3 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Момент сил тертя визначається за формулою (2.3)

$$M_{m1} = 0,785 \cdot 0,083^2 \cdot 43000 \cdot 0,03 \cdot 0,05 = 5,35 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Величина моменту, необхідна для обертання заслінки (2.1):

$$M_l = 2 \cdot (10,33 + 5,35) = 217,4 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Для пересування шиберної заслінки вибираємо механізм типу МЕО. На підставі проведених розрахунків здійснюємо вибір такого виконавчого механізму: МЕО-250 / 63-0.63-92К;

Технічні характеристики МЕО наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики МЕО

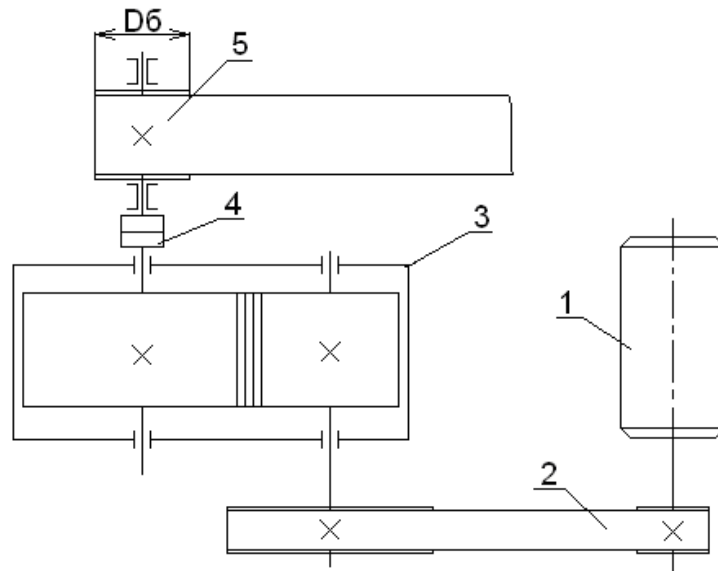
Параметр	МЭО-250/63-0.63-92К
Номінальний крутний момент на вихідному валі, Н·м	250
Час повного ходу вихідного вала, с	63
Значення повного ходу вихідного вала	0,63
Споживана потужність, Вт	320
Вага, кг	135
Тип двигуна	АИР56А4

2.3.2 Розрахунок і вибір привідного електродвигуна горизонтального стрічкового конвеєра

Необхідні вихідні дані для розрахунку редукторного електропривода горизонтального конвеєра:

- розрахункове зусилля натягу при переміщенні вантажу – F_t , кН;
- розрахункова продуктивність, т/год;
- діаметр барабана конвеєра D_b , м;
- довжина конвеєра l , м;
- швидкість стрічки v , м/с;
- частота обертання вала привідного електродвигуна $n_{ном}$, об/хв;
- час напрацювання на відмову L_h , ч;
- швидкісна помилка α , %.

Кінематична схема розрахункового електропривода наведена на рисунку 2.3.



1 – електродвигун; 2 – плоскоремінна передача;
3 – редуктор прямозубий; 4 – муфта; 5 – барабан конвеєра

Рисунок 2.3 – Кінематична схема розрахункового електропривода стрічкового конвеєра

Визначається час переміщення матеріалів конвеєром (секунд) [5]:

$$t_{p1} = \frac{L}{v}. \quad (2.4)$$

Приймаємо $t_{p1} = t_{p2}$, часи простоїв t_0 , які дорівнюють робочим часам.
Розраховується тривалість циклу (секунд):

$$t_{ц} = t_{p1} + t_{p2} + 2t_0. \quad (2.5)$$

Тривалість включення механізму в статисти становить ПВ = 100% .
Визначається необхідна потужність на виході (ват):

$$P_{pm} = F_t \cdot v, \quad (2.6)$$

де F_t – окружне зусилля на барабані, Н;
 v – окружна швидкість стрічки конвеєра, м/с.

Розраховується загальний коефіцієнт корисної дії привода:

$$\eta_{заг} = \eta_{закр.перед} \cdot \eta_{відкр.перед} \cdot \eta_{муф} \cdot \eta_{підшип.коч}^2 \cdot \eta_{підшип.ковз}, \quad (2.7)$$

де $\eta_{закр.перед}$ – коефіцієнт корисної дії закритої передачі;
 $\eta_{відкр.перед}$ – коефіцієнт корисної дії відкритої передачі;

$\eta_{\text{муф}}$ – коефіцієнт корисної дії муфти;

$\eta_{\text{підшипн.коч}}$ – коефіцієнт корисної дії підшипників кочення;

$\eta_{\text{підшипн.ковз}}$ – коефіцієнт корисної дії підшипників ковзання.

Для побудови динамічної навантажувальної діаграми конвеєра необхідно визначити статичні моменти (ньютон-метр) на валі електродвигуна при переміщенні вантажу і на холостому ході:

$$M_{cn1} = \frac{(Q_n + Q_l)D9.8}{2u\eta}, \quad (2.8)$$

$$M_{cn2} = \frac{Q_l D9.8}{2u\eta}, \quad (2.9)$$

де u – передавальне число редуктора;

Статична діаграма буде складатися з таких циклів: переміщення вантажу (t_{p1}), зупинка механізму на час (t_{o1}), вивантаження (t_{p2}), зупинка на час розвантаження (t_{o2}).

Далі попередньо вибирається електродвигун за потужністю і швидкістю.

Номінальна частота n_p (обертів за хвилину) і кутова швидкість обертання ω_p (радіан за секунду) вала електродвигуна визначається за формулою

$$n_p = 60v \frac{u}{\pi D}; \quad (2.10)$$

$$\omega_p = \frac{\pi n_p}{30}. \quad (2.11)$$

Розраховується еквівалентний момент (ньютон-метр) за даними статичної навантажувальної діаграми:

$$M_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^2 M_{cni}^2 t_{ni}}{\sum_{i=1}^2 (t_{pi} + t_{oi})}}. \quad (2.12)$$

Остаточно потужність (ват) привідного електродвигуна визначається за формулою

$$P_p = M_e \omega_p. \quad (2.13)$$

Виходячи з умов $n_n > n_p$ і $P_n > P_{расч}$, вибирається привідний електродвигун.

Після вибору електродвигуна його перевіркою розраховують на підставі динамічної навантажувальної діаграми. Для побудови даної діаграми необхідно визначити час пуску і гальмування, а також моменти, що діють у динамічні проміжки.

Визначається динамічний пусковий момент (ньютон-метри) за формулою

$$M_n = \frac{M_1 + M_2}{2}, \quad (2.14)$$

де M_1 , M_2 – максимальний і мінімальний пускові моменти відповідно;

$$M_1 = \psi_1 \cdot M_{cn1}; \quad (2.15)$$

$$M_2 = \psi_2 \cdot M_{cn1}. \quad (2.16)$$

де ψ – кратність пускових моментів, $\psi_1 = 1,6 \dots 2$; $\psi_2 = 1,2 \dots 1,4$;

Розраховується час переміщення вантажу, для цього необхідно визначити:

Сумарний, наведений момент інерції при пуску (кілограм-метр квадратний):

$$J_{n1} = K_j(J + J_m) + \frac{1,4 \cdot 91 Q_H v}{n_n^2 \eta}. \quad (2.17)$$

Сумарний, наведений момент інерції при гальмуванні (кілограм-метр квадратний):

$$J_{m1} = K_j(J + J_m) + \frac{91 \cdot 1,4 Q_H v}{n_n^2} \eta. \quad (2.18)$$

Час пуску привода для кожної операції визначиться (секунди)

$$t_{п1} = \frac{J_{n1} \omega_H}{M_n - M_{cn1}}; \quad (2.19)$$

$$t_{п2} = \frac{J_{n2} \omega_H}{M_n + M_{cn2}}. \quad (2.20)$$

Для визначення часу електричного гальмування механізму розраховуються гальмівні моменти (ньютон-метр):

$$M_{m1} = K_m \cdot M_{cn1}; \quad (2.21)$$

$$M_{m2} = K_m \cdot M_{cn2}, \quad (2.22)$$

де $K_m = 2$ – коефіцієнт запасу гальмування.
Обчислити час гальмування (секунди) [5]:

$$t_{r1} = \frac{J_{m1} \omega_H}{M_{m1} + M_{cn1}}; \quad (2.23)$$

$$t_{r2} = \frac{J_{m2} \omega_H}{M_{m2} - M_{cn2}}. \quad (2.24)$$

За результатами розрахунків будується динамічна навантажувальна діаграма.

За результатами динамічного аналізу функціонування електроприводу конвеєра розраховується еквівалентний момент (ньютон-метр) для режиму S6. Коефіцієнти, що враховують погіршення умов охолодження двигуна при пусках і гальмуваннях $\beta_n = \beta_m = 0,5$.

$$M_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^2 M_{ni}^2 t_{ni} + \sum_{i=1}^2 M_{cni}^2 t_{ni} + \sum_{i=1}^2 M_{pi}^2 t_{ni}}{\beta_n \sum_{i=1}^4 t_{ni} + \beta_m \sum_{i=1}^4 t_{mi} + \sum_{i=1}^4 t_{pi}}}. \quad (2.25)$$

Еквівалентна потужність визначається за формулою (ват)

$$P_e = M_e \cdot \omega_n. \quad (2.26)$$

Проводиться перевірка вибраного електродвигуна з перегріву:

$$P_p < P_\vartheta. \quad (2.27)$$

Приклад розрахунку редукторного електропривода горизонтального стрічкового конвеєра на підставі розрахункової схеми електропривода, наведеної на рисунку 2.3.

Вихідні дані для розрахунку:

- розрахункове зусилля натягу при переміщенні вантажу – $F_t = 50$ кН;

– розрахункова продуктивність – 300 т/год.;

– діаметр барабана конвеєра $D_\delta = 0,25$ м;

– довжина конвеєра $l = 500$ м;

- швидкість стрічки $v = 1,2$ м/с;
 - частота обертання вала привідного електродвигуна $n_{ном} = 950$ об/хв;
 - час напрацювання на відмову $L_h = 12\ 000$ год;
 - швидкісна помилка $\alpha = 3\ %$;
 - передавальне число пасової передачі $u = 16,62$.
- Час переміщення матеріалів конвеєром (2.4):

$$t_{p1} = \frac{500}{1,3} \approx 385 \text{ с.}$$

Приймаємо $t_{p1} = t_{p2}$, а часи простоїв t_0 такі, що дорівнюють робочим часам.

Тривалість циклу (2.5):

$$t_{ц} = 2 \cdot 385 + 2 \cdot 385 = 1540 \text{ с.}$$

Тривалість включення механізму в статисти становить ПВ = 100% .
Необхідна потужність на виході (2.6):

$$P_{pm} = 50 \cdot 10^3 \cdot 1,3 = 65000 \text{ Вт.}$$

Загальний коефіцієнт корисної дії привода (2.7):

$$\eta_{заг} = 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,993^2 \cdot 0,985 \cdot 0,98 = 0,877 .$$

Статичні моменти на валу електродвигуна при переміщенні вантажу визначаються відповідно до формул (2.8) і (2.9):

$$M_{cn1} = \frac{(27000 + 3000) \cdot 9,8 \cdot 0,25}{2 \cdot 16,62 \cdot 0,877} = 840,61, \text{ Нм,}$$

$$M_{cn2} = \frac{3000 \cdot 9,8 \cdot 0,25}{2 \cdot 16,62 \cdot 0,877} = 84, \text{ Нм.}$$

Статична діаграма подана на рисунку 2.4.

Зробимо попередній вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю.

Номінальну частоту і кутову обертання двигуна визначимо за формулами (2.10) і (2.11):

$$n_p = 60 \cdot 1,3 \frac{16,62}{3,14 \cdot 0,25} = 1621 \text{ хв}^{-1}.$$

$$\omega_p = \frac{3,14 \cdot 1621}{30} = 169,7 \text{ с}^{-1}.$$

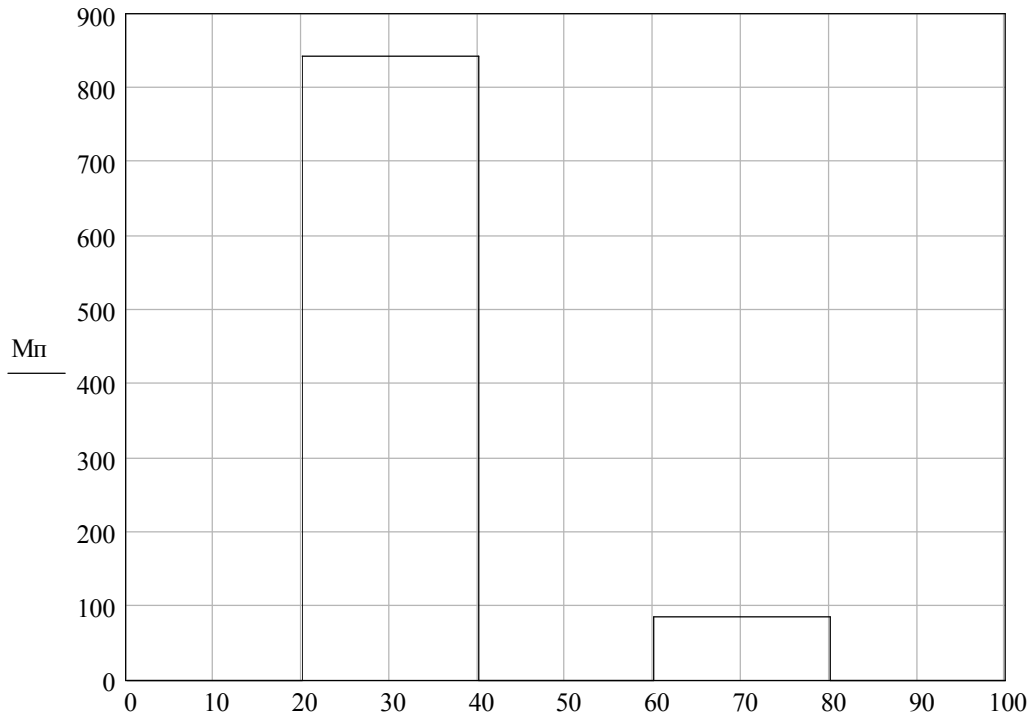


Рисунок 2.4 – Статична навантажувальна діаграма стрічкового конвеєра

Визначимо за формулі (2.12) еквівалентний момент за даними статичної навантажувальної діаграми:

$$M_e = \sqrt{\frac{840,61^2 \cdot 385 + 84^2 \cdot 385}{4 \cdot 385}} = 422,4 \text{ Нм.}$$

Потужність електродвигуна визначається за формулою (2.13):

$$P_p = 422,4 \cdot 169,7 \cdot 10^3 = 72 \text{ кВт.}$$

Виходячи з умов $n_n > n_p$ і $P_n > P_{расч.}$ вибираємо асинхронний електродвигун серії 4А7133-6АА90-ZL1R + L13. Він має такі параметри [6, 7]:

- номінальна потужність $P_n = 72$ кВт;
- номінальна частота обертання поля статора $n_1 = 1\,500 \text{ хв}^{-1}$;
- номінальна частота обертання ротору $n_2 = 1\,480 \text{ хв}^{-1}$;

- номінальний момент на валі електродвигуна $M_n = 645 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- напруга мережі живлення $U_n = 380 \text{ В}$;
- перевантажувальна здатність $\lambda = 2,2$;
- момент інерції вала електродвигуна $J = 1,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- номінальний струм ротора $I_2 = 103,3 \text{ А}$;
- ккд $\eta = 0,86$.

Побудова динамічної навантажувальної діаграми електропривода.

Максимальний і мінімальний пускові моменти, відповідно, розраховуються за формулами (2.15) і (2.16):

$$M_1 = 1,7 \cdot 840,61 = 1428,53 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_2 = 1,3 \cdot 840,61 = 1092,8 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Визначимо динамічний пусковий момент за формулою (2.14):

$$M_n = \frac{1428,53 + 1092,8}{2} = 1260,66 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

Визначимо час переміщення вантажу, для цього розрахуємо:

– сумарний, наведений момент інерції при пуску визначається за формулою (2.17):

$$J_{n1} = 1,25(1,5 + 10,3) + \frac{91 \cdot 1,4 \cdot 30000 \cdot 0,5}{1480^2 \cdot 0,877} = 15,74 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

– сумарний, наведений момент інерції при гальмуванні пуску визначається за формулою (2.18):

$$J_{m1} = 1,25(1,5 + 10,4) + \frac{91 \cdot 1,4 \cdot 3000 \cdot 0,5}{1480^2} \cdot 0,877 = 14,95 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Приймаємо робочу кутову швидкість рівної номінальної кутової швидкості вибраного електродвигуна.

Час пуску привода для кожної операції визначиться за формулами (2.19) і (2.20):

$$t_{n1} = \frac{33,4 \cdot 155}{784 - 522,7} = 19,8 \text{ с};$$

$$t_{n2} = \frac{32,12 \cdot 155}{784 + 149,3} = 5,3 \text{ с}.$$

Для визначення часу електричного гальмування механізму знайдемо гальмівні моменти за формулами (2.21) і (2.22):

$$M_{m1} = 2 \cdot 522,7 = 1045,3 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{m2} = 2 \cdot 149,3 = 298,7 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Розрахуємо час гальмування за формулами (2.23) і (2.24):

$$t_{r1} = \frac{33,4 \cdot 155}{784 + 522,7} = 3,3 \text{ с};$$

$$t_{r2} = \frac{32 \cdot 155}{784 - 149,3} = 33,2 \text{ с}.$$

За результатами розрахунків будемо динамічну навантажувальну діаграму, яка наведена на рисунку 2.5.

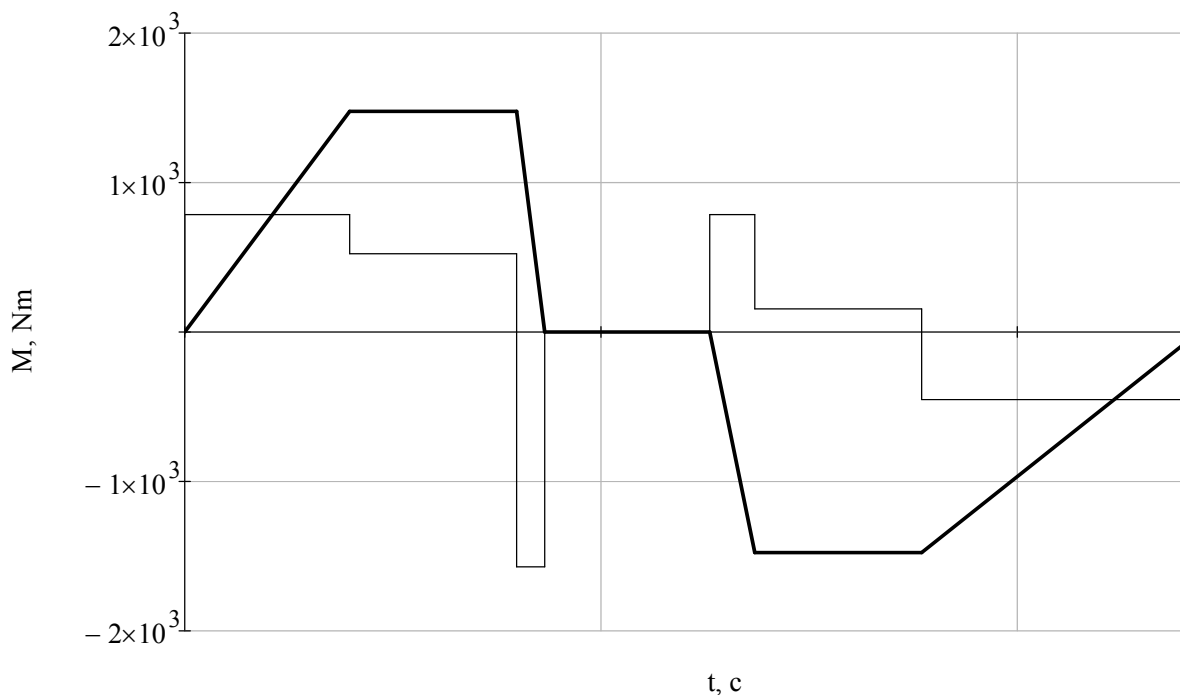


Рисунок 2.5 – Поєднана динамічна навантажувальна діаграма

Розрахунковий еквівалентний момент для режиму S6 за формулою (2.25) становитиме: $M_{\varrho} = 427,9$. Коефіцієнти, що враховують погіршення умов охолодження двигуна при пусках і гальмуваннях $\beta_n = \beta_m = 0,5$.

Еквівалентна потужність за формулою (2.26) становитиме:

$$P_e = M_e \cdot \omega_n = 429,6 \cdot 155 \cdot 10^3 = 66,6 \text{ кВт}.$$

Перевірка вибраного електродвигуна з перегріву здійснюється за залежністю (2.27):

$$66,6 \text{ кВт} < 72 \text{ кВт},$$

тому що розрахункова еквівалентна потужність менше номінальної потужності привідного електродвигуна, то вибір здійснений вірно.

2.3.3 Розрахунок і вибір електродвигуна похилого стрічкового конвеєра з прямим приводом

Вихідні дані для розрахунку:

- максимальна швидкість подачі становить v_{max} , м/с;
- мінімальна швидкість подачі становить v_{min} , м/с;
- діапазон регулювання швидкості D ;
- довжина конвеєра дорівнює L , м;
- ширина стрічки b , м;
- питома вага стрічки m'_G , кг/м;
- вага роликів m_R , кг;
- максимальне навантаження m'_L , кг/м;
- діаметр барабанів D , мм;
- середній кут підйому конвеєра α .

Розраховується основна сила опору F_h верхньої і нижньої гілки конвеєра. Основна сила визначається відразу для обох гілок. Припущення: лінійна залежність між силою опору і переміщуваною навантаженням [5]:

$$F_h = Lfg \left(\frac{m_R}{L} + (2m'_G + m'_L) \right) \cos \alpha, \quad (2.28)$$

де F_h – основна сила опору верхньої і нижньої гілки конвеєра, Н;

f – коефіцієнт тертя $f = 0,02$;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

m_R – загальна вага роликів, кг;

m'_G – вага стрічки, кг/м;

m'_L – максимальне навантаження, кг/м;

α – середній кут підйому конвеєра.

Розраховуємо вторинні сили опору конвеєра:

- силу інерції вантажу і силу тертя між вантажем і стрічкою в місці завантаження;
- силу тертя між вантажем і бічними напрямними;
- силу тертя між стрічкою і скребком.

Визначається сила опору підйому переміщуваного вантажу конвеєром (ньютон):

$$F_{s1} = Lfgm_L \sin \alpha . \quad (2.29)$$

Розраховуються вторинні сили опору (ньютон), відповідно:

$$F_n = (c - 1)F_h . \quad (2.30)$$

Сумарні сили опору при переміщенні вантажу (ньютон):

$$F = F_h + F_s + F_n . \quad (2.31)$$

Знаходиться статична потужність привідного електродвигуна (ват) для конвеєра без урахування ккд редуктора і варіатора:

$$P = \frac{F \cdot v}{\eta} . \quad (2.32)$$

Виходячи з умов $n_n > n_p$ і $P_n > P_{расч}$, вибирається привідний електродвигун.

Визначається момент інерції прямолінійно рухомих компонентів вантажу і стрічки (кілограм-метр квадратний) [5]:

$$J_x = 91.2m \left[\frac{v}{n_n} \right]^2 \cos \alpha . \quad (2.33)$$

Розраховується момент інерції обертових компонентів конвеєра (ролики) (кілограм-метр квадратний):

$$J_{xR} = \frac{1}{2} m_R [r_A^2 + r_l^2] . \quad (2.34)$$

Розрахувати частоту обертання роликів конвеєра (обертів за хвилину):

$$n_R = \frac{v \cdot 60}{2\pi r_A} . \quad (2.35)$$

Знаходиться величина зовнішнього моменту інерції до ротора двигуна (кілограм-метр квадратний):

$$J_{xz} = J_{xR} \left[\frac{n_R}{n_H} \right]^2. \quad (2.36)$$

За проведеними вище розрахунками визначають загальний момент інерції конвеєра (кілограм-метр квадратний):

$$J = J_x + J_{xz} + J_{xr}. \quad (2.37)$$

Розраховується номінальний момент привідного електродвигуна конвеєра.

Номінальний і максимальний момент електродвигуна конвеєра (ньютон-метр):

$$M_H = \frac{9550 P_H}{n_H}; \quad (2.38)$$

$$M_{\max} = 2,8 M_H. \quad (2.39)$$

Визначається розрахунковий час розгону і пуску конвеєрів (секунди):

$$t_a = \frac{\left(J_{\partial} + \frac{J}{\eta_M} \right) n_H}{9.55 \left(M_{\max} - \frac{M_H}{\eta_{\partial}} \right)}. \quad (2.40)$$

Знаходиться значення прискорення при розгоні конвеєра:

$$a = \frac{v}{t_a}. \quad (2.41)$$

За результатами розрахунку будується динамічна навантажувальна діаграма електропривода стрічкового конвеєра.

На останньому етапі розрахунку проводиться перевірочний розрахунок вибраного електродвигуна.

Розраховується еквівалентний момент електродвигуна (ньютон):

$$M_e = \sqrt{\frac{M_n^2 t_a + M_c^2 t_p + M_n^2 t_m}{t_a + t_p + t_0 + t_m}}. \quad (2.42)$$

Визначається величина еквівалентної потужності (кіловат):

$$P_e = \frac{M_e n_n}{9550}. \quad (2.43)$$

За результатами розрахунків перевіряється правильність вибору привідного електродвигуна на підставі дотримання нерівності

$$P_e < P_n. \quad (2.44)$$

Приклад розрахунку і вибору електродвигуна похилого стрічкового конвеєра з прямим приводом

Початкові дані. Стрічковий конвеєр для завантаження в залізничні вагони переміщує 500 тонн сортового вугілля за годину. Максимальна швидкість подачі становить 2 м/с. Необхідно регулювання швидкості в діапазоні 1:4 до мінімального 0,5 м/с. Довжина конвеєра дорівнює 1 000 м. Стрічка шириною в 1,2 м має питому вагу 42 кг/м. Вага роликів становить 1 200 кг. Діаметр барабанів $D = 450$ мм.

Основна сила опору F_h верхньої і нижньої гілки конвеєра визначається за формулою (2.28) відразу для обох гілок. Припущення: лінійна залежність між силою опору і переміщуваною навантаженням:

$$F_h = 1000 \cdot 0.02 \cdot 9.81 \left(\frac{1200}{250} + (2 \cdot 42 + 415) \right) \cos 15^\circ = 94798,6, H.$$

Розрахуємо вторинні сили опору конвеєра:

- силу інерції вантажу і сила тертя між вантажем і стрічкою в місці завантаження;

- силу тертя між вантажем і бічними напрямними;

- силу тертя між стрічкою і скребком.

Сила опору підйому переміщуваного вантажу конвеєром, розраховується за формулою (2.29):

$$F_s = 1000 \cdot 0.02 \cdot 9.81 \cdot 415 \cdot \sin 15^\circ = 21063,4, H.$$

Визначаємо вторинні сили опору за формулами (2.30) відповідно:

$$F_n = (1.3 - 1) \cdot 23870 = 28439,6, H.$$

Сумарні сили опору при переміщенні вантажу знаходимо за формулою (2.31):

$$F = 94798,6 + 21063,4 + 28439,6 = 144301,6 H.$$

Розрахуємо статичну потужність привідного електродвигуна для конвеєра без урахування ккд редуктора і варіатора за формулою (2.32):

$$P = \frac{144301,6 \cdot 2}{0,9} = 320670,1, \text{ Вт.}$$

За результатами попереднього розрахунку вибираємо асинхронні електродвигуни. Для конвеєра приймаємо два асинхронних електродвигуни серії 1LG4316-4AA з технічними характеристиками, наведеними в таблиці 2.5 [6, 7].

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики привідних електродвигунів

Найменування параметру	Значення параметра двигуна 1LG4316-4AA
Номінальна потужність, кВт	160
Номінальна сила струму, А	280
Номінальна частота обертання, хв ⁻¹	1 486
Кількість пар полюсів	4
Максимальна частота обертання, хв ⁻¹	4 200
Момент інерції, кг·м ²	2,88
Момент номінальний, Н·м	1 028
Кратність перевантажувального моменту	2,8
Номінальна напруга, В	380

Визначимо момент інерції прямолінійно рухомих компонентів вантажу і стрічки за формулою (2.33):

$$J_{x2} = 91,2 \left(\frac{1200}{1000} + (2 \cdot 42 + 415) \right) \left(\frac{1 \cdot 2}{1402} \right) \cos 15^0 = 0,089, \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Визначимо момент інерції обертових компонентів конвеєра (ролики) за формулою (2.34):

$$J_{xR} = 0,5 \cdot 1200 \left(0,108^2 + 0,05^2 \right) = 8,498, \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Розрахуємо частоту обертання роликів конвеєра за формулою (2.35):

$$n_R = \frac{2 \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,108} = 177, \text{ хв}^{-1}.$$

Визначимо приведений зовнішній момент інерції до ротора двигуна за формулою (2.36):

$$J_{xz} = 0,5 \left(\frac{177}{1402} \right) = 0,135, \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Загальні момент інерції конвеєра визначитися за формулою (2.37):

$$J = 0.089 + 0.135 + 8.498 = 8.67, \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Розрахуємо номінальні моменти привідних електродвигунів конвеєрів.

Номінальний і максимальний момент електродвигуна конвеєра визначається за формулами (2.38) і (2.39) відповідно:

$$M_H = \frac{9550 \cdot 160}{1482} = 1031 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\max} = 2,8 \cdot 1031 = 2886,9 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Розрахунковий час розгону і пуску конвеєрів, згідно з формулою (2.40), визначиться:

$$t_a = \frac{\left(2,88 + \frac{8,67}{0,76} \right) 1482}{9,55 \left(2886,9 - \frac{1031}{2} \right)} = 127,7 \text{ с}.$$

Прискорення при розгоні конвеєра знаходимо за формулою (2.41):

$$a = \frac{2}{127,7} = 0.016 \text{ м/с}^2.$$

За результатами розрахунку побудуємо динамічну навантажувальну діаграму електропривода стрічкового конвеєра (рис. 2.6).

Проведемо перевірочний розрахунок вибраного електродвигуна. Розрахуємо еквівалентний момент електродвигуна за формулою (2.42):

$$M_e = \sqrt{\frac{2886,9^2 \cdot 127,7 + 1031^2 \cdot 500 + 2886,9^2 \cdot 127,7}{127,7 + 500 + 50 + 127,7}} = 1817,3 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Еквівалентна потужність розраховується за формулою (2.43):

$$P_e = \frac{1817,3 \cdot 1482}{9550} = 282,320 \text{ кВт}.$$

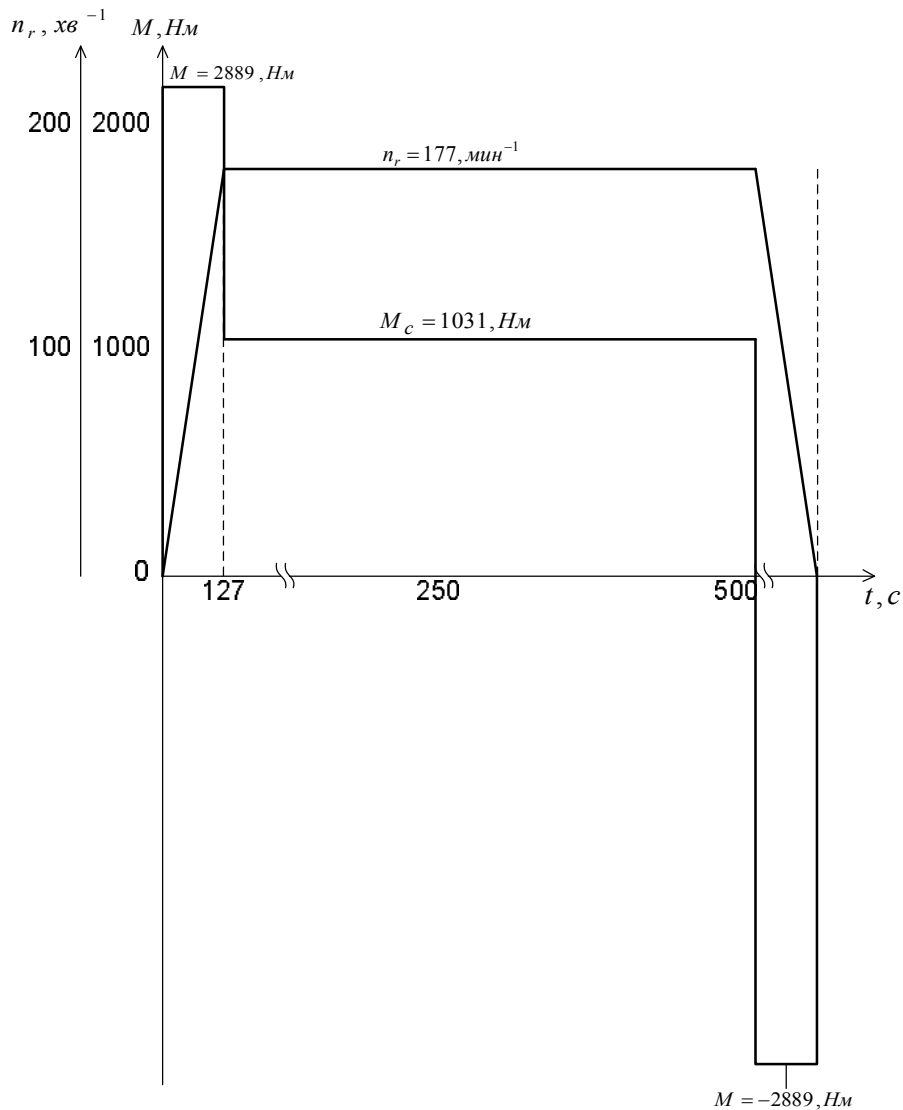


Рисунок 2.6 – Динамічна навантажувальна діаграма електропривода стрічкового конвеєра

Вибір приводних електродвигунів стрічкового конвеєра проведений вірно, тому що за результатами розрахунку еквівалентна потужність менше значення сумарної номінальної потужності приводних електродвигунів.

2.3.4 Розрахунок електропривода механізму підйому підвіски гака мостового крана

Стандартизована для попередньо прийнятого важкого режиму (5М) навантажувальна діаграма роботи механізму підйому включає такі операції (рис. 2.7):

- підйом вантажу вагою Q_H на висоту H за час t_{p1} ;
- зупинка механізму на час $t_{01} = t_{p1}$ переміщення вантажу по цеху;

- опускання вантажу вагою Q_n з висоти H за час $t_{p2} = t_{p1}$;
 - зупинка механізму на час $t_{02} = t_{p1}$ розвантаження;
 - підйом підвіски гака вагою $Q_0 = 0,2Q_n$ за час $t_{p3} = t_{p1}$;
 - зупинка механізму підйому на час $t_{03} = t_{p1}$ переміщення вантажу до місця завантаження;
 - опускання підвіски гака вагою $Q_0 = 0,2Q_n$ за час $t_{p4} = t_{p1}$;
 - зупинка механізму на час $t_0 = t_{p1}$ завантаження.
- Далі послідовність операцій, що наведена вище, повторюється.

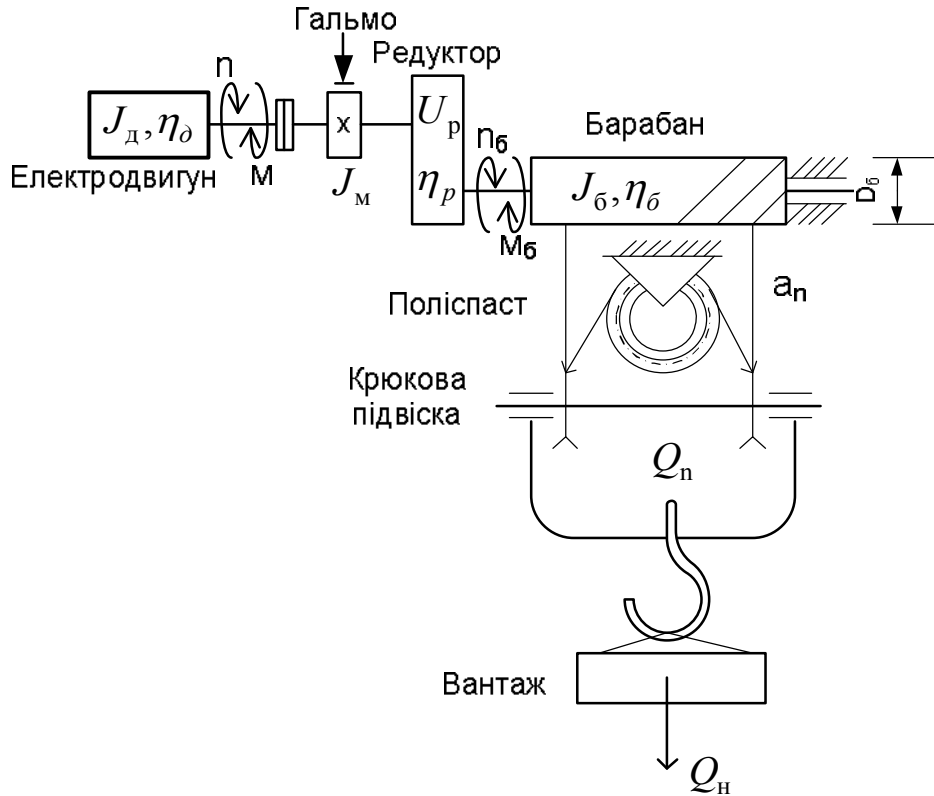


Рисунок 2.7 – Кінематична схема механізму підйому мостового крана

Для спрощення швидкість підйому і опускання приймається незмінною (електродвигун має досить жорстку характеристику), тому час підйому і опускання (секунди) в статистиці визначаються так:

$$t_{p1} = t_{p2} = \dots = t_{pj} = \frac{H}{v_n}. \quad (2.45)$$

Час t_0 зупинки механізму підйому дорівнює часу підйому

$$t_0 = t_p. \quad (2.46)$$

Тривалість циклу (секунди):

$$t_u = \sum t_{p_j} + \sum t_{0_j} = t_{p_1} + t_{p_2} + t_{p_3} + t_{p_4} + 4t_0. \quad (2.47)$$

Тривалість включення механізму в статистиці, тобто без урахування динамічних режимів [5]:

$$ПВ = \frac{\sum t_{p_j}}{t_u} 100\%. \quad (2.48)$$

Статичний момент на валі електродвигуна при підйомі вантажів, різних за масою (ньютон-метр) визначається за формулою

$$M_{cj}^{\Pi} = \frac{9,8K_3 Q_n D_{\bar{b}}}{2i_m \eta_m k_n}, \quad (2.49)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження,

$K_3 = \frac{Q}{Q_n}$; i_m – загальне передавальне число механізму;

$j = 1, 3, 5, 7 \dots 15$.

Статичний момент на валі двигуна при спуску різних за масою вантажів (ньютон-метр)

$$M_{cj}^C = \frac{K_3 Q_n D_{\bar{b}} 9,8 \eta_m}{2i_m}, \quad (2.50)$$

де $j = 2, 4, 6, 8, \dots, 16$.

Статична навантажувальна діаграма, розрахована за вихідними даними і формулами (2.45), (2.46), (2.49), (2.50), будується у відповідному масштабі. Загальний вигляд статичної навантажувальної діаграми наведено на рисунку 2.8 [5].

Потужність електродвигуна (ват) з найближчою стандартною тривалістю включення $ПВ_{ст}$ вибирається з умови підйому номінального вантажу за розрахунками потужності:

$$P_{расч} = \frac{9,8 Q_n v_n 10^3}{\eta_m}, \quad (2.51)$$

де Q_n – номінальна вантажопідйомність, т;

v_n – швидкість підйому, м/с;

η_m – ккд механізму, $\eta_m = \eta_p \eta_{\bar{b}} \eta_n$;

η_p – ккд редуктора;

η_6 – ккд барабана;
 η_n – ккд поліспасти.

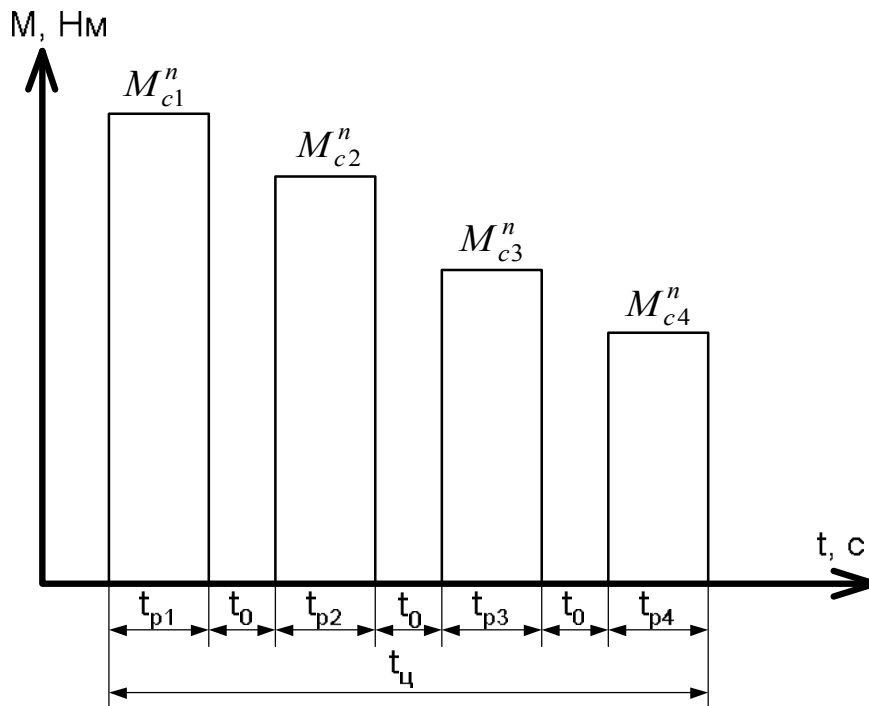


Рисунок 2.8 – Статична навантажувальна діаграма механізму підйому мостового крана

Якщо розрахункова PB за формулою (4.4) відрізняється від стандартних, а $t_{ц} < 10$ хв., то розрахункова потужність (ват) приводиться до стандартної PB_{cm} :

$$P'_{расч} = P_{расч} \sqrt{\frac{PB}{PB_{cm}}} \quad (2.52)$$

Умова попереднього вибору двигуна за потужністю, що відповідає PB_{cm} :

$$P_n \geq P'_{расч} \quad (2.53)$$

Якщо $t_{ц} < 10$ мин, то вибирається двигун зі стандартною $PB = 100\%$ за умовами $P_{n(100\%)} \geq P'_{расч}$.

Тут попередньо перевіряється двигун за перевантажувальною здатністю:

$$M_{max} \geq M_{cmax}, \quad (2.54)$$

де M_{\max} – максимальний момент вибраного двигуна, Н·м;

$M_{c \max}$ – максимальний статичний момент зі статичної навантажувальної діаграми, Н·м.

Номінальна частота обертання вала двигуна вибирається з умови (оборот за хвилину)

$$n_n \geq n_p = \frac{60v_{н.м.}}{\pi D_{\delta}}. \quad (2.55)$$

При побудові динамічної навантажувальної діаграми враховуються динамічні моменти M_d на валі двигуна під час t_{II} пуску та t_T гальмування.

При багатоступінчастому запуску електродвигуна динамічний момент (ньютон-метр)

$$M_d = M - M_c = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \quad (2.56)$$

змінюється від максимального M_1 до мінімального M_2 за складним законом [3]. Тому в інженерних розрахунках динамічний момент (ньютон-метр) при пуску приймають рівним середньому:

$$M_n = \frac{M_1 + M_2}{2}, \quad (2.57)$$

де $M_1 = \psi_1 M_n$ – максимальний пусковий момент, Н·м;

ψ_1 – кратність максимального пускового моменту;

M_n – номінальний (максимальний) статичний момент навантаження, Н·м;

$M_2 = \psi_2 M_n$ – мінімальний пусковий момент (момент перемикання), Н·м;

ψ_2 – кратність мінімального пускового моменту, $\psi_2 = 1.1 \dots 1.4$.

Кратність ψ_1 максимального пускового моменту приймається залежно від режимів роботи (табл. 2.6) [7, 13].

Час t_n пуску приводу при підйомі і опусканні вантажу

$$t_{nj} = J_{\Sigma} \frac{\omega_p}{M_{nj} \mp M_{cj}}, \quad (2.58)$$

де J_{Σ} – сумарний момент інерції рухомих і обертових мас, приведений до вала двигуна, при підйомі або опусканні вантажу, кг·м²;

ω_p – кутова швидкість обертання вала двигуна, рад/с;

M_{Cj} – статичний момент на валі двигуна при підйомі або опусканні вантажу $M_{Cj} = M_{Cj}^H$ (2.49) або $M_{Cj} = M_{Cj}^C$ (2.50).

Таблиця 2.6 – Значення кратності пускового моменту

Режим роботи	(Л) 1М, 2М	(С) 3М, 4М	(Т) 5М	(ВТ) 6М	(Н) Е5
ψ_1	1,25	1,6	2,0	2,5	3,2

Знак «мінус» відповідає пуску при підйомі вантажу, знак «плюс» – опусканні вантажу.

Сумарний приведений момент інерції при пуску (кілограм-метр квадратний)

$$J_{\Sigma} = K_J (J_d + J_M) + \frac{Q_{\delta} D_{\delta}^2}{4u_p^2 \eta_M} + \frac{91m v_n^2}{n_p^2 \eta_M}, \quad (2.59)$$

де K_J – коефіцієнт, що враховує моменти інерції мас деталей, що обертаються повільніше, ніж вал двигуна (шестірень редуктора, з'єднувальних муфт, валів та ін.), $K_J = 1,2 \dots 1,3$ [7, 8];

m – вага поступально рухомих вантажів (вага вантажу), кг;

n_p – робоча частота обертання вала двигуна, об/хв,

$$n_p = \frac{60v_n i_M K_n}{\pi D_{\delta}}; \quad (2.60)$$

J_d – момент інерції ротора двигуна, кг·м²,

$J_d = \frac{G_M D_{\delta}^2}{4}$; $G_M D_{\delta}^2$ – махового моменту ротора двигуна за паспортними даними, кг·м²;

J_M – момент інерції муфти з гальмівним шківом, кг·м²,

$J_M = \frac{G_M D_M^2}{4}$; $G_M D_M^2$ – махового моменту інерції муфти з гальмівним шківом, кг·м².

Кутова швидкість обертання вала двигуна:

$$\omega_p = \omega_n = \frac{\pi n_n}{30}, \quad (2.61)$$

де ω_n – номінальна куткова швидкість вала двигуна, с⁻¹,

n_n – номінальна частота обертання вала двигуна, об/хв.

Час електричного гальмування механізму підйому (секунди)

$$t_{Tj} = J_{T\Sigma} \frac{\omega_p}{M_{Tj} \mp M_{Cj}}, \quad (2.62)$$

де $J_{T\Sigma}$ – сумарний приведений до вала двигуна момент інерції при гальмуванні, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$,

Знак «плюс» у формулі (2.61) відповідає гальмуванні при підйомі вантажу, «мінус» – при опусканні.

$$J_{T\Sigma} = K_J (J_d + J_M) + \frac{Q_{\delta} \cdot D_{\delta}^2}{4u_p^2} \eta_m + \frac{91m v_n^2}{n_p^2} \eta_m. \quad (2.63)$$

Гальмівний момент (ньютон-метр)

$$M_{Tj} = K_T M_H, \quad (2.64)$$

де K_T – коефіцієнт запасу гальмування, який приймається залежно від режиму роботи (табл. 2.7) [5, 6, 7].

Таблиця 2.7 – Значення коефіцієнта K_T

Режим роботи	(Л) 1М, 2М	(С) 3М, 4М	(Т) 5М	(ВТ) 6М
K_T	1,5	1,75	2,0	2,5

Розрахована за формулами (2.57)...(2.64), вихідними даними статичної діаграми (рис. 2.8), будується динамічна діаграма, приблизний вигляд якої (суміщеної з діаграмою швидкостей) наведено на рисунку 2.9. На цій діаграмі для зручності масштаб часу в порівнянні з рисунком 2.8 збільшено удвічі. З діаграми на рисунку 2.9 виходить, що час роботи електропривода при кожному включенні збільшується на час $t_{Pj} + t_{Tj}$, а час t_0 відключення на цю величину зменшується.

Уточнене значення тривалості включення

$$PB_y = \frac{\sum (t_{Pj} + t_{Tj})}{t_{\Sigma}} 100\%. \quad (2.65)$$

Кількість циклів за годину

$$N = \frac{3600}{t_{\Sigma}}. \quad (2.66)$$

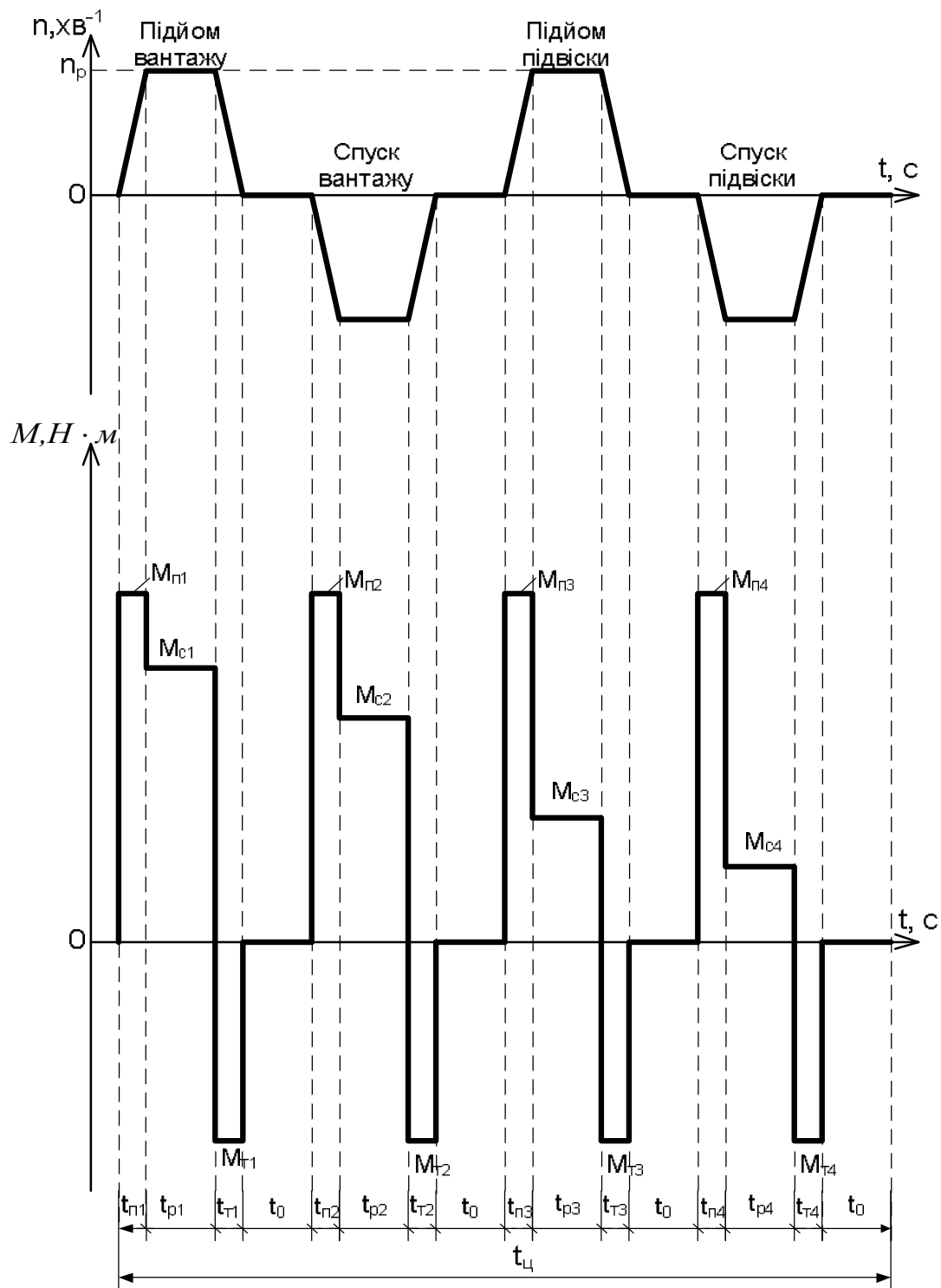


Рисунок 2.9 – Динамічна навантажувальна діаграма електродвигуна механізму підйому мостового крана, поєднана з діаграмою швидкостей

З урахуванням формул, (2.65) і (2.66) уточнюється режим роботи.

Перевірочний розрахунок електродвигуна за потужністю зводиться до розрахунку його нагрівання. Для кожного типу електродвигуна існує допустима температура нагріву, що залежить від класу ізоляції його обмоток і інших струмоведучих частин [2]. Однак точний тепловий розрахунок електричних машин, що працюють у нестационарних режимах

до мінливих умов охолодження, надзвичайно складний. Тому в інженерній практиці використовуються більш прості методи розрахунку, наприклад метод еквівалентного (середньоквадратичного) струму (моменту), метод еквівалентної потужності та ін. [3, 4, 6, 8]. За наявності динамічної навантажувальної діаграми та незначної зміни швидкості обертання вала двигуна в статичних режимах зручніше використовувати метод еквівалентного моменту.

За даними динамічної навантажувальної діаграми визначається еквівалентний момент за цикл роботи (ньютон-метр):

$$M_e = \sqrt{\frac{\sum M_{\Pi_j}^2 \cdot t_{\Pi_j} + \sum M_{C_j}^2 \cdot t_{P_j} + \sum M_{T_j}^2 \cdot t_{T_j}}{\beta_{\Pi} \sum t_{n_j} + \sum t_{P_j} + \beta_T \sum t_{T_j}}}, \quad (2.67)$$

де M_{Π} – середній пусковий момент, Н·м;

M_{C_j} – момент опору на валі двигуна в j -м включенні, Н·м;

M_T – гальмівний момент, Н·м;

t_{Π_j} – час пуску при j -м включенні, с;

t_{P_j} – час роботи при j -м включенні, с;

t_{T_j} – час гальмування при j -м включенні, с;

β_{Π}, β_T – коефіцієнти, що враховують погіршення умов охолодження двигуна при пусках і гальмуваннях, $\beta_{\Pi} = \beta_T \approx 0,5$.

Еквівалентна потужність, відповідна M_e і розрахунковій ПВ (кіловат):

$$P_e = \frac{M_e n_n}{9550}. \quad (2.68)$$

Вибраний двигун не буде нагріватися вище допустимої температури, якщо

$$P_n \geq P_e \sqrt{\frac{ПВ_y}{ПВ_{cm}}}. \quad (2.69)$$

Вибраний за потужністю двигун перевіряється щодо перевантажувальної здатності з урахуванням максимально можливих динамічних моментів. Умова перевірки щодо перевантажувальної здатності

$$K_V M_{\max} \geq M_{c_{\max}} + M_d, \quad (2.70)$$

де K_V – коефіцієнт, що враховує зниження напруги мережі

живлення, при зниженні напруги U на 10 % від U_n (номінальної): для двигунів постійного струму (ДПС) – $K_V = 0,9$; для асинхронних двигунів

$$(АД) - K_V = \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 = 0,81;$$

M_{\max} – максимально допустимий момент (критичний) за умовами комутації ДПС і стійкості АД, визначається за довідниковими даними, Н·м;

$M_{c \max}$ – максимальний статичний момент опору на валі двигуна, Н·м;

M_d – динамічний момент, Н·м,

$$M_d = \frac{J_{\Sigma} a_{bp}}{9,55}, \quad a_{bp} - \text{кутове прискорення обертання, хв}^{-2},$$

$$a_{bp} = \frac{n_p}{v_t} a; \quad a - \text{допустиме лінійне прискорення, м/с}^2.$$

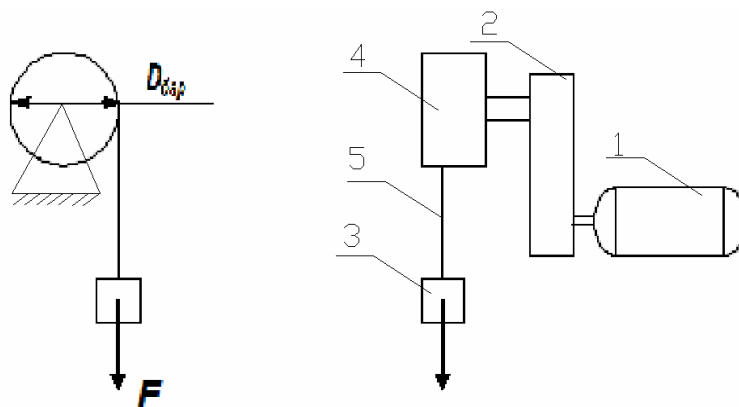
Умова успішного запуску двигуна при підйомі найбільшого вантажу:

$$K_V M_{\max} > M_1 \geq M_{c \max} + M_d. \quad (2.71)$$

Залежно від варіанта приймається двигун постійного струму (ДПС) незалежного збудження або асинхронний двигун (АД) з фазним ротором. Паспортні дані остаточно вибраного двигуна з урахуванням ступеня захисту конструкції зводяться в таблицю.

Приклад вибору електродвигуна допоміжного підйому за потужністю.

Проведемо попередній розрахунок з метою побудови статичної навантажувальної діаграми електропривода. Розрахункова схема наведена на рисунку 2.10.



1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – вантажозахоплювальний пристрій;
4 – барабан; 5 – канат;

Рисунок 2.10 – Сили, що діють на кран

Таблиця 2.8 – Вихідні дані для розрахунку електропривода мостового крана КМ50

Параметр	Значення
Вантажопідйомність гака	50 т
Швидкість підйому гака	0,15 м/с
Швидкість пересування крана	75 м/хв
Швидкість пересування візка	30 м/хв
Висота підйому головного гака	9 м
Вага гака допоміжного підйому	0,8 т
Діаметр барабана лебідки гака	560 мм
Вага візка	20 т
Довжина переміщення моста	60 м
Довжина переміщення візка	10 м
ккд головного підйому під навантаженням	0,84
ккд головного підйому при холостому ході	0,42
ккд моста	0,82
ккд візку	0,79
Довжина приміщення цеху	62 м
Ширина приміщення цеху	15,5 м
Висота приміщення цеху	12 м
Режим роботи крана середній	Т
Тривалість включення крана	40 %

Для побудови статичної навантажувальної діаграми необхідно знайти статичні моменти навантаження на електродвигуні, потужності і час на переходах.

Визначимо час підйому і опускання вантажу (підвіски гака) за формулою (2.45):

$$t_{p1} = \frac{9}{0.15} = 60 \text{ с.}$$

Приймаємо $t_{p1} = t_{p2} = t_{p3} = t_{p4}$, а часи простоїв t_0 такі, що дорівнюють робочим часам.

Визначимо тривалість циклу за формулою (2.47):

$$t_{ц} = 4 \cdot 60 + 4 \cdot 60 = 480 \text{ с.}$$

Тривалість включення механізму в статистиці розраховується за формулою (2.48):

$$ПВ = \frac{4 \cdot 60}{480} \cdot 100 = 50 \%.$$

Приймаємо стандартне значення ПВст = 60 %.

Визначимо статичні моменти на валі електродвигуна при підйомі і опусканні вантажів (підвіски гака) відповідно за формулами (2.49) та (2.50)

$$M_{cn1} = \frac{1.2 \cdot 9.8 \cdot 50000 \cdot 0.56}{2 \cdot 51 \cdot 0.8 \cdot 3} = 1540,3 \text{ Нм}$$

$$M_{cn3} = \frac{0.2 \cdot 9.8 \cdot 50000 \cdot 0.56}{2 \cdot 51 \cdot 0.8 \cdot 3} = 256,7 \text{ Нм,}$$

$$M_{cn2} = \frac{1.2 \cdot 9.8 \cdot 50000 \cdot 0.56 \cdot 0.8}{2 \cdot 51 \cdot 3} = 1086,8 \text{ Нм}$$

$$M_{cn4} = \frac{0.2 \cdot 9.8 \cdot 50000 \cdot 0.56 \cdot 0.8}{2 \cdot 51 \cdot 3} = 181,1 \text{ Нм}$$

Таким чином, статична діаграма буде складатися з таких ділянок: підйом вантажу (t_{p1}), зупинка механізму на час (t_{o1}), опускання вантажу (t_{p2}), зупинка на час розвантаження (t_{o2}), підйом підвіски гака (t_{p3}), зупинка механізму підйому на час переміщення підвіски гака до місця завантаження (t_{o3}), опускання підвіски гака (t_{p4}), зупинка механізму на час завантаження (t_{o4}). Діаграма подана на рисунку 2.11.

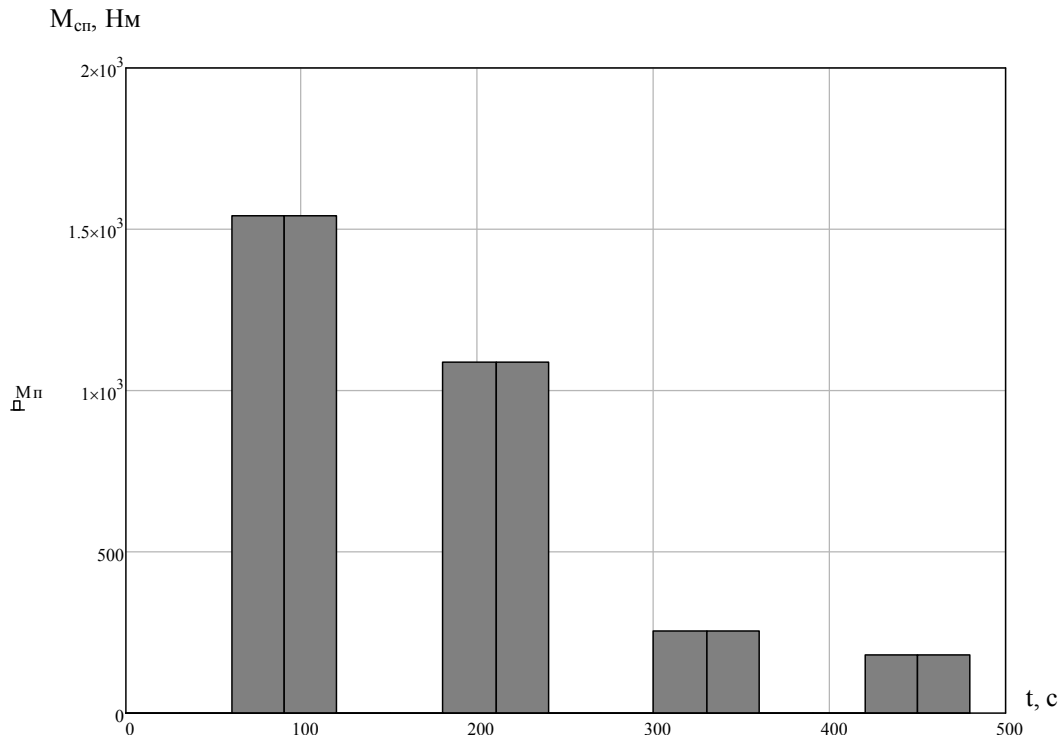


Рисунок 2.11 – Статична навантажувальна діаграма

Попередній вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю. Потужність електродвигуна з найближчою стандартною тривалістю включення PB_{cm} вибираємо з умови підйому номінального вантажу за розрахунковою потужністю, яка визначається за формулою (2.51):

$$P_p = \frac{1.2 \cdot 9.8 \cdot 50000 \cdot 0.15}{0.84 \cdot 3} = 35000, \text{ Вт.}$$

Приведена розрахункова величина потужності до стандартної тривалості включення визначається за формулою (2.52):

$$P_{расч} = 35000 \sqrt{\frac{50}{60}} = 31950,5 \text{ Вт.}$$

Номінальну частоту обертання двигуна визначимо за формулою (2.55):

$$n_p = 60 \cdot 0.15 \frac{51}{3.14 \cdot 0.56} \cdot 2 = 260.9 \text{ хв}^{-1}.$$

Виходячи з умов $n_n > n_p$ і $P_n > P_{расч.}$, вибираємо асинхронний електродвигун серії 1LG4288-8AB90-ZA23. Він має такі параметри:

- номінальна потужність $P_n = 55$ кВт;
- синхронна частота обертання поля статора $n_1 = 600$ хв⁻¹;
- номінальна частота обертання ротора $n_2 = 586$ хв⁻¹;
- номінальний момент на валі електродвигуна $M_n = 715$ Нм
- напруга мережі живлення $U_n = 380$ В;
- перевантажувальна здатність $\lambda=2,9$;
- момент інерції вала електродвигуна $J= 1,05$ кг·м²;
- номінальний струм статора $I_1 = 117$ А;
- номінальний струм ротора $I_2 = 109$ А;
- кількість пар полюсів 6;
- ккд $\eta=0,93$.

Побудова динамічної навантажувальної діаграми електропривода. Визначимо пускові моменти M_1 та M_2 , динамічний пусковий момент M_n за формулою (2.57):

$$M_n = \frac{3080,6 + 2310,4}{2} = 2695,5 \text{ Н.м,}$$

де

$$M_1 = 1,7 \cdot 1540,3 = 3080,6 \text{ Н.м;}$$

$$M_2 = 1,3 \cdot 1540,3 = 2310,4 \text{ Нм.}$$

Визначимо час підйому і опускання вантажу. Для цього розрахуємо за формулою (2.59):

1) Сумарний, наведений момент інерції при пуску:

$$J_{n1} = 1,25(1,05 + 0,076) + \frac{0,54 \cdot 0,56^2}{4 \cdot 51^2 \cdot 3^2 \cdot 0,84} + \frac{91 \cdot 1,2 \cdot 50000 \cdot 0,15}{586^2 \cdot 0,84} = 4,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$J_{n3} = 1,25(1,05 + 0,076) + \frac{0,54 \cdot 0,56^2}{4 \cdot 51^2 \cdot 3^2 \cdot 0,84} + \frac{91 \cdot 0,2 \cdot 50000 \cdot 0,15}{586^2 \cdot 0,84} = 1,89 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

2) Сумарний, наведений момент інерції при гальмуванні:

$$J_{m2} = 1,25(1,05 + 0,076) + \frac{0,54 \cdot 0,56^2 \cdot 0,84}{4 \cdot 51^2 \cdot 3^2} + \frac{91 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 0,15 \cdot 0,84}{586^2} = 3,41 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$J_{m4} = 1,25(1,05 + 0,076) + \frac{0,54 \cdot 0,56^2}{4 \cdot 51^2 \cdot 2^2} \cdot 0,84 + \frac{91 \cdot 0,2 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 0,15}{586^2} \cdot 0,84 = 1,74 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Кутова швидкість обертання вала двигуна визначається за формулою (2.61):

$$\omega_p = \omega_n = \frac{3,14 \cdot 586}{30} = 61,4 \text{ с}^{-1}.$$

Час пуску привода для кожної операції розраховується за формулою (2.58):

$$t_{n1} = \frac{4,25 \cdot 61,4}{2695,5 - 1540,3} = 0,226 \text{ с};$$

$$t_{n2} = \frac{1,89 \cdot 61,4}{2695,5 + 1086,8} = 0,03 \text{ с};$$

$$t_{п3} = \frac{4,25 \cdot 61,4}{2695,5 - 256,7} = 0,11 \text{ с};$$

$$t_{п4} = \frac{1,89 + \cdot 61,4}{2695,5 + 181,1} = 0,04 \text{ с.}$$

Для визначення часу електричного гальмування механізму підйому знайдемо гальмівні моменти за формулою (2.64):

$$M_{m1} = 2 \cdot 1540,3 = 3080,3 \text{ Нм};$$

$$M_{m2} = 2 \cdot 1086,8 = 2173,6 \text{ Нм};$$

$$M_{m3} = 2 \cdot 256,7 = 513,4 \text{ Нм};$$

$$M_{m4} = 2 \cdot 181,1 = 362,3 \text{ Нм.}$$

де $K_m = 2$ – коефіцієнт запасу гальмування.

Час гальмування при підйомі і опусканні вантажу визначається за формулою (2.62):

$$t_{т1} = \frac{3,41 \cdot 61,4}{3080,6 + 1540,3} = 0,05 \text{ с};$$

$$t_{т2} = \frac{1,74 \cdot 61,4}{2173,6 - 1086,6} = 0,1 \text{ с};$$

$$t_{т3} = \frac{3,41 \cdot 61,4}{513,4 + 256,7} = 0,27 \text{ с};$$

$$t_{т4} = \frac{1,74 \cdot 61,4}{362,3 - 181,1} = 0,59 \text{ с.}$$

За результатами розрахунків будуюмо динамічну навантажувальну діаграму, наведену на рисунку 2.12.

Уточнене значення тривалості включення розраховується за формулою (2.65):

$$ПВ_y = \frac{4 \cdot 60 + 4 \cdot 60 + 0,226 + 0,03 + 0,11 + 0,04 + 0,05 + 0,1 + 0,27 + 0,59}{480} = 50,3\%$$

Кількість циклів за годину згідно формулі (2.66):

$$N = \frac{3600}{480} = 8.$$

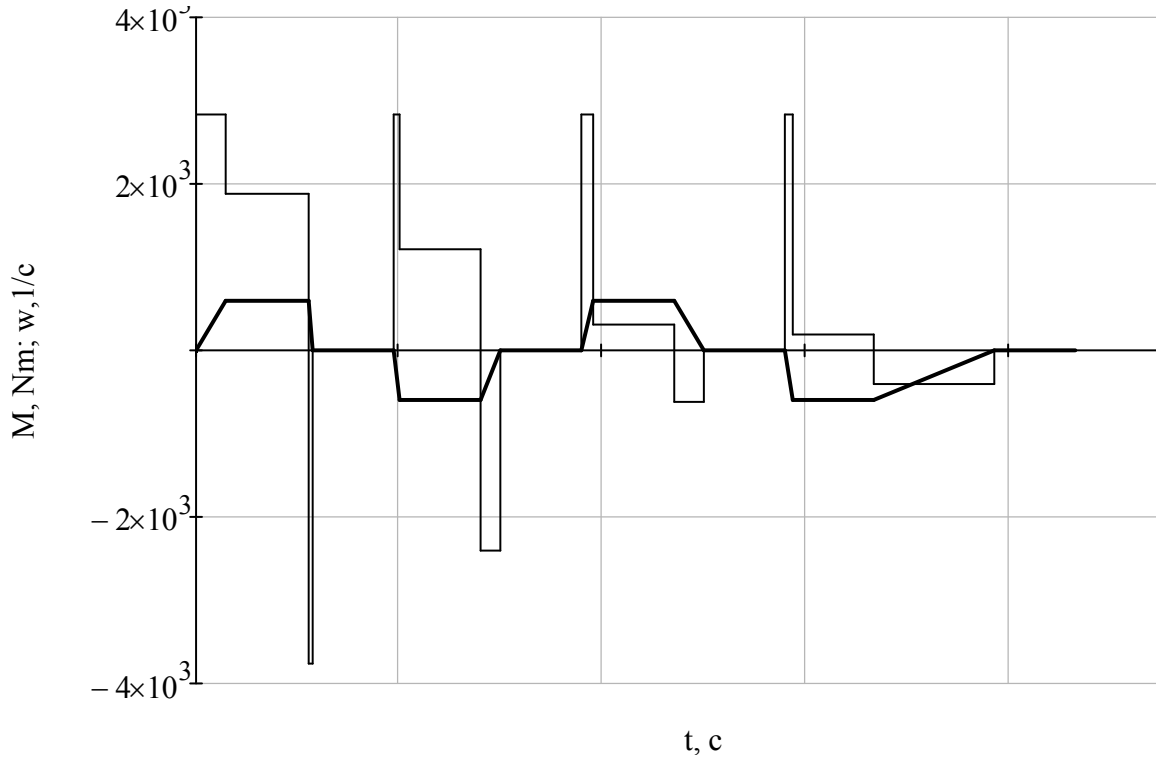


Рисунок 2.12 – Динамічна навантажувальна діаграма

Приймаємо кількість циклів за годину таку, що дорівнює 8.

Визначимо за формулою (2.67) еквівалентний момент. Коефіцієнти, що враховують погіршення умов охолодження двигуна при пусках і гальмуваннях $\beta_n = \beta_m = 0,5$.

$$M_e = \sqrt{\frac{2695,5^2 \cdot (0,23 + 0,03 + 0,11 + 0,04) + 3080,3^2 \cdot 0,05 + 2173,6^2 \cdot 0,1 + 513,4^2 \cdot 0,27 + 369,3^2 \cdot 0,59 + (1540^2 + 1086,8^2 + 256,7^2 + 181,1^2) \cdot 60}{0,8(0,23 + 0,03 + 0,11 + 0,04 + 0,05 + 0,1 + 0,27 + 0,59) + 4 \cdot 60}} = 962,7, \text{ Нм.}$$

Визначимо еквівалентну потужність згідно з формулою (2.68):

$$P_e = 962,7 \cdot 61,4 = 59080,7 \text{ Вт.}$$

Здійснюємо перевірку вибраного електродвигуна щодо перегріву за формулою (2.69):

$$P_{расч} = 59080,7 \sqrt{\frac{50,3}{60}} = 54091 = 51,091 \text{ кВт} < 55 \text{ кВт}.$$

Перевірка електродвигуна показала правильність проведеного розрахунку і вибору привідного електродвигуна допоміжного підйому.

Приклад вибору привідного електродвигуна переміщення візка допоміжного підйому мостового крана.

Проведемо попередній розрахунок з метою побудови статичної навантажувальної діаграми допоміжного електропривода візка. Для побудови статичної навантажувальної діаграми необхідно знайти статичні моменти на двигуні, потужності і час на переходах.

Визначимо час переміщення візка привода допоміжного підйому:

$$t_{p1} = \frac{L}{v} = \frac{10}{0.5} = 20 \text{ с.} \quad (2.72)$$

Приймаємо $t_{p1} = t_{p2}$, а часи простоїв t_0 такі, що дорівнюють робочим часам.

Визначимо тривалість циклу:

$$t_{ц} = t_{p1} + t_{p2} + 2t_0 = 2 \cdot 20 + 2 \cdot 20 = 80 \text{ с.} \quad (2.73)$$

Тривалість включення механізму в статистиці:

$$ПВ = \frac{t_{p1} + t_{p2}}{t_{ц}} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot 20}{80} \cdot 100\% = 50\%. \quad (2.74)$$

Приймаємо стандартне значення $ПВ_{см.} = 60\%$.

Визначимо статичні моменти на валі електродвигуна при переміщенні візка з вантажем і без вантажу:

$$\begin{aligned} M_{сн1} &= \frac{(1,2 \cdot Q_n + Q_e) \left(\alpha \frac{D}{2} + \beta \right) 9,8}{u\eta} = \\ &= \frac{9,8 \cdot (1,2 \cdot 50000 + 20000) \cdot \left(0,15 \frac{0,32}{2} + 0,001 \right)}{50 \cdot 0,84} = 455,81, \text{ Нм} \end{aligned} \quad (2.75)$$

$$M_{cn2} = \frac{(0,2 \cdot Q_n + Q_s) \left(\alpha \frac{D}{2} + \beta \right) 9,8\eta}{u\eta} = \quad (2.76)$$

$$= \frac{9,8 \cdot (0,2 \cdot 50000 + 20000) \cdot \left(0,15 \frac{0,32}{2} + 0,001 \right)}{50 \cdot 0,84} = 170,93 \text{ Н м,}$$

де D – діаметр колесу візка, $D = 0,32$ м

β – коефіцієнт, що враховує тертя ребер коліс об рейки, $\beta = 0,001$;

α – коефіцієнт, тертя ковзання в цапфах коліс візка, $\alpha = 0,15$.

Діаграма подана на рисунку 2.13.

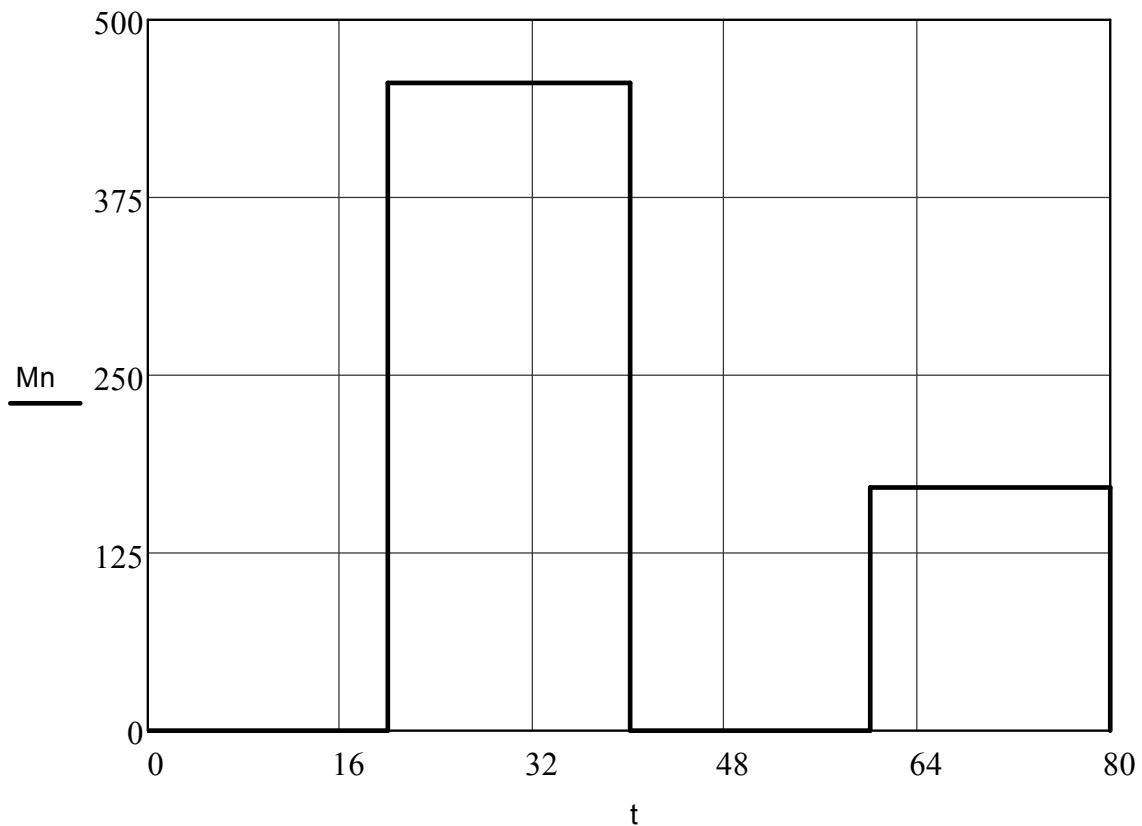


Рисунок 2.13 – Статична навантажувальна діаграма

Визначимо еквівалентний момент за даними статичної навантажувальної діаграми:

Зробимо попередній вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю. Номінальну частоту обертання двигуна визначимо за формулою:

$$n_p = 60v \frac{u}{\pi D} = 60 \cdot 0,5 \frac{50}{3,14 \cdot 0,32} = 596,83 \text{ хв}^{-1}. \quad (2.77)$$

$$\omega_p = \frac{\pi n_p}{30} = \frac{3.14 \cdot 596,83}{30} = 62,5 \text{ с}^{-1}. \quad (2.78)$$

$$M_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^2 M_{cni}^2 t_{ni}}{\sum_{i=1}^2 t_{pi}}} = \sqrt{\frac{455,81^2 \cdot 20 + 170,93^2 \cdot 20}{4 \cdot 20}} = 243,4 \text{ Нм}. \quad (2.79)$$

Потужність електродвигуна з найближчою стандартною тривалістю включення PB_{cm} вибираємо з умови підйому номінального вантажу за розрахунковою потужністю:

$$P_p = M_e \omega_p = 243,4 \cdot 62,5 \approx 15212,8 \text{ Вт}. \quad (2.80)$$

Приведемо розрахункову величину потужності до стандартної тривалості включення:

$$P_{pct} = P_p \sqrt{\frac{PB}{PB_{cm}}} = 15212,8 \sqrt{\frac{50}{60}} = 13887,3 \text{ Вт}. \quad (2.81)$$

Виходячи з умов $n_n > n_p$ і $P_n > P_{расч}$ виберемо два асинхронних електродвигуни фірми Siemens серії 1LG4186-4AA90-ZA23 [19]. Двигун цієї серії має такі параметри:

- номінальна потужність $P_n = 22 \text{ кВт}$;
- номінальна частота обертання поля статора $n_1 = 1\,500 \text{ с}^{-1}$;
- номінальна частота обертання ротора $n_2 = 1\,465 \text{ с}^{-1}$;
- номінальний момент на валі електродвигуна $M_n = 143 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- напруга мережі живлення $U_n = 380 \text{ В}$;
- перевантажувальна здатність $\lambda = 2,2$;
- момент інерції вала електродвигуна $J = 1,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- номінальний струм ротора $I_2 = 42,0 \text{ А}$;
- ккд $\eta = 0,899$.

Побудова динамічної навантажувальної діаграми електропривода. Визначимо динамічний пусковий момент за формулою

$$M_n = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{774,88 + 592,56}{2} = 112,2 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (2.82)$$

де M_1 і M_2 – максимальний і мінімальний пускові моменти відповідно;

$$M_1 = \psi_1 \cdot M_{cн1} = 1,7 \cdot 455,81 = 774,88 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (2.83)$$

$$M_2 = \psi_2 \cdot M_{\text{сп1}} = 1,3 \cdot 455,81 = 592,56 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2.84)$$

де ψ – кратність пускових моментів (див. табл. 2.6.).

Визначимо час підйому і опускання вантажу, для цього розрахуємо:

1) Сумарний, наведений момент інерції при пуску:

$$J_{n1} = K_j(J + J_M) + (1,2 \cdot Q_H + Q_B) \left(\frac{0,02 D_K^2}{4U^2 \eta} + \frac{91\nu}{n_H^2 \eta} \right), \quad (2.85)$$

$$J_{n1} = 1,25(1,5 + 0,075) + (1,2 \cdot 50000 + 2000) \left(\frac{0,02 \cdot 0,8^2}{4 \cdot 50 \cdot 0,86} + \frac{91 \cdot 0,5}{596,83^2 \cdot 0,86} \right) = 6,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

$$J_{n2} = K_j(J + J_M) + (0,2 \cdot Q_H + Q_B) \left(\frac{0,02 D_K^2}{4U^2 \eta} + \frac{91\nu}{n_H^2 \eta} \right), \quad (2.86)$$

$$J_{n2} = 1,25(1,5 + 0,075) + (0,2 \cdot 50000 + 2000) \left(\frac{0,02 \cdot 0,8^2}{4 \cdot 50 \cdot 0,86} + \frac{91 \cdot 0,5}{596,83^2 \cdot 0,86} \right) = 3,73 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

2) Сумарний, наведений момент інерції при гальмуванні:

$$J_{m1} = K_j(J + J_M) + (1,2 \cdot Q_H + Q_B) \eta \left(\frac{0,02 D_K^2}{4U^2} + \frac{91\nu}{n_H^2} \right), \quad (2.87)$$

$$J_{m1} = 1,25(1,5 + 0,075) + 0,86 \cdot (1,2 \cdot 50000 + 2000) \left(\frac{0,02 \cdot 0,8^2}{4 \cdot 50} + \frac{91 \cdot 0,5}{596,83^2} \right) \cdot 0,86 = 5,04 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

$$J_{m2} = K_j(J + J_M) + (0,2 \cdot Q_H + Q_B) \eta \left(\frac{0,02 D_K^2}{4U^2} + \frac{91\nu}{n_H^2} \right), \quad (2.88)$$

$$J_{m2} = 1,25(1,5 + 0,075) + 0,86 \cdot (0,2 \cdot 50000 + 2000) \left(\frac{0,02 \cdot 0,8^2}{4 \cdot 50} + \frac{91 \cdot 0,5}{596,83^2} \right) \cdot 0,86 = 2,84 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Час пуску привода для кожної операції:

$$t_{n1} = \frac{J_{n1} \omega_H}{M_n - M_{cn1}} = \frac{6,7 \cdot 62,5}{683,7 - 455,8} = 1,84 \text{ с}; \quad (2.89)$$

$$t_{n2} = \frac{J_{n2} \omega_H}{M_n - M_{cn2}} = \frac{3,73 \cdot 62,5}{682,7 - 170,93} = 0,45 \text{ с}. \quad (2.90)$$

Для визначення часу електричного гальмування механізму знайдемо гальмівні моменти:

$$M_{m1} = K_m \cdot M_{cn1} = 2 \cdot 455,8 = 911,63 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (2.91)$$

$$M_{m2} = K_m \cdot M_{cn2} = 2 \cdot 170,93 = 341,86 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (2.92)$$

де $K_m = 2$ – коефіцієнт запасу гальмування.

Час гальмування з вантажем і без вантажу:

$$t_{r1} = \frac{J_{m1} \omega_H}{M_{m1} + M_{cn1}} = \frac{5,04 \cdot 62,5}{911,63 + 455,8} = 0,23 \text{ с}; \quad (2.93)$$

$$t_{r2} = \frac{J_{m2} \omega_H}{M_{m2} + M_{cn2}} = \frac{2,84 \cdot 62,5}{341,86 + 170,93} = 0,35 \text{ с}. \quad (2.94)$$

За результатами розрахунків будемо динамічну навантажувальну діаграму, яка наведена на рисунки 2.14.

Визначимо уточнене значення тривалості включення:

$$ПВ_y = \frac{\sum_{i=1}^2 t_{pi} + \sum_{i=1}^2 t_{mi} + \sum_{i=1}^2 t_{ni}}{t_y}; \quad (2.95)$$

$$ПВ_y = \frac{2 \cdot 20 + 0,23 + 0,3 + 1,84 + 0,45}{4 \cdot 20 + 0,23 + 0,3 + 1,84 + 0,45} = 51,7\%.$$

Розрахуємо кількість циклів за годину:

$$N = \frac{3600}{t_y} = \frac{3600}{82,87} \approx 44 \text{ цикли/год}. \quad (2.96)$$

Визначимо еквівалентний момент за даними динамічної навантажувальної діаграми. Коефіцієнти, що враховують погіршення умов охолодження двигуна при пусках і гальмуваннях, $\beta_n = \beta_m = 0,5$:

$$M_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^2 M_{ni}^2 t_{ni} + \sum_{i=1}^2 M_{ci}^2 t_{ni} + \sum_{i=1}^2 M_{pi}^2 t_{ni}}{\beta_n \sum_{i=1}^2 t_{ni} + \beta_m \sum_{i=1}^2 t_{mi} + \sum_{i=1}^2 t_{pi}}}$$

(2.97)

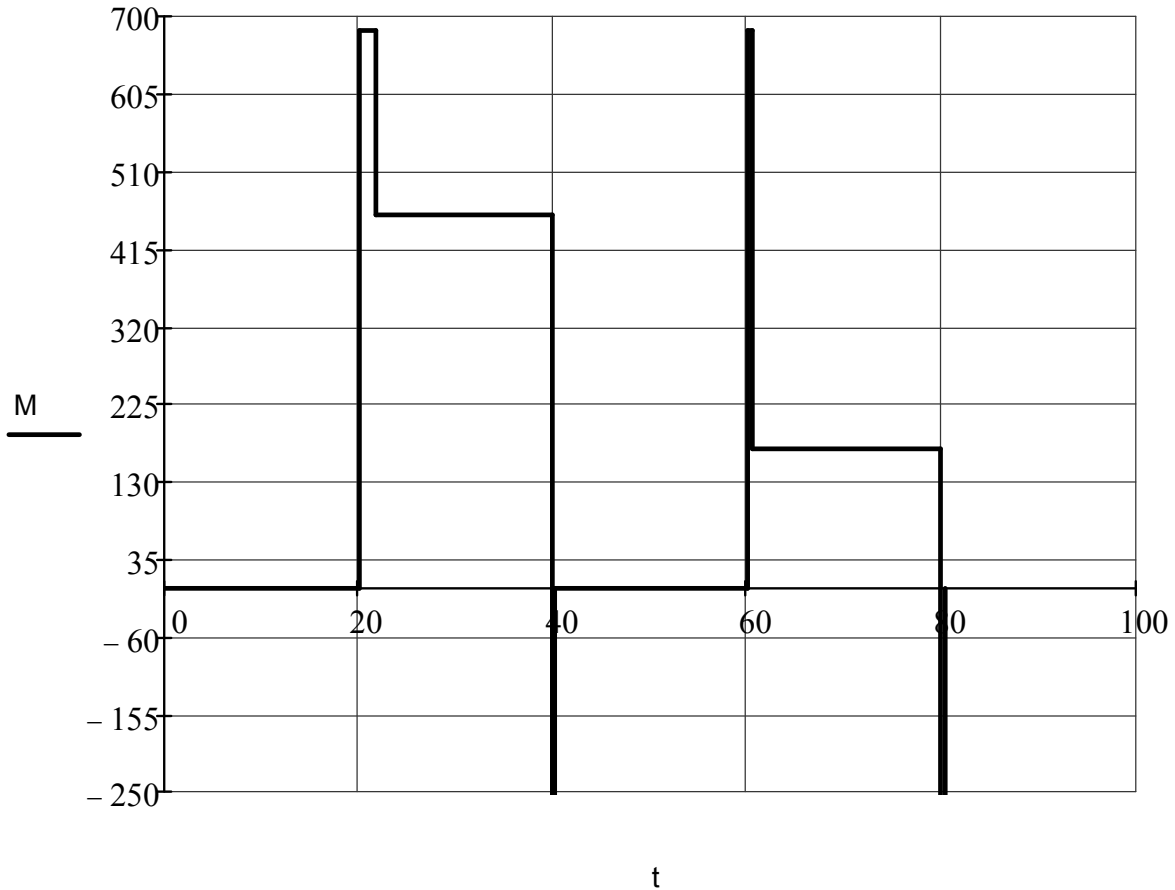


Рисунок 2.14 – Поєднана динамічна навантажувальна діаграма

$$M_e = \sqrt{\frac{683,7^2(1,84 + 0,45) + (455,8^2 + 170,93^2) \cdot 20 + 911,63^2 \cdot 0,23 + 341,86^2 \cdot 0,35}{0,8(1,84 + 0,45) + 2 \cdot 20 + 0,8(0,23 + 0,35)}} = 378 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Визначимо еквівалентну потужність:

$$P_e = M_e \cdot \omega_p = 378 \cdot 62,5 = 15212 \text{ Вт.} \quad (2.98)$$

Здійснюємо перевірку вибраного електродвигуна щодо перегріву:

$$P_{расч} = P_e \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_{cm}}} = 15212 \sqrt{\frac{51,7}{60}} = 14124,7 \text{ Вт} < 22 \text{ кВт.} \quad (2.99)$$

Через те, що розрахункове значення потужності менше номінальної потужності вибраного привідного електродвигуна, то його вибір здійснений правильно.

2.3.5 Розрахунок і вибір гальмівного пристрою

Метою даного розрахунку є визначення гальмівного моменту і вибір типу гальма, а також перевірка щодо допустимої втрати потужності вибраного гальма.

У вантажопідіймальних машинах гальмо є найважливішим елементом, що забезпечує безпеку експлуатації, тому найбільш важливі умови вибору, установки і функціонування гальм регламентовані діючими правилами безпечної експлуатації кранів. Відповідно до цього кожен підйомний механізм вантажопідіймної машини повинен забезпечуватися нормально замкнутим гальмом, розташованим на такій ділянці кінематичної схеми, яка має нероз'ємну, під навантаженням зв'язок з вихідним валом передавального механізму. Підйомні механізми, які служать для пересування рідкого металу, повинні мати два нормально замкнутих незалежних гальма. При цьому наявність у кінематичного ланцюга двох гальм обов'язкова для двох рухових механізмів (при аварійному механічному відключенні одного з двигунів) [8, 11].

Основним параметром гальма є гальмівний момент, що гарантовано ним розвивається. Гальмівний момент визначається зусиллям на вимірювальному важелі, при якому починається проковзування шківів або дисків гальма. Згідно з правилами Держтехнагляду, кожен з встановлених на механізмі механічних гальм повинен утримувати вантаж, що становить 125 % номінального, при його зупинці тільки за допомогою цього гальма.

Визначається розрахунковий момент гальма (ньютон-метр):

$$M_{mp} = \frac{94000 Q_n v_n \eta_{нагр}}{n_{нт}}; \quad (2.100)$$

де Q_n - номінальна вантажопідійомність, т;

v_n - номінальна швидкість підйому, м/с;

$\eta_{нагр}$ - ккд механізму для номінального навантаження;

$n_{нт}$ - номінальна частота обертання гальмівного шківів, відповідна швидкості v_n , об/хв.

Розраховується гальмівний момент з урахуванням режимів роботи механізму підйому (ньютон-метр):

$$M_m = k_{zm} \cdot M_{mp}; \quad (2.101)$$

де k_{zm} – коефіцієнт запасу гальма, $k_{zm} = 1,25$.

За розрахунковим значенням M_m вибирається електромагнітне гальмо, виходячи з умови $M_m \leq M_{mn}$.

Далі визначається допустима потужність втрат на тертя (ват):

$$P_{\text{дон}} = 360 \cdot D \cdot (10 \cdot D + 1), \quad (2.102)$$

де D – діаметр гальмівного шківa, м.

Знаходиться значення дійсної потужності втрат при гальмуванні (ват):

$$\Delta P = \frac{0,38GD_{\text{общ}}^2 n_{\text{н}}^2 N_{\text{т}}}{2 \cdot 10^6 D^2} \left(\frac{M_{\text{т}}}{M_{\text{т}} + M_{\text{с.мах}}} + \frac{M_{\text{т}}}{M_{\text{т}} - M_{\text{с.мах}}} \right), \quad (2.103)$$

де $GD_{\text{общ}}^2$ – сумарний махового моменту всіх елементів, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$N_{\text{т}}$ – кількість гальмувань за годину;

D – діапазон регулювання, що характеризує з якою швидкістю відбувається гальмування;

M_m – номінальний момент гальма, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

$M_{\text{с.мах}}$ – найбільший момент статичного навантаження, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

Проводиться перевірка вибраного гальма на виконання умови вибору за тепловим режимом:

$$\Delta P_{\text{дон}} \geq \Delta P. \quad (2.104)$$

Приклад розрахунку і вибору електромагнітного гальма.

Визначаємо розрахунковий момент гальма за формулою (2.100):

$$M_{\text{тр}} = \frac{50 \cdot 0,15 \cdot 0,85 \cdot 94000}{586} = 1\,022 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначити гальмівний момент з урахуванням режимів роботи механізму підйому за формулою (2.101):

$$M_m = 1,25 \cdot 1022 = 1\,278 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вибране електромагнітне гальмо змінного струму серії КМТ 4А має такі технічні характеристики:

– діаметр шківa, мм (м) 400 (0,4);

– гальмівний момент, $\text{Н} \cdot \text{м}$ 1 300;

Дані електромагніта:

– тягове зусилля, 700 Н;

– вага якоря, 24 кг;

– максимальний хід, 50 мм;

– допустима кількість включень за годину 300;

– час включення, с	0,2;
– час відключення, с	0,25;
Повна потужність, В·А:	
– при включенні	38 000;
– у включеному стані	1 900;
– споживана потужність, Вт	400.

За формулою (2.102) визначаємо допустиму потужність втрат на тертя:

$$P_{\text{дон}} = 360 \cdot 0,4 \cdot (10 \cdot 0,4 + 1) = 720 \text{ Вт.}$$

Дійсна потужність втрат при гальмуванні розраховується за формулою (2.103):

$$\Delta P = \frac{0,38 \cdot 5,48^2 \cdot 970^2 \cdot 120}{2 \cdot 10^6 \cdot 3^2} \cdot \left(\frac{1300}{1300 + 649,5} + \frac{1300}{1300 - 649,5} \right) = 186 \text{ Вт.}$$

Перевірити вибране гальмо на виконання умови вибору щодо теплового режиму:

$$\Delta P_{\text{дон}} = 720 \text{ Вт} > 186 \text{ Вт} = \Delta P$$

Умова виконується, тому остаточно вибираємо гальмо КМТ 4А.

2.3.6 Методика вибору і розрахунку електропривода повітродувки

Нагнітання повітря в пневмотранспортну систему здійснюється за допомогою повітродувки з регулюванням тиску на виході.

Вибір привідного електродвигуна повітродувки здійснюється за розрахунковим значенням потужності. Причому значення номінальної потужності вибраного електродвигуна P_n має бути більше або дорівнювати розрахунковим значенням P_e [9].

Потужність привідного електродвигуна P_e знаходиться за формулою

$$P_e = \frac{K_3 Q_{\text{max}} H}{\eta_{\text{вент}} \eta_{\text{пр}}} \quad (2.105)$$

Приклад вибору і розрахунку електропривода повітродувки.

Вибираємо привідний електродвигун повітродувки для пневмотранспортного рукава. Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Вихідні дані для розрахунку електропривода повітродувки

Найменування параметра	Позначення параметра	Значення параметра
Максимальна частота обертання вентилятора, хв^{-1}	n_{max}	950
Максимальна продуктивність вентилятора, $\text{м}^3/\text{хв}$	Q_{max}	4
Максимальний напір, Па	H	3 000
Момент інерції вала електродвигуна, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	J	0,0252
Коефіцієнт корисної дії (ккд)	$\eta_{дв}$	0,89
Кратність перевантажувальної здатності	$\frac{M_{max}}{M_n}$	2,6

Приймаємо коефіцієнт запасу K_z такий, що дорівнює 1,1, а коефіцієнт корисної дії передачі електродвигун – вентилятор – $\eta_{пр}=1$, через те, що вал привідного електродвигуна безпосередньо приєднаний до вентилятора.

Потужність привідного електродвигуна P_e знайдемо за формулою (2.105):

$$P_e = \frac{1,1 \cdot 4 \cdot 3000}{0,65 \cdot 1} = 20307 \text{ Вт.}$$

Вибираємо за каталогом [8] привідний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором типу RA152S6.

Технічні характеристики електродвигуна наведені в таблиці 2.10 [19].

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики асинхронного електродвигуна типу RA152S6

Найменування параметра	Позначення параметра	Значення параметра
Номінальна потужність електродвигуна, кВт	P_n	22
Номінальна частота обертання ротора, хв^{-1}	n_n	950
Номінальна напруга мережі, В	U_n	380/220
Номінальна сила струму в роторі, А	I	37

2.4 Методика вибору засобів контролю технологічних параметрів

2.4.1 Загальні відомості про датчики

Датчик – це електричний апарат, призначений для перетворення безперервної зміни вхідної (контрольованої) неелектричної величини на зміну вихідної електричної величини [10].

При побудові датчиків використовуються різні фізичні принципи, які значною мірою визначають області раціонального застосування того чи іншого датчика.

Параметричний датчик змінює будь-які зі своїх параметрів під впливом самої вимірюваної величини і вимагає підключення до будь-якого зовнішнього джерела енергії.

Генераторний датчик сам генерує вихідний сигнал і не вимагає підключення до зовнішнього джерела енергії. Як приклади датчиків такого роду можна назвати різні п'єзоелектричні датчики тиску або тахогенераторні, датчики швидкості обертання.

До параметричних датчиків належать:

- резистивні;
- індуктивні;
- трансформаторні;
- ємнісні.

До генераторних датчиків належать:

- термоелектричні;
- індукційні;
- п'єзоелектричні;
- фотоелектричні.

Стосовно до датчиків вживаються такі загальні визначення і терміни.

Функція перетворення вимірювального перетворювача – це залежність вихідної величини даного вимірювального перетворювача від вхідних, що задаються або аналітичним вираженням, або графіком, або таблицею.

Чутливість перетворювача – це іменована величина, що показує, наскільки зміниться вихідна величина при зміні вхідної величини на одну одиницю. Для термопари одиницею чутливості буде мілівольти на 1 градус Кельвіна, для регульованого електродвигуна – обороти за секунду на 1 вольт і т. д.

Основною характеристикою є чутливість [10]:

$$S = \Delta Y / \Delta X, \quad (2.106)$$

де ΔY , ΔX – збільшення вихідної і вхідної величин.

Часто користуються відносною чутливістю [10]:

$$S_0 = \frac{\Delta Y/Y}{\Delta X/X}, \quad (2.107)$$

де Y і X – повні зміни вихідної і вхідної величин.

Датчики можуть бути лінійними ($S = \text{const}$) і нелінійними ($S = \text{var}$). В останніх чутливість залежить від вхідної величини. Найважливішим параметром датчика є поріг чутливості, що являє собою найменше значення вхідної величини, що викликається зміною вихідної величини, яка може бути виміряна.

Роздільна здатність перетворення – це найменша зміна вхідного сигналу, яка може бути виміряна перетворювачем.

Відтворюваність є мірою того, наскільки близькі один до одного результати вимірювань однієї і тієї самої фізичної величини.

Прецизійність є мірою того, наскільки близькі один до одного результати аналогічних вимірювань.

Точність (похибка) вимірювання показує, наскільки показане датчиком значення параметра близько до його істинного значення. Зазвичай точність задається у відсотках від повної шкали вимірювального приладу і в результаті являє собою деяку абсолютну величину.

Номінальною характеристикою датчика є залежність вхід-вихід, яка зазначена в паспорті. Експериментально знята залежність вхід-вихід відрізняється від номінальної на похибку.

Розрізняють похибки:

– абсолютна $\Delta X = X_{\text{вх.ном}} - X_0$;

– відносна $\gamma_0 = \Delta X / X_0$,

де $X_{\text{вх.ном}}$ – значення вхідної величини датчика, визначене за вихідною величиною і номінальною характеристиками;

X_0 – дійсне значення вхідної величини.

Коефіцієнт передачі або перетворення датчика [10]:

$$K_{\text{ном}} = \frac{X_{\text{вх.ном}}}{X_{\text{вх}}}. \quad (2.108)$$

Розрізняють адитивну похибку, незалежну від вхідної величини, і мультиплікативну похибку, що залежить від неї. Похибка, а саме її наявність, обумовлена впливом збурюючих факторів навколишнього середовища (перешкод).

Якщо прилад використовується не за призначенням, то виникають помилки застосування.

У більшості випадків при вимірюванні механічних величин навантаження сприймається не самим перетворювачем, а пружним елементом, який під впливом вимірюваної величини деформується.

Вхідною величиною в такому випадку може бути зосереджена сила, крутний момент, тиск газу або рідини та ін. Вихідним сигналом може бути як інформація, що безпосередньо сприймається людиною, так і електричний параметр.

Розрізняють *статичну* і *динамічну* характеристики датчика [10].

Під *статичною характеристикою* датчика розуміють залежність між усталеними значеннями вхідної і вихідної величин.

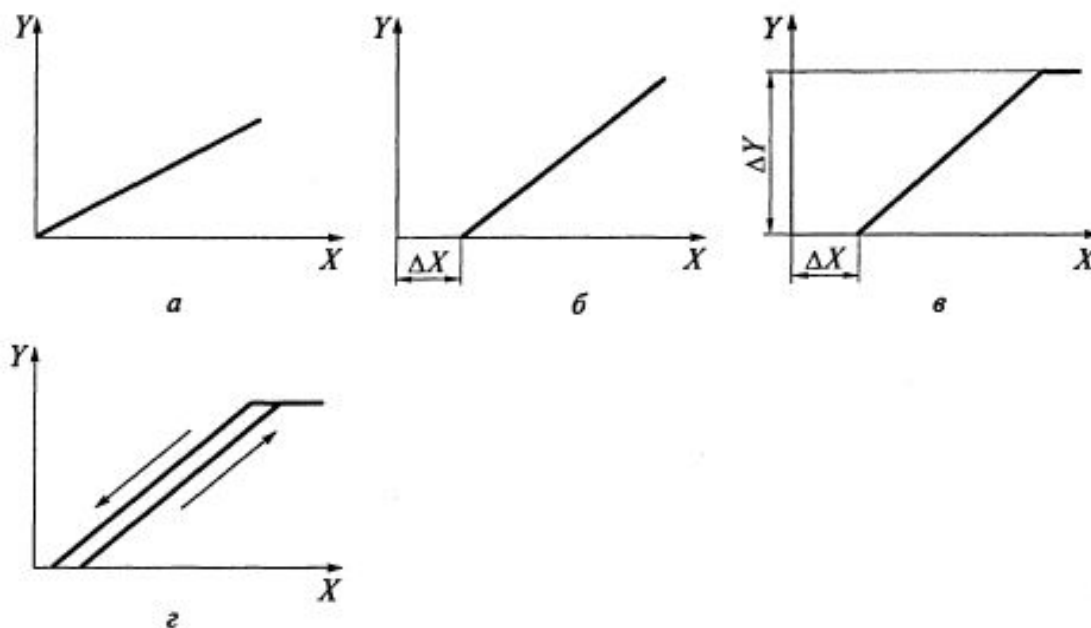
Під *динамічною характеристикою* датчика розуміють поведінку вихідної величини під час перехідного процесу у відповідь на миттєву (ступеневу) зміну вимірюваної вхідної величини.

Якщо в статичній характеристиці датчика будується залежність тільки між значенням вихідної величини Y у відповідь на зміну вхідної величини X , то в динамічній характеристиці датчика бере участь параметр часу t і така характеристика являє собою залежність виду $Y = Y(t)$.

Очевидно, що сталі значення вихідної величини датчика є те значення, яке набуває його вихідна величина після закінчення всіх перехідних процесів, тобто при $t \rightarrow \infty$.

Залежність між усталеними значеннями вхідної і вихідної величин стосовно датчикам називається *тарифувальною кривою* або *характеристикою вхід-вихід*.

Різні види статичних характеристик вимірювальних датчиків з пропорційним виходом наведені на рисунку 2.15 [11].



a – ідеалізована статична характеристика;

б – ідеалізована статична характеристика з зоною нечутливості;

в – ідеалізована статична характеристика з зоною нечутливості і насиченням;

г – ідеалізована статична характеристика з зоною нечутливості, насиченням і гістерезисом

Рисунок 2.15 – Статичні характеристики датчиків з пропорційним виходом

На рисунку 2.15, а наведена ідеалізована статична характеристика такого датчика. Нульового значення вхідної величини в цьому випадку відповідає нульове значення величини на виході.

На рисунку 2.15, б наведена ідеалізована статична характеристика датчика із зоною нечутливості. У такого датчика зміна вхідної величини до значення ΔX , так званого *порогом чутливості*, не веде до появи будь-якого сигналу на виході. Лише після того, як виявиться, що $X > \Delta X$, вихідна величина буде зростати, починаючи від нуля, пропорційно зміні вхідної величини.

На рисунку 2.15, в наведена ідеалізована статична характеристика датчика з зоною нечутливості і насиченням виходу. У такого датчика, після досягнення порогу чутливості вихідна величина зростає пропорційно зростанню вхідної величини, але до деякого граничного значення ΔY , яке називається значенням насичення вихідної величини. Після того, як виявиться, що $Y \geq \Delta Y$, подальше зростання вхідної величини X не викликає ніякого зростання Y .

На рисунку 2.15, г наведена ідеалізована статична характеристика датчика з зоною нечутливості на вході, з насиченням на виході і з петлею гістерезису. Гістерезисом називається відмінність між характером відповідності вихідної і вхідної величин при прямому і зворотному ході зміни вхідної величини. Практично це виражається в тому, що значення вихідної величини при зростанні вхідної величини не збігається з її ж значеннями при збуванні вхідної величини, а отже, за наявності гістерезису чутливість датчика при «прямому» і «зворотному» ходах неоднакова. Зауважимо, що значення вихідної величини при зростанні вхідної величини може як «випереджати», так і «відставати» в порівнянні з її ж значеннями при збуванні вхідної величини. У першому випадку говорять про позитивний гістерезис, а в другому – про негативний. Абсолютна величина різниці в значеннях X при зростанні і збуванні вхідної величини, при яких на виході має місце одне і те саме значення, називається *шириною петлі гістерезису*. Якщо ширина петлі гістерезису настільки велика, що тарирувальна крива датчика заходить до області негативних значень вхідної величини, то це означає, що $Y = 0$ при $X < 0$, а при $X = 0$ має місце $Y > 0$. У такому випадку говорять, що даний елемент має «пам'ять», через те, що на його виході залишається нульове значення і після того, як на його вході встановиться нульове значення. Але це буде мати місце лише в тому випадку, якщо перед цим величина на вході здійснила цикл зростання з подальшим спаданням хоча б до нуля. Якщо ж такого циклу на вході не відбувалося, то на виході датчика буде продовжувати зберігатися нульове значення. Іншими словами, спостерігаючи за станом виходу датчика в даний момент, можна висновити про те, що відбувалося на його вході в попередні моменти. Це і є те, що прийнято називати «пам'яттю».

Однак в реальному житті практично не існує датчиків з ідеалізованою пропорційною (лінійною) залежністю між значеннями

вихідної і вхідної величин. Це означає, що приріст вихідної величини у відповідь на одиночне прирощення вхідної величини не є постійним у всьому інтервалі зміни вимірюваної величини. Може скластися така ситуація, коли на початку зміни вхідної величини, відбудеться в ній зміна, яка буде приводити до істотних змін вихідної величини, а в кінці зміни вхідної величини відбудеться в ній зміна, яка буде приводити до малих змін вихідної величини. Може мати місце і зворотна картина. У ряді випадків для зручності подальшого аналізу фактична нелінійна статична характеристика датчика в певних межах вимірювання і з певним впливом на показники цього датчика може бути наближено замінена якимось лінійним еквівалентом. У певних умовах така операція є допустимою і тоді вона має назву *лінеаризації*.

У ряді випадків нелінійний характер статичної характеристики датчика не є шкідливим, а може бути ефективно використаний для різних завдань автоматизації. Прикладом такого роду, широко використовуваним в різних пристроях автоматизації, є датчик зі статичною характеристикою *релейного* типу. При зростанні вхідної величини, до того як вона досягне порога спрацьовування, на виході датчика буде спостерігатися нульове значення вихідної величини, а як тільки вхідна величина досягне порога спрацьовування, вихідна величина відразу ж («клацанням») досягне своєї максимальної величини і при подальшому зростанні вхідної величини зростати більше не буде. Прикладом такого роду може служити так зване двопозиційне регулювання температури у звичайному домашньому холодильнику. Як тільки температура всередині холодильника досягне заданої величини, датчик температури, званий термостатом, який має релейну характеристику, увімкне електромотор. При зниженні температури електромотор відключається, і температура всередині холодильника перестає знижуватися.

Раніше розглядалися статичні характеристики таких датчиків, у яких вхідна величина, зростаючи і зменшуючись, залишалася тим не менш понад нуль. Як правило, це і має фактично місце при змінах параметрів технологічних процесів виробництва деталей машинобудування. Наприклад, це характерно при вимірюванні переміщень робочих органів верстатів, тиску в гідросистемах або температури в гартівних печах. Однак у ряді випадків, наприклад при вимірі фактичних відхилень розміру деталі від номіналу, можливо відхилення вимірюваної величини як в позитивну, так і в негативну сторону. Вихідна величина при цьому може надаватися пропорційною модулю зміни вхідної величини (або ж залежить від нього нелінійно) як без гістерезису, так і з гістерезисом.

Зазвичай для порівняння при рівних умовах динамічних характеристик різних датчиків вважають, що на їх входи надходять впливи одного і того самого виду, а саме: ступінчасті. Це означає миттєвий «накинув» вхідної величини. Практично це відповідає,

наприклад, включенню напруги на електродвигун або приміщенню термопари до гартівної печі і т. п.

Двигун буде набирати обороти не миттєво, а відповідно до динамічних властивостей приводу, до якого він увімкнений. Показання термопари також почнуть відображати температуру в печі не миттєво, а тільки після розігріву спаю цієї термопари і т. д.

Для динамічних характеристик датчиків характерні три випадки. [11, 12]:

1 Перший випадок відповідає *чистому запізнюванню* в датчику, коли його вихідна величина просто повторює (у певному масштабі) вхідну величину, запізнюючись у відношенні до неї на постійну величину.

2 Другий випадок відповідає *aperiodичному характеру* перехідного процесу, коли вихідна величина поступово наближається до нового сталого значення монотонним чином (монотонно убуючи або ж монотонно зростаючи).

3 Третій випадок відповідає *коливальному характеру* перехідного процесу, коли вихідна величина поступово наближається до нового сталого значення, здійснюючи за час перехідного процесу одне або кілька коливань, перевищуючи на час нове значення вихідної величини, а потім повертаючись до нього.

Динамічні процеси в датчиках характеризуються *показниками якості перехідного процесу*.

До них відносяться:

- час завершення перехідного процесу;
- величина перевищення упродовж перехідного процесу вихідного параметра над його новим сталим значенням;
- кількість коливань вихідної величини за час завершення перехідного процесу.

Використовується також *інтегральний показник якості перехідного процесу*, зазвичай являє собою підінтегральну площу кривої перехідного процесу.

Для датчиків виробничих параметрів важливими характеристиками є також діапазон вимірювань, що являє собою різницю між допустимими максимальним і мінімальним усталеними значеннями вимірюваної величини, а також смуга пропускання, що являє собою різницю між максимальною і мінімальною частотами зміни вхідної величини, для роботи з якими призначений цей датчик.

Що стосується похибок вимірювань виробничих параметрів, що неминуче виникають у будь-яких практичних системах автоматизації, то їх прийнято класифікувати таким чином:

- систематичні;
- прогресуючі;
- випадкові;
- похибки застосування.

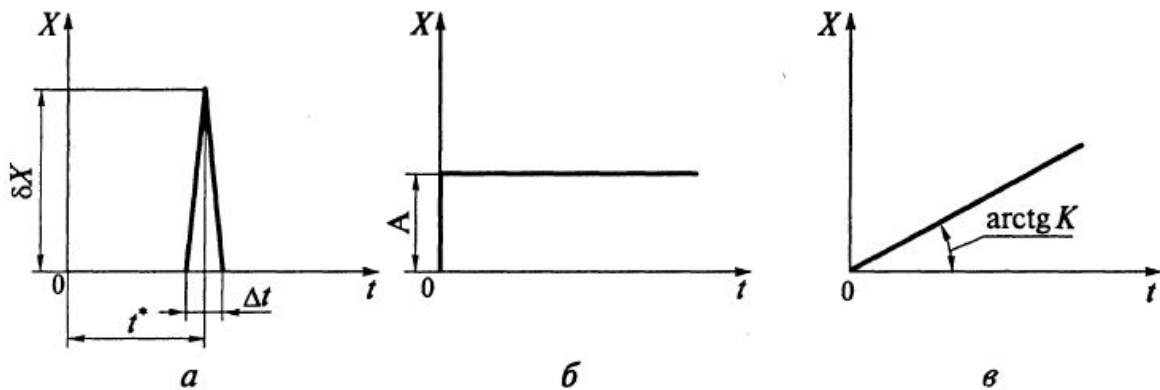
Для отримання статичних і динамічних характеристик датчиків параметрів на входи цих датчиків подають типові впливи і спостерігають, як випробуваний датчик реагує на вплив, що подається.

До таких типових вхідних впливів відносяться:

- ударний, або миттєвий;
- поетапний;
- лінійний;
- гармонічний.

Ударний (вхідний) вплив у разі, коли вимірюваним параметром є та чи інша сила, може бути дійсно інтерпретовано як удар. Ударна дію, звана також δ -функцією, являє собою «піковий» вплив, який в межі має нескінченно велику (яка прагне до ∞) ординату при нескінченно малій (прагне до 0) ширині Δt (тривалості цього впливу). Графік такого типового вхідного впливу, що подається до датчика в момент часу t^* , наведено на рисунку 2.16, а.

Ступеневий вхідний вплив – це миттєва зміна вхідного параметра на кінцеву величину. Записується він зазвичай у вигляді $X = A[11]$. Це трактується таким чином, що при $t < 0$ має місце $X = 0$, а при $t \geq 0$ має місце $X = A$. Ступеневий вплив, при якому величина стрибка на вході датчика дорівнює 100 % усієї вимірюваної величини, називається *одиначним впливом*. Графік для протидії таким спробам показаний на рисунку 2.16, б.



а – ударний; б – ступеневий; в – лінійний

Рисунок 2.16 – Графіки вхідних впливів

Прикладом ступеневого впливу може служити замикання або розмикання ланцюга постійного струму, додавання або скидання навантаження за допомогою механізму зчеплення або керованої муфти та ін. Поетапний вплив є настільки поширеним і важливим у виробничій практиці, що вихідна реакція на вплив такого роду виділяється серед інших динамічних характеристик і має спеціальну назву *тимчасової характеристики*.

Графік ступеневого вхідного впливу, наведений на рисунку 2.16, б, є ідеалізованим, оскільки він передбачає «миттєве» (тобто за проміжок

часу, який дорівнює 0) наростання вхідної величини від 0 до A . Насправді таке «миттєве» наростання вхідної величини неможливе і станеться за проміжок часу $\Delta t \neq 0$. На цьому проміжку часу вхідну величину можна вважати наростаючою за лінійним законом, що також є ідеалізацією, а в загальному випадку таке наростання вхідної величини датчика реально має відбуватися за тим або іншим нелінійним законом.

Лінійний вхідний вплив на датчик має на увазі зміну в часі вхідної величини за лінійним (пропорційним) законом. У цьому випадку $X = Kt$, де K – константа. Такий вид типового впливу широко застосовується при випробуваннях слідувальних систем, а саме таких систем, коли вихідний параметр системи повинен відтворювати в тому чи іншому масштабі деяку задану величину, характер змін якої заздалегідь не визначений. Прикладом такого роду є пневмогідролічна система посилення потужності для рульового управління автомобілів. Графік лінійного вхідного впливу зображений на рисунку 2.11, в.

Гармонічний вхідний вплив – це такий вплив, при якому вхідна величина змінюється за гармонічним законом, тобто за законом синуса або косинуса. Такий вплив застосовується тоді, коли проводиться випробування виробу або його компонента за допомогою *частотних методів*. Прикладом такого роду є дослідження підвіски автомобіля на вібростенді. Сутність таких випробувань полягає в тому, що досліджувану підвіску «трясуть» зі змінною частотою і амплітудою і дивляться, що при цьому відбувається. Метою дослідження виробу або його компонентів частотними методами є отримання їх частотних характеристик.

Частотними характеристиками називаються залежності, що зв'язують у сталому режимі вхідні і вихідні величини лінійної системи, коли величини, що подаються на її вхід, змінюються в часі за гармонічним законом. Звернемо увагу на те, що сталий режим зовсім не означає нерухливість. Це означає лише те, що після закінчення часу перехідного періоду в системі встановиться рух з незмінними параметрами.

Зокрема, якщо на вхід такого компонента системи подається гармонічний вплив виду

$$X(t) = a \sin \omega t, \quad (2.109)$$

з частотою ω та амплітудою a , то через деякий час, необхідний для завершення перехідного процесу, на виході цього компонента також встановляться синусоїдальні коливання з тією самою частотою, але відмінні за амплітудою і зсунуті у відношенні до синусоїдального сигналу на вході даного компонента по фазі, що записується співвідношенням

$$Y(t) = A \sin(\omega t + \varphi). \quad (2.110)$$

На комплексній площині вхідна $X(t)$ і вихідна $Y(t)$ величини для кожного моменту часу t зображуються векторами a і A , проведеними з початку координат під кутами ωt і $(\omega t + \varphi)$. Дійсні частини гармонійних вхідних і вихідних величин, поданих у комплексній формі, дорівнюють відповідно $a \cos \omega t$ і $A \cos(\omega t + \varphi)$, а уявні частини – $a \sin \omega t$ і $A \sin(\omega t + \varphi)$.

Графічне зображення гармонійного впливу подане на рисунку 2.17. Вертикальна вісь координат відповідає мнимим частинам вхідних і вихідних величин, а горизонтальна вісь – їх дійсним частинам.

Позначив $Y(t)/X(t) = W(j\omega)$, отримаємо:

$$W(j\omega) = [Ae^{j(\omega t + \varphi)}] / [ae^{j\omega t}] = (A/a)e^{j\varphi}. \quad (2.111)$$

Відношення $W(j\omega)$ називається *комплексним передавальним коефіцієнтом*.

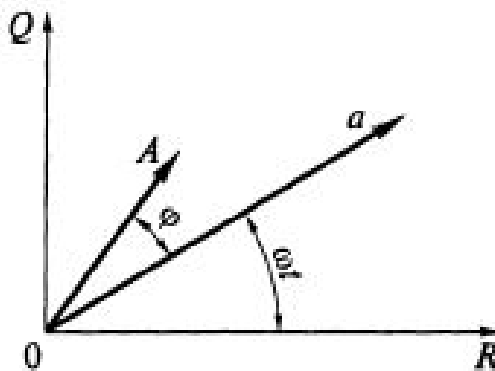


Рисунок 2.17 – Зображення гармонійного впливу на комплексній площині

На комплексній площині цей коефіцієнт графічно зображується у вигляді точки. При зміні частоти впливу ω от 0 до ∞ змінюються і значення модуля вихідної величини (довжина відрізка від початку координат до даної точки), і зрушення її фази φ відносно вхідного впливу. Кінець відрізка, що знаходиться в цій точці, буде при цьому описувати деяку криву, характерну для цього датчика, яка називається *годографом*.

Цей годограф називається *амплітудно-фазовою характеристикою (АФХ)* цього датчика.

Залежність модуля комплексного передавального коефіцієнта W від частоти називається *амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ)* цього датчика.

Залежність зсуву фази від частоти називають *фазово-частотною характеристикою (ФЧХ)* цього датчика.

Для побудови промислових датчиків виробничої інформації використовуються різні фізичні ефекти. Основні типи промислових датчиків класифікуються з точки зору використовуваних у них фізичних явищ.

2.4.2 Методи ідентифікації типових ланок моделей датчиків за тимчасовими і частотними характеристиками

Будемо розглядати датчик з одним входом і одним виходом із властивостями: стаціонарності, лінійності, зосередженості параметрів. На вхід подається ступеневий вплив, і на виході знімається вихідна характеристика (крива розгону). Необхідно вирішити зворотну задачу: за відомою кривою розгону визначити коефіцієнти рівняння передавальної функції датчика.

Для подання рівнянь у безрозмірній формі виконується математична обробка кривої розгону. Перераховується ордината кривої розгону (операція тарирування) за формулою

$$y(t_i) = [\bar{y}(t_i) - \bar{y}(0)] / [\bar{y}(\infty) - \bar{y}(0)], \quad (2.112)$$

де $\bar{y}(t)$ – екстремальні значення вихідної величини.

При описі динамічних властивостей статичних датчиків обмежуються одним із таких диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) &= R_0 x(t); & T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) &= R_0 x(t - \tau); \\ T_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) &= R_0 x(t - \tau); \\ T_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) &= R_0 \left[T \frac{dx(t)}{dt} + x(t - \tau) \right]; \\ T_3 \frac{d^3 y(t)}{dt^3} + T_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) &= R_0 \left[T \frac{dx(t - \tau)}{dt} + x(t - \tau) \right]; \end{aligned} \quad (2.113)$$

де T_1, T_2, T_3 – коефіцієнти лівої частини диференціального рівняння;
 T – коефіцієнт при першій похідній у правій частині диференціального рівняння;

R_0 – коефіцієнт посилення об'єкта.

У рівнянні 3-го порядку можуть бути $T_3, T_2, \tau = 0$, тоді отримуємо окремі випадки рівнянь 1- і 2-го порядків, і без запізнювання.

Для опису динамічних властивостей астатичних датчиків (об'єктів) використовуються диференціальні рівняння, що не містять члена $y(t)$ і статичного коефіцієнта посилення k_0 , тобто мають вигляд

$$T_1 \frac{dy(t)}{dt} = x(t - \tau). \quad (2.114)$$

Величина запізнювання τ може бути визначена графічно таким чином, зображеним на рисунку 2.18.

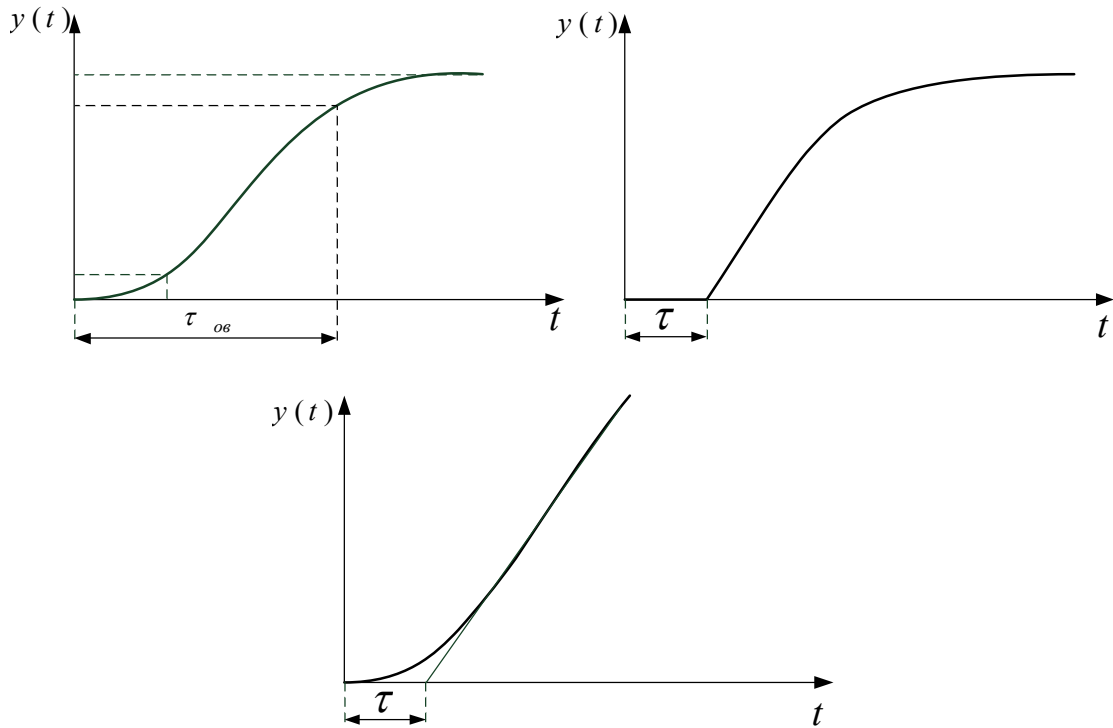


Рисунок 2.18 – Графічний метод визначення величини запізнювання τ

Ідентифікація параметрів датчиків, описуваних аперіодичною ланкою 1-го порядку за часовими характеристиками

У багатьох випадках, коли потрібно знайти аналітичні вирази для передавальних функцій ідентифікованих об'єктів за записами перехідних процесів, вдається використовувати досить прості графічні методи.

Для об'єкта аперіодичної ланки 1-го порядку математична модель описується диференціальним рівнянням

$$T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k_0 x(t), \quad (2.115)$$

де k_0 – коефіцієнт посилення, який визначається таким чином:

$$k_0 = \frac{\Delta h(t)}{\Delta x(t)} = \frac{h(\infty) - h(0)}{\Delta x(t)}$$

$$k_0 = [\bar{y}(\infty) - \bar{y}(0)] / [\bar{x}(\infty) - \bar{x}(0)]. \quad (2.116)$$

Передавальна функція аперіодичної ланки першого порядку має вигляд

$$W(p) = \frac{k_0}{Tp + 1}, \quad (2.117)$$

де T – постійна часу, с.

Перехідна функція цієї ланки описується виразом

$$h(t) = L^{-1} \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\} = k(1 - e^{-\frac{t}{T}}). \quad (2.118)$$

Імпульсна перехідна функція аперіодичної ланки 1-го порядку

$$\omega(t) = \frac{dh(t)}{d\tau} \quad (2.119)$$

Методика ідентифікації параметрів аперіодичної ланки 1-го порядку наведена на рисунки 2.19. На даному рисунку зображено перехідний процес (рис. 2.19, а) і імпульсна перехідна функція реакції (рис. 2.19, б) аперіодичної ланки 1-го порядку на одиночний вплив.

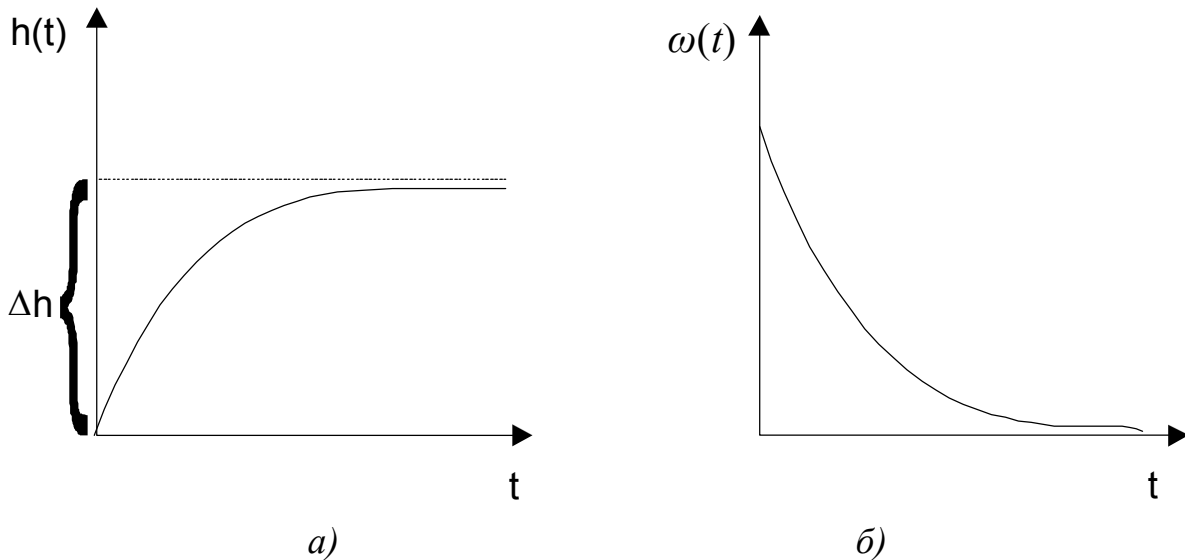


Рисунок 2.19 – Методика ідентифікації параметрів аперіодичної ланки 1-го порядку

Для об'єкта, математична модель якого є ланкою першого порядку (2.117), перехідна функція описується виразом (2.118), звідки виходить, що при $t = T$ функція

$$h(t) = k(1 - 0,37) = 0,63k. \quad (2.120)$$

З формули (2.120) випливає, що постійна часу досліджуваного об'єкта T у цьому випадку дорівнює проміжку часу, за який перехідна функція досягає 63 % своєї усталеної величини, тобто $h(t) = 0,63h_{\infty}$.

Постійну часу T можна визначити й іншим способом, використовуючи дотичну до перехідної функції на початковій ділянці (при $t = 0$). Дійсно, нахил $h(t)$ при $t = 0$ дорівнює

$$\left. \frac{dh(t)}{dt} = \frac{k}{T} e^{-t/T} \right|_{t=0} = \frac{k}{T}. \quad (2.121)$$

Рівняння дотичної можна записати в такий спосіб:

$$\Psi(t) = \frac{\Delta k}{T} t. \quad (2.122)$$

Звідки випливає, що при $t = T$ дотична $\Psi(t)$ досягає величини k , тобто перетин дотичної з рівнем встановленої величини сигналу (рис. 2.20) відбувається при $t = T$.

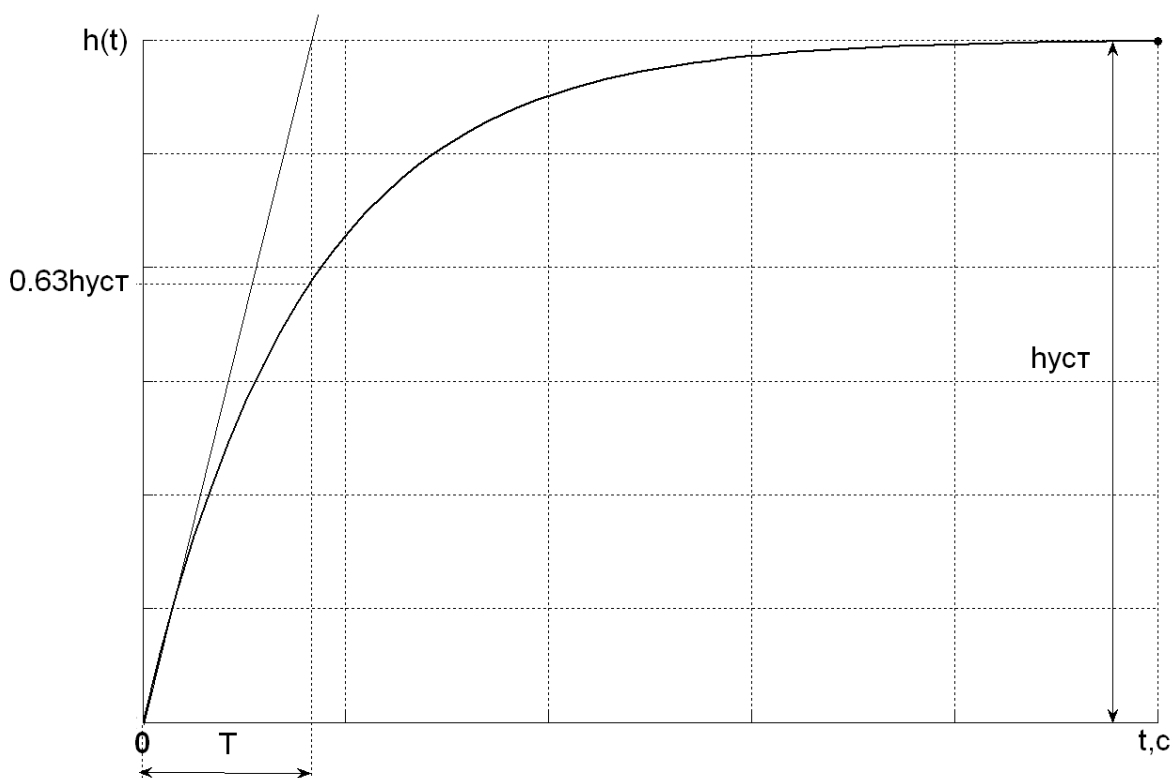


Рисунок 2.20 – Визначення постійної часу за перехідною характеристикою

Коефіцієнт передачі визначається співвідношенням між сталим значенням вхідного сигналу і амплітудою керуючого вхідного сигналу (див. рис. 2.21):

$$k = \frac{\Delta h(t)}{\Delta x(t)} = \frac{h(\infty) - h(0)}{\Delta x(t)}. \quad (2.123)$$

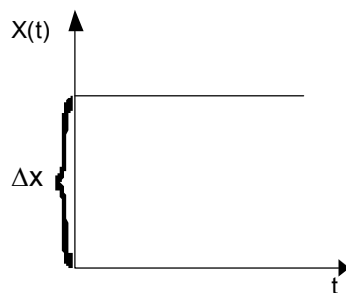


Рисунок 2.21 – Амплітуда керуючого впливу у формі
одиначного стрибка $I(t)\Delta x$

Приклад. Ідентифікувати за графіком перехідної характеристики, яка наведена на рисунку 2.22, передавальну функцію, коефіцієнт посилення і постійні часу. У якості керуючого впливу прийнятий «одиначний стрибок» $I(t)$ з коефіцієнтом посилення $k = 5$.

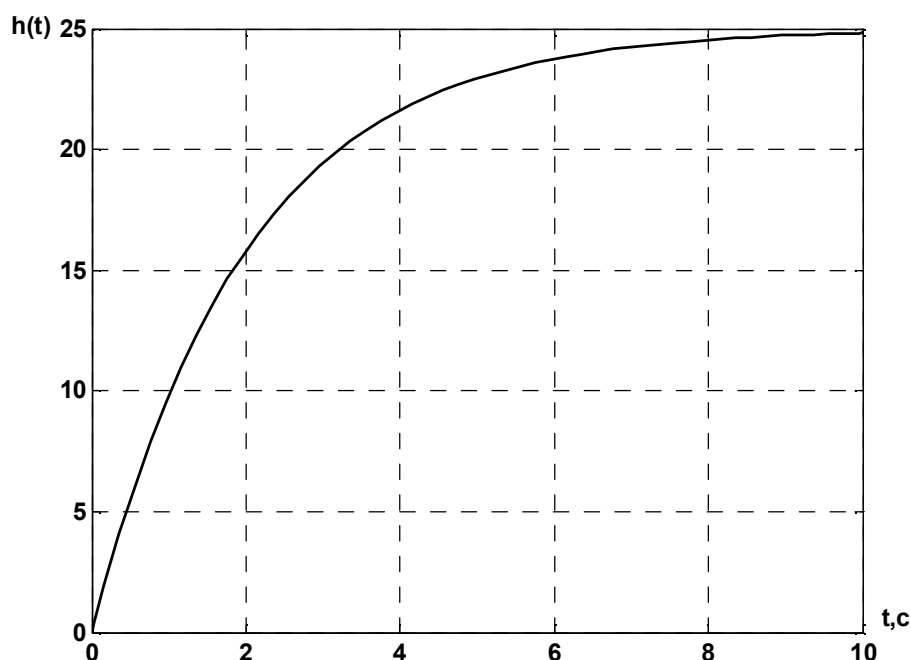


Рисунок 2.22 – Графік перехідної характеристики ідентифікованого
об'єкта

Розв'язання. Перехідний процес має експонентну форму і, як наслідок, може бути описаний функцією передачі аперіодичної ланки 1-го порядку. У якості керуючого впливу прийнятий «одиначний стрибок» $x_{упр} = I(t)$ з коефіцієнтом посилення $k = 5$.

Ідентифікуємо постійну часу.

Спосіб 1. Постійну часу T можна визначити, використовуючи дотичну до перехідної функції на початковій ділянці (при $t = 0$). На рисунку 2.23 видно, що постійна часу становить $T = 2$ с.

Спосіб 2. Проаналізуємо графік перехідного процесу:

- час перехідного процесу $t_{nn} = 10$ с;
- сталі значення $h(10) = h_{yctm} = 25$ с.

Використовуючи вирази (2.91), визначимо проміжок часу, протягом якого перехідна функція досягає 63 % своєї усталеної величини:

$$h(t) = 0,63k = 0,63 \times 25 = 15,75.$$

З графіка перехідного процесу (див. рис. 2.23) при $h(t) = 15,75$ визначити постійну часу, яка становить 2 с.

Розрахуємо коефіцієнт передачі, як співвідношення між сталим значенням вхідного сигналу і амплітудою керуючого вхідного сигналу за виразом (2.123):

$$K = \frac{h_{yctm}}{x_{yup}} = \frac{25}{5} = 5.$$

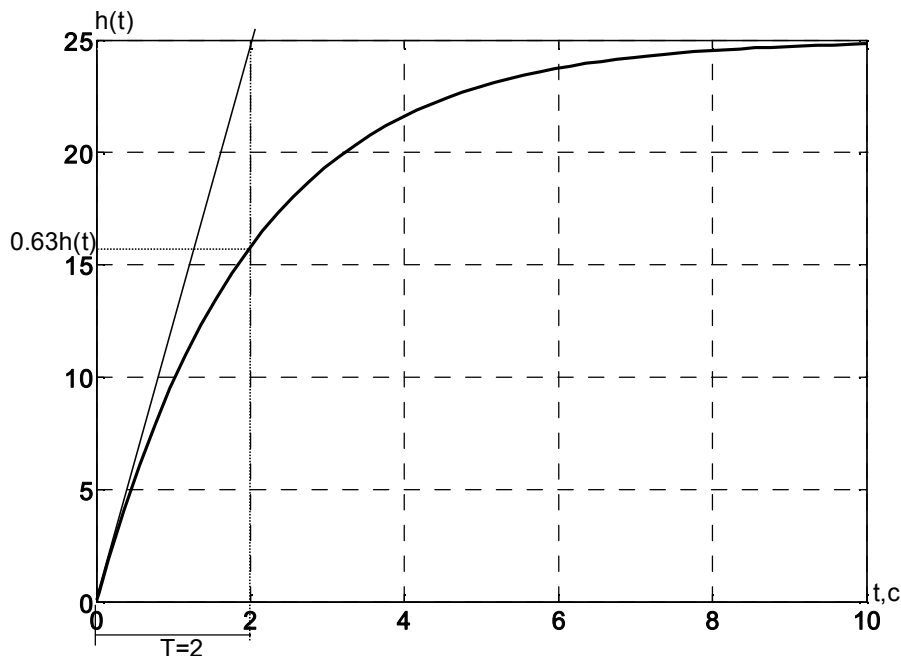


Рисунок 2.23 – Визначення постійної часу за перехідною характеристикою

Відповідь: шукана передавальна функція має вигляд

$$W(p) = \frac{5}{2p + 1}.$$

Якщо перехідна функція запізнюється на час тобто дорівнює 0 протягом проміжку часу τ після додавання ступеневого впливу, як показано на рисунку 2.24, то система має чисто тимчасове запізнювання, для якого перетворення Лапласа $e^{-p\tau}$.

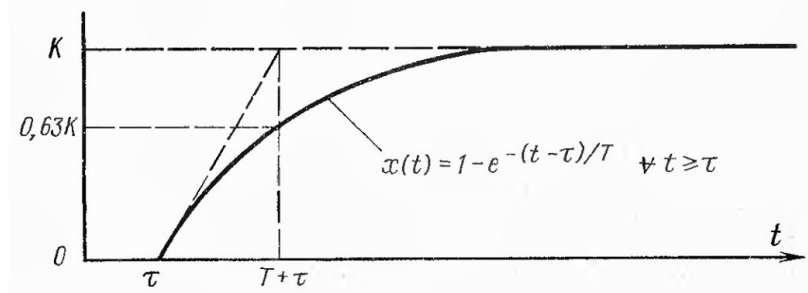


Рисунок 2.24 – Перехідна характеристика системи з чистим запізненням

Отже, якщо перехідна функція системи дорівнює

$$x(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq \tau \\ K(1 - e^{-(t-\tau)/T}), & \text{при } t > \tau \end{cases} \quad (2.124)$$

то передавальна функція системи має вигляд

$$W(p) = \frac{k_0 e^{-p\tau}}{Tp + 1}. \quad (2.125)$$

За аналогією з розглянутим методом ідентифікації з використанням перехідної функції, передавальну функцію $W(p)$ можна визначити за допомогою перетворення Фур'є імпульсної перехідної функцією $\omega(t)$:

$$\omega(t) = \frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (2.126)$$

Графік імпульсної перехідної функції поданий на рисунку 2.25.

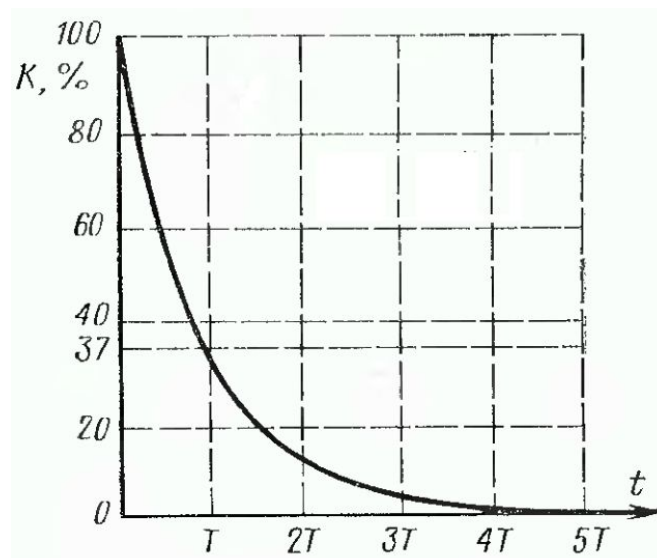


Рисунок 2.25 – Імпульсна перехідна функція ідентифікованого об'єкта

Таким чином, T і K визначаються за графіком: у початковій точці $0,37 \frac{K}{T} = \left(\frac{K}{T}\right) e^{-\frac{0}{T}} = \left(\frac{K}{T}\right) e^{-1}$, дорівнює T , тобто $\omega(T) \approx 0,37k$. Постійну часу T можна отримати також, проводячи дотичну з початку графіка $\omega(t)$ до її перетину з віссю часу, згідно з рівнянням (2.126):

$$\frac{d\omega(0)}{dt} = -\left(\frac{K}{T^2}\right)$$

$$\frac{K}{T} - \frac{K}{T^2}t = 0, \text{ при } t = T. \quad (2.127)$$

На практиці вхідний сигнал у системі є деяким наближенням до імпульсу, і $\omega(t)$ ніколи не починається з величини $\frac{K}{T}$. У цьому випадку T і K можна визначити, як показано на рисунку 2.26, де максимальний нахил кривої в межах $t = 0$ екстраполюється в напрямку до $t = 0$ так, щоб була досягнута величина $\frac{K}{T}$ [12].

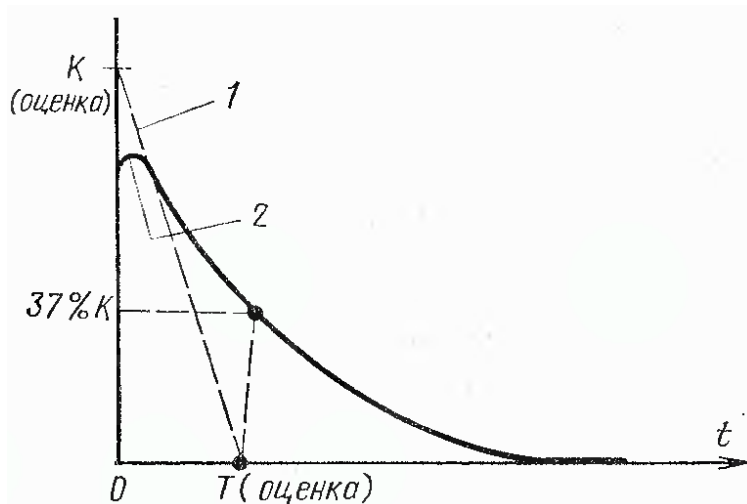


Рисунок 2.26 – Практичний спосіб ідентифікації системи 1-го порядку за імпульсною переходною функцією

Ідентифікація моделей у вигляді аперіодичних ланок 2-го порядку

Передавальна функція аперіодичної ланки 2-го порядку описується передавальною функцією

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1}, \quad (2.128)$$

де T – постійна часу;

ξ – коефіцієнт демпфірування.

За умови, що коріння характеристичного рівняння чисельника визначається як:

$$a_0 p^2 + a_1 p + 1 = 0;$$

$$\lambda_1 \lambda_2 = \alpha \pm j\beta;$$

$$\beta = 0;$$

$$\lambda_1 \lambda_2 = -\alpha_1, -\alpha_2,$$

то передавальна функція набуде вигляду

$$W(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}. \quad (2.129)$$

Перехідна функція аперіодичної ланки 2-го порядку описується виразом

$$h(t) = L^{-1} \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\} = k \left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \right). \quad (2.130)$$

Перехідна характеристика аперіодичної ланки 2-го порядку наведена на рисунку 2.27.

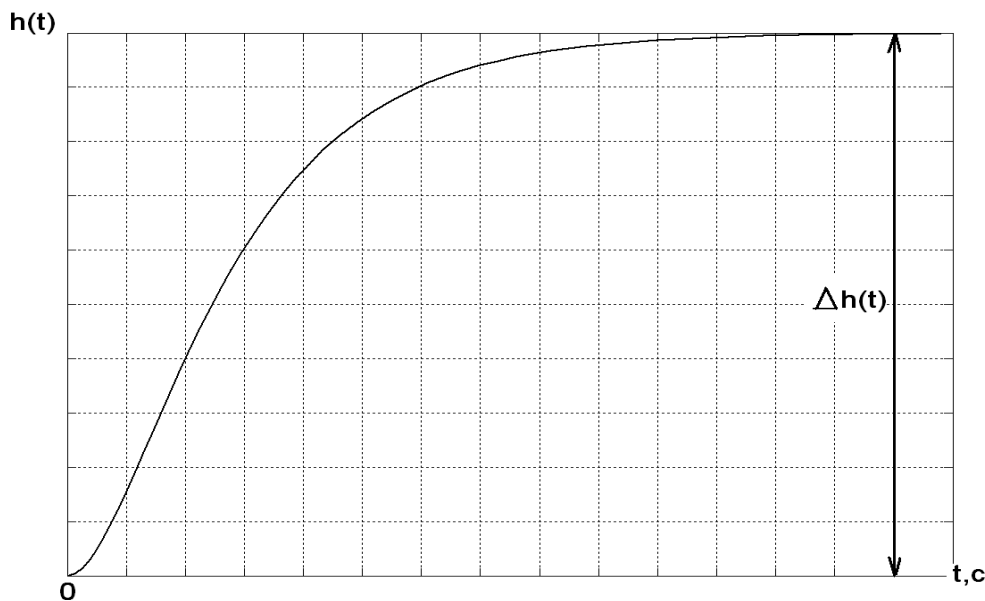


Рисунок 2.27 – *Перехідна характеристика аперіодичної ланки 2-го порядку*

Методику ідентифікації параметрів аперіодичної ланки 2-го порядку за графіком перехідного процесу розглянемо на прикладі.

Приклад. Ідентифікувати за графіком перехідної характеристики, яка наведена на рисунку 2.28, передавальну функцію, коефіцієнт посилення і постійні часу. Керуючим впливом є «одиначний стрибок»: $1(t) \cdot k$ з коефіцієнтом посилення $k = 1$.

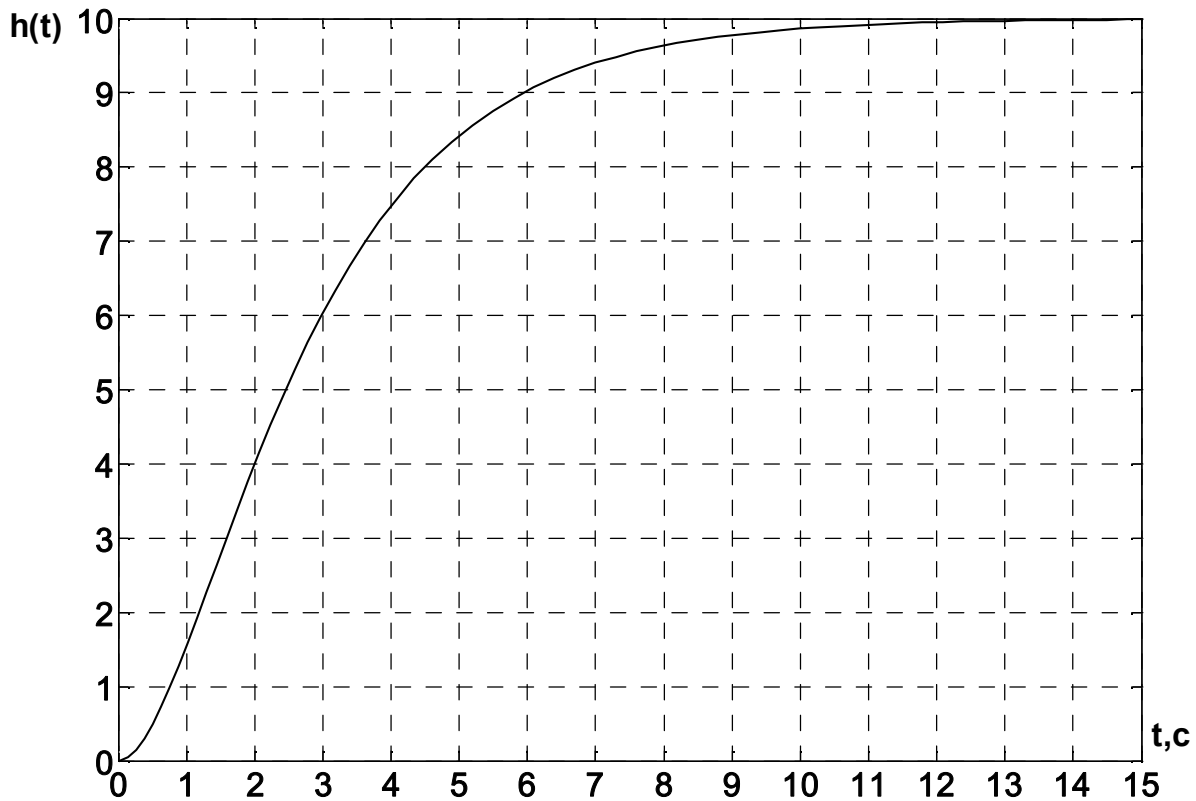


Рисунок 2.28 – Графік перехідної характеристики

Розв'язання. Вважаємо, що процес є аперіодичним 1-го порядку. Для цього початкову ділянку апроксимуємо прямою, як вказано на рисунку 2.29.

Отримуємо криву, наближену до залежності 1-го порядку. Вважаємо точку A початком координат. Взявши 0,63 щодо t , A , визначаємо H_1 :

$$H_1 = 0,63h(t) - A = 0,63 \cdot 10 - 0,8 = 5,5.$$

З графіка перехідного процесу при $H_1 = 5,5$ постійна часу становить $T_1 = 2,7$ с.

Для визначення T_2 будемо дзеркальну криву і визначаємо H_2 на початковій ділянці кривої за вже відомою методикою:

$$H_2 = 0,63h(t) = 0,63 \cdot 10 = 6,3.$$

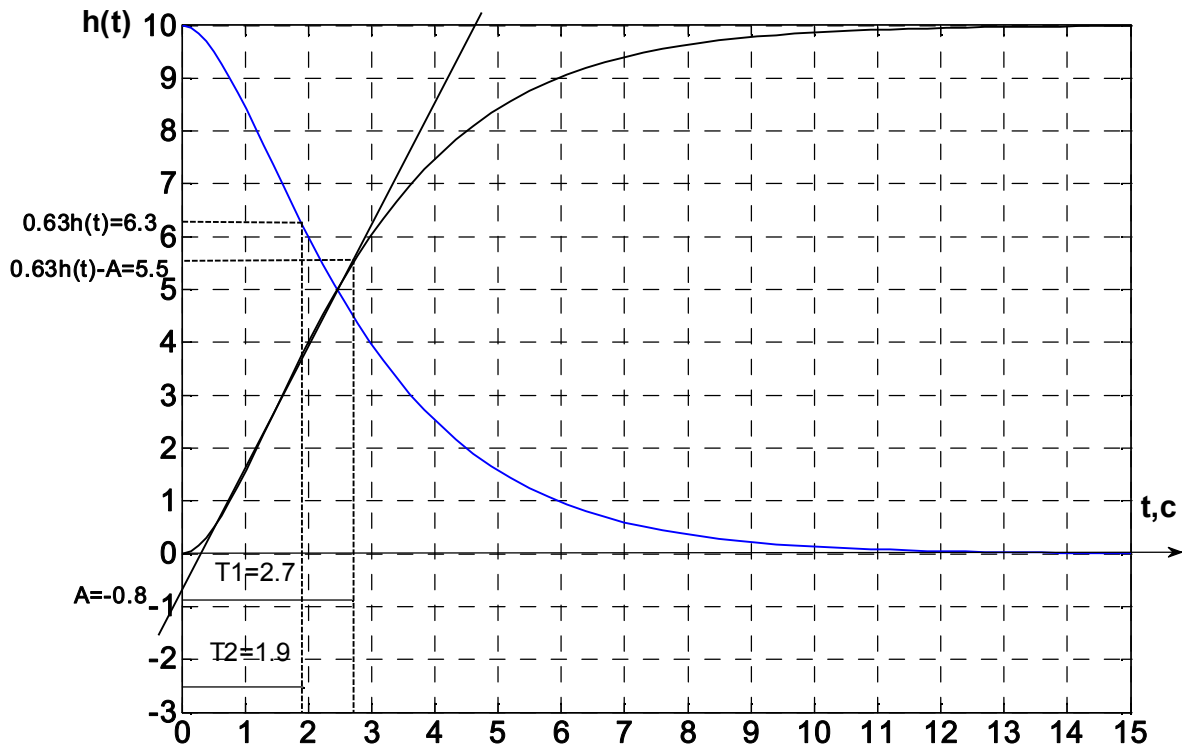


Рисунок 2.29 – Ідентифікація постійних часу за перехідною характеристикою

З дзеркальної характеристики перехідного процесу при $H_2 = 6,3$ постійна часу T_2 становить 1,9 с.

Визначимо коефіцієнт передачі:

$$k = \frac{h_{уст}}{x_{уп}} = \frac{10}{1} = 10.$$

Відповідь: передавальна функція запишеться:

$$W(p) = \frac{10}{(2,7p+1)(1,9p+1)} = \frac{10}{5,13p^2 + 4,6p+1}.$$

2.4.3 Контроль і вимір температури

Вибір датчика температури в основному визначається діапазоном зміни вимірюваної температури і умовами експлуатації. Для вимірювання температури використовуються термопари, терморезистори, напівпровідникові датчики (термістори) і пірометри. Робочі діапазони температур цих датчиків наведені в таблиці 2.11 [12, 13].

Таблиця 2.11 – Робочі діапазони датчиків температури

Тип датчика	Діапазон температур, °С
Скляні стрижневі	-20...+600
Біметалічні	0...+500
З наповнювачем	-50...+300
Напівпровідникові	-100...+100
Резисторні	-100...+300
Пірометричні	+100...+5000
Термопари	-250...+2000

У якості датчиків температури часто застосовуються термопари, оскільки вони мають широкий діапазон температур і високу надійність. При вимірюванні температури з використанням термопари послідовно з вимірювальним спаєм включають компенсаційні спаї, що дозволяють отримати струм певного напрямку і максимальну ЕРС вимірювального спаю. Залежно від робочого діапазону температур і середовища, у якій знаходиться датчик, застосовують різні пари металів. Для роботи в широкому діапазоні температур передавальні характеристики датчиків, як правило, недостатньо лінійні, так що для їх лінеаризації потрібно застосовувати спеціальні схеми.

Технічні характеристики різних типів термоелектричних перетворювачів (термопар) відповідно до ГОСТ 3044 наведені в таблиці 2.12 [14].

Таблиця 2.12 – Технічні характеристики різних типів термоелектричних перетворювачів (термопар) відповідно до ГОСТ 3044

Термопара		Матеріал термоелектрода		Діапазон температур, °С	
1	2	3	4	5	6
Тип	НСХ	позитивного	негативного	вимірюваних	робочих
ТХК Тип L	ХК (L)	Сплав хромель НХ9,5 (90,5 % Ni + 9,5 % Cr)	Сплав копель МНМц 43-0,5 (56 % Cu + 44 % Ni)	-200...800	-200...600
ТХА Тип К	ХА (K)	Сплав хромель НХ9,5 (90,5 % Ni + 9,5 % Cr)	Сплав алюмель НМц АК 2-2-1 (94,5 % Ni + 5,5 % Al, Si, Mn, Co)	-200...1 300	-200...1 000
ТПП Тип S	ПП (S)	Сплав платино-родій ПР-10 (90 % Pt + 10 % Rh)	Платина (Pt)	0...1 600	0...1 300

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4	5	6
ТЖК Тип J	ЖК (J)	Желізо (Fe)	Сплав константан (55 % Cu + 45 % Ni, Mn, Fe)	-200...900	-200...700
ТПР Тип В	ПР (В)	Сплав платино-родій ПР-30 (70 % Pt + 30 % Rh)	Сплав платино-родій ПР-6 (94 % Pt + 4 % Rh)	300...1 800	300...1 600

Найкраще в порівнянні з термопарами розрішення і повторюваність характеристик досягаються на термометрах опору – приладах, що використовують ефект зміни електричного опору провідників при вимірюванні температури. У промисловості часто застосовуються платиново-родієві термопари, що мають високу точність і механічну і електричну стабільність.

Термістори – інший тип термометрів опору – отримують спіканням сумішей металевих сплавів, при цьому утворюється кераміка з великим негативним температурним коефіцієнтом.

Термістори в порівнянні з терморезисторами мають у десять разів більшу чутливість. Однак слід зазначити їх більш високу нелінійність у порівнянні з терморезисторами.

У тих випадках, коли можливо тільки візуальне спостереження досліджуваного температурного процесу, для вимірювання вдаються до пірометра. Діапазон вимірюваних температур у цьому випадку обмежується спектральною чутливістю використовуваного датчика.

Виходячи із зазначеного вище, слід проводити глибокий аналіз технологічного процесу з метою аналізу можливого способу контролю теплового процесу в об'єкті управління.

2.4.4 Датчики вимірювання тиску

Розглянемо особливості вимірювання тиску. Вимірювання тиску є однією з основних діагностичних функцій у будь-якій галузі промисловості. Пристрої для вимірювання тиску встановлюються усюди, і існує незліченне розмаїття їх варіантів.

Тиск має певні параметри, які впливають на способи його вимірювання:

- зазвичай вимірюється в одиницях сила на одиницю площі;
- існує як в статичних, так і рухомих рідинах;
- тиск рідини завжди вимірюється у відношенні до будь-якого іншого тиску.

Існують три типи вимірюваного тиску:

- 1) абсолютний – атмосферний тиск плюс надлишковий тиск;
- 2) надмірний (відносний) – абсолютний тиск мінус атмосферний тиск;
- 3) диференціальний – різниця тисків між двома точками.

Отже, типи вимірювань тиску можна поділити на три категорії:

- абсолютний тиск вимірюється у відношенні до абсолютного вакууму, не беручи до уваги вплив атмосферного тиску. Таке вимірювання в основному використовується при проведенні досліджень або проектуванні, але існують деякі додатки, коли знання абсолютного значення тиску необхідне для підтримки технологічного процесу. Оскільки непрактично створювати повний вакуум всередині корпусу сенсора, датчики зазвичай перетворюють значення вимірюваного тиску, використовуючи фіксований поправковий коефіцієнт. У більш складних пристроях використовується вимірюваний барометричний тиск;

- диференціальний тиск – це тиск в одній частині судини у відношенні до іншої. Це свідчення є різницею між двома значеннями і не враховує абсолютні тиски;

- тиск, що вимірюється датчиком, є аналогом диференціального тиску і вимірюється у відношенні до атмосферного тиску, що є найбільш поширеним методом.

Приклад. Резервуар стисненого повітря оснащений датчиками абсолютного і відносного (надмірного) тиску (рис. 2.30). При стисненні повітря до 100 psig абсолютний тиск виявляється таким, що дорівнює 114,7 psia. Якщо такий резервуар помістити у вакуум, то обидва датчики покажуть ідентичні значення, оскільки відлік показань виконується щодо абсолютного вакууму.

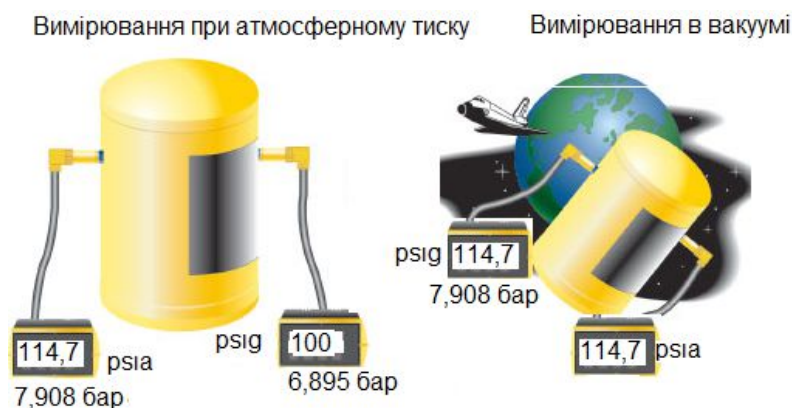


Рисунок 2.30 – Різниця при вимірі абсолютного і відносного тиску

Існують дві відомі одиниці виміру тиску – це psi і бар. У США використовується psi. Бар є загальноприйнятою. Бар часто замінюється на паскаль і кілопаскаль, оскільки такі одиниці більш зручні. Існує багато інших одиниць виміру, але вони використовуються у вузькоспеціалізованих сферах. Обидві одиниці, psi і бар, мають суфікс

«a» і «g», позначаючи абсолютний або відносний тиск. Якщо суфікса немає, то передбачається відносний тиск.

Вимірювання диференціального тиску не визначає його абсолютного або відносного значення. Цей показник описує різницю або перепад тисків. Якщо диференціальний тиск між двома резервуарами становить 5 бар, то в резервуарах тиск може становити 1 і 6 бар або 3 і 8 бар. Не існує способу визначення тиску щодо атмосферного без додаткового датчика. У вимірах диференціального тиску часто використовується суфікс «d».

Датчик диференціального тиску має два входи для порівняння показань тиску у двох резервуарах, але він не може показувати тиск у відношенні до атмосферного з кожної зі сторін одночасно (рис. 2.31).

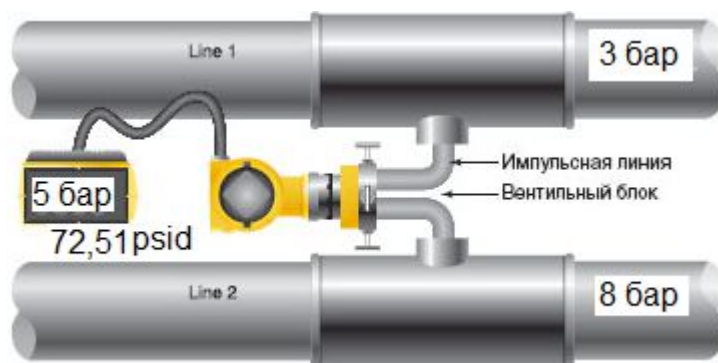


Рисунок 2.31 – Схема підключення диференціального датчика тиску

Точність, настройка діапазону і безпека. На електронних приладах для вимірювання тиску і механічних манометрах точність вимірювань вказується ідентичним способом – у вигляді похибки, яка дорівнює процентному співвідношенню від діапазону вимірювань.

Наприклад, манометр хорошої якості з діапазоном 0...500 psi може мати похибку $\pm 0,5\%$ шкали. Це означає, що він має смугу похибки 5 psi ($\pm 2,5$ psi) у будь-якій точці на шкалі.

Електронні перетворювачі і датчики мають аналогічне визначення похибки. Оскільки діапазон вимірювань пов'язаний з похибкою, дуже важливо вибрати пристрій з діапазоном, максимально близьким до фактичного робочого значення з урахуванням стрибків тиску. Іншими словами, якщо у вашому процесі робочий тиск становить 75 psi, то краще використовувати манометр 0...100 psi, а не 0...500 psi, навіть якщо вони мають ідентичні номінальні значення похибки. Неправильний вибір діапазону вимірювань є найбільш поширеною помилкою при підборі датчика.

Деякі датчики мають власне електронне регулювання діапазону вимірювань.

Наприклад, пристрій, призначений для вимірювання тиску від 0 до 500 psi, можна відрегулювати електронним способом на показання 0...300. Це допоможе розширити відповідну область показань датчика від

4 до 20 мА, але фактично не підвищить точність. Співвідношення перенастроювання діапазону в більшості випадків буде таким самим, що й при повній шкалі від 0 до 500.

Вибір приладу для вимірювання тиску. Після того, як були визначені вимоги до вимірювання тиску в конкретному випадку, можна вибрати відповідний пристрій вимірювання на підставі інших експлуатаційних параметрів, крім діапазону і похибки.

Матеріал: У приладі слід звернути увагу на матеріали компонентів, що контактують із середовищем. Існує широкий діапазон матеріалів, які дозволено використовувати в агресивних рідинах або газах. Є також широкий вибір корпусів датчика, оскільки корозійна атмосфера на об'єкті може впливати і на зовнішню частину приладу. Екзотичні матеріали досить дороги, тому при виборі слід це враховувати.

Внутрішня конфігурація: Більшість сенсорів мають внутрішні порожнини, які заповнюються технологічною рідиною при роботі. Якщо рідина неагресивна, і невеликі протікання не пошкодять пристрій, то її наявність допускається. Проте, у деяких критичних системах це заборонено. Сенсори оснащуються промивальним мембранами і мають ущільнення на внутрішній стороні, щоб запобігти просочуванню рідини і забезпечити мінімальне порушення потоку процесу. Ізолююча мембрана також є в наявності в якості допоміжного приладдя.

Корпус: Вимоги до безпеки установки очищення стічних вод істотно відрізняються від вимог на нафтопереробних комплексах. Багато додаткових параметрів датчиків повинно задовольняти вимогам експлуатації, наприклад, у вибухонебезпечних або іскронебезпечних зовнішніх умовах. Більш того, більшість компаній встановили чіткі межі за способом і місцем використання приладів. З іншого боку, якщо не стоїть питання про роботу у вибухонебезпечному середовищі, то підвищується кількість можливих варіантів датчиків. Також розміри датчика безпосередньо залежать від кількості допоміжного електронного обладнання, необхідного для зв'язку з іншими пристроями. Простий перетворювач з вихідним сигналом 4...20 мА може бути дуже компактним, тоді як інтелектуальний датчик з підключенням по шині fieldbus вимагає більше місця, оскільки він включає додаткову електричну схему.

Монтажне підключення: Вимірювальні прилади зазвичай мають різьбовий вхід для труби від 1/8 до 1/2 дюйма NPT або BSPT. Проте, існують додаткові варіанти підключення для більш спеціалізованих застосувань, включаючи гігієнічні з'єднання з трьома зажимами «Tri-clamp» та інші фланцеві з'єднання. Пристрої для вимірювання диференціального тиску часто використовують вентильні блоки для спрощення підключення.

Зв'язок: Більшість перетворювачів передають дані у форматі аналогових сигналів 4...20 мА. Якщо для будь-якого застосування використовується саме цей метод, то для забезпечення надійної передачі

може знадобитися додаткова система узгодження сигналів. Датчики можуть підключатися до шини fieldbus, працювати за бездротовим зв'язком або HART-протоколом.

Технологія датчиків: Існує близько 10 технологій і способів для перетворення величини тиску на масштабний електронний сигнал, але жоден з них не є універсальним. Виробники датчиків намагаються використовувати одну або дві технології, враховуючи поєднання експлуатаційних параметрів і промислової придатності, що дозволяє оптимізувати експлуатаційні характеристики і мінімізувати недоліки пристроїв. У технічній документації на продукцію часто навіть не згадуються використовувані технології виготовлення датчика.

Встановлення, розширення, техобслуговування. Правильність встановлення може мати таку ж важливість, що і вибір коректного пристрою. Датчики для вимірювання тиску зазвичай монтуються з клапаном-відсікачем, особливо в безперервних процесах. Таким чином, датчики можна калібрувати, ремонтувати або замінювати, не перериваючи процес. У ситуаціях, коли робочий режим є періодичним, це не настільки критично, і пристрій можна встановлювати безпосередньо в потік. Ділянка труби або трубопроводу, що веде до сенсора, називається імпульсною лінією і допомагає в тих випадках, коли немає достатнього простору для доступу до корпусу датчика. Проте, імпульсні лінії (рис. 2.32) слід використовувати обережно.

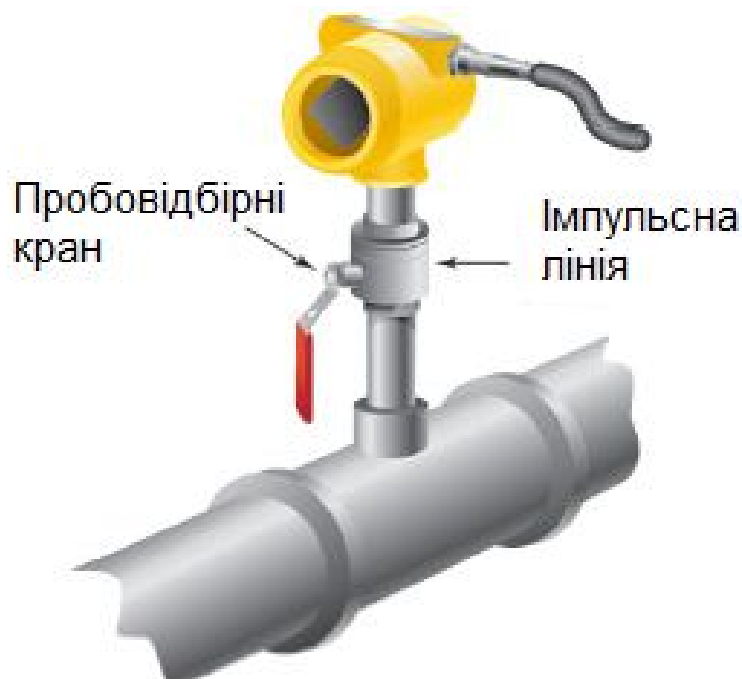


Рисунок 2.32 – Схема монтажу датчика з пробовідбірним краном, відсічним вентилем, установленим на короткій імпульсній лінії

Допоміжне приладдя можуть спростити монтаж або захистити пристрій. Існує кілька прикладів:

- імпульсна лінія повинна мати мінімальні розміри;
- якщо в якості технологічного середовища використовується рідина, слід стравити повітря;
- якщо потрібно, щоб вивід даних здійснювався в більш зручному місці, слід подовжити кабель, а не імпульсну лінію;
- у теплих середовищах, особливо при наявності пари, слід переконатися, що імпульсна лінія може виступати в якості сифона.

Запірний і підбурюючий вентиля – вентиля, що монтується на імпульсній лінії і дозволяють стравити тиск з сенсора, як тільки відключається з'єднання з процесом виміру.

Демпфіруючі пристрої – пристрої для гальмування потоку середовища від процесу до датчика, зазвичай використовується для придушення пульсацій і продовження терміну служби пристрою. При правильному використанні показання датчика будуть коректними, при цьому не пошкоджується мембрана сенсора.

Роздільна мембрана – мембрана, яка монтується перед самим датчиком, для передачі тиску без просочування технологічної рідини в сенсор. При використанні мембрани датчик має бути наповнений інертною рідиною, зазвичай силіконовим маслом, для передачі тиску.

Пристрій захисту від надлишкового тиску – підпружинний вентиль, який закривається у разі надлишкового тиску, запобігаючи пошкодженню датчика. Використовується в тих ситуаціях, коли можливі великі стрибки тиску.

Вентильний блок – пристрій, що спрощує комплексне компонування трубопроводу для установки пристрою вимірювання диференціального тиску, зазвичай включає внутрішні вентиля для відсічення процесу, підбурювання і вирівнювання тиску. Датчики диференціального тиску часто використовують вентильні блоки для спрощення сполук. Вентильний блок включає вентиля для ізоляції будь-якої сторони або вирівнювання внутрішнього тиску як необхідно. Якщо обидва відсічних клапани закриті, то датчик можна відключити від процесу, не стравлюючи тиск (рис. 2.33).

Інтелектуальна діагностика

Інтелектуальний датчик являє собою пристрій, здатний виконувати безліч функцій, а не тільки передавати один вимірний параметр технологічного процесу.

Деякі інтелектуальні функції пов'язані зі здійсненням контролю над процесом і дублюють дії, які могла б виконувати АСУ. Але якщо прилад працює незалежно, то такі функції можуть бути важливими. Нижче наведено кілька прикладів таких функцій:

- вимірювання та реєстрація моменту перевищення порога тиску;
- підрахунок сигналів тривоги і сигналів про помилки;
- аналізування шумів у сигналі датчика, що призводять до збою;

- вимірювання температури навколишнього середовища і технологічної рідини;
- автоматичне коректування значення тиску для компенсації температурних змін;
- автоматична діагностика внутрішніх електронних функцій і апаратного забезпечення;
- налаштування аварійної сигналізації;
- історія і графік калібрування.

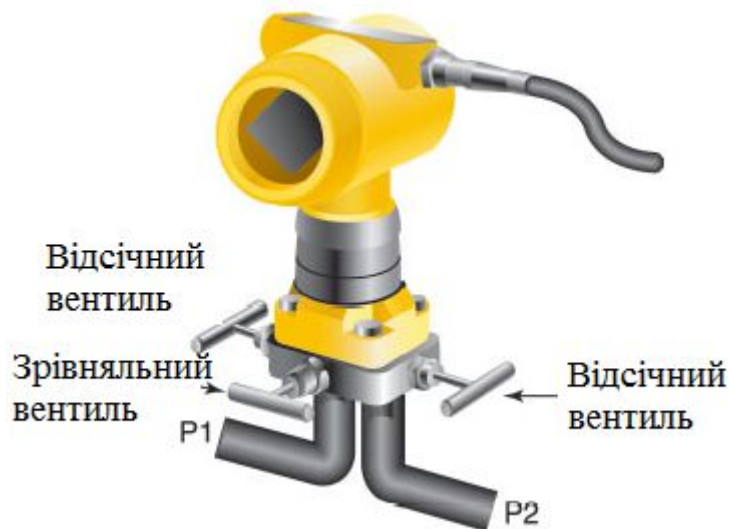


Рисунок 2.33 – Схема монтажу диференціального датчика тиску з вентильним блоком

Датчик може передавати цю інформацію, наприклад, за протоколом HART або fieldbus. Передача даних може бути постійною при підключенні до великої системи управління або за запитом з портативного пристрою збору даних.

У кінцевому рахунку, при виборі пристрою для вимірювання тиску або будь-якого іншого типу вимірювань найкраще спочатку зрозуміти рамки його використання. Інформація про точність, спосіб передачі та діагностики є частиною його технічних характеристик. В іншому випадку, при виборі сенсора тиску можна пропустити що-небудь важливе, унаслідок чого в управлінні процесом буде відсутній критичний компонент.

Вибір датчика тиску [15, 16]

При виборі датчика тиску необхідно враховувати такі технологічні параметри:

- де планується встановити датчик тиску (особливості застосування);
- діапазон вимірювань;
- температура процесу;
- тип з'єднання датчика з процесом;

- параметри навколишнього середовища (температура, вологість);
- тип вихідного сигналу датчика тиску;
- необхідна точність вимірювань;

При підборі датчиків тиску необхідно уточнювати такі особливості застосування.

1) Вимоги щодо гігієни: харчова та фармацевтична промисловість висувають високі санітарні вимоги до датчиків тиску як у місці контакту з продуктом, так і зовні (як правило, виконані повністю з нержавіючої сталі).

Наявність сертифікатів: найчастіше, для різних застосувань, крім звичайного сертифіката відповідності ГОСТ (або декларації відповідності), потрібні додаткові сертифікати. Наприклад, для систем обліку необхідний сертифікат про затвердження типу засобів вимірювання; для застосувань датчиків тиску в харчовій промисловості потрібен рішення СЕС, для застосувань на небезпечних виробництвах потрібен дозвіл УКРМЕТДЕРЖСТАНДАРТУ і т. д.

Вимоги щодо вибухозахисту: на вибухонебезпечних виробництвах (наприклад, нафтогазова, хімічна, спиртова промисловості) використовуються датчики тиску у вибухонебезпечному виконанні. Найбільшого поширення для датчиків отримали 2 види вибухозахисту – іскробезпечні електричної ланки Ex ia і вибухонепроникла оболонка Ex d, вибір якого обумовлюється специфікою застосування.

Тип вимірюваного середовища: якщо вимірюване середовище є в'язким, агресивним, уповільненим або має будь-якими інші специфічні властивості (наприклад, наявність частинок бруду), ці особливості також необхідно врахувати. Можливо для даного застосування необхідне використання мембранних датчиків тиску (обладнаних розділовою мембраною), які забезпечують захист чутливого елемента датчика від впливу агресивних середовищ.

Наявність зовнішніх впливів: наявність вібрації, електромагнітних полів або інших механічних або електричних впливів.

Наявність гідроударів у системі: якщо в системі можлива наявність гідроударів, датчик тиску необхідно підібрати з достатнім запасом щодо перевантаження (пікового тиску) або вжити заходів щодо компенсації гідроударів (глушники, спеціальні датчики і т. п.).

Додаткове обладнання: як правило, при вимірюванні тиску датчики монтуються за допомогою 3-ходових кранів, крім того, при вимірюванні тиску пари датчики тиску рекомендується підключати через спеціальний пристрій – трубку Перкінса, яка забезпечує зменшення температури середовища, що діє на датчик тиску.

При підборі датчиків тиску для застосування в якості гідростатичних датчиків рівня, необхідно враховувати той факт, що значення тиску при одній і тій самій висоті стовпа рідини може змінюватися зі зміною щільності вимірюваного середовища.

2) Діапазон вимірювань.

Діапазон вимірювань датчика тиску – діапазон значень тиску, при подачі якого датчик буде здійснювати вимірювання і лінійне перетворення вимірюваного значення на уніфікований вихідний сигнал.

Діапазон вимірювань визначається нижньою і верхньою межами вимірювань, які відповідають мінімальному і максимальному значенням вимірюваного тиску.

Наприклад, діапазон вимірювань: 0...1 бар, 0...2,5 МПа, -100...100 кПа.

При підборі датчиків тиску необхідно враховувати, що датчики бувають як з фіксованим діапазоном вимірювань, так і з налаштованим діапазоном вимірювань. У датчиків тиску з фіксованим діапазоном вимірювань значення вихідного сигналу жорстко прив'язані до меж вимірювань.

Наприклад, датчик тиску PTE5000 при тиску 0 МПа видаватиме 4 мА на виході, а при тиску 0,6 МПа видаватиме 20 мА тому, що він жорстко налаштований на діапазон 0...0,6 МПа.

У свою чергу, датчик тиску KLAY 8000-ES [15] має простий та зручний діапазон 0...1...4 бар, це означає, що при тиску 0 бар датчик буде аналогічно видавати 4 мА, а 20 мА датчик видасть при будь-якому значенні з діапазону 1...4 бар, яке налаштовується користувачем.

3) Температура процесу.

Температура вимірюваного середовища – дуже важливий параметр при виборі датчиків тиску. При підборі датчика необхідно, щоб температура процесу не виходила за межі допустимого робочого температурного діапазону.

У харчовій промисловості відбуваються короткочасні (від 20 до 40 хвилин) процеси СІР і SІР-мийки (санітарної обробки), при яких температура середовища може досягати 145 °С. Для таких застосувань слід використовувати датчики, стійкі до такого тимчасовому впливу високих температур, наприклад датчики тиску у виконанні SAN: 8000-SAN і 2000-SAN. [15]

Показання всіх датчиків тиску, що використовують тензорезистивний принцип перетворення, дуже залежать від температури вимірюваного середовища тому, що зі зміною температури змінюється і опір резисторів, складових вимірювальної схеми сенсора тиску.

Для датчиків тиску вводиться поняття «температурної помилки», яка являє собою додаткову похибку вимірювань на кожні 10 °С зміни температури вимірюваного середовища щодо базової температури (як правило 20 °С). Таким чином, температуру процесу необхідно знати для визначення повної похибки вимірювань датчика тиску.

Для зниження впливу температури у вимірювачах тиску використовують різні схеми температурної компенсації.

Щодо використання термокомпенсації всі датчики тиску можна поділити на три групи:

- бюджетні датчики тиску, які не використовують схеми термокомпенсації;
- датчики середнього цінового діапазону, які використовують пасивні схеми термокомпенсації;
- датчики тиску високого рівня для систем вимогливих до точності вимірювання, які використовують схеми активної температурної компенсації.

Для вимірювання тиску середовищ p постійною температурою понад $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ використовуються спеціальні високотемпературні датчики тиску, що дозволяють вимірювати тиск середовищ з температурою аж до $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Як правило, такі датчики обладнані радіатором охолодження і / або мають спеціальний конструктив, що дозволяє винести частину датчика з електронікою до зони з допустимою робочою температурою.

4) Тип з'єднання датчика з процесом.

Тип з'єднання датчика з процесом – тип механічного включення датчика тиску до процесу для здійснення вимірювань.

Найбільш популярними з'єднаннями для перетворювачів тиску загальнопромислового виконання є різьбове з'єднання G1 / 2 DIN 16288 і M20x1,5 [16].

При підборі датчика тип з'єднання необхідно уточнювати для забезпечення зручності монтажу в існуючій системі без здійснення додаткових робіт (зварювання, нарізання іншого типу різі і т. п.).

Найбільш різноманітними за типами використовуваних з'єднань з процесом є харчова, целюлозно-паперова і хімічна промисловості.

Вибір типу з'єднання найбільш актуальний для харчової промисловості тому, що поряд зі зручністю з'єднання, у першу чергу, повинно забезпечувати відсутність «мертвих зон» для процесу санітарної обробки. Для датчиків тиску, призначених для роботи в контакт з харчовими продуктами, існують спеціальні сертифікати, що підтверджують їх «санітарно» – Європейський сертифікат EHEDG (European Hygienic Equipment Design Group) і Американський сертифікат 3A Sanitary Standards. В Україні для датчиків, що контактують з харчовими середовищами, необхідна наявність Санітарно епідеміологічного висновку [15, 16].

5) Параметри навколишнього середовища.

При підборі перетворювачів тиску слід враховувати такі параметри навколишнього середовища:

- температура навколишнього середовища;
- вологість навколишнього середовища;
- наявність агресивних середовищ.

Усі параметри навколишнього середовища повинні знаходитись у допустимих межах для вибраного датчика тиску.

У разі наявності в навколишньому середовищі агресивних речовин, багато виробників датчиків тиску пропонують спеціальні виконання, стійкі до хімічних впливів.

При роботі в умовах підвищеної вологості при частих перепадах температури датчики тиску багатьох виробників стикаються з проблемою корозії сенсора тиску. Основна причина корозії сенсора датчиків тиску – утворення конденсату.

Датчикам надлишкового тиску, для вимірювання відносного тиску, необхідний зв'язок сенсора з атмосферою. У недорогих датчиків сенсор пов'язаний з атмосферою за рахунок негерметичності корпусу (коннектор IP65); вологе повітря при такій конструкції після попадання всередину датчика конденсується при зниженні температури, тим самим поступово викликаючи корозію вимірювального елемента.

б) Тип вихідного сигналу датчика тиску.

Найпоширенішим аналоговим вихідним сигналом для датчиків тиску є уніфікований струмовий сигнал 4...20 мА.

Практично завжди 4 мА відповідають нижньому значенню діапазону вимірювань, а 20 мА – верхньому, але іноді зустрічається реверсивний сигнал (як правило на вакуумних діапазонах). Також у промисловості зустрічаються датчики тиску з іншими типами аналогового вихідного сигналу, наприклад: 0...1 В, 0...10 В, 0...20 мА, 0...5 мА, 0...5 В.

Інтелектуальні датчики тиску, крім основного сигналу 4...20 мА, можуть бути виготовлені у виконанні з підтримкою протоколу HART, який може використовуватися для настроювання або отримання інформації про стан датчика і додаткової інформації.

Крім аналогового вихідного сигналу, інтелектуальні датчики тиску також бувають з цифровим вихідним сигналом. Це датчики з виходом за протоколом Profibus PA, який використовує у своїх пристроях компанія SIEMENS.

7) Необхідна точність вимірювань.

При розрахунку похибки вимірювань датчиків тиску, необхідно враховувати, що крім основної похибки існує додаткова похибка.

Основна похибка – значення похибки датчика тиску щодо діапазону вимірювань, заявлена заводом виробником для нормальних умов експлуатації. Як правило, під нормальними умовами експлуатації розуміють такі умови:

- температура навколишнього та робочого середовища 20 °С;
- тиск робочого середовища – у межах діапазону вимірювань датчика;
- нормальний атмосферний тиск;
- відсутність турбулентності потоку або інших явищ у місці установки датчика, здатних вплинути на показання.

Додаткова похибка – значення похибки, викликане відхиленням умов експлуатації від нормальних, зважаючи на особливості даного конкретного застосування. Однією з основних складових додаткової похибки є температурна похибка, яка вказується в технічній документації до датчиків тиску і може бути розрахована для конкретного значення температури робочого середовища.

Також додаткову похибку може викликати турбулентність потоку вимірюваного середовища, зміна щільності середовища при гідростатичному вимірі рівня, динамічні навантаження на обладнання під час переміщення в просторі (судна, транспорт і т. д.) та інші можливі фактори.

При розрахунку похибки вимірювальної системи в цілому потрібно також враховувати клас точності вимірювального приладу – індикатора.

Приклад. Розрахувати повну похибку вимірювань для такої системи:

Дано:

- датчик тиску KLAY-Instruments 8000-SAN-F-M (25) встановлений на трубопроводі з продуктом;

- максимальний тиск продукту – 4 бар, таким чином, датчик налаштований на діапазон 0...4 бар;

- максимальна температура продукту – 60 °С;

- турбулентність потоку і інші чинники на точність не впливають.

Розв'язання. За паспортними даними, знаходимо, що основна похибка датчика 8000-SAN-F- (M25) становить 0,2 %.

Температурна похибка за паспортом дорівнює 0,015 % / °С, таким чином, температурна помилка при 60 °С дорівнює:

$$0,015 \text{ \%}/^{\circ}\text{C} \times (60 \text{ }^{\circ}\text{C} - 20 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 0,6 \text{ \%};$$

$$0,2 + 0,6 + 0,25 = 1,05 \text{ \%} - \text{ повна відносна похибка};$$

$1,05 \text{ \%} \times 4 \text{ бар} = 0,042 \text{ бар}$ – абсолютна похибка вимірювань даної системи.

Відповідь: 0,042 бар – абсолютна похибка вимірювань даної системи.

Приклад. Датчик моделі 3051CD4 належить використовувати для вимірювання перепаду тиску в трубопроводі зі статичним тиском 1 200 psi (8,268 МПа). Шкала датчика від калібрувати таким чином: 4 мА відповідає 500 дюймів вод. ст. (124,5 кПа), а 20 мА відповідає 1 500 дюймів вод. ст. (373,6 кПа).

Розв'язання Для корекції систематичної помилки, викликаній статичним тиском у трубопроводі, спочатку визначається за формулами скориговані значення верхньої і нижньої точок:

$$LT = LRV + S(LRV) P,$$

де LT – скориговане значення верхньої точки;

LRV – значення нижньої межі діапазону;

S – помилка шкали за паспортними даними;

P – статичний тиск у трубопроводі (тиск втрат на сумарному гідравлічному опорі трубопроводу);

$$HT = URV + S (URV) P,$$

де HT – скориговане значення нижньої точки;
 URV – значення верхньої межі діапазону;
 S – помилка шкали за паспортними даними.

$$URV = 1\,500 \text{ дюймів вод. ст. (373,6 кПа);}$$

$$LRV = 500 \text{ дюймів вод. ст. (124,5 кПа);}$$

$$P = 1\,200 \text{ psi (8,268 МПа);}$$

$$S = +0,01/1\,000.$$

Розрахунок значення нижньої точки:

$$LT = 500 + (0,01/1\,000)(500)(1\,200);$$

$$LT = 506 \text{ дюймів вод. ст. (126,0 кПа).}$$

Розрахунок значення верхньої точки:

$$HT = 1\,500 + (0,01/1000)(1500)(1200);$$

$$HT = 1\,518 \text{ дюймів вод. ст. (378,1 кПа).}$$

Для завершення повного настроювання моделі 3051 і введення скоригованих значень для настроювання нижньої (LT) і верхньої (HT) точок.

2.4.5 Вимірювання витрати. Витратоміри

Поняття витрат. Характеристики потоку середовища.

Кількість рідини, газу або пари, що проходить за одиницю часу через поперечний переріз трубопроводу, каналу і т. д., називається витратою. При цьому кількість середовища, виміряна в об'ємних одиницях, називають об'ємною витратою, а в масових – масовою.

Об'ємна витрата визначається за формулою

$$Q = V \times S,$$

де Q – об'ємна витрата, м³/с;

V – швидкість потоку, м/с;

S – площа поперечного перерізу потоку, м².

Масова витрата визначається через щільність і об'ємну витрату:

$$Q_m = Q \times \rho,$$

де Q_m – масова витрата;

ρ – щільність вимірюваного середовища.

Як правило, як об'ємні одиниці вимірювання кількості середовища використовують: літр (л), кубічний сантиметр (см³) і кубічний метр (м³); а масових – грам (г), кілограм (кг) і тонну (т).

Найбільш важливими характеристиками потоку, що впливають на характер руху середовища, є:

- швидкість потоку;
- щільність вимірюваного середовища;
- в'язкість вимірюваного середовища.

В'язкістю (динамічної) називають фізичну властивість текучого середовища, що характеризує внутрішнє тертя між її шарами. Одиницею вимірювання в'язкості є пуаз (П), в'язкість малов'язких рідин і газів вимірюють у сотих частках пуаз – сантіпуаз (сп).

Поряд з динамічною в'язкістю використовують величину, звану кінематичною в'язкістю:

$$\nu = \mu / \rho,$$

де ν – кінематична в'язкість;

μ – в'язкість.

Одиницею вимірювання кінематичної в'язкості є стокс (Ст), на практиці частіше використовується його сота частина – сантістокс (ССТ).

В'язкість рідких середовищ зі збільшенням температури зменшується, причому для різних рідин дана залежність різна. Водночас в'язкість рідких середовищ залежить і від тиску, зазвичай зростаючи при його збільшенні. Однак при тисках, що зустрічаються в більшості випадків (до 20 МПа), ця зміна незначна і, як правило, не враховується. Для газоподібних середовищ залежність в'язкості від тиску і від температури досить істотна: зі збільшенням тиску кінематична в'язкість газів зменшується, а зі збільшенням температури збільшується.

Швидкість потоку, в'язкість і щільність рідини визначають режим руху рідини в трубопроводі. Дослідження питання про механізм руху середовищ дозволило висновити про існування двох режимів руху рідини:

- ламінарний режим руху спостерігається при малих швидкостях, коли окремі шари середовища рухаються паралельно один одному без перемішування частинок;

- турбулентний режим руху спостерігається при великих швидкостях потоку і характеризується інтенсивним перемішуванням частинок.

Критерієм оцінки обох режимів є число Рейнольдса:

$$Re = (V \cdot D \cdot \rho) / \mu = (V \cdot D) / \nu,$$

де Re – число Рейнольдса;

D – внутрішній діаметр трубопроводу.

Ламінарний режим руху спостерігається при $Re \leq 2000$, турбулентний режим руху встановлюється, як правило, при $Re \geq 4000$, хоча дане значення, залежно від умов руху потоку, може виявитися великим. Режим руху при $2000 \leq Re < 4000$ називається перехідним, і в даному діапазоні чисел Re можливі як ламінарний, так і турбулентний рух потоку. На практиці, як правило, при русі рідин, газів і пари в трубопроводах реалізується турбулентний режим руху. Ламінарний же режим присутній при малих швидкостях потоку або русі високов'язких рідин.

Епюра розподілу швидкостей за перерізом трубопроводу при ламінарному плинні має параболічний характер, тобто швидкість потоку в центрі трубопроводу вище, ніж у його стінок. При турбулентному ж режимі епюра швидкостей має більш згладжений характер. Закон розподілу швидкості за перерізом трубопроводу грає важливу роль при визначенні дійсної витрати середовища. Через те, що цей закон у більшості випадків невідомий, використовується визначення середньої швидкості потоку – швидкість, з якою повинні рухатися через поперечний переріз потоку всі частинки, щоб витрата середовища дорівнювала витраті, отриманій з дійсними неоднаковими для різних частинок швидкостями.

Залежно від принципу вимірювання усереднення швидкості потоку проводиться або конструктивним шляхом, або впливає з самого принципу вимірювання. Необхідно відзначити, що «якість» усереднення швидкості потоку безпосередньо впливає на точність роботи витратоміра.

При проходженні потоку середовища через місцеві опори (коліна, трійники, клапани і т. д.) порушується розподіл швидкості потоку за перерізом трубопроводу (потік дестабілізується). Тому, як правило, після місцевих опорів перед витратоміром необхідно витримати пряму ділянку для стабілізації потоку, в іншому випадку похибка вимірювань може збільшитися. Як правило, для сучасних витратомірів пряма ділянка «до» становить близько 5...20 DN. Більш детальні дані про величину прямих ділянок наводяться в технічному описі конкретного приладу.

Класифікація і конструктивні виконання витратомірів [17].

Технічні пристрої, призначені для вимірювання витрати рідин і газів, називають витратомірами. Витратоміри підрозділяються на об'ємні і масові залежно від того, яку витрату (об'ємну або масову) вони вимірюють.

Масові витратоміри відрізняються від об'ємних тим, що безпосередньо вимірюють масову витрату рідини, у той час, як

визначення масової витрати із застосуванням об'ємних витратомірів відбувається непрямим методом.

Витратоміри класифікуються в першу чергу за принципами вимірювання, тобто за допомогою яких фізичних явищ вимірювальна величина перетворюється на вихідний сигнал первинного перетворювача витратоміра. Найбільш перспективними для застосування в промисловості зараз є:

– витратоміри змінного перепаду тиску, засновані на залежності перепаду тиску, створюваного перетворювачем витрати, встановлені в трубопроводі, від витрати вимірюваного середовища. Витратоміри даного типу особливо поширені завдяки таким властивостям: простоті конструкції, можливості вимірювань у широкому діапазоні значень витрати і діаметрів трубопроводів (від 10 до 3 000 мм і більше); можливості застосування для різних за складом і агресивних рідин і газів при температурах до 400°C і тисках до 100 МПа. Недоліки: невеликий діапазон вимірювань через квадратичну залежність між витратою і перепадом тиску (3:1), значні втрати тиску на гідравлічному опорі і пов'язані з цим витрати енергії. Похибка від максимальної витрати становить 1,5...2,5 %;

– електромагнітні витратоміри, перетворюють швидкість електропровідної рідини, яка рухається в магнітному полі в ЕРС. Прилади дозволяють вимірювати витрати різних пульп, сиропів, агресивних і радіоактивних рідин при тисках до 2,5 МПа (іноді до 20 МПа), діаметр трубопроводів, як правило, 2...3 000 мм. Допустимі температури контрольованого середовища визначаються термостійкістю електроізоляційних покриттів і можуть досягати, як правило, 230°C. Переваги: відсутність втрат тиску, показання приладів не залежать від в'язкості і щільності рідин. Похибка становить 0,5...1,0 % від максимальної вимірюваної величини витрати;

– вихрові витратоміри, принцип дії яких заснований на залежності частоти відриву вихорів, що виникають при обтіканні потоком віхореутворювача – призми з гострими крайками, встановленої в трубопроводі, від витрати вимірюваного середовища. Діапазон частот утворення вихорів визначається розміром і конфігурацією тіла і діаметром трубопроводів (25...300 мм). Температура середовища зазвичай від -50 до 400°C, рідше від -270 до 450°C, а тиск до 4 МПа, іноді до 6,3 МПа. Діапазон вимірювань для рідин 12:1, для газів 40:1. Похибка становить 0,5...1 % від максимальної вимірюваної витрати при числі Рейнольдса $Re > 30\,000$, при $Re < 10\,000$ визначення витрати практично неможливе через відсутність вихорів;

– ультразвукові витратоміри, що використовують залежність різниці часу проходження ультразвукової хвилі у і проти напрямку потоку, або зсуву частоти відбитої ультразвукової хвилі (ефект Доплера) від швидкості вимірюваного середовища. Ці прилади не викликають втрат тиску, мають високу швидкодію і забезпечують вимір пульсуючих

витрат (частота 5...10 кГц) будь-яких, які містять газові включення рідин (в т. ч. в'язких і агресивних), а також газів і пари. Діаметр трубопроводів 10...3 000 мм і більше. Температура контролюваного середовища від -40 до 200° С (рідше від -250 до 250°С), тиск до 4 МПа. Діапазон вимірювань 100:1. Похибка 1,0...2,5 % від максимального вимірюваного витрати;

– витратоміри постійного перепаду тиску – ротаметри, що перетворюють швидкісний натиск, а відповідно, і витрату вимірювального середовища, на переміщення тіла обтікання (поплавка). Поплавки залежно від властивостей рідини або газу виготовляють з різних металів або пластмас. Прилади працездатні при температурах від -80 до 400 °С і тиску до 70 МПа, переважні для трубопроводів діаметром до 150 мм, мають рівномірні шкали, градуйовані в одиницях об'ємної витрати. Переваги: можливість вимірювань витрати рідини і газів від вельми малих значень (0,002 л / год по воді, 0,03 л / год по повітрю) до високих (150...200 і до 3 000 м³ /год); широкий діапазон вимірювань (10:1); малі втрати тиску (до 0,015 МПа). Похибка 0,5...2,5 % від максимальної витрати;

– масові коріолісові витратоміри, засновані на інерційному впливі на сенсор маси рідини, що рухається одночасно з кутовим прискоренням. Діапазони вимірювань витратомірів наведено на рисунку 2.34 [17].

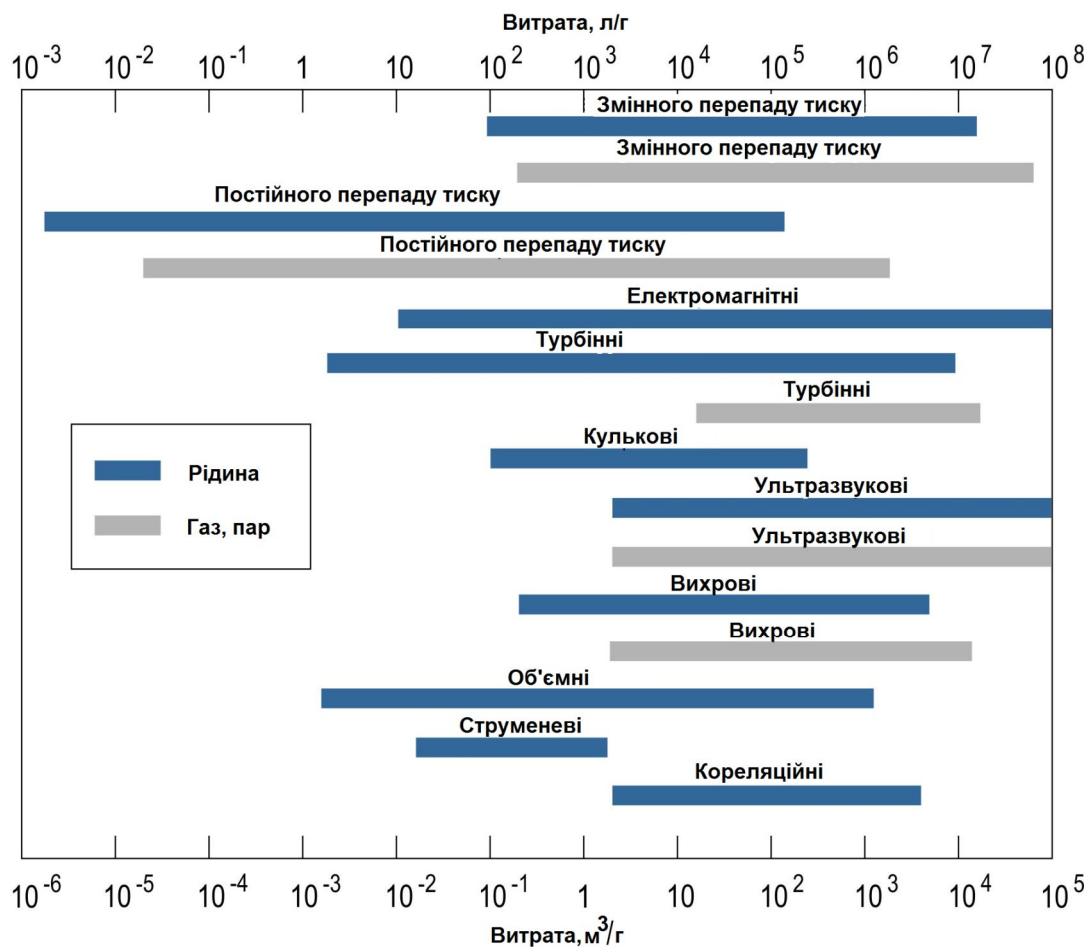


Рисунок 2.34 – Діапазони вимірювань витратомірів

Конструктивно в загальному випадку витратоміри складаються з первинного перетворювача – вимірювальної частини і вторинного перетворювача – електронного блоку. За конструкцією первинних перетворювачів їх можна поділити на такі види:

- повнопроточні, первинний перетворювач яких вбудовується безпосередньо в поперечний переріз трубопроводу;
- занурювальний, первинний перетворювач, яких вставляється в трубопровід через отвір. Дані прилади, залежно від конструкції, можливо монтувати / демонтувати без зняття тиску в трубопроводі;
- з накладними первинними перетворювачами, вмонтовуються безпосередньо на зовнішній поверхні трубопроводу. З наведених вище видів витратомірів з накладними первинними перетворювачами виготовляються тільки ультразвукові витратоміри.

Основним видом з'єднання повнопроточних витратомірів з трубопроводом є фланцеве. При цьому існує два його різновиди:

- традиційне фланцеве з'єднання, коли проточна частина витратоміра має фланці на вході і виході, які болтами або шпильками прикручуються до відповідних фланців трубопроводу (рис. 2.35);
- сендвічеве з'єднання, коли проточна частина витратоміра своїх фланців не має, а затискається між відповідними фланцями трубопроводу за допомогою довгих шпильок (рис. 2.36).

Обидва різновиди фланцевого з'єднання однаково надійні, проте, сендвічеве з'єднання вимагає більшої акуратності при виконанні зварювальних робіт і монтажі витратоміра. З іншого боку, вартість витратомірів з сендвічевим з'єднанням зазвичай значно нижча, ніж під фланцевим через меншу металоємність.

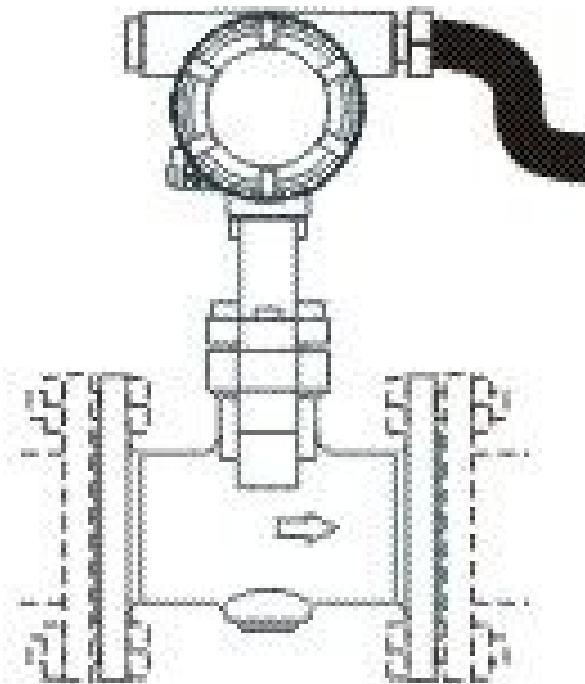
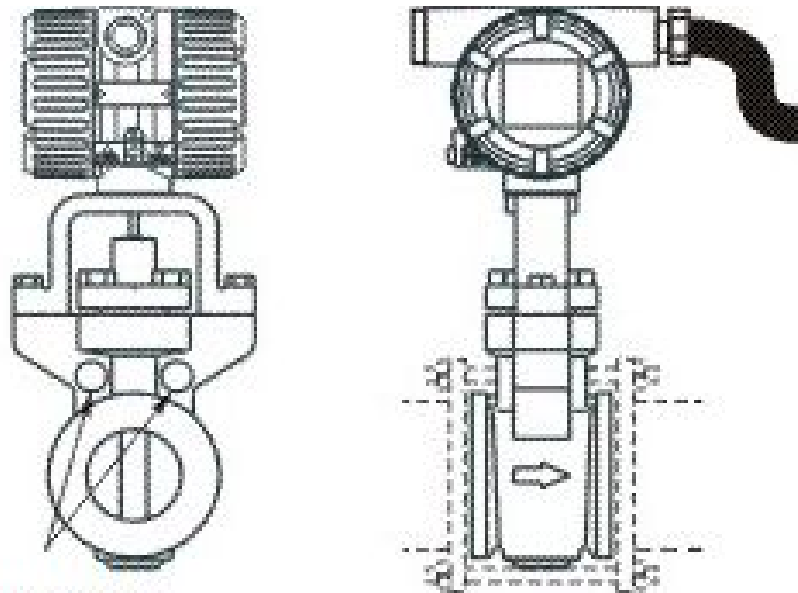


Рисунок 2.35 – Фланцеве з'єднання датчика витрати



Отвори для центрування

Рисунок 2.36 – Сендвічеве з'єднання датчика витрати

Повнопроточні витратоміри точніше всіх визначають середню швидкість потоку, тому що роблять виміри за всім перерізом потоку. Відповідно вони мають більш низьку похибку вимірювань, аж до $\pm 0,2 \dots 0,5 \%$ вимірюваної величини. Точність вимірювання витрати масовими коріолісовими витратомірами практично не залежить від профілю потоку, що дозволяє домогтися похибки вимірювання масової витрати порядку $\pm 0,1 \dots 0,2 \%$ вимірюваної величини.

Занурювальні (заглибний) витратоміри здійснюють вимірювання швидкості потоку в одній точці. Середня швидкість потоку визначається в них на підставі існуючих теоретичних і експериментальних залежностей розподілу швидкостей потоку за перерізом трубопроводу. Різні впливи призводять до спотворення профілю потоку, що не може не позначатися на результатах вимірювання цими приладами. На даний момент похибка вимірювань заглибних витратомірів становить близько $\pm 1 \dots 2 \%$ шкали і істотно залежить від правильності їх установки.

Ультразвукові витратоміри вимірюють швидкість потоку в одній або декількох площинах перерізу потоку залежно від кількості первинних перетворювачів, що визначає їх похибку вимірювань витрати, загальну $\pm 1 \dots 3 \%$ від вимірюваної величини. Похибка даних приладів також залежить від правильності і місця установки первинних перетворювачів. За компонуванням витратоміри можуть бути (рис. 2.37) [17]:

- інтегрального виконання – вторинний перетворювач монтується безпосередньо на первинному перетворювачі;
- рознесеного виконання – вторинний перетворювач монтується на деякій відстані від первинного і з'єднується з ним кабелем.



Рисунок 2.37 – Компонування витратомірів

У більшості випадків доцільніше застосовувати витратоміри в інтегральному виконанні. Однак існує низка факторів, за наявності яких використовують витратоміри в рознесеному виконанні:

- висока температура вимірюваного середовища;
- висока температура навколишнього середовища в місці встановлення витратоміра;
- висока вібрація трубопроводу;
- можливість затоплення місця встановлення витратоміра (для таких випадків первинні перетворювачі, як правило, мають водонепроникне виконання IP68);
- утруднений доступ до місця встановлення витратоміра.

На багатьох виробництвах існують вибухонебезпечні зони, у яких через витоки і випаровування горючих речовин знаходяться або можуть виникати вибухонебезпечні газові середовища. У таких зонах необхідно застосовувати витратоміри у вибухозахищеному виконанні.

Найбільшого поширення набули два види вибухозахисту витратомірів:

- іскробезпечна електрична ланка – даний метод має на увазі, що при виникненні іскри в електричних ланцюгах приладу її потужності буде недостатньо для займання вибухонебезпечної суміші;
- вибухонепроникна оболонка – даний метод має на увазі, що електричні ланцюги приладу поміщені в спеціальну особливо міцну оболонку. При цьому не виключається контакт електричних ланцюгів з вибухонебезпечною сумішшю і можливість її займання, але гарантується, що оболонка витримає надлишковий тиск, який виникне внаслідок вибуху, тобто спалах не вийде за межі вибухонепроникної оболонки.

Рекомендації щодо вибору витратоміра. Класифікація задач вимірювання витрати.

За функціональним призначенням завдання вимірювання витрати в промисловості умовно можна поділити на дві основні частини:

1) завдання обліку:

- комерційного;
- оперативного (технологічного);

2) завдання контролю і управління технологічними процесами:

- підтримання заданої витрати;
- змішування двох і більше середовищ у певній пропорції;
- процеси дозування / наповнення.

Завдання обліку висувають високі вимоги до похибки вимірювань витрати і стабільності роботи витратоміра, тому що його показання є підставою для розрахункових операцій між постачальником і споживачем. До завдань оперативного обліку відносяться такі застосування, як: міжцеховий, внутрішньоцеховий облік і т. д. Залежно від вимог, що висуваються до цих завдань, можливе використання витратомірів більш простої конструкції з більшою похибкою вимірювань, ніж при комерційному обліку.

Завдання контролю і управління технологічними процесами різноманітні, тому вибір типу витратоміра залежить від ступеня важливості і вимог, що висуваються до даного процесу.

За умовами вимірювання завдання визначення витрати можна класифікувати таким чином:

- вимірювання витрати в повністю заповнених (напірних) трубопроводах;

- вимірювання витрати в повному обсязі заповнених (безнапірних) трубопроводах, відкритих каналах і лотках.

Завдання вимірювання витрати в повністю заповнених трубопроводах є стандартними, і більшість витратомірів призначені саме для даного застосування.

Завдання другої групи є специфічними, тому що вимагають, у першу чергу, визначення рівня рідини. Причому, залежно від типу лотка або каналу, визначення витрати можливе через вимірний рівень на основі теоретично доведених і експериментально підтверджених залежностей витрати рідини від рівня. Однак існують застосування, де поряд з вимірюванням рівня рідини в каналі, лотку або неповністю заповненому трубопроводі необхідно визначення і швидкості потоку.

Вимірювання витрати рідини.

Для вимірювання витрати рідини в промислових умовах доцільно застосовувати електромагнітні, ультразвукові, масові коріолісові витратоміри і ротаметри.

Крім того, у деяких випадках оптимальним рішенням може бути застосування вихрових витратомірів і витратомірів змінного перепаду тиску.

При виборі приладів для вимірювання витрати електропровідних рідин і пульп у першу чергу рекомендується розглянути можливість застосування електромагнітних витратомірів.

Через свої конструктивні особливості, різноманітності матеріалів футеровування і електродів ці прилади мають широку сферу застосування і використовуються при вимірюванні витрати таких середовищ:

- загальнотехнічні (вода і ін.);
- висококорозійноактивні (кислоти, луки та ін.);
- абразивні і адгезійні (налипає);
- гідросуміші, пасти і суспензії з вмістом волокон або твердої фази понад 10 % (ваги.).

Висока точність вимірювання ($\pm 0,2...0,5$ % вимірюваної величини), малий час відгуку (до 0,1 с залежно від моделі), відсутність рухомих частин, висока надійність і тривалий термін служби, мінімальне обслуговування – усе це робить повнопроточні електромагнітні витратоміри оптимальним вирішенням завдань вимірювання витрати та обліку кількості електропровідних середовищ у трубопроводах малого і середнього діаметра.

Занурювальні електромагнітні витратоміри широко застосовуються в задачах оперативного контролю і технологічних процесах, де не потрібна висока точність вимірювань, а також при вимірюванні витрати в трубопроводах великих діаметрів ($> DN400$) і швидкості потоку у відкритих каналах і лотках.

Ультразвукові витратоміри в основному застосовуються для вимірювання витрати неелектропровідних середовищ (нафта і продукти її переробки, спирти, розчинники та ін.). Повнопроточні витратоміри застосовуються як у вузлах комерційного обліку, так і для управління технологічними процесами. Похибка вимірювання цих приладів, залежно від виконання, становить близько $\pm 0,5$ % вимірюваної величини. Залежно від принципу вимірювання середовище має бути чистою (часо-імпульсні витратоміри) або з вмістом твердих часток і / або нерозподіленого повітря (доплеровські витратоміри). Як приклад середовищ для другого випадку, можна вказати гідросуміші, суспензії, бурові розчини і ін.

Витратоміри з накладними датчиками прості в монтажі і, як правило, застосовуються для оперативного обліку і в невідповідальних технологічних процесах (похибка порядку $\pm 1...3$ % шкали) або в застосуваннях, де немає змоги установити повнопроточні витратоміри.

Масові коріолісові витратоміри, через свій принцип вимірювання, можуть вимірювати витрату практично будь-яких середовищ. Дані прилади відрізняються високою точністю вимірювань ($\pm 0,1...0,5$ % вимірюваної величини при визначенні масової витрати) і високою вартістю. Тому коріолісові витратоміри в першу чергу рекомендується застосовувати у вузлах комерційного обліку, процесах дозування /

наповнення або відповідальних технологічних процесах, де необхідно вимірювати масову витрату середовища або контролювати відразу кілька параметрів (масову витрату, щільність і температуру).

Крім того, масові витратоміри можна застосовувати як щільноміри при їх установці, наприклад в байпасній лінії. У всіх інших випадках, при більш простих застосуваннях, масові витратоміри можуть виявитися неконкурентоспроможними в порівнянні з об'ємними витратомірами, які можна застосовувати для вирішення цих самих завдань.

Як матеріали вимірювальних трубок у масових витратомірах використовуються, як правило, нержавіюча сталь, сплав Hastelloy, тому ці прилади не придатні для вимірювання висококорозійноактивних середовищ. Здатність вимірювати масову витрату безпосередньо дозволяє застосовувати масові витратоміри при вимірюванні витрати двофазних середовищ з можливістю визначення концентрації одного середовища в іншому. Існують і обмеження. Як матеріали вимірювальних трубок у масових витратомірах використовуються, як правило, нержавіюча сталь і сплав Hastelloy, тому дані прилади не підходять для вимірювання витрати висококорозійноактивних середовищ. Також на точність вимірювання витрати масовими витратомірами сильно впливає наявність нерозподіленого газу у вимірюваній середовищі.

Ротаметри, як правило, застосовуються для вимірювання малих витрат. Клас точності даних приладів, залежно від виконання, варіюється в межах 1,6...2,5, тому використання цих приладів рекомендується в задачах оперативного обліку і контролю технологічних процесів.

У якості матеріалу вимірювальної трубки використовуються нержавіюча сталь і фторопласт PTFE, що дозволяє застосовувати ротаметри для вимірювання витрати корозійноактивних середовищ. Металеві ротаметри також дозволяють вимірювати витрату високотемпературних середовищ. Необхідно відзначити, що вимірювання витрати адгезійних, абразивних середовищ і середовищ з механічними домішками за допомогою ротаметрів неможливе. Крім того, існує обмеження щодо монтажу даного типу витратомірів: їх установка можлива тільки на вертикальних трубопроводах з напрямком потоку вимірюваного середовища від низу до верху. Сучасні ротаметри, крім індикаторів, можуть оснащуватися мікропроцесорним електронним модулем з вихідним сигналом 4...20 мА, лічильником сумарного кількості і кінцевими перемикачами для роботи в режимі реле потоку.

Незважаючи на те, що вихрові витратоміри розроблялися спеціально для вимірювання витрати газу / пари, їх можна використовувати також для вимірювання витрати рідких середовищ. Однак через їх конструктивні характеристики, найбільш рекомендованими застосуваннями цих приладів у задачах оперативного обліку і контролю технологічних процесів, є:

– вимірювання витрати високотемпературних рідин з температурою до +450 °С;

- вимірювання витрати криогенних рідин з температурою до 200 °С;
- при високому, до 25 МПа, технологічному тиску в трубопроводі;
- вимірювання витрати в трубопроводах великого діаметра (заглибні вихрові витратоміри).

Рідина при цьому повинна бути чистою, однофазною, з в'язкістю не більше 7 сантіпауз (сП).

Вимірювання витрати газу і пари.

На відміну від рідин, які умовно можна вважати практично нестисливими середовищами, обсяг газових середовищ істотно залежить від температури і тиску. Тому при обліку кількості газів оперують обсягом і витратою, наведеними або до нормальних умов ($T = 0\text{ °C}$, $P = 101,325\text{ кПа абс.}$), або до стандартних умов ($T = +20\text{ °C}$, $P = 101,325\text{ кПа абс.}$).

Таким чином, для вимірювання кількості газу і пари поряд з об'ємним витратоміром необхідні датчики тиску і температури, або щільномір, або масовий витратомір, а також обчислювальний пристрій (коректор або інший вторинний прилад з відповідними математичними функціями). При регулюванні витрати газів у технологічних процесах найчастіше обмежуються вимірюванням однієї лише об'ємної витрати, але для точного регулювання також необхідно визначати витрату при нормальних умовах, особливо в разі значних коливань щільності газу.

Найбільш часто для вимірювання витрати газу і пари застосовується метод змінного перепаду тиску (ЗПД), причому в якості первинних перетворювачів витрати традиційно використовуються звужувальні пристрої, у першу чергу – стандартна діафрагма. Основними перевагами витратомірів ЗПД є безпролівна повірка, невисока вартість, широкий діапазон застосувань і великий досвід експлуатації. Проте, цей метод має і досить серйозні недоліки: квадратичну залежність перепаду тиску від витрати, великими втратами тиску на звужувальних пристроях і жорсткими вимогами до прямих ділянок трубопроводу. Унаслідок зараз як в Україні, так і в усьому світі є чітка тенденція щодо заміни витратомірних комплексів з пристроями звуження потоку на витратоміри з іншими принципами вимірювання. Для трубопроводів малих і середніх діаметрів зараз існує широкий вибір різних методів і засобів вимірювання витрати, але для трубопроводів діаметром 300...400 мм і вище альтернатива методу ЗПД практично відсутня. Позбутися від недоліків традиційних витратомірів ЗПД з пристроями звуження потоку, зберігши при цьому переваги самого методу, дозволяє використання в якості первинних перетворювачів витрати осереднюючі напірні трубки серії Torbar, а в якості засобів вимірювання перепаду тиску (дифманометрів) – цифрових датчиків різниці тиску серії EJA / EJX. При цьому втрати тиску зменшуються в десятки і сотні разів, прямі ділянки скорочуються в середньому в 1,5...2 рази, динамічний діапазон щодо витрати може досягати 10:1.

Останнім часом більш широке застосування для вимірювання витрати газу і пари знаходять вихрові витратоміри. У порівнянні з витратомірами змінного перепаду тиску вони мають більш широкий динамічний діапазон, меншими втратами тиску і прямими ділянками. Найбільш ефективні дані прилади в задачах обліку, насамперед комерційного, і у відповідальних завданнях регулювання витрати. Використання витратоміра з вбудованим датчиком температури або стандартного витратоміра спільно з датчиками температури і тиску дозволяє визначити масову витрату середовища, що особливо актуально при вимірюванні витрати пари.

Однак ці прилади через особливості свого принципу вимірювання не застосовуються для:

- вимірювання витрати багатофазних, адгезійних середовищ і середовищ з твердими включеннями;
- вимірювання витрати середовищ з малими швидкостями потоку.

При малих і середніх швидкостях потоку для вимірювання витрати технічних газів широко застосовуються ротаметри. Дані прилади розраховані на роботу як з високотемпературними, так і з агресивними середовищами і широко використовуються в різних виконаннях. Однак, як вказувалося вище, ротаметри монтуються тільки на вертикальних трубопроводах з напрямком потоку знизу вгору і не застосовуються при вимірюванні витрати адгезійних середовищ і середовищ з вмістом твердих включень, у тому числі абразивних.

При необхідності безпосереднього вимірювання масової витрати газу також застосовуються масові коріолісові витратоміри. Однак при застосуванні цих приладів вимірювання щільності і, відповідно, розрахунок об'ємної витрати неможливі, тому що щільність газів нижче мінімального значення діапазону вимірювань щільності цих витратомірів. З урахуванням високої вартості цих приладів їх застосування рекомендується в найбільш відповідальних процесах, де критичним параметром є масова витрата середовища.

Особливості застосування різних типів витратомірів наведені в таблиці 2.13.

2.4.6 Засоби контролю швидкості і переміщення

Розрізняють інкрементальний і абсолютний метод вимірювання. У інкрементальних датчиків після кожного відключення живлення необхідно реферування верстата, тому що положення часто не зберігається в СЧПУ і рухи верстата при відключенні живлення не реєструються (табл. 2.10) [17].

Абсолютні датчики, навпаки, реєструють рухи при відключенні живлення і видають життєву позицію при відновленні живлення, не вимагають реферування [18].

Таблиця 2.13 – Зведена таблиця застосування різних типів витратомірів

Тип витрати	Пара	Газ		Рідина							Вимірювання витрати в прямому і зворотному напрямках	Пульсуючі потоки	Високотемпературне середовище	Низькотемпературні середовище	Тиск середовища, що вимірюється		
		Чистий	З механічними домішками	Чиста	В'язкість		Корозійноактивна	Висококорозійно-активні	З механічними включеннями								
					високов'язка	низьков'язка			волокниста	абразивна							
															Високий тиск / розрядження	Низький тиск / розрядження	
Витратомір змінного перепаду тиску	О	О	Δ	О	Δ	О	Δ	Х	Δ	Х	Δ	Δ	О	О	О	О	
Електромагнітні витратоміри	Х	Х	Х	О	О	О	О	О	О	О	О	О	Δ	Х	Х	О	
Вихрові витратоміри	О	О	Δ	О	Х	О	Δ	Х	Х	Х	Х	Х	О	О	О	О	
Ультразвукові витратоміри	час-пролітні	Х	Δ	Δ	О	О	О	Δ	Х	Х	Х	О	О	Δ	Δ	О	О
	доплерівські	Х	Х	Х	Х	О	О	О	Δ	О	О	О	О	Δ	Δ	О	О
Ротаметри	О	О	Х	О	Х	О	О	О	Х	Х	Х	Δ	О	О	О	О	
Масові коріюлісові витратоміри	О	О	О	О	О	О	Δ	Х	О	Δ	О	О	О	О	О	О	
Механічні лічильники	Х	О	Х	О	Δ	О	Δ	Х	Х	Х	Δ	Х	Δ	Δ	О	О	

О – стандартне застосування;

Δ – застосування можливе залежно від умов вимірювання;

Х – не застосовується.

На рисунку 2.38 показані варіанти конструкцій ротаційних (кругових) датчиків і елементи для їх підключення.



Рисунок 2.38 – Датчики контролю кутової швидкості для електроприводів

У двигунах головного руху застосовуються різні типи датчиків:

1. Інкрементальні кругові датчики. До цього типу належать:
 - Датчики положення і швидкості шпинделя з імпульсними сигналами TTL і HTL (High Voltage).
 - Датчики кута повороту з аналоговими сигналами \sin / \cos рівня напруги 1 V_{pp} (Volt peak to peak: напруга від піку до піку).
 - Вимірювальна інкрементальна система датчика типу SIMAG H для реєстрації кута повороту порожнистих шпинделів (двигуни 1PH2, 1FE1), що складається з шестерні і голівки, що зчитує (замінює колишню версію SIZAG 2).
2. Датчики абсолютного значення (кодові датчики положення). До цього типу належать:
 - Датчики з синхронним послідовним інтерфейсом (SSI).
 - Датчики з кодером за даними (інтерфейс EnDat).
 - Датчики з інтерфейсом PROFIBUS-DP.
3. Датчики кутового положення типу резольвер (resolver).

Інкрементальні і кодові датчики є енкодером у тому сенсі, що вони створюють імпульси, що характеризують рух.

При цьому в інкрементальних датчиках містять синусний (A) і косінусний (B) канали, а також канал R для референтної мітки початку обороту, порядок чергування імпульсів дозволяє визначити напрямок обертання, підрахунок імпульсів у лічильниках – відстань, а визначення кількості імпульсів за одиницю часу – швидкість. Діаграми сигналів TTL і аналогових сигналів \sin / \cos рівня напруги 1 V_{pp} показані на рисунках 2.39 і 2.40, відповідно.

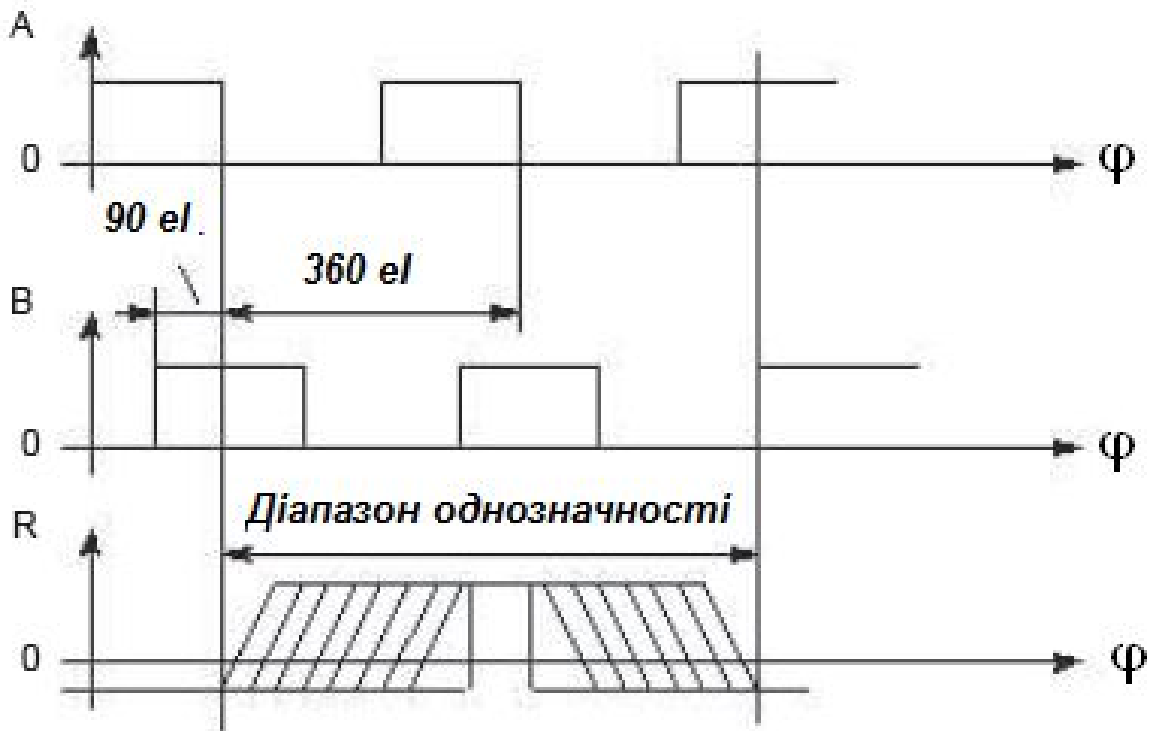


Рисунок 2.39 – Діаграми сигналів TTL інкрементального датчика

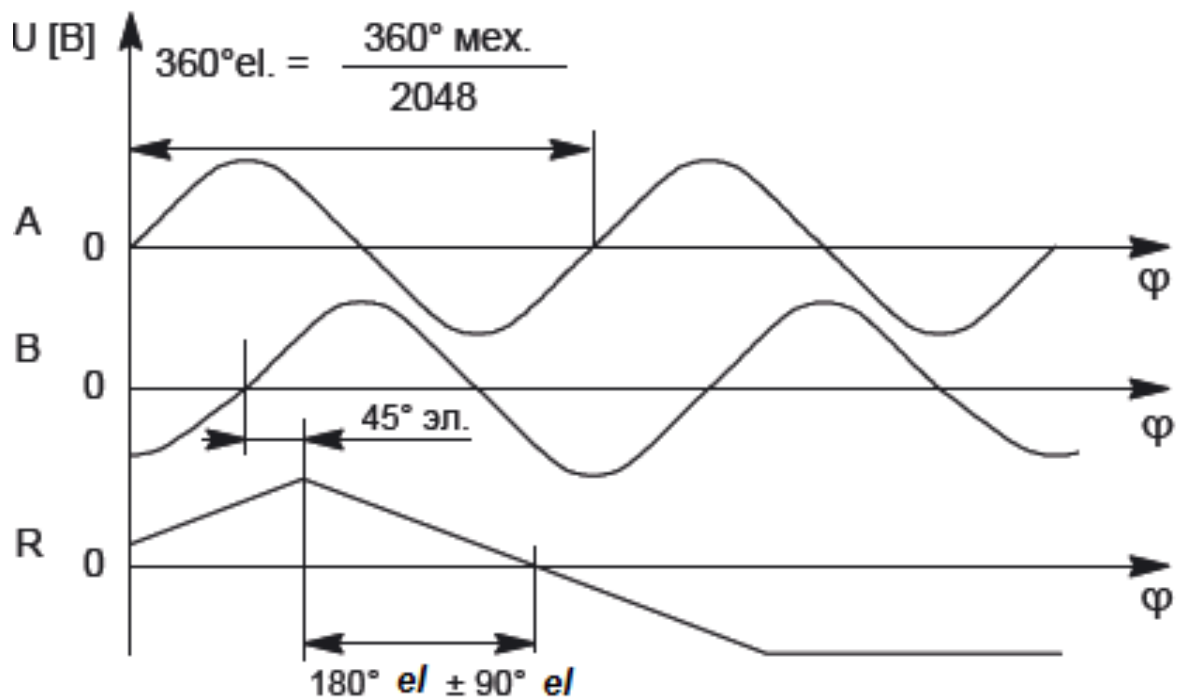


Рисунок 2.40 – Діаграми сигналів sin / cos рівня напруги 1 Vpp інкрементального датчика

У кодових датчиках інформація про стан створюється за допомогою N доріжок, кожна з яких відображається 1 біт інформації (рис. 2.41).

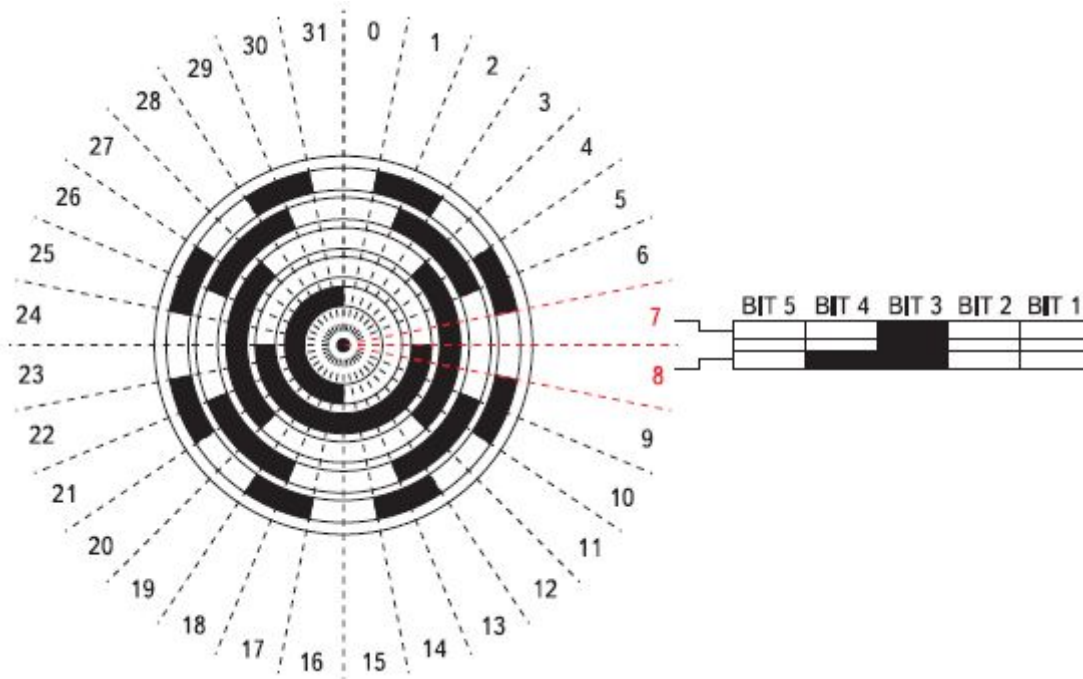


Рисунок 2.41 – Принцип створення коду положення в абсолютному датчику

Дозвіл N залежить від конструкції датчика. Однооборотні датчики послідовного інтерфейсу SSI мають розділення 12 біт (4096 дискрет на оборот), а багатооборотні – 24 біта (4096 дискрет x 4096 оборотів). Такий же дозвіл мають датчики з інтерфейсом PROFIBUS-DP. У датчиків з кодером інтерфейсу за даними (EnDat) дозвіл на 1 оборот у 2 рази більше – 8192 дискрет, кількість обертів – 4096 [19].

Слід врахувати, що інкрементальні і кодові датчики є оптикоелектричними приладами і живляться напругою постійного струму.

Резольвери на відміну від енкодерів являють собою електричну машину, яка живиться від спеціального джерела синусоїдальної напруги.

Резольвер – це синусно-косинусний обертальний трансформатор (СКОТ) з чотирма обмотками – двома на статорі і двома на роторі (обмотки: збудження, квадратурна, синусна і косинусна). Величина повороту вала двигуна визначається за зсувом синусної і косинусної складових напруги.

Резольвер генерує послідовність синусоїдальних і косинусоїдальних хвильових імпульсів аналогової напруги, які визначають абсолютне положення вала в межах одного обороту. Ці аналогові напруги зазвичай перетворюються на цифрові сигнали інтерфейсною платою резольвера.

Резольвери відрізняються від енкодерів не тільки технічним виконанням, а й монтажем. У енкодерів система електронного управління, як правило, вбудована в корпус, що мінімізує роботи з підключення, але обмежує діапазон робочих температур. Навпаки, при створенні системи управління з резольвера, джерело живлення резольвера і інтерфейсна плата знаходяться поза зоною робочих

температур. Це дозволяє експлуатувати резольвер в середовищі з підвищеною температурою (до 100 °С).

Практично всі сучасні приводи головного руху (змінного і постійного струму) допускають використання енкодерів у лінії зворотного зв'язку і лише для невеликої частини з них необхідно застосовувати резольвер.

У приводах подачі з прямолінійно рухальними робочими органами для реєстрації положення застосовуються, головним чином, лінійні вимірювальні системи.

На верстатах з ЧПУ застосовуються закриті (захищені від забруднень) вимірювальні системи. Закриті датчики лінійних переміщень поставляються у двох виконаннях:

- з великим профілем корпусу (вимірювана довжина до 30 м);
- з дрібним профілем корпусу (вимірювана довжина до 1 240 мм).

У корпусі закріплена склокерамічна шкала, на якій нанесені тонким шаром хрому поділки (технологія DIADUR), причому точність поділів лежить у межах мікрометрів.

На рисунку 2.42 показано пристрій датчика лінійних переміщень.

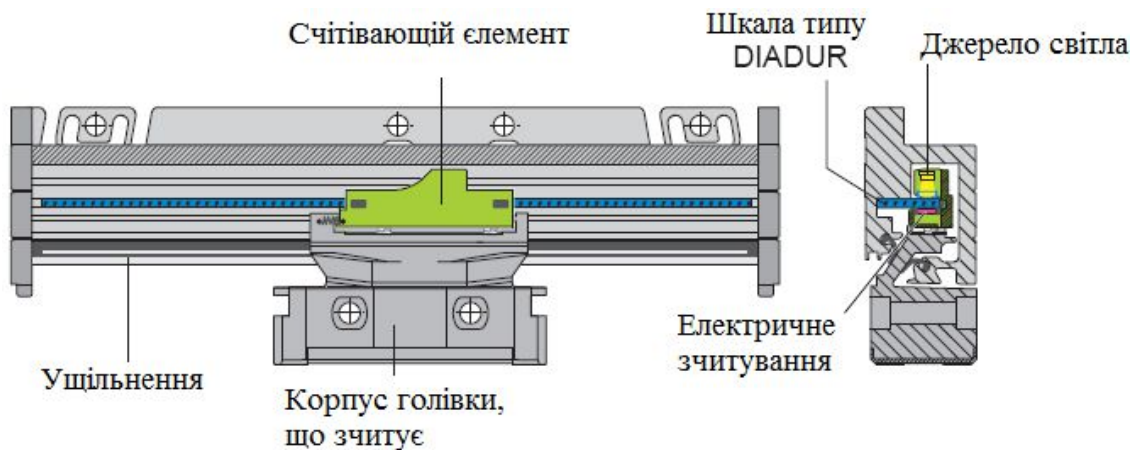


Рисунок 2.42 – Пристрій датчика лінійних переміщень фірми HEIDENHEIN

Приклад. Для контролю кутових швидкостей обертання вала приводних електродвигунів, визначимо необхідну роздільну здатність датчика. Розрахунок необхідної роздільної здатності проведемо стосовно найбільш швидкообертального елемента механізму, а саме вала електродвигуна.

Розрахуємо період дискретності:

$$T_0 \leq \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon_n}{a_{\text{дон}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}{0,6}} = 18 \text{ мс}; \quad (2.131)$$

де ε_n – помилка за швидкістю;

$a_{\text{дон}}$ – допустиме прискорення двигуна.

Датчик визначає швидкість двигуна, яка задається перетворювачем частоти. Час комутації тиристорів становить 3,3 мс. Для стійкості системи період дискретності повинен бути $T_0 = 4$ мс.

Визначимо діапазон регулювання швидкості:

$$D_C = \frac{\omega_{\text{дв}} \cdot T_0}{d} = \frac{10,6 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{0,001} = 100; \quad (2.132)$$

де d – ціна дискрети. $d = 0,001$,

ω – кутова швидкість привідного електродвигуна, с^{-1} .

Максимальна роздільна здатність датчика:

$$N_{DC} \geq \frac{2\pi \cdot D_C}{T_0 \cdot \omega_{\text{дв}}} = \frac{2\pi \cdot 100}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10,6} \approx 6200 \frac{\text{дискрет}}{\text{об}}. \quad (2.133)$$

Визначимо кількість розрядів для завдання коду швидкості:

$$n_C = \log_2 N_{DC} = \log_2 6200 = 13 \text{ розрядів}. \quad (2.134)$$

Приймає абсолютний датчик 6FX2001-5HS12 з синхронним інтерфейсом SSI і необхідною роздільною здатністю 13 розрядів. Застосування абсолютного датчика викликано тим, що він має необхідну роздільну здатність, коли у інкрементних датчиків найбільша роздільна здатність $5000 \frac{\text{дискрет}}{\text{об}}$. Технічні характеристики абсолютного датчика

Siemens 6FX2001-5HS12 [19]:

- робоча напруга – 10...30 В DC;
- швидкість передачі – 100 кГц...1 МГц;
- довжина кабелю при частоті проходження імпульсів 300 кГц – 400 м.

2.4.7 Вимірювання ваги. Дозування

Зважування і дозування є ключовими елементами технологічних процесів. Також для успішної реалізації технології потрібно комплексна система автоматизації. З системою вимірювання ваги / дозування вбудованої в SIMATIC. Siemens пропонує комплексне рішення в ваговимірювальних технологіях для відстеження матеріальних потоків і передачі даних на операторські станції для планування необхідної маси матеріалів, документації процесу виробництва і реалізації комплексної автоматизації. Завдяки вбудовування ваговимірювальних систем у системи автоматизації всі вимоги можуть бути реалізовані.

Для вирішення завдань вимірювання ваги / дозування з високими вимогами щодо точності і швидкості є функціональний модуль SIWAREX (FM) SIMATIC S7-300 і може безпосередньо встановлюватися на задню шину SIMATIC S7-300. Поряд з великими функціями зважування SIWAREX управляє дозуванням незалежно від часу циклу системи автоматизації. Такі функції як грубе / точне дозування, автоматичне додаткове дозування з / без режиму порціонування, а також автоматична оптимізація моменту відключення потоку сипучої суміші для забезпечення оптимальної точності дозування [19].

Два послідовних інтерфейси (TTY і RS 232) SIWAREX служать для підключення принтера і дистанційного індикатора або PC для параметрування функціонального модуля. У якості альтернативи ці інтерфейси можуть використовуватися також і для послідовного з'єднання (3964R або SIWAREX-протокол) з головним обчислювальним пристроєм (наприклад, PC). Поряд з обома послідовними інтерфейсами на модулі є 4 цифрових виходи, 3 цифрових входи і один аналоговий вихід.

Функції входів і виходів визначаються залежно від цілей використання.

Загальний вигляд SIWAREX M з клемними підключеннями наведено на рисунку 2.43 [19].

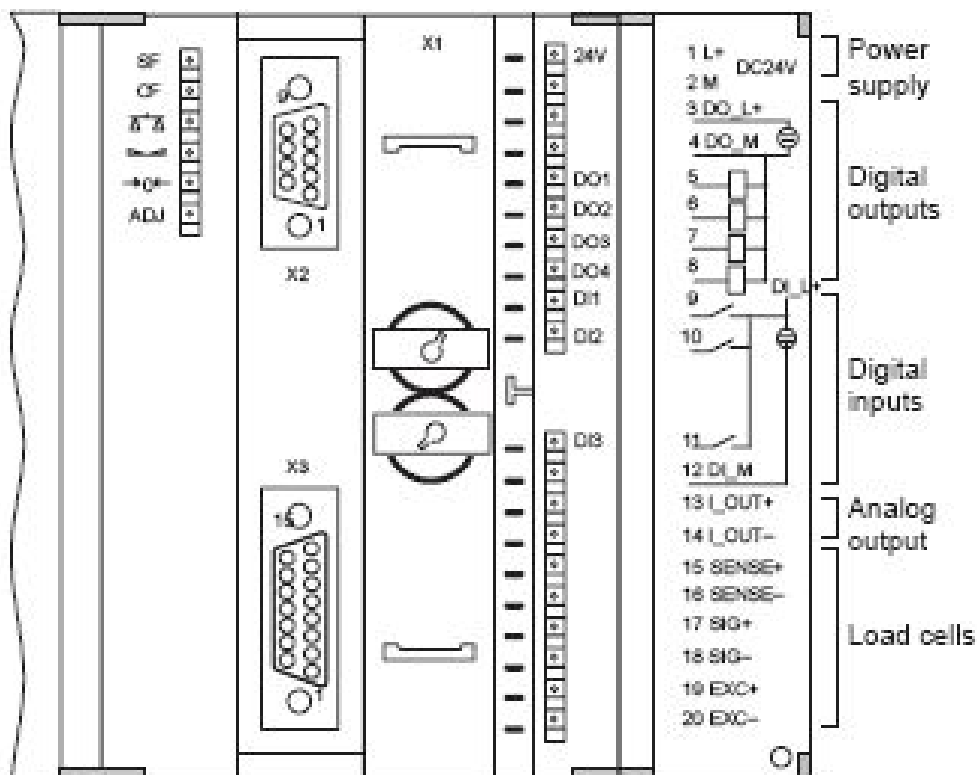


Рисунок 2.43 – Загальний вигляд SIWAREX M з клемними підключеннями

Основне завдання SIWAREX M – вимірювання напруги на виході датчика і перетворення цієї величини на значення ваги. Для вимірювання ваги використовується 2 точки інтерполяції. При необхідності сигнал може бути попередньо оброблений за допомогою цифрового фільтра. Основні сфери застосування SIWAREX M:

- вимірювання ваги в комерційних вагах;
- платформні і автомобільні ваги;
- однокомпонентні ваги;
- багатоконпонентні ваги;
- ваги-дозатори;
- ваги у вибухонебезпечних зонах (з Ex(i) бар'єром);
- вимірювальний перетворювач ваги на інші типи ваг.

На додаток до функцій вимірювальні ваги SIWAREX M контролюють дозування незалежно від циклу системи управління. Функції такі, як точна і груба дозування, автоматичне змішування з або без функції «дотягування» також з функцією оптимізації точного дозування дозволяють оптимально вирішити будь-яке завдання дозування.

Датчики ваги або зусилля, що підключаються до SIWAREX M, повинні мати такі характеристики:

- напруга живлення 10,3...24 V;
- спосіб вимірювання на основі резистивного моста;
- живлення датчиків гальванічно роздільне від 24 В-живлення модуля.

При підключенні тензометричних датчиків рекомендується застосовувати 6-дротове підключення для з'єднання коробки. Якщо застосовується 6-дротове підключення, то усувається термпомилка проводів.

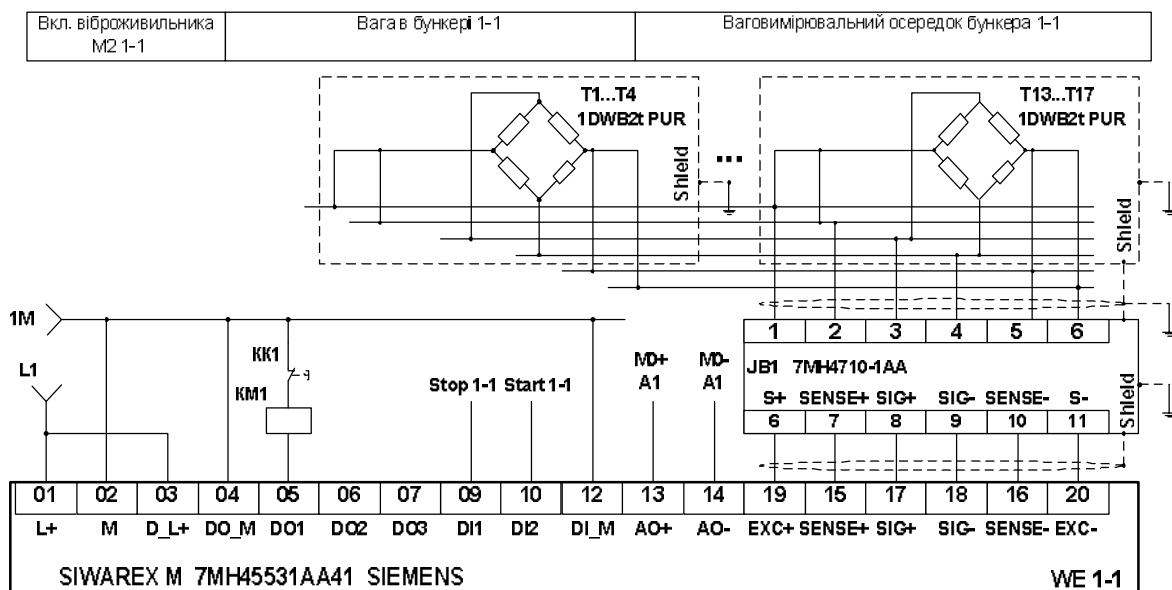


Рисунок 2.44 – Схема зовнішніх підключень ваговимірювальних датчиків

На рисунку 2.44 застосовано 6-дротове підключення, що дозволяє усунути термомилку проводів і підвищити точність вимірювання ваги.

Приклад. Датчик визначає вагу в бункері, час комутації електронних елементів якого становить 3,3 мс. Для стійкості системи період дискретності повинен бути $T_0 = 4$ мс.

Визначимо діапазон регулювання:

$$D_c = \frac{M \cdot T_0}{d} = \frac{147 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{0,001} = 586; \quad (2.135)$$

де d – ціна дискрети. $d = 0,001$,

M – максимальна вага, c^{-1} .

Максимальна роздільна здатність датчика:

$$N_{ДС} \geq \frac{2\pi \cdot D_c}{T_0 \cdot \omega_{дв}} = \frac{2\pi \cdot 586}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 147} \approx 6200 \frac{\text{дискрет}}{\text{вага}}. \quad (2.136)$$

Визначимо кількість розрядів для завдання коду:

$$n_c = \log_2 N_{ДС} = \log_2 6200 = 13 \text{ розрядів}. \quad (2.137)$$

3 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

У третьому розділі проводиться розробка структурної електричної і електричних схем зовнішніх підключень технічних засобів автоматизації до модулів станції центрального програмованого логічного контролера (ПЛК) для реалізації завдань управління.

3.1 Розробка структурної електричної схеми АСУ

Структурна схема розробляється на початкових стадіях проектування і передуює розробці схем інших типів. Структурна схема визначає основні функціональні частини виробу, їх призначення та взаємозв'язки між ними. Схема відображає принцип дії виробу в найзагальнішому вигляді.

Дійсне розташування складових частин на структурній схемі не враховують і спосіб зв'язку не розкривають. Побудова схеми має давати наочне уявлення про склад АСУ, послідовності взаємодії її функціональних частин. Функціональні частини на схемі зображують у вигляді прямокутників або умовних графічних позначень. При зображенні функціональних частин у вигляді прямокутників їх найменування, типи і позначення вписують всередину прямокутників.

Напрямок ходу процесу, що відбувається в АСУ, позначають стрілками, що з'єднують функціональні частини. На схемах простих АСУ ТП функціональні частини розташовують у вигляді ланцюжка відповідно до ходу робочого процесу в напрямку зліва направо. Схеми, що містять кілька основних робочих каналів, рекомендується викреслювати у вигляді паралельних горизонтальних рядків.

Нижче на кількох прикладах показані правила і особливості побудови структурних схем пристроїв і систем [1].

На рисунку 3.1 наведена структурна схема автоматичної системи регулювання теплопостачання і гарячого водопостачання (ГВП) будівлі.

Система містить такі функціональні частини:

- 1) вузол обліку теплової енергії, за допомогою якого визначається кількість спожитої теплової енергії та витрати гарячої води,
- 2) система регулювання опалення призначена для підтримки заданої температури і тиску теплоносія (води) у контурі опалення, заданої температури повітря в приміщеннях будівлі;
- 3) система регулювання ГВП призначена для підтримки необхідної температури і тиску гарячої води,
- 4) система електропостачання всіх блоків автоматичної системи регулювання,
- 5) персональний комп'ютер.

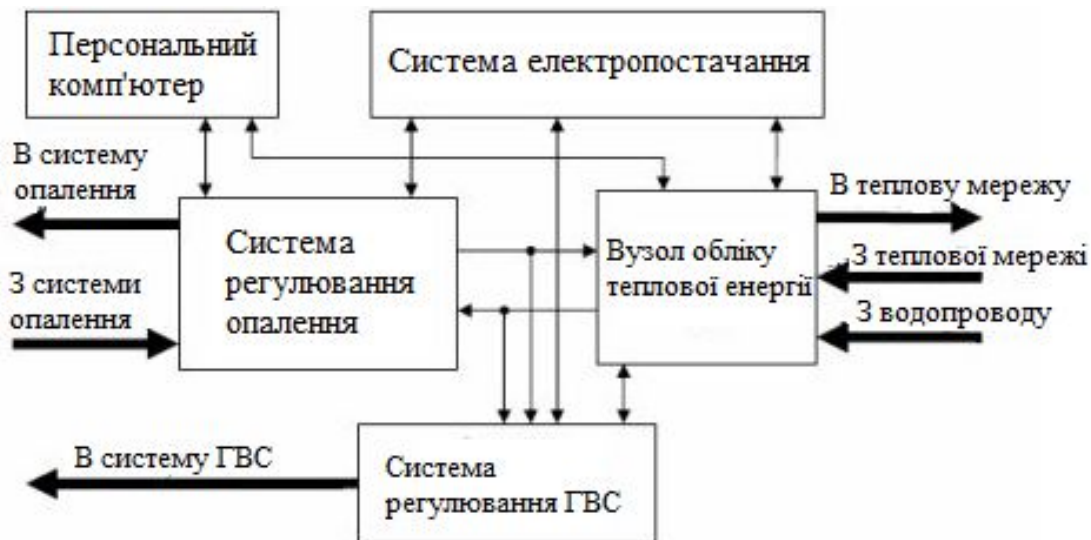


Рисунок 3.1 – Приклад оформлення структурної електричної схеми АСУ теплостачання будівлі

Особливістю цієї схеми є те, що на ній показані не тільки зв'язки між окремими блоками системи регулювання, а й напрямки потоків теплоносія та гарячої води.

Для складних АСУ ТП, що складаються з декількох функціональних частин, для кожної частини також можуть бути розроблені їх структурні схеми.

На структурній схемі допускається вказувати характеристики функціональних частин, пояснюючі написи і діаграми, що визначають послідовність процесів в часі, а також параметри в характерних точках (величини струмів, напруг, форми і величини імпульсів і ін.). Дані поміщаються поруч з графічним позначенням або на вільному полі схеми (рис. 3.2).

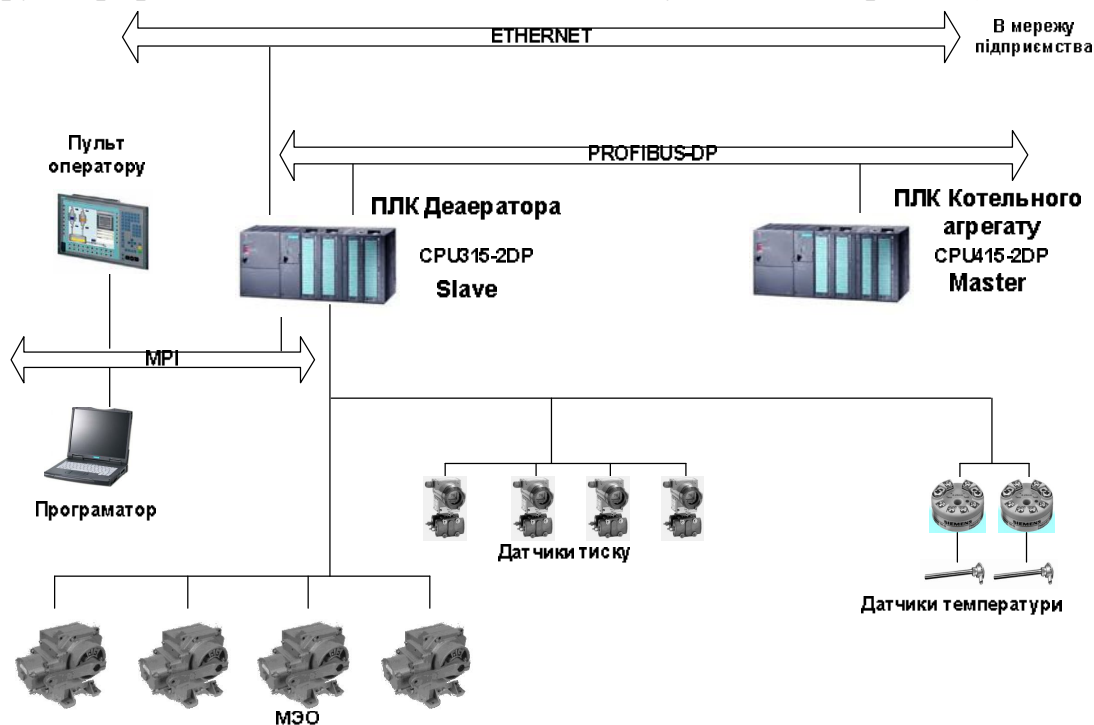


Рисунок 3.2 – Приклад оформлення структурної електричної схеми АСУ деаераторної установки

Після закінчення проектування структурна схема АСУ включається до експлуатаційної документації.

Після розроблення структурної та функціональної схем автоматизованої системи управління проводиться:

- аналіз інформаційних і керуючих сигналів, необхідних для реалізації технологічного процесу в автоматизованому режимі;
- вибір керуючого пристрою (програмованого логічного контролера) і його периферії;
- об'єднання систем управління розподілених технологічних ділянок промислової мережі в єдиний комплекс з метою централізованого управління.

3.2 Вибір технічних засобів автоматизації на базі програмованих логічних контролерів

Предметом проектування є цифрова система управління локального рівня, яка містить у собі такі компоненти [18]:

- засоби управління і організація інтерфейсу;
- інформаційні пристрої;
- виконавчі пристрої;
- перетворюючі пристрої;
- апаратура з'єднання;
- щити і пульти управління для розміщення засобів управління і контролю;
- алгоритмічне і програмне забезпечення.

Розробка проектної документації проводиться в такій послідовності.

На першому етапі об'єкт управління декомпозується на окремі вузли і механізми так, щоб можна було визначити:

- де розташовані зони концентрації інформаційних, перетворювальних і виконавчих пристроїв і які відстані між цими зонами;
- де повинні бути встановлені шафи і пульти управління;
- які засоби необхідно застосувати для з'єднання територіально розподілених пристроїв;
- яка інформація повинна відображатися на панелі оператора.

З цією метою корисно скласти план розміщення апаратних засобів системи.

Зараз для контролю і управління широко застосовуються багатофункціональні агрегатовані системи. Практично всі сучасні системи управління технологічного рівня забезпечують можливість інтеграції в системи верхніх рівнів управління за допомогою їх підключення до промислової мережі Ethernet.

При виборі апаратури управління важливо врахувати, яку інформаційну, апаратну і програмну підтримку забезпечує виробник цієї апаратури. Під час проектування рекомендується віддавати перевагу технічним засобам автоматизації (ТЗА) фірми Siemens AG на базі технології Simatic. При виборі ТЗА інших виробників слід приділяти увагу:

- номенклатури пропонованих засобів автоматизації;
- спектру послуг, що надаються у сфері автоматизації проектного об'єкта;
- можливості розподілу в просторі апаратної частини за допомогою промислових польових шин;
- можливості інтеграції в системи верхніх рівнів управління за допомогою їх підключення до промислової мережі Industrial Ethernet;

Після вибору системи автоматизації із застосуванням програмованого логічного контролера аналізуються інформаційні і керуючі сигнали технологічного процесу і засоби їх вимірювання. Аналізувати доцільно в табличній формі (табл. 3.1).

Приклад заповнення таблиці відповідно до наведеної вище функціональної схеми автоматизації деаераторної установки (див. рис. 3.2) наведено в таблиці 3.2.

За складеною таблицею аналізується тип інформаційних та керуючих сигналів. Сигнали групуються за типами, і підраховується кількість однотипних сигналів. За результатами підрахунків визначається необхідна кількість сигнальних модулів проектованої АСУ ТП.

3.3 Конфігурація та параметрування апаратури центральних станцій у середовищі STEP 7

Порядок конфігурації і параметрування стійок.

Під *конфігуруванням* розуміється розміщення інтерфейсних, функціональних і комунікаційних модулів, а також стійок у вікні станції. Стійки подаються за допомогою конфігураційної таблиці, яка, як і реальна стійка, допускає певну кількість встановлюваних модулів [18, 20].

Параметрування.

Під параметруванням розуміють установку властивостей модулів. Наприклад, для CPU встановлюється час контролю циклу, для шини PROFIBUS встановлюються параметри шини, провідного і ведених модулів. Параметризація дозволяє легко замінювати модулі тому, що встановлені параметри автоматично завантажуються в новий модуль у процесі запуску.

Таблиця 3.1 – Форма таблиці аналізування інформаційних і керуючих сигналів АСУ

Найменування параметра	Позначення на схемі	Одиниці виміру	Тип сигналу				Межі вимірювання датчика (виконавчого мех.)	Межі зміни параметра	Назва вимірювального, пристрою (виконавчого мех.)	Діапазон вх/вих сигналу
			DI	D O	A I	A O				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблиця 3.2 – Контрольовані і керуючі параметри АСУ деаераторної установки

Найменування параметра	Позначення на схемі	Одиниці виміру	Тип сигналу				Межі вимірювання датчика (виконавчого мех.)	Межі зміни параметра	Назва вимірювального, пристрою (виконавчий мех.)	Діапазон вх/вих сигналу
			DI	D O	A I	A O				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Регулювання тиску води в деаераторі	PE1 PT	МПа	-	-	+	-	4...20 мА	0,6	Метран-150NG-2	0...1
Клапан, регулюючий (відкрито) EMG M1	HS NS	%	-	-	+	-	-//-	0...100	МЭО	0...100
Клапан, регулюючий (відчинено) EMG M1	HS NS	%	-	+	-	-	24 В	-	МЭО	-
Клапан, регулюючий (зачинено) EMG M1	HS NS	%	-	+	-	-	-//-	-	МЭО	-
Клапан, регулюючий (відчинено) EMG M1	HS NS	%	+	-	-	-	-//-	-	МЭО	-
Клапан, регулюючий (зачинено) EMG M1	HS NS	%	+	-	-	-	-//-	-	МЭО	-
Температура води на вході до деаератора	TE1 TT	°С	-	-	+	-	4...20 мА	0...60	ТСПУ Метран-276Ex	0...100
Регулювання тиску пари в деаераторі	PE4 PT	МПа	-	-	+	-	-//-	0,12	Метран-150NG-2	0...1
Клапан, регулюючий (відкрито) EMG M2	HS NS	%	-	-	+	-	-//-	0...100	МЭО	0...100

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Клапан, регулюючий (відчинено) EMG M2	HS NS	%	-	+	-	-	24 В	-	МЭО	-
Клапан, регулюючий (зачинено) EMG M2	HS NS	%	-	+	-	-	-//-	-	МЭО	-
Клапан, регулюючий (відчинено) EMG M2	HS NS	%	+	-	-	-	-//-	-	МЭО	-
Клапан, регулюючий (зачинено) EMG M2	HS NS	%	+	-	-	-	-//-	-	МЭО	-
Рівень води в деаераторі	LE LT	-	-	-	+	-	4...20 мА	170	Rosemount 3100	-
Клапан, регулюючий (відкрито) EMG M4	HS NS	%	-	-	+	-	-//-	0...100	МЭО	0...100
Клапан, регулюючий (відчинено) EMG M4	HS NS	-	-	+	-	-	24 В	-	МЭО	-
Клапан, регулюючий (зачинено) EMG M4	HS NS	-	-	+	-	-	-//-	-	МЭО	-
Клапан, регулюючий (відчинено) EMG M4	HS NS	-	+	-	-	-	-//-	-	МЭО	-
Клапан, регулюючий (зачинено) EMG M4	HS NS	-	+	-	-	-	-//-	-	МЭО	-
Тиск води на виході деаератора	PE3 PT	МПа	-	-	+	-	4...20 мА	0,1...0,15	Метран- 150NG-2	0...1
Температура води на виході деаератора	TE2 TT	°С	-	-	+	-	-//-	0...100	ТСПУ Метран-276 Ex	0...100
Клапан, регулюючий (відкрито) EMG M3	HS NS	%	-	-	+	-	-//-	0...100	МЭО	0...100
Витрата води на вході деаератора	FE FT	м ³ /ч	-	-	+	-	-//-	2...7	Rosemount 8800D-57-S-A1-E-D-A1	0,8...30
Клапан, регулюючий (відчинено) EMG M3	HS NS	-	-	+	-	-	24 В	-	МЭО	-

Продовження таблиці 3.2

<i>1</i>				<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Клапан, (зачинено)	регулюючий	EMG	M3	HS NS	-	-	+	-	-	-//-	-	МЭО	-
Клапан, (відчинено)	регулюючий	EMG	M3	HS NS	-	+	-	-	-	-//-	-	МЭО	-
Клапан, (зачинено)	регулюючий	EMG	M3	HS NS	-	+	-	-	-	-//-	-	МЭО	-

Властивості програмованих контролерів і модулів S7 встановлюються за замовчуванням. Однак конфігурація обов'язково виконується в таких випадках:

- якщо необхідно змінити параметри модуля, встановлені за замовчуванням, наприклад: дозволити для модуля переривання від процесу;
- якщо потрібно проектувати комунікаційні з'єднання;
- якщо використовується шина PROFIBUS-DP, на яку встановлюються станції з децентралізованою периферією;
- якщо створюються станції S7-300 / 400 з декількома CPU або стійками розширення;
- якщо проектуються системи підвищеної надійності (H).

Основний порядок конфігурації апаратури.

Для конфігурації системи автоматизації в додатку Hardware Configuration використовуються два вікна:

- вікно станції SIMATIC Station, у якому розміщуються стійки;
- вікно Hardware Catalog (Каталог апаратури), з якого вибираються необхідні апаратні компоненти (стійки, сигнальні та інтерфейсні модулі).

На рисунку 3.3 центральна стійка позначена (0) UR, де 0 – порядковий номер стійки, UR-тип стійки (Universal Rack – універсальна стійка).

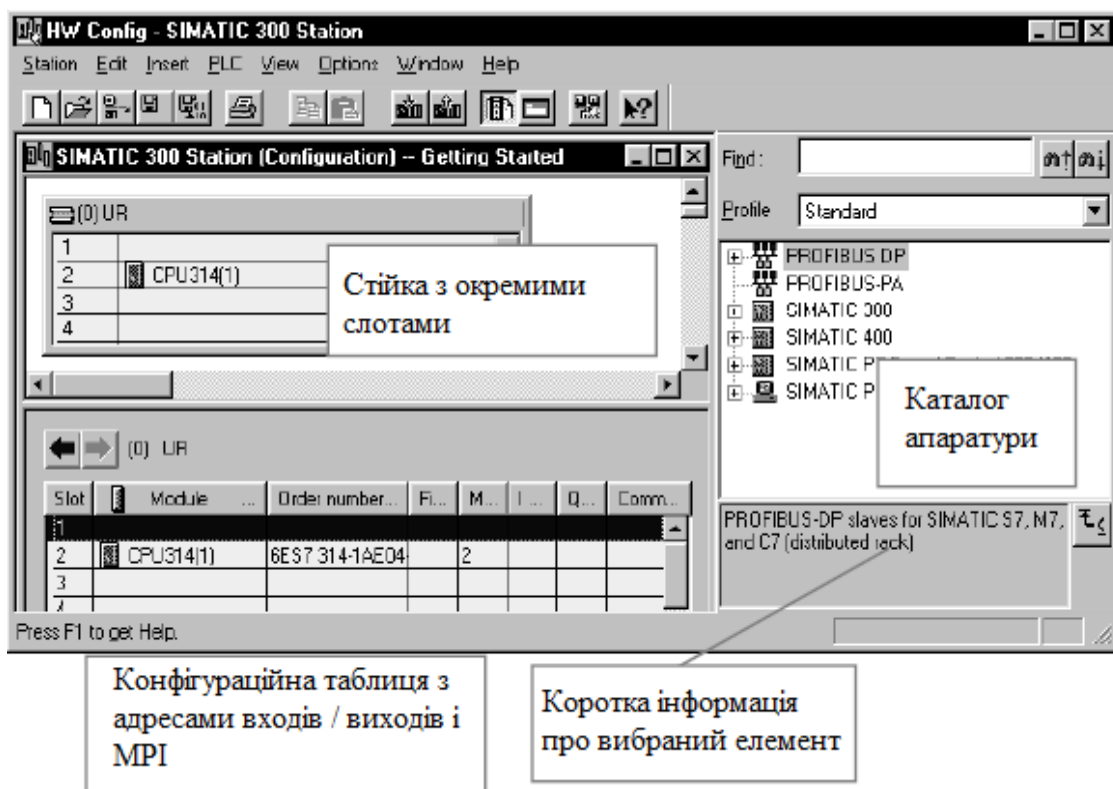


Рисунок 3.3 – Розташування вікон інтерфейсу в середовищі конфігурації HW Config

Процес конфігурації полягає в тому, що необхідні компоненти вибираються у вікні Hardware Catalog і переносяться у вікно станції.

Центральна станція складається з головної стійки і стійок розширення. Компонування станції відображається в конфігураційній таблиці стійки, розташованій під вікном станції (рис. 3.4). У таблиці відсутні номери слотів, найменування модулів, їх адреси та замовні номери.

Слот	Модуль	Номер замовлення	Адрес MPI	Коментар			
Slot	Module	Order number	Firmware	MPI address	I addr...	Q addr...	Comment
1	PS 307 10A	6ES7 307-1KA00-0AA0					
2	CPU 314	6ES7 314-1AE01-0AB0		2			
3							
4	DI8xAC120/230V	6ES7 321-1FF10-0AA0			0		
5	AI8x12Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0			272...287		
6	AI8x16Bit	6ES7 331-7NF10-0AB0			288...303		
7	AI8xTC/4xRTD, Ex	6ES7 331-7SF00-0AB0			304...319		
8	AO2x12Bit	6ES7 332-5HB00-0AB0				320...323	
9	AO2x12Bit	6ES7 332-5HB81-0AB0				336...339	
10							
11							

Рисунок 3.4 – Вид таблиці конфігурації стійки

Основний порядок параметрування.

Після того, як компонент розміщений у вікні станції, можна перейти до режиму діалогу для зміни встановлених за замовчуванням параметрів або адрес (режим параметрування).

Для переходу до вікна установки властивостей компонента можна застосувати один із способів:

- двічі клацнути на компоненті лівою кнопкою миші;
- вибрати команду меню Edit ⇒ Object Properties (Редагування ⇒ Властивості об'єкта);
- за допомогою правої кнопки миші вибрати з контекстного меню команду Object Properties (Властивості об'єкта).

Для настроювання поведінки системи особливе значення мають властивості CPU. На закладках CPU можна встановити характеристики запуску, області локальних даних і пріоритети для переривань, області пам'яті, характеристики реманентності (збереження даних у пам'яті після вимкнення живлення), тактові меркери, рівень захисту і пароль.

У закладці General (Загальне) CPU можна параметрувати інтерфейси, наприклад: MPI або вбудований інтерфейс PROFIBUS-DP.

Правила конфігурації і параметрування [18, 20].

STEP 7 контролює правильність конфігурації станції. При цьому автоматично перевіряються адресні області, так що одна і та сама адреса не може бути зайнята двічі.

Порядок розташування модулів у слотах показаний на рисунку 3.5.

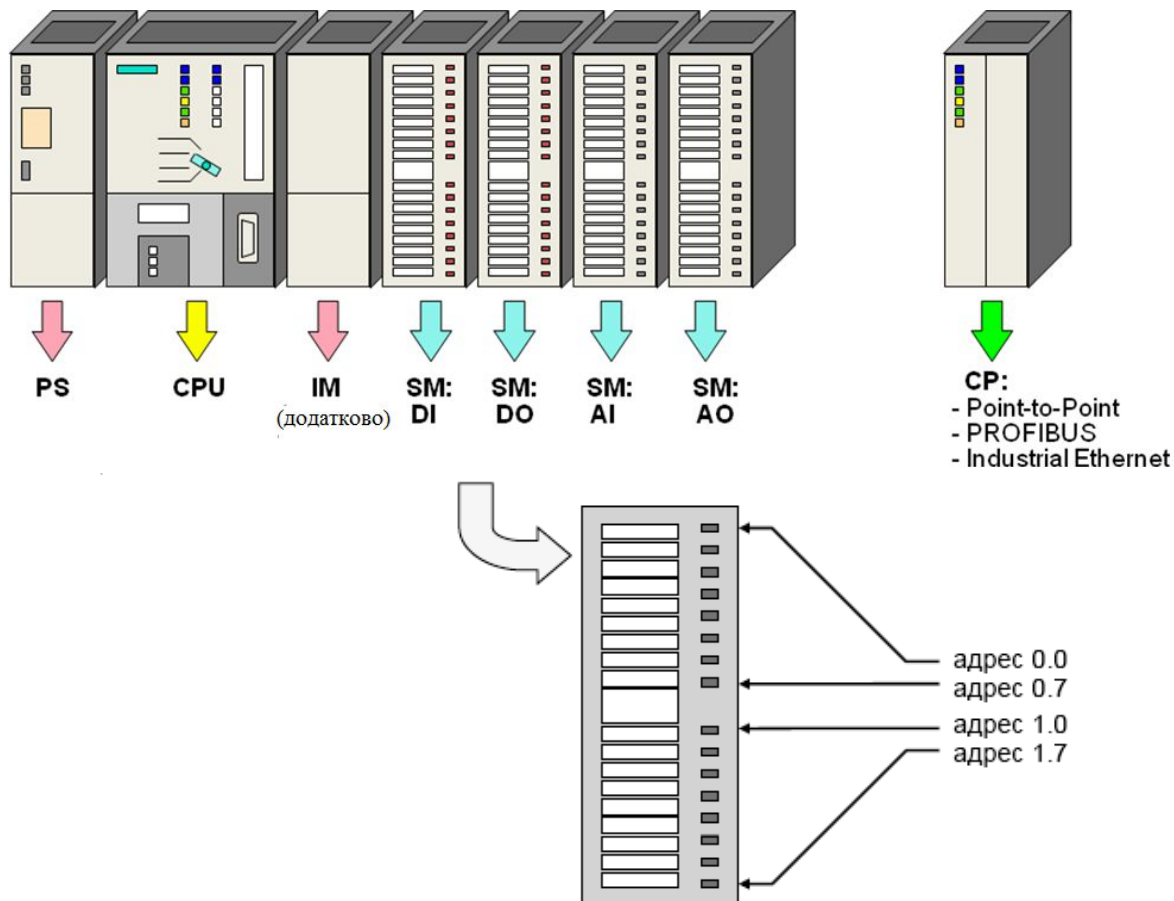


Рисунок 3.5 – Схема розташування модулів у слотах і автоматичної адресації входів-виходів

Слот 1 призначений для установки модуля живлення (PS). Процесорний модуль повинен бути встановлений у слот 2 головної станції (CPU). У станціях S7-300 слот 3 резервується для установки інтерфейсного модуля (IM), а слот 4 є першим місцем установки для установки модулів вводу-виводу (SM), комунікаційних процесорів (CP) або функціональних модулів (FM).

На рисунку 3.5 показано розміщення модулів. Якщо в слоті 4 встановлений цифровий модуль, то адресація входів-виходів починається з адреси 0. Для кожного слота зарезервовано 4 байта адреси. Незавжди визначити, що в цифровому модулі, наприклад, слота 6 адресація буде починатися з 8.0.

Примітка. Адреси входів позначаються символом I, наприклад I 4.0, а адреси виходів – символом Q.

Збереження конфігурації станції S7-300.

Щоб зберегти конфігурацію з усіма встановленими параметрами і адресами, необхідно вибрати команду меню Station ⇒ Save або команду меню Station ⇒ Save and Compile (*Станція ⇒ Зберегти і скомпілювати*).

Для збереження незакінченої конфігурації виберіть команду меню Station ⇒ Save.

Указівки щодо конфігурації станції S7-300.

Створення станції. Станція може створюватися тільки безпосередньо під проектом. Тому спочатку необхідно виділити проект у лівій частині вікна, а потім вибрати команду меню Insert ⇒ Station ⇒ SIMATIC 300-Station, (*Вставити ⇒ Станція ⇒ Станція SIMATIC 300*).

Станція створюється з ім'ям, даним за замовчуванням. Це ім'я можна замінити іншим, більш інформативним.

Після створення станції необхідно:

1. Виділити у вікні проектів об'єкт Station, після чого в правій частині вікна станції стає видимим об'єкт Hardware (*Апаратура*).



– об'єкт "Station",



– об'єкт "Hardware".

Можна також виділити об'єкт Station і вибрати команду меню Edit ⇒ Open Object (*Редагувати ⇒ Відкрити об'єкт*).

У результаті на екрані з'являються вікно станції і каталог модулів.

У вікні станції можна помістити стійку і інші компоненти відповідно до структури станції, а з каталогу модулів у вікні Hardware Catalog вибрати необхідні для побудови станції компоненти.

Командою меню Station ⇒ New (*Станція ⇒ Нова*) можна конфігурувати в тому самому проекті ще одну станцію.

Проектування центральної стійки. Центральна стійка проектується в такій послідовності:

1. У вікні Hardware Catalog потрібно вибрати центральну стійку (Rack). Для SIMATIC 300 це профільна шина (Rail), для SIMATIC 400 може бути, наприклад, універсальна стійка (UR1).

2. Використовуючи метод Drag & Drop, слід відбуксирувати стійку у вікно станції. Стійка з'являється у вигляді невеликої конфігураційної таблиці у верхній частині вікна станції. У нижній частині вікна станції з'являється докладне уявлення стійки з додатковими даними – рекомендованим номером, адресою MPI, адресами входів / виходів.

3. Компонування стійки здійснюється в такій послідовності [18, 20]:

4. Вибирається модуль з вікна Hardware Catalog. При цьому слоти, у які можна встановити цей модуль, виділяються кольором.

5. З використанням Drag & Drop модуль буксирується до відповідного рядка стійки. При цьому STEP 7 перевіряє, чи не порушені правила для слотів.

6. Кроки 1 і 2 повторюються до тих пір, поки стійка не буде повністю оснащена бажаними модулями.

Примітка: При виділенні слота в стійці можна побачити список усіх можливих для установки модулів. Для цього необхідно правою кнопкою миші відкрити контекстно-залежне меню і в ньому вибрати Insert Object (*Вставити об'єкт*) або Replace Object (*Замінити об'єкт*). Ця можливість позбавляє від необхідності пошуку апаратури в каталозі.

Відображення інтерфейсів і інтерфейсних модулів. Інтерфейси або інтерфейсні модулі відображаються в конфігураційній таблиці у власному рядку. Цей рядок позначено так само, як і конектор інтерфейсу, наприклад *X1*.

За наявності вбудованих інтерфейсів ім'я інтерфейсу з'являється в стовпці *Module (Модуль)*. Для встановлення інтерфейсних модулів потрібно перенести відповідний інтерфейсний модуль (IF) з вікна *Hardware Catalog* до відповідного рядка, використовуючи *Drag & Drop*.

Якщо CPU має більше однієї версії операційної системи, то він показується у вікні *Hardware Catalog* як папка з іконками, що мають різні порядкові номери.

Конфігурація стійок розширення для SIMATIC 300. Для станцій SIMATIC 300 як в якості центральної стійки, так і в якості стійок розширення використовуються тільки профільні шини. Кількість профільних шин визначається реальною конструкцією, однак не повинно бути більше чотирьох.

Стійки розширення з'єднуються в STEP 7 шляхом установки відповідних *інтерфейсних модулів*:

- для розширення тільки на одну стійку в стійках 0 і 1 встановлюються модулі IM 365;

- для підключення до трьох стійок розширення в стійці 0 встановлюється модуль IM 360, а в стійках з 1 по 3 модулі IM 361.

Правила заповнення слотів станції S7-300 в стійках полягають у такому.

Стійка 0:

- Слот 1: тільки блок живлення (наприклад, 6ES7 307 -...) або порожній.

- Слот 2: тільки CPU (наприклад, 6ES7 314 -...).

- Слот 3: інтерфейсний модуль (наприклад, 6ES7 360) або порожній.

- Слоти з 4 по 11: сигнальні або функціональні модулі, комунікаційні процесори або порожні.

Стійки з 1 по 3:

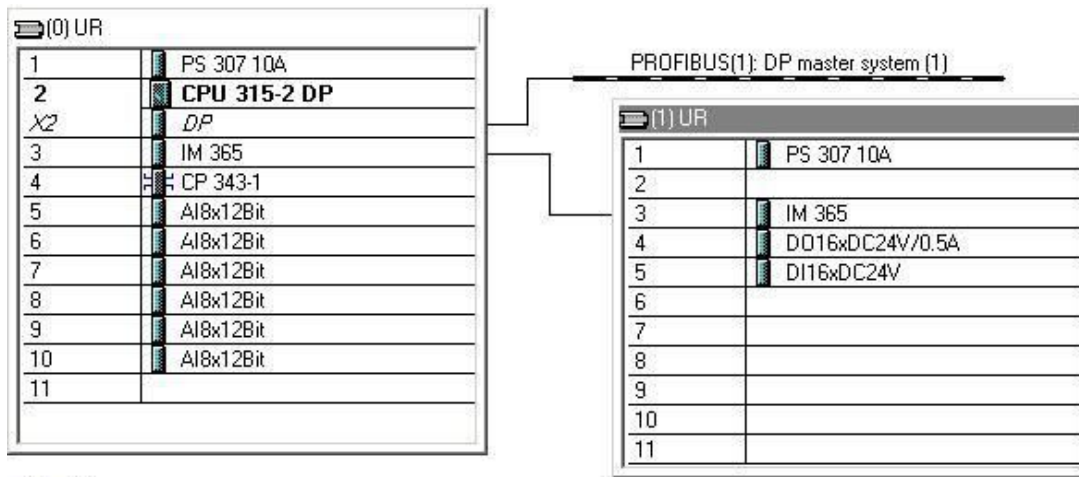
- Слот 1: тільки блок живлення (наприклад, 6ES7 307 -...) або порожній.

- Слот 2: порожній.

- Слот 3: інтерфейсний модуль.

- Слоти з 4 по 11: сигнальні або функціональні модулі, комунікаційні процесори (залежно від використовуваного інтерфейсного модуля) або порожні.

Приклад конфігурації станції S7-300 наведено на рисунку 3.6.



← → (0) UR

Slot	Module	Order number	Firmware	MPI address	I address	Q address
1	PS 307 10A	6ES7 307-1KA00-0AA0				
2	CPU 315-2 DP	6ES7 315-2AF82-0AB0		3		
X2	DP				1023*	
3	IM 365	6ES7 365-0BA00-0AA0			2000	
4	CP 343-1	6GK7 343-1EX10-0XE0	V1.0	4	256...271	256...271
5	AI8x12Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0			272...287	
6	AI8x12Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0			288...303	
7	AI8x12Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0			304...319	
8	AI8x12Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0			320...335	
9	AI8x12Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0			336...351	
10	AI8x12Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0			352...367	

← → (1) UR

Slot	Module	Order number	Firmware	MPI address	I address	Q address
1	PS 307 10A	6ES7 307-1KA00-0AA0				
2						
3	IM 365	6ES7 365-0BA00-0AA0			2004	
4	DO16xDC24V/0.5A	6ES7 322-1BH00-0AA0				32...33
5	DI16xDC24V	6ES7 321-1BH01-0AA0			36...37	
6						
7						

Рисунок 3.6 – Приклад конфігурації стійок

3.4 Проектування електричних схем підключення технічних засобів автоматизації до сигнальних модулів станції Simatic S7-300

Розглянемо особливості та електричні схеми підключення датчиків температури, а саме термопар до аналогових модулів введення інформації SM331 фірми Siemens AG [21, 22].

Для підключення необхідно дотримувати 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 дроти замінюються на мідні дроти, підключення яких здійснюється через проміжний клемник, поруч з яким встановлюється зовнішній компенсаційний блок.

Структурна схема підключення термопар до аналогових модулів введення інформації SM331 станції Simatic S7-300 наведена на рисунку 3.7.

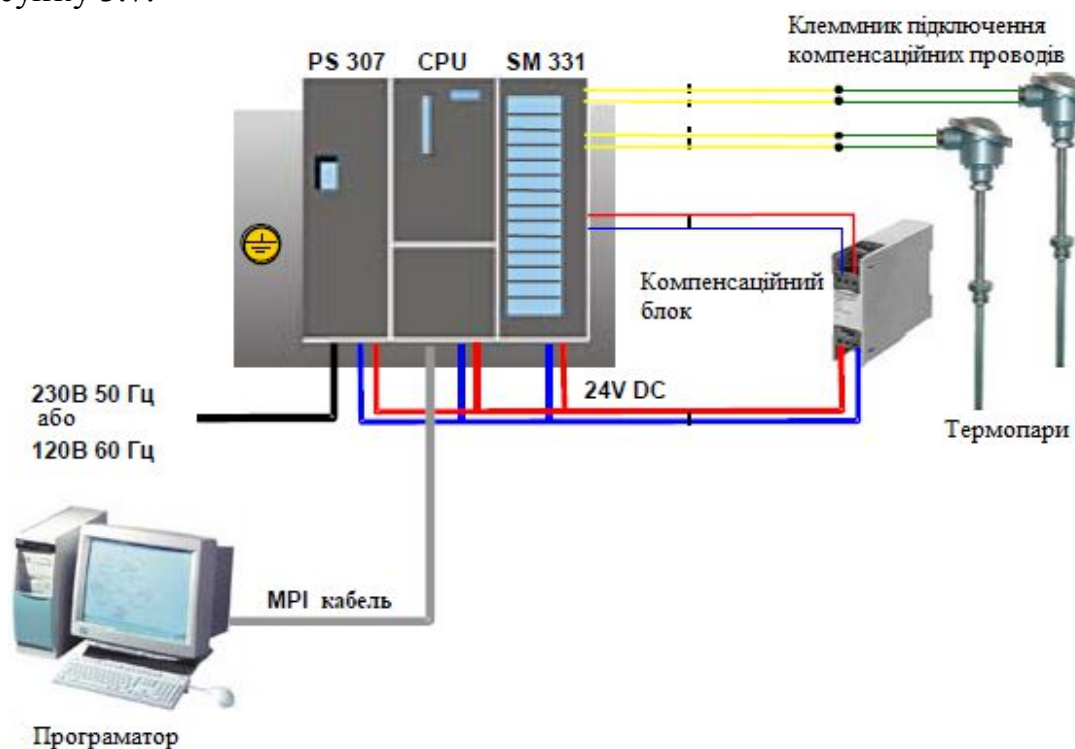


Рисунок 3.7 – Структурна схема підключення термопар до аналогових модулів введення інформації SM331 станції Simatic S7-300

При підключенні термопар монтаж аналогового модуля SM331 відрізняється тільки вибором використовуваної компенсації температури холодного спаю:

- внутрішня;
- зовнішня.

Необхідно використовувати для аналогових сигналів екрановані кручені пари провідників. Це підвищує перешкодозахищеність. Екран при цьому повинен заземлюватися з обох сторін. При виникненні деякої різниці потенціалів між кінцями екрана, може з'явитися компенсаційний струм, який викликає наведення на аналоговий сигнал. У цьому випадку треба заземлювати один з двох кінців екрана, або встановлювати компенсуючі провідники. Особливості підключення термопар до аналогових модулів введення наведені в таблиці 3.3.

Функціональна електрична схема підключенням термопар за допомогою компенсаційних проводів з внутрішньою компенсацією температури холодного спаю наведена на рисунку 3.8.

Слід зазначити, що компенсаційний провід завжди виготовляється з того самого матеріалу (сплаву), що і сама термопара, а також до групи каналів, повинні підключатися тільки термопары одного типу.

Таблиця 3.3 – Особливості підключення термопар до аналогових модулів введення SM331

Особливості підключення	Використання компенсації	
	внутрішньої	зовнішньої
Використання термопар одного типу	Може бути підключено 8 термопар	
Використання термопар різного типу	До кожної групи каналів може бути підключено 2 термопарі однакового типу. Усього 8 термопар 4-х різних типів може бути підключено	Неможливо використання термопар різних типів. Усі канали модуля компенсуються щодо однієї температури холодного спаю. Це означає, що можуть бути підключені тільки 8 термопар одного типу
Використання з'єднувального проводу	- пряме підключення термопар; - підключення через компенсаційні дроти	Можна використовувати довгі мідні дроти. Підключення термопар безпосередньо в зоні температури холодного спаю

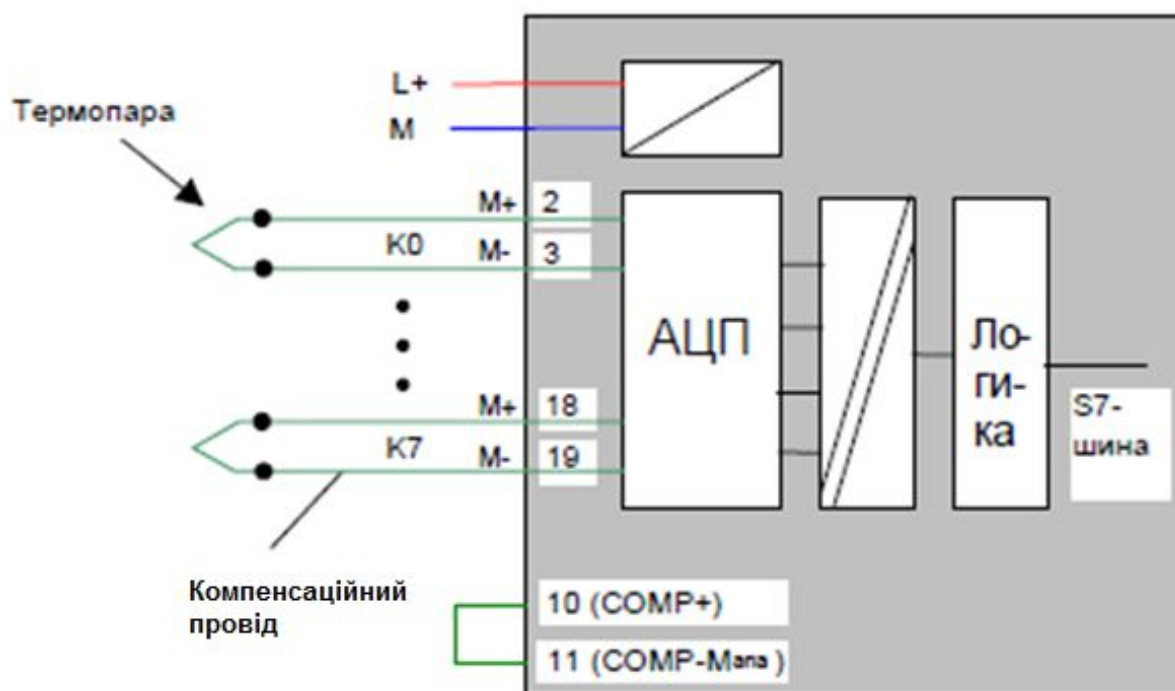


Рисунок 3.8 – Функціональна схема підключення термопар до аналогового модуля SM331 з внутрішньої компенсацією температури холодного спаю

Ілюстрація підключення термопар до модуля SM331 наведена на рисунку 3.9 [22].

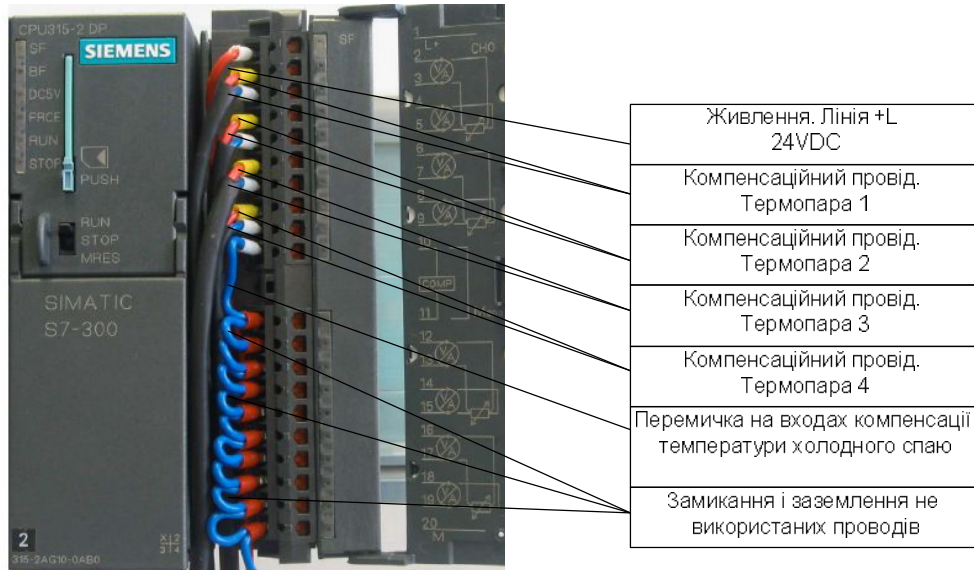


Рисунок 3.9 – Ілюстрація підключення термопар за допомогою компенсаційних проводів з внутрішньою компенсацією температури холодного сну до модуля SM331

Функціональна електрична схема підключення термопар з зовнішньою компенсацією температури холодного сну до аналогового модуля SM331 наведена на рисунку 3.10.

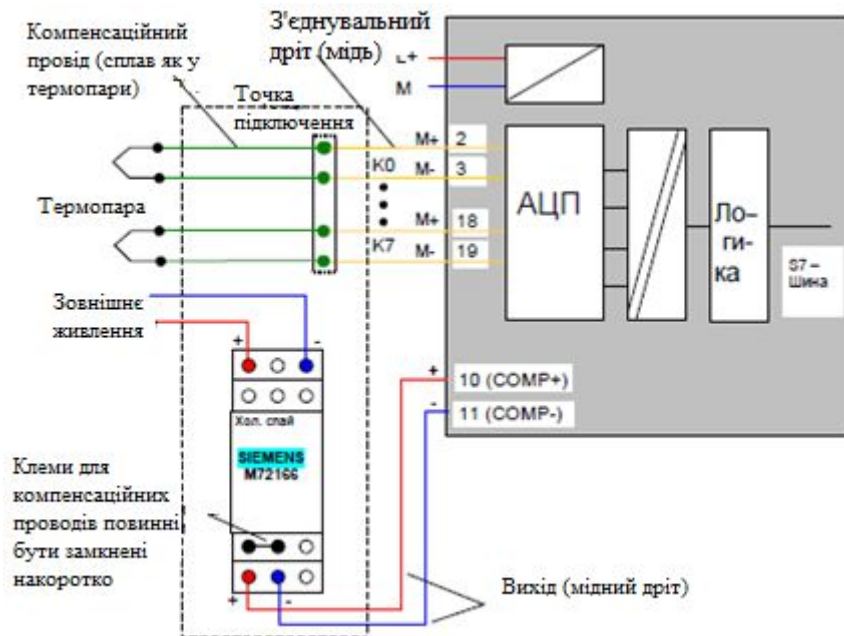


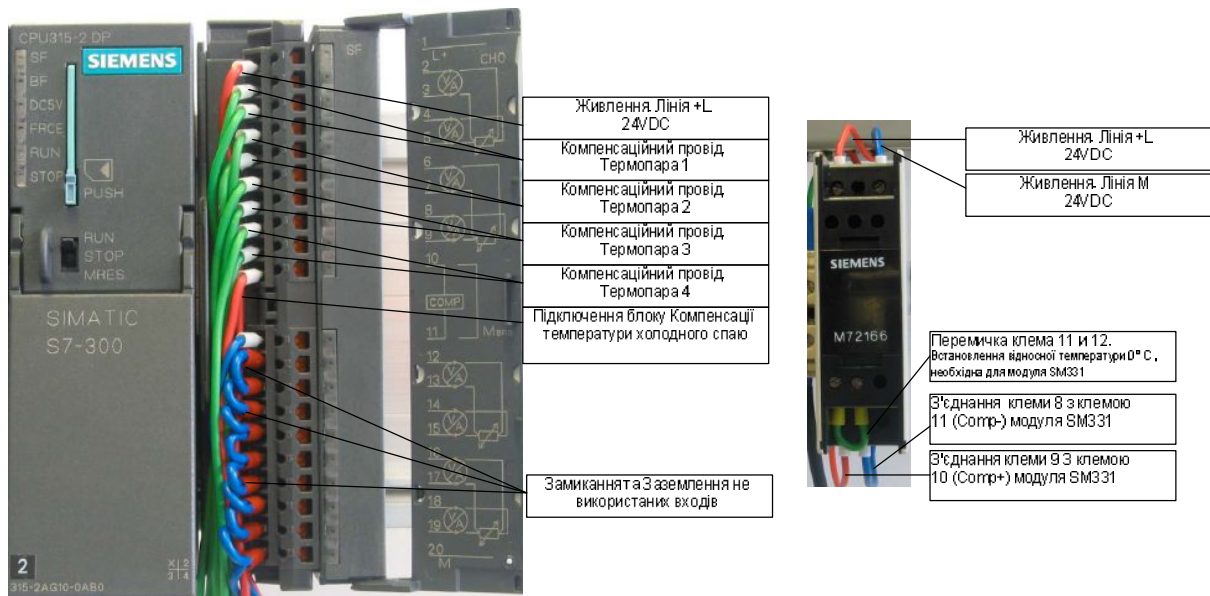
Рисунок 3.10 – Функціональна електрична схема підключення термопар з зовнішньою компенсацією температури холодного сну до аналогового модуля SM331

Схема, наведена на рисунку 3.11, показує підключення до аналогового модуля SM331:

- термопар через клемник для компенсаційних проводів;
- зовнішнього компенсаційного блоку.

При використанні зовнішньої компенсації температури холодного сну (див. рис 3.11 а), термопари підключаються через компенсаційний клемник. Компенсаційний блок (див. рис. 3.3 б) з мостом з компенсаційних проводів, калібрується по фактичній температурі (температура калібрування). Клемник підключення компенсаційних проводів повинен знаходитися в безпосередній близькості від компенсаційного блоку. Тільки в цьому випадку буде забезпечено, що температура навколишнього середовища термопари і компенсаційного блоку буде однакою. [22]

Розглянемо особливості та електричні схеми підключення терморезистора (PT100) до аналогових модулів введення інформації SM331 фірми Siemens AG. [21]



а) б)
а – модуль SM331; б – компенсаційний блок

Рисунок 3.11 – Ілюстрація підключення термопари з зовнішньою компенсацією температури холодного сну до аналогового модуля SM331

Існують три можливості підключення терморезистора:

- 4-дротове з'єднання;
- 3-дротове з'єднання;
- 2-дротове з'єднання.

Різні схеми підключення датчиків опору (терморезисторів) застосовуються у зв'язку з тим, що вимірювальним параметром при застосуванні таких датчиків є опір датчика, однак дроти мають власний опір і вносять тим самим певну похибку.

Наприклад, якщо датчик температури Pt100 при нулі градусів Цельсія (опір 100 Ом) підключений за двома провідними схемами мідним дротом перерізом 0,12 мм, довжина кабелю 3 м, то два дроти в сумі

дадуть опір близько 0,5 Ом. Унаслідок набігає похибка – датчик показує сумарний опір 100,5 Ом, що відповідає температурі приблизно 101,2 °С..

Цю похибку можна скорегувати приладом (якщо прилад це дозволяє), ввівши коригування на 1, 2 градуси. Однак таке коригування не може повністю компенсувати опір проводів датчика. Це пов'язано з тим, що мідні дроти є самі по собі термоопірними, тобто опір проводів так само змінюється від температури. Причому у випадку, наприклад, коли камера нагрівається, частина проводів, яка знаходиться разом з датчиком, нагрівається теж і змінює опір, а частина за межами камери змінюється зі зміною температури в кімнаті.

У випадку, розглянутому вище, при опорі проводів 0,5 Ом при нагріванні на кожні 250 градусів опір проводів може змінитися практично вдвічі. Давши додатково 1,2 °С похибки.

Для виключення впливу опору проводів застосовують трипровідну схему підключення датчика температури. При такій схемі підключення прилад вимірює сумарний опір датчика з проводами і опір двох проводів (або одного проводу і примножує його на 2) і віднімає опір проводів з сумарного, виділяючи тим самим чистий опір датчика. Така схема підключення дозволяє отримувати досить високу точність при значних впливах опорів проводів на точність вимірювання. Однак ця схема не враховує, що дроти через похибку виготовлення можуть мати різний опір (через неоднорідність матеріалу, зміну перерізу за довжиною і ін.) Такі похибки вводять менші відхилення у видимій температурі ніж при двох провідних схемах, проте при великих довжинах проводів можуть бути істотні. У таких випадках може знадобитися застосування чотирипровідної схеми підключення, у якій прилад вимірює безпосередньо опір датчика без урахування сполучних проводів.

Специфіка застосування двопровідної схеми підключення:

1. Діапазон вимірювання не великий (наприклад, 0...40 °С) і потрібно невисока точність (наприклад, 1 °С).

2. Сполучні дроти мають великий переріз, і довжина їх не велика, тобто опір проводів малий в порівнянні з опором датчика і не вносить істотної похибки. Наприклад, сумарний опір 2 проводів 0,1 Ом, а опір датчика змінюється на 0,5 Ом на градус, необхідна точність 0,5°С, таким чином опір проводів вносить похибку менше, ніж допустима похибка.

Застосування трипровідної схеми підключення датчиків температури опору. Найбільш поширена схема підключення, застосовувана для вимірювань на віддаленні датчика від 3 до 100 м, що дозволяє в діапазоні до 300 °С мати похибку близько 0,5 %, тобто 0,5 °С на 100°С.

Чотиридротова схема підключення. Застосовується як правило для прецизійних вимірювань з точністю понад 0,1 °С.

Для 4-провідних і 3-дротових з'єднань модуль підводить постійний струм від своїх затискачів $I_c + i_c$, які компенсують падіння напруги в вимірювальних проводах. Важливо, щоб з'єднувальні дроти постійного струму були підключені безпосередньо до терморезистора.

При 4-дротовому підключенні (рис. 3.12) напруга на терморезисторі вимірюється на клеммах $M + i$ і $M -$. Причому, слід переконатися в тому, що полярність з'єднання $I_c + / M + i$ і $I_c - / M -$ є правильною, і дроти приєднані безпосередньо до терморезистора.

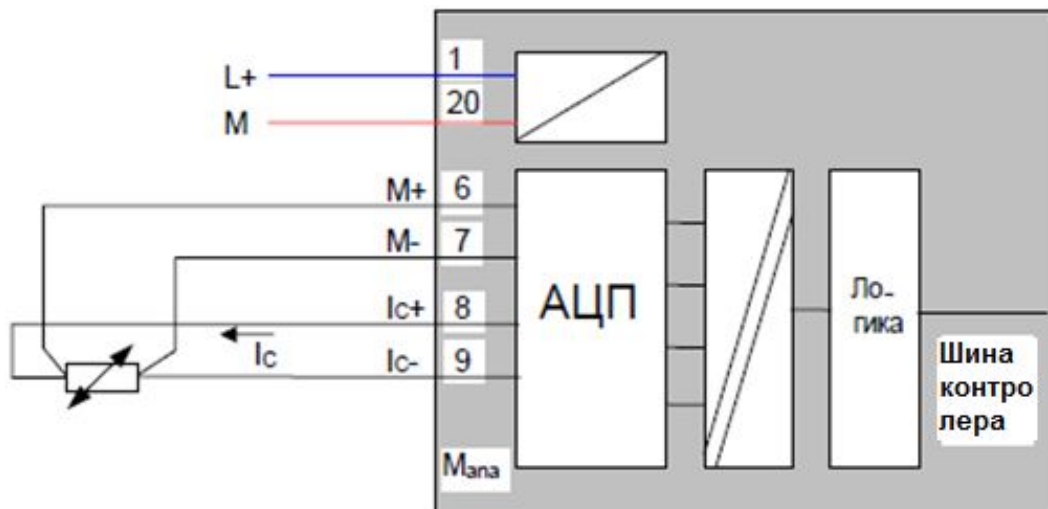


Рисунок 3.12 – Функціональна електрична схема підключення терморезистора за 4-провідною схемою до аналогового модуля SM331

При 3-дротовому підключенні терморезистора (рис. 3.13) встановлюється перемичка між $M -$ і $I_c -$. Обов'язково, щоб дроти $I_c +$ і $M +$ були безпосередньо підключені до терморезистора.

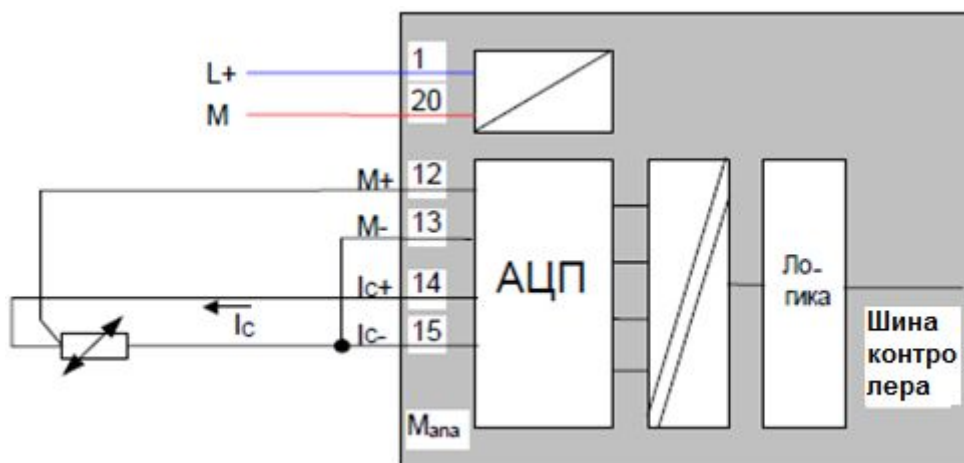


Рисунок 3.13 – Функціональна електрична схема підключення терморезистора за 3-провідною схемою до аналогового модуля SM331

При 2-провідному підключенні терморезистора (рис. 3.14) одна перемичка повинна встановлюватися на фронтальному з'єднанні модуля між клеммами $M + i$ і $I_c +$, а друга перемичка встановлюється між затискачами $M -$ і $I_c -$.

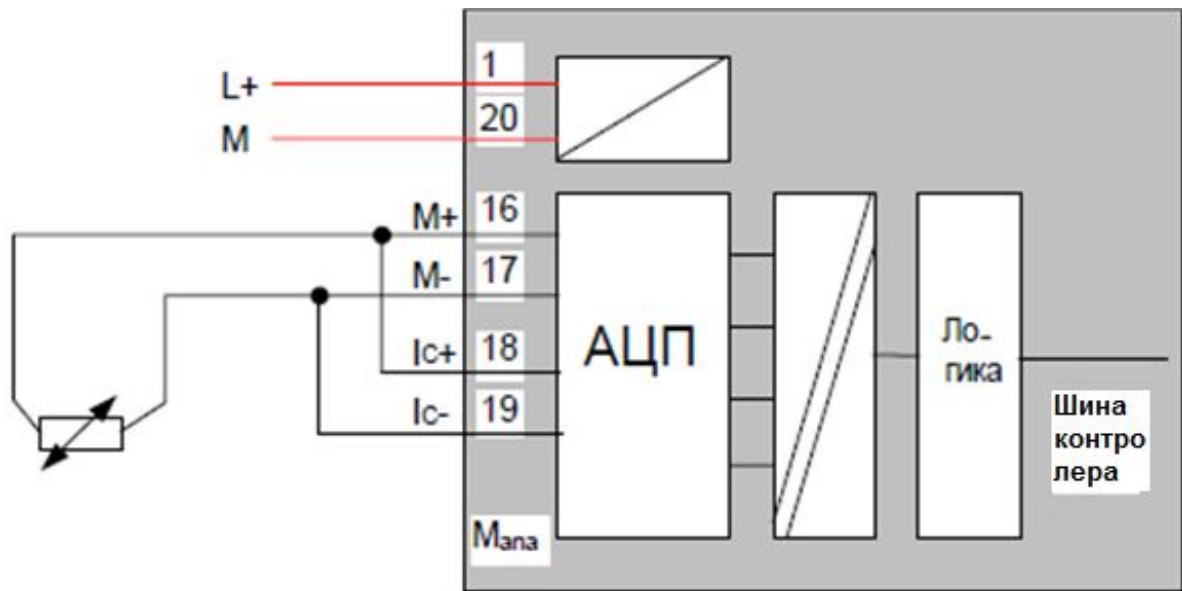


Рисунок 3.14 – Функціональна електрична схема підключення терморезистора за 2-провідною схемою до аналогового модуля SM331

Приклад схеми електричної зовнішніх підключень термопар до аналогового модуля введення інформації SM331 наведено на рисунку 3.15, а датчиків тиску – на рисунку 3.16.

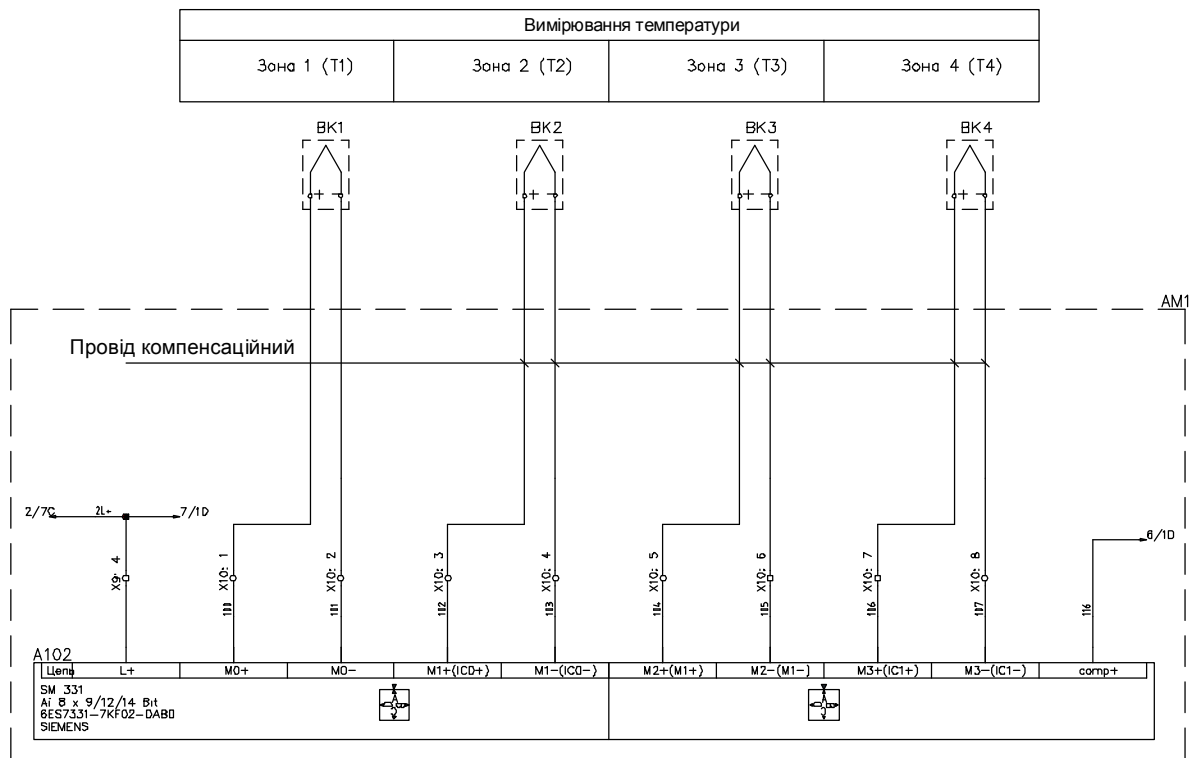


Рисунок 3.15 – Схема електрична зовнішніх підключень термопар до аналогового модуля вводу інформації SM331

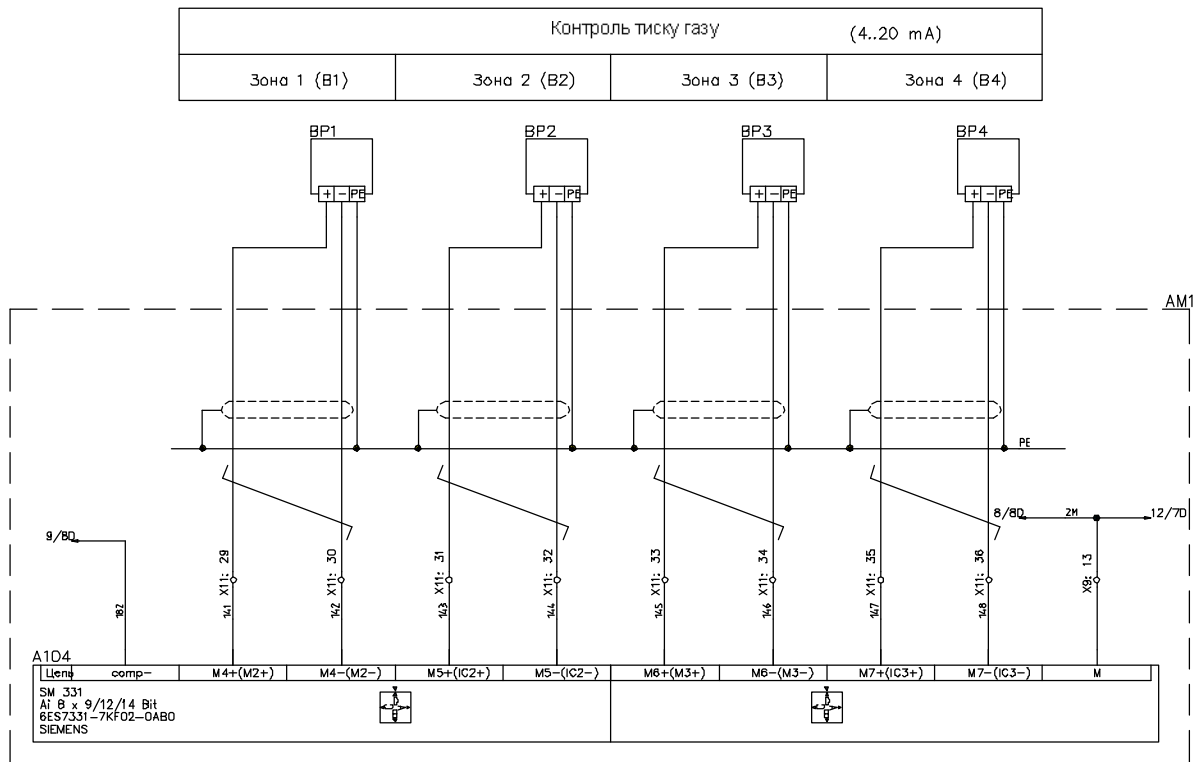


Рисунок 3.16 – Схема електрична зовнішніх підключень датчиків тиску до аналогового модуля введення інформації SM331

Регулювання технологічних параметрів АСУ часто здійснюється механізмами електричними однооборотними (МЕОВ). Функціонування і принцип роботи МЕО полягає в перетворенні електричного командного сигналу на обертальний рух вихідного органа.

Основним вузлом виконавчого органа є редуктор, на якому встановлюються всі інші вузли, що входять до складу механізму.

У корпусі редуктора розміщена черв'ячна передача. За допомогою шестірни, встановленої на черв'яка, передача пов'язана кінематичною передачею з приводним електродвигуном. Черв'як редуктора пов'язаний з електроприводом через проміжний вал-шестірню.

Виконавчі механізми серії МЕВ виготовляються тільки зі струмовими датчиками [3]:

- БСПР-реостатним (Р);
- БКВ-безконтактним (БКВ);
- БСПІ-індуктивним (І);
- БСПТ-струмовим (У), –

і вбудованим блоком живлення БП-20.

Принципова електрична схема подана на рисунку 3.17.

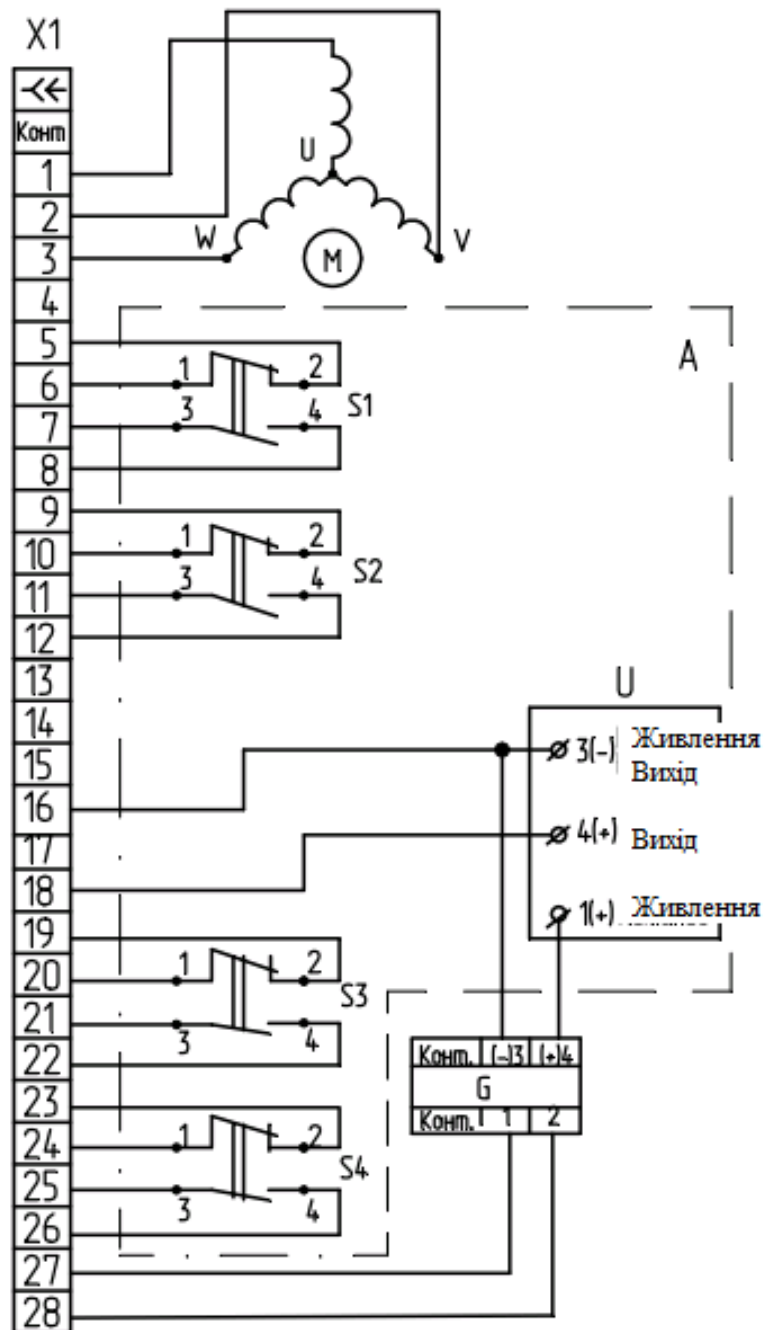


Рисунок 3.17 – Схема електрична принципова механізму
МЭО-1000/63-0,63У-92КБ

На схемі прийняті такі умовні позначення елементів схеми: М – електродвигун; X1 – рознімання РП10-30; А – блок датчика; G-блок живлення; U-пристрій; S1...S4 – вимикачі положення. Для управління МЭВ потрібен підсилювач, який керує трифазним електродвигуном типу АОЛ. Як підсилювач, вибраний пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А, який застосовується для двигунів типу АОЛ потужністю до 1.1 кВт.

Схема керування виконавчим механізмом подана на рисунку 3.18.

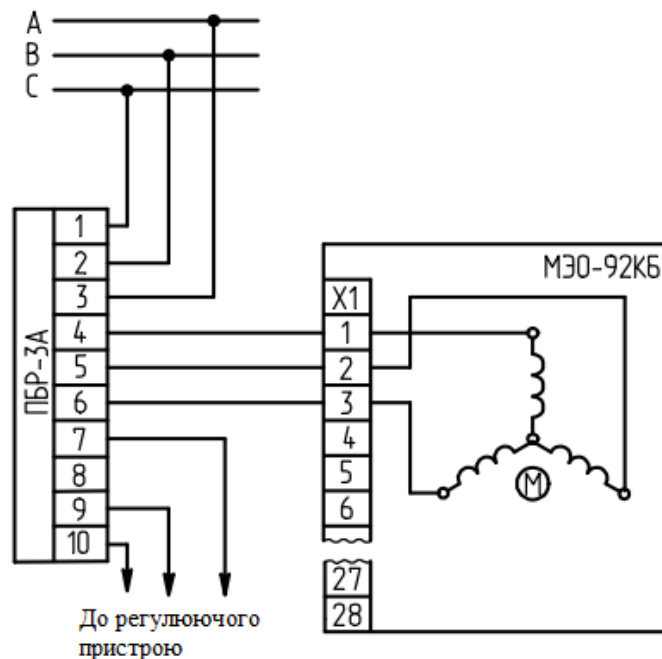


Рисунок 3.18 – Схема керування виконавчим механізмом МЗО–92КБ

ПБР-3А працює при температурі повітря від 5 до 50 °С, відносній вологості від 30 до 80 %. Також витримує вібрації частотою 25 Гц амплітудою до 0,1 мм.

Приклад схем електричних зовнішніх підключень виконавчого механізму МЕВ зображені на рисунках 3.19...3.22.

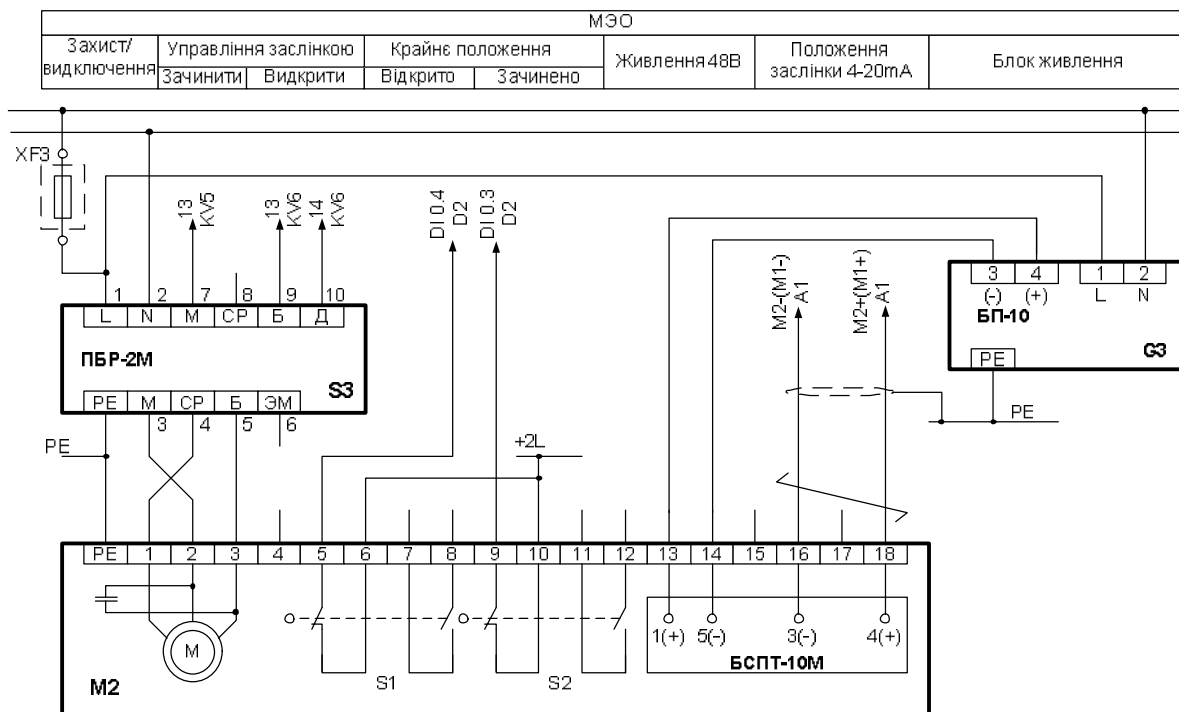


Рисунок 3.19 – Схема електрична зовнішніх підключень виконавчого механізму МЗО-40/25-0,25-99

Керування механізмом здійснюється, як контактне, так і безконтактне. На схемі 3.17 застосовано безконтактне керування за допомогою пускача типу ПБР-2М (ПБР-2М1). Пуск електродвигуна для обертання в заданому напрямку («зачинити» або «відкрити») здійснюється шляхом подання відповідного керуючого сигналу на вхід ПБР «13» – «закрити», а на вхід «14» – «відкрити». Керуючі сигнали, які задають напрямок обертання, формуються на виході дискретного сигнального модуля виводу SM322. Так при подачі сигналу на виході DO 0.1 = «1» віддається команда на закриття заслінки, а при DO 0.2 = «1» віддається команда на відкриття заслінки (рис. 3.20).

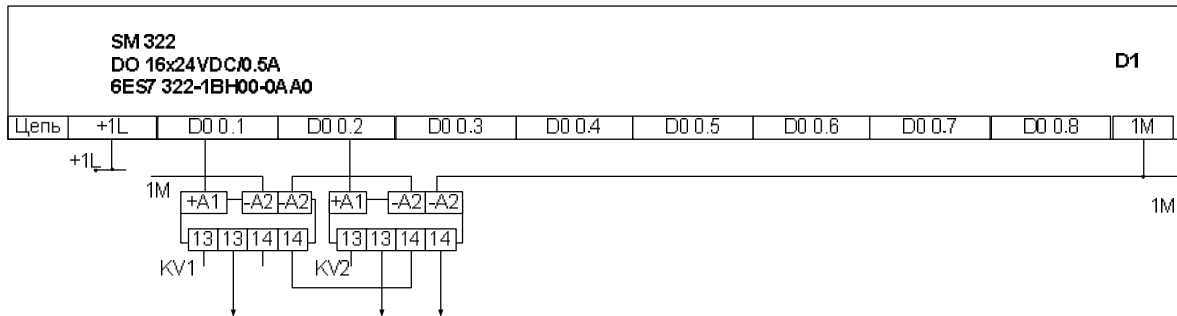


Рисунок 3.20 – Схема електрична зовнішніх підключень МЕО до дискретного модуля виводу SM322

Контроль крайніх положень заслінки здійснюється кінцевими вимикачами, які вбудовані в МЕО. Так при спрацьовуванні вимикача S1 на виході 5 формується сигнал про досягнення крайнього положення «відкрито», а при спрацьовуванні S2 на виході 9 формується сигнал «зачинено». Дані інформаційні сигнали надходять на відповідні входи DI 0.1 і DI 0.2 сигнального дискретного модуля вводу SM321 (рис. 3.21).

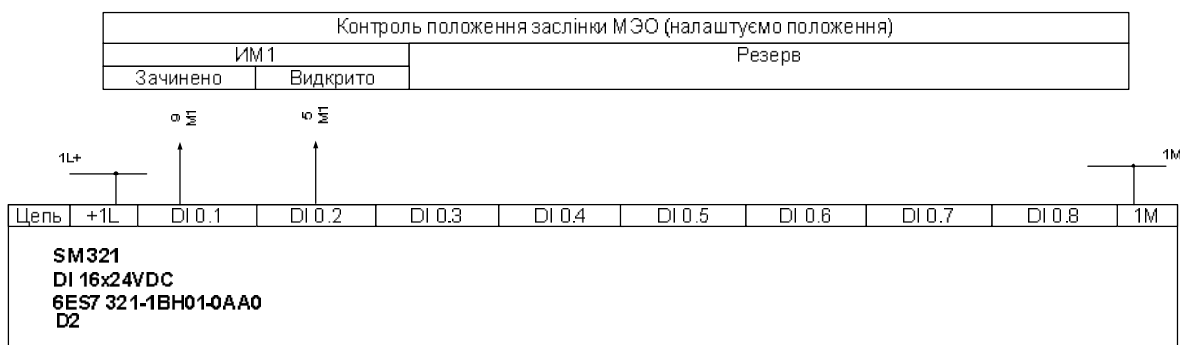


Рисунок 3.21 – Схема електрична зовнішніх підключень МЕО до дискретного модуля вводу SM321

Контроль проміжного положення заслінки здійснюється за вихідним сигналом датчика положення МЕО БСПТ-10М (роз'єм 16 і 18). Інформаційний сигнал положення надходить безпосередньо на входи M0 + і M0 – сигнального аналогового модуля SM331 (рис. 3.22).

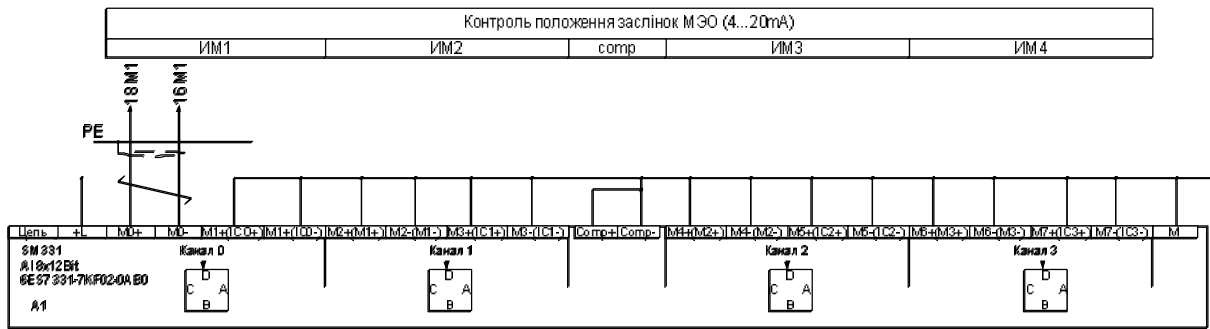


Рисунок 3.22 – Схема електрична зовнішніх підключень МЭО до аналогового модуля SM331

Інші схеми підключення виконавчих механізмів і датчиків наведені в додатку А.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Технические средства автоматизации : методические указания к самостоятельной работе (для студентов специальности 6.092501 «Автоматизированное управление технологическими процессами») / сост. А. В. Разживин. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 52 с.

2 Технические средства автоматизации : методические указания к выполнению контрольной работы (для студентов специальности 7.092501 «Автоматизированное управление технологическими процессами») / сост. А. В. Разживин. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 52 с.

3 Механизмы исполнительные электрические однооборотные МЭО [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ap.net.ua/meo.html>.

4 Механизмы исполнительные электрические однооборотные ВЭО, VOGEZ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.et.kh.ua/products/vogez/VES.html>.

5 **Ключев, В. И.** Выбор электродвигателей для производственных механизмов. – М. : Энергия, 1974. – 96 с.

6 Электрические машины и аппараты. Модуль 1 : конспект лекций для студентов специальности 7.092501 / сост. А. В. Разживин. – Краматорск : ДГМА, 2008. – 140 с.

7 Электрические машины и аппараты : методические указания к выполнению практических работ для студентов специальности 7.092501 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии» дневной формы обучения / сост. А. В. Разживин. – Краматорск : ДГМА, 2011. – 48 с.

8 **Клименко, Б. В.** Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. – Харків : Точка, 2012. – 340 с.

9 Электрические и электронные аппараты : учеб. для вузов / под ред. Ю. К. Розанова. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Информэлектро, 2001. – 420 с.

10 **Чунихин, А. А.** Электрические аппараты. Общий курс : учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.: ил.

11 Справочник по средствам автоматики / под ред. В. Э. Низэ, И. В. Антика. – М. : Энергоиздат, 1983. – 504 с.

12 **Бурштинський, М. В.** Давачі / М. В. Бурштинський, М. В. Хай, Б. М. Харчишин. – 2-е вид. доповн. – Львів : ТзОВ «Простір М», 2014. – 202 с.

13 Датчики температуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aotera.com.ua/pages/ru/sensors.html?gclid=CP3FIJyO9NACFQKkGAodt3UKHA>.

14 Датчики температуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/ruRU/brands/Metran/products/Temperature/Pages/index.aspx>

15 Датчики давления. Датчик давления газа, жидкости. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukrteh.kiev.ua/page/text/category=pressure>.

16 Датчики давления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/ru-RU/brands/Metran/products/Pressure/Pages/index.aspx>

17 Расходомеры. Счетчики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/ruRU/brands/Metran/products/Flow/Pages/index.aspx>

18 **Сердюк, О. О.** Проектування систем автоматизації Simatic : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / О. О. Сердюк, О. В. Разживін. – Краматорськ : ДДМА, 2012. – 208 с.

19 Интерактивный каталог продуктов Siemens IA&DT. Техника автоматизации Siemens [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://w5.siemens.com/web/ua/ru/iadt/ia/FAPA/Pages/as.aspx>

20 Simatic. Программирование с помощью Step 5 V5.5. Руководство. Редакция 01/2010, A5E00261405-1.

21 Программируемые контроллеры Simatic S7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://w5.siemens.com/web/ua/ru/iadt/ia/FAPA/PLC/Pages/PLC.aspx>.

22 Автоматизация в промышленности. Каталог Siemens CA01 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://w5.siemens.com/web/ua/ru/iadt/Pages/ca01.aspx>.

Додаток А

Приклад оформлення графічної частини курсової роботи

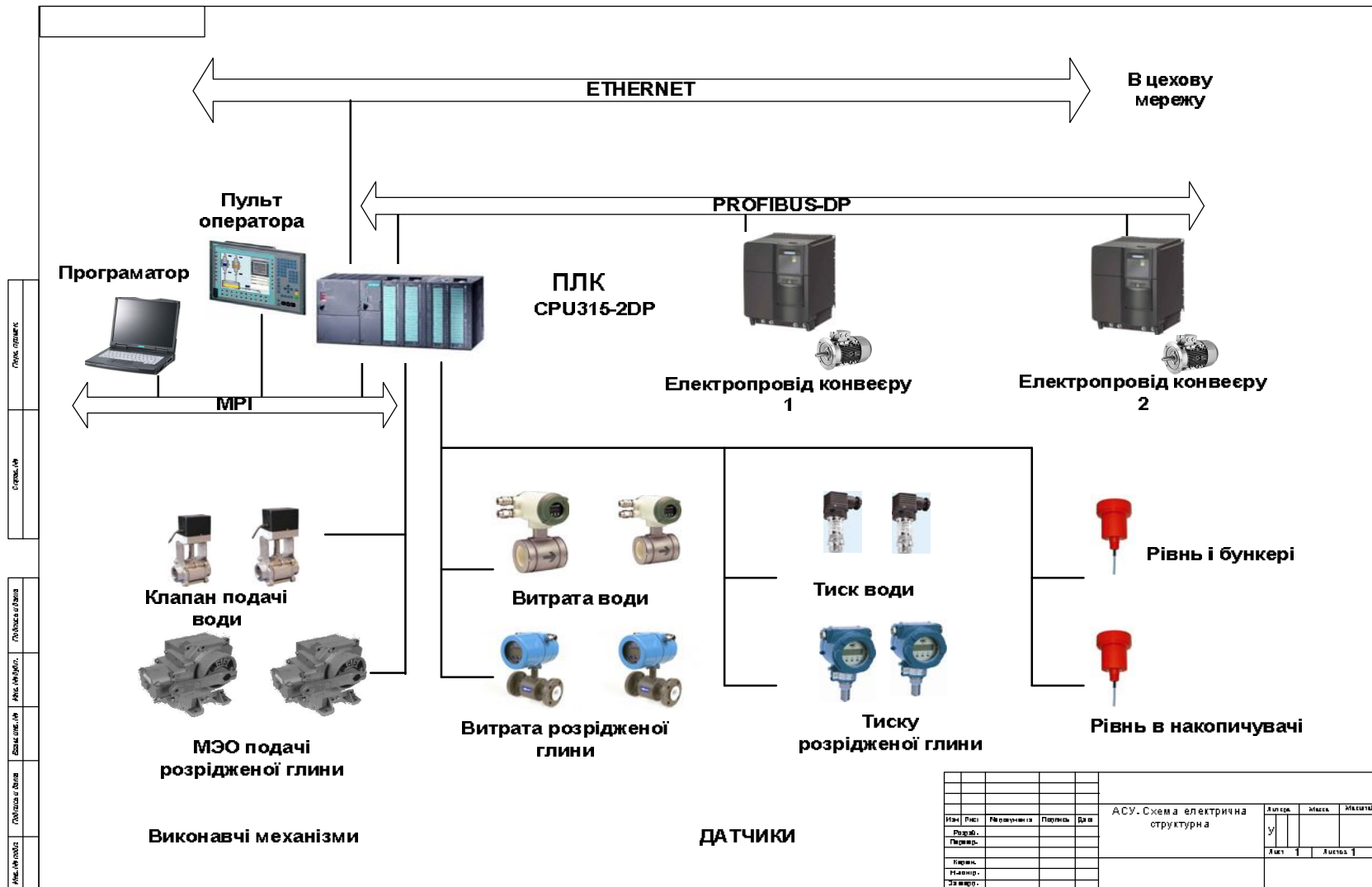


Рисунок А.1

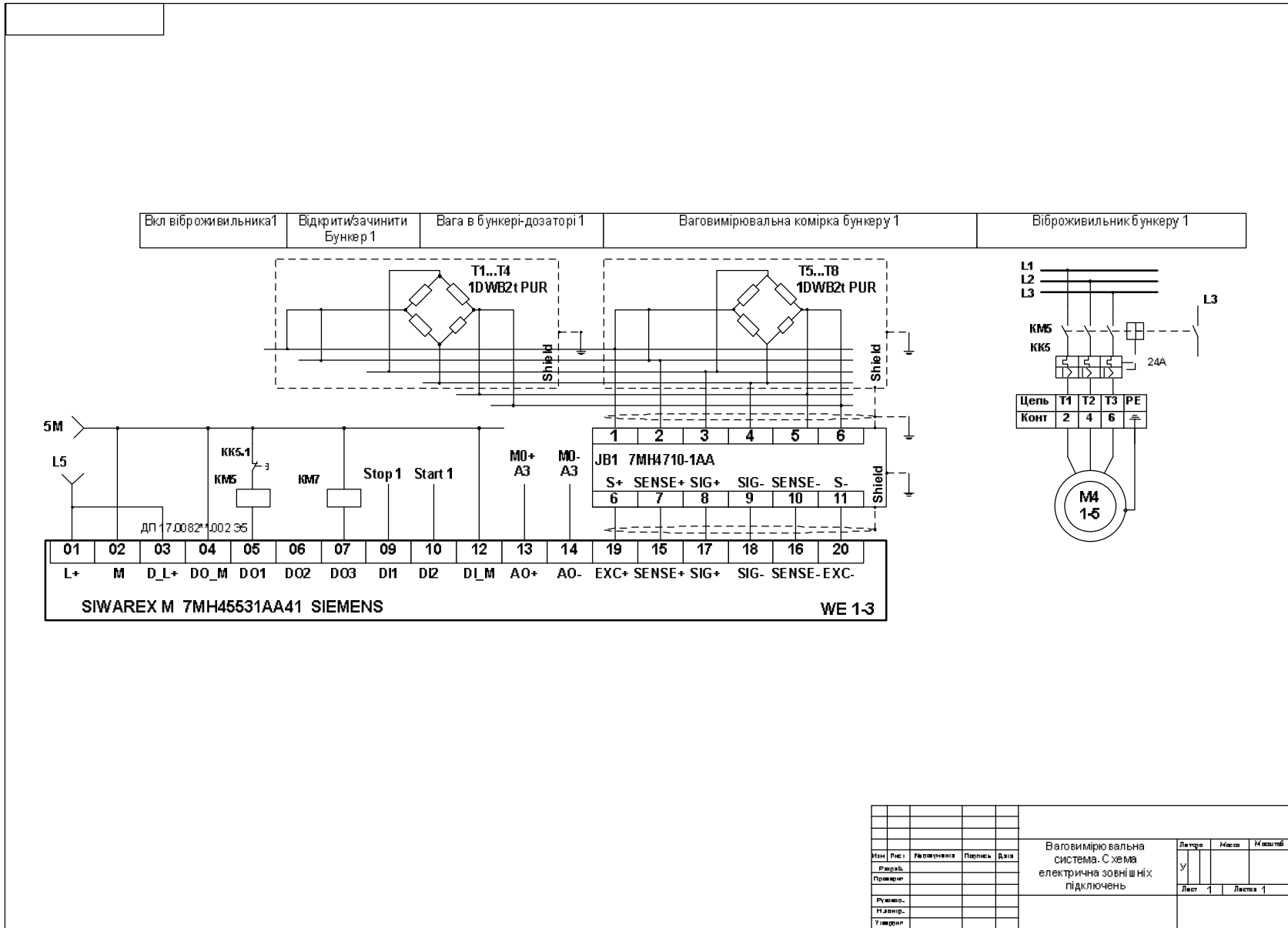
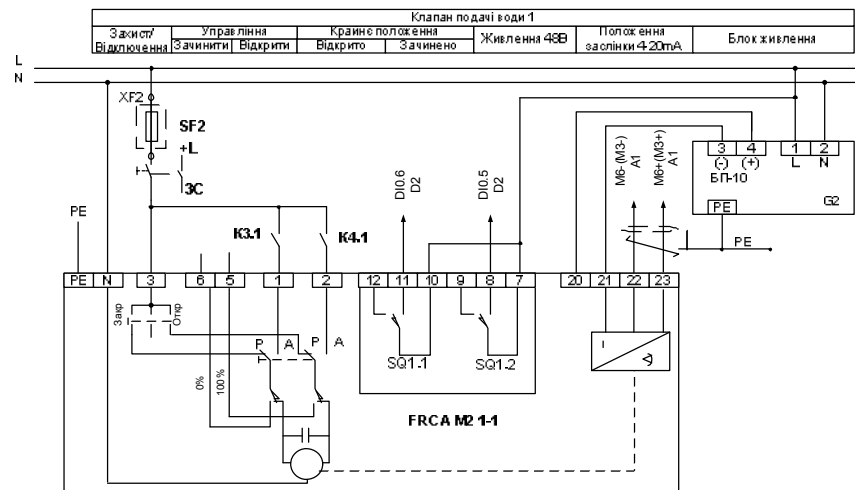
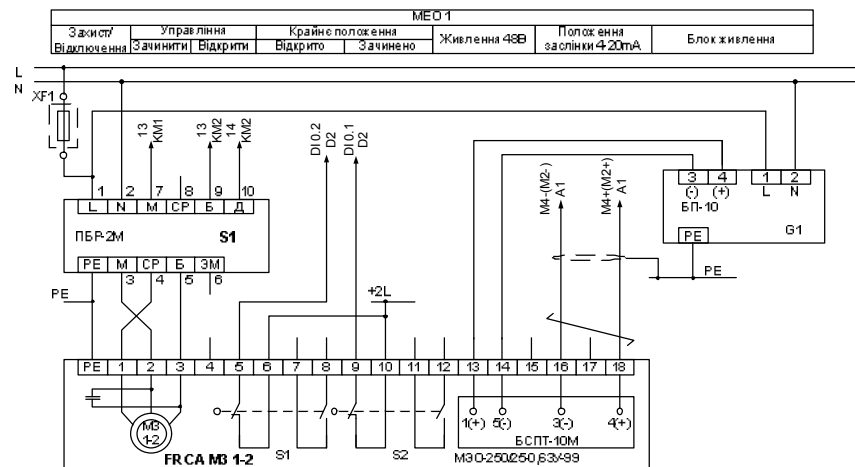


Рисунок А.2



№	Рис.	№	Підприємство	Поміщення	Дата	Механізми виконавчі. Схеми електрична зовнішніх підключень	Листів	Всього	Кількість	
Розроб.							у			
Проєкт.							Лист 1	Листів 1		
Керм.										
Начальн.										
Зашт.										

Рисунок А.3

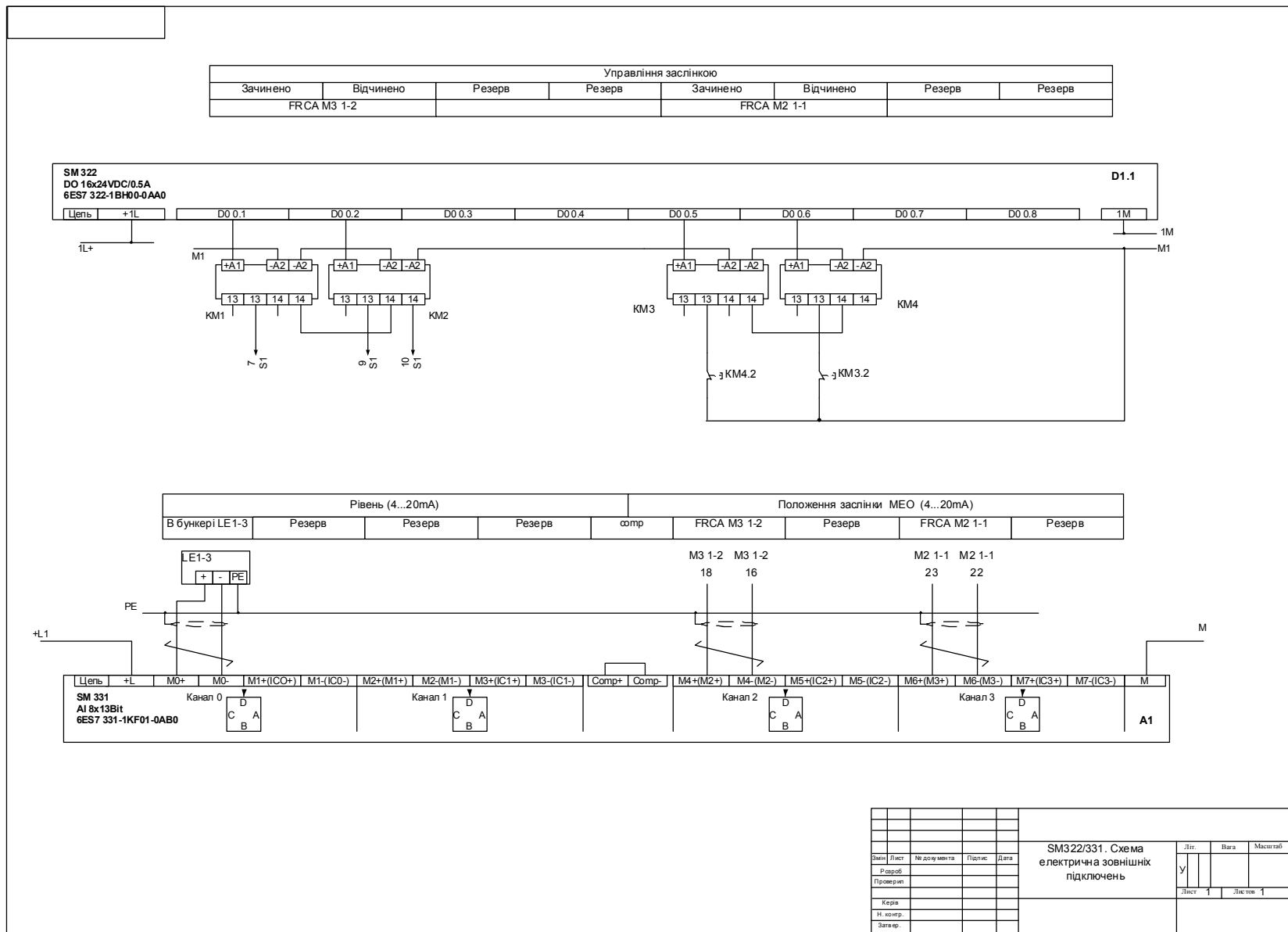


Рисунок А.4

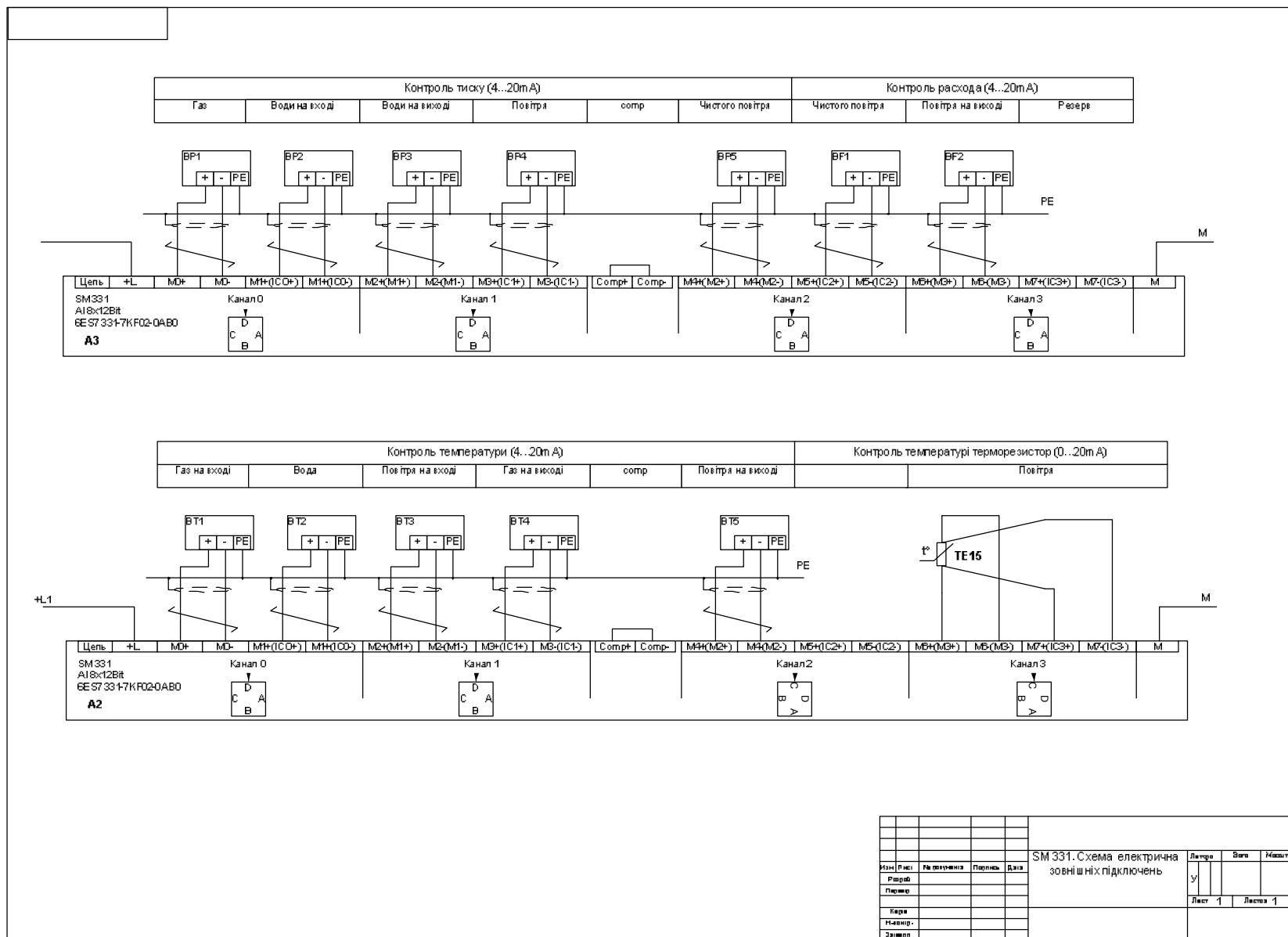


Рисунок А.5

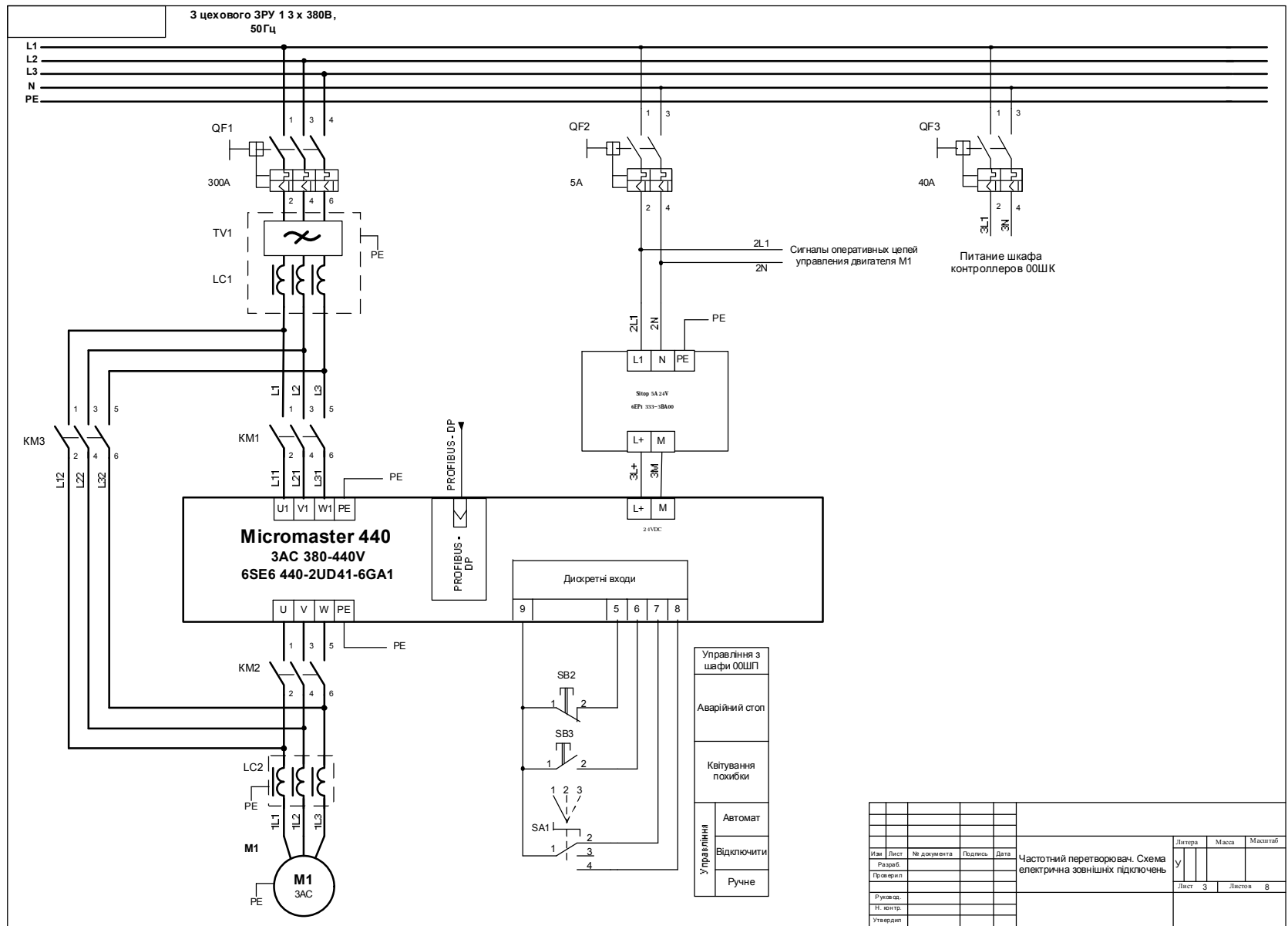


Рисунок А.6

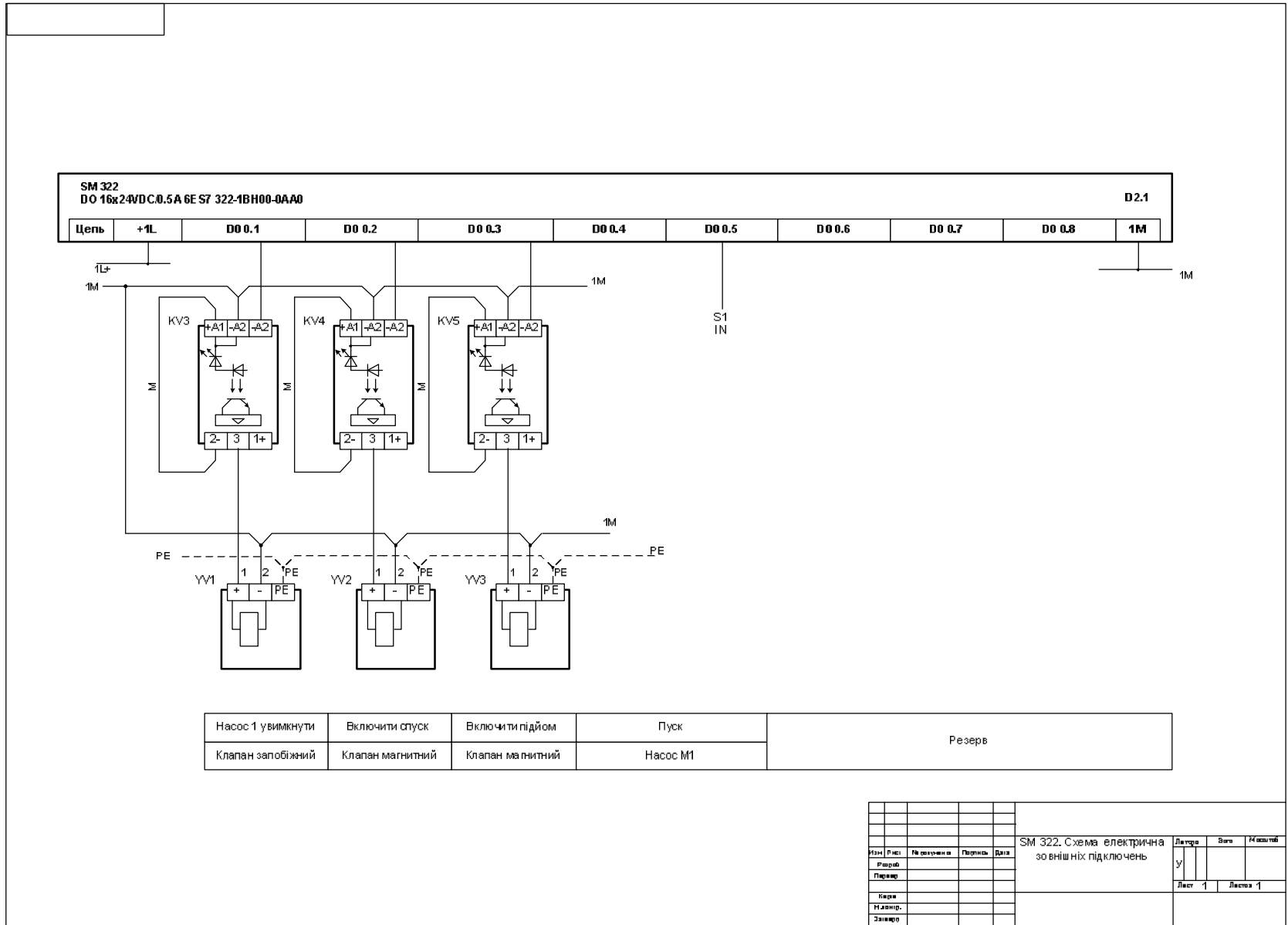


Рисунок А.7

Навчальне видання

РАЗЖИВІН Олексій Валерійович

СУБОТІН Олег Володимирович

ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

**Навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів**

Редактор

І. І. Дьякова

Комп'ютерна верстка

О. П. Ордіна

125/2016. Підп. до друку . Формат 60 x 84/8.

Папірофсетний. Ум. друк. арк.. Обл.-вид. арк. .

Тираж прим. Зам. №.

Видавець і виготівник

Донбаська державна машинобудівна академія

84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи

до Державного реєстру

серія ДК № 1633 від 24.12.2003