

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Навчально-методичний посібник для студентів
спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка"

За редакцією А.К. Бабіченка

Затверджено
редакційно-видавничою
радою НТУ "ХПІ"
протокол № 3 від 24.10..2024 р.

Харків

2024

УДК 681.3
Т38

Затверджено редакційно-видавничою радою
НТУ "ХПІ" протокол № 3 від 24.10.2024 р.

Авторський колектив:

А.К. Бабіченко, І.Л. Красніков, Ю.А. Бабіченко, І.Г. Лисаченко,
О.Г. Шутинський

Рецензенти:

А.О. Зуєв, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри автоматизації та управління в
технічних системах Національного технічного університету "Харківський
політехнічний інститут";

В.А. Панасенко, докт. техн. наук., проф., начальник науково-
технічного відділу ДУ "Державного науково-дослідного інституту основної
хімії", м. Харків.

Т 38. Технічні засоби автоматизації. навч.-метод. посібник / уклад.: А.К.
Бабіченко, І.Л. Красніков, Ю.А. Бабіченко, І.Г. Лисаченко,
О.Г. Шутинський, за ред. А.К. Бабіченко. – Харків: НТУ "ХПІ", 2024. –
183 с.

У посібнику розглядаються загальні відомості про технічну структуру та функціональний склад автоматизованих систем керування технологічними процесами, принципи побудови та основні комплекси нормування технічних засобів автоматизації. Наведена елементна база, на підставі якої забезпечується реалізація найбільш поширених алгоритмів регулювання засобів пневматичної гідравліки державної системи приладів. Узагальнена інформація щодо класифікації та основних визначень мікропроцесорних засобів автоматизації. Розглянуто технічні структури, функціональні можливості та особливості програмного забезпечення мікропроцесорних вимірювачів-регуляторів і програмованих логічних контролерів. Надана інформація проілюстрована прикладами щодо виконання функціональних схем конфігурування систем регулювання на базі спрощеної версії мови програмування FBD. Висвітлена інформація по виконавчим пристроям. За змістом посібник відповідає типовій програмі дисципліни "Технічні засоби автоматизації" спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"

УДК 681.5 (075.8)
Колектив авторів,
НТУ "ХПІ", 2024

ВСТУП

Виробничі процеси різних галузей промисловості, зокрема хімічної, характеризуються різним ступенем складності і представляють деяку систему, до якої надходять потоки сировини, напівфабрикатів, реагентів, теплоносіїв, холодоагентів і т.п., що рухаються від початку до кінця процесу. Ці потоки називаються матеріальними і енергетичними. У технологічному процесі вони зв'язані поміж собою через відповідне обладнання, агрегати, установки, які здійснюють переробку, транспортування, нагрів, охолодження, випаровування, конденсацію, очищення різних речовин, що рухаються у потоках, змінюючи їх показники, склад і стан. Серед такого типового обладнання особливо хімічних виробництв можна виділити ректифікаційні колони, випарні апарати, теплообмінники, випарники, конденсатори, насоси, компресори, абсорбери та ін. Для ефективного протікання процесів як у вище переліченому обладнанні, так і технологічній системі з метою забезпечення продукції заданої якості та продуктивності необхідне дотримання норм технологічного регламенту, що визначаються сукупністю значень параметрів таких як температура, витрата, тиск, концентрація, рівень та ін. Однак з цілої низки зовнішніх причин (зміна складу, витрати, параметрів теплоносіїв, холодоагентів та ін.) чи явищ, що відбуваються у самому апараті (зміна активності каталізаторів, гідродинамічних умов в апараті, умов передачі теплоти, коливання напруги і т. п.), вказані параметри можуть значно відхилитися від норм технологічного регламенту (заданих значень). Це призводить до порушень технології процесів і як наслідок зниженню продуктивності та якості продукції, що отримується, зношенню обладнання, а при значних відхиленнях і до аварійних ситуацій. Для дотримання норм технологічного регламенту необхідна система керування, технічна і функціональна структура якої

визначається складністю суто самого технологічного виробничого процесу. Для реалізації цих структур необхідні технічні засоби автоматизації, класи яких визначаються рівнем складності тієї чи іншої системи керування.

Все це обумовило актуальність запровадження в навчальні плани багатьох технічних спеціальностей вищих навчальних закладів дисципліни "Технічні засоби автоматизації", яка є однією з провідних у безперервній підготовці студентів 4-го курсу першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 17 "Електротехніка, автоматизація та електронні комунікації" за спеціальністю 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка".

Навчальна дисципліна вимагає систематичного вивчення теоретичного матеріалу та його послідовного закріплення на лабораторних заняттях та під час виконання курсового проєкту.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СКЛАД, ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ОСНОВНІ КОМПЛЕКСИ НОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Основні тенденції та етапи розвитку технічних засобів автоматизації.

Узагальнююча математична структура автоматизованої системи керування технологічним процесом

Автоматизація є одним з найважливіших факторів підвищення продуктивності у промисловому виробництві. Одна з основних умов для такого підвищення забезпечується розвитком технічних засобів автоматизації (ТЗА). До ТЗА відносяться усі пристрої, що утворюють систему керування та призначені для отримання інформації, її передачі, зберігання і перетворення, а також для реалізації керуючих і регулюючих впливів на технологічний об'єкт керування.

У розвитку автоматизації та відповідно ТЗА можна виділити наступні найбільш характерні етапи.

Початковий етап, для якого притаманні надлишок дешевої робочої сили, низька продуктивність праці, мала одинична потужність агрегатів та установок. Завдяки цьому широка участь людини у керуванні технологічними процесами, тобто спостереження за об'єктом керування, а також прийняття та виконання керуючих рішень, на даному етапі було економічно доцільним. Механізації і автоматизації підлягали лише ті окремі процеси та операції, керування якими оператор (людина) не міг здійснювати достатньо надійно по своїм психофізіологічним можливостям, тобто технологічні операції де необхідні затрати великих мускульних зусиль, занадто швидка реакція, підвищена увага тощо. Проте на цьому етапі були сформовані принципи дистанційного керування та отримали розвиток регулятори прямої дії, що використовували енергію самого технологічного процесу.

Етап комплексної механізації і автоматизації був обумовлений завдяки росту продуктивності праці, підвищенню одиничної потужності агрегатів та установок, розвитку матеріальної і науково-технічної бази автоматизації. На цьому етапі, під час керування технологічним процесом людина-оператор все більше займається розумовою працею, виконуючи різноманітні логічні операції під час пуску та зупинки об'єктів, особливо при виникненні аварійних ситуацій. На даному етапі формуються основи великосерійного виробництва ТЗА, що орієнтоване на широке застосування стандартизації, спеціалізації і кооперації. Великі масштаби виробництва ТЗА та специфіка їх виготовлення обумовили необхідність до поступового виділення цього виробництва у самостійну галузь.

Етап автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСКТП) став можливим з появою керуючих обчислювальних машин. На цьому етапі передбачається автоматизація все більш складних функцій керування, яка здійснюється з використанням керуючих обчислювальних машин. Основна складова частина ТЗА на цьому етапі обчислювальні машини. Доповнені пристроями зв'язку з об'єктом керування вони утворюють інформаційно-керуючий обчислювальний комплекс, що становить собою технічну основу АСКТП. При цьому основна мета останньої полягає в забезпеченні максимальної економічної ефективності технологічного процесу при заданому плані вироблення продукції. АСКТП, найпростіша узагальнююча математична структура якої представлена на рис. 1.1, характеризується окремими наступними функціями: інформаційні, керуючі і виконавчі. Вивчення цих функцій обумовлює розділення місця тих або інших ТЗА, які утворюють технічне забезпечення АСКТП.

До *інформаційних функцій* відносяться ті, на меті яких збір, перетворювання і зберігання інформації про стан технологічного об'єкта, подання цієї інформації оперативному персоналу або передача її для подальшої обробки. Основним інформаційним функціям притаманні: первинна обробка інформації про поточний стан технологічного процесу і обладнання; виявлення відхилень технологічних параметрів і показників стану обладнання від заданих значень; розрахунок значень величин, що не вимірюються (непрямі вимірювання,

розрахунок техніко - економічних показників, прогнозування); оперативне відображення і реєстрація інформації, обмін інформацією з оперативним персоналом та адміністративними підрозділами.

Керуючі функції забезпечують максимально ефективний режим проведення технологічного процесу. При цьому задача керування може вирішуватись на двох рівнях. На нижньому рівні (див. рис. 1.1) використовується поточна вимірювальна інформація $\{y\}$ про параметри стану технологічного об'єкту. На базі цієї інформації у рамках контуру зворотного зв'язку $\{y\} - F_{СК} - \{\mu\}$ здійснюється визначення і установка таких значень μ_i , за яких зміни параметрів y_i відповідають деяким апріорним програмам u_i , що задають бажаний режим роботи.

Алгоритм такого перетворення може бути представлений узагальнюючим оператором:

$$\{\mu\} = F_{СК}^{ОПТ} \{y, u, t\} \quad (1.1)$$

У найпростішому випадку програми оптимального функціонування технологічного процесу задаються наступними виразами:

$$u_i = y_i^{ОПТ} = const \quad ; \quad (1.2)$$

$$u_i = y_i^{ОПТ}(t) \quad ; \quad (1.3)$$

$$u_i > y_i(t) \quad ; \quad (1.4)$$

$$u_{k1} > y_k(t) > u_{k2} \quad . \quad (1.5)$$

Виконання програм у вигляді констант (1.2) чи функцій (1.3) відповідає звичайному *локальному автоматичному регулюванню* і застосовується на нижньому рівні АСКТП, а регулюючий вплив μ_i повинен змінюватись так, щоб розузгодження ε_i поміж поточними значеннями y_i і u_i прагнуло до нуля, тобто:

$$\varepsilon_i = u_i - y_i \rightarrow 0 \quad . \quad (1.6)$$

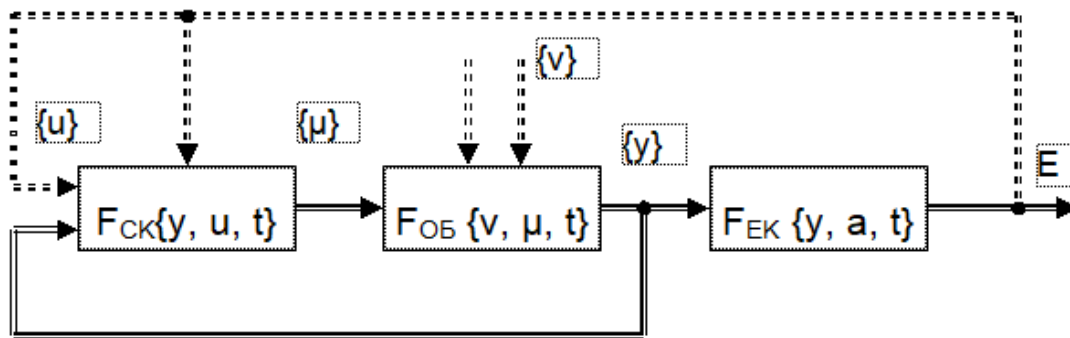


Рис. 1.1. Узагальнююча математична структура АСКТП: $\{y\}$ - вихідні параметри, що характеризують стан технологічного об'єкту і в процесі роботи повинні відповідати заданим значенням; $\{\mu\}$ - керуючі впливи, що компенсують збурюючі чинники; $\{v\}$ - збурюючі впливи, що діють довільно і викликають відхилення вихідних параметрів від заданих значень; $\{a\}$ - параметри настройок і характеристики системи управління; $F_{СК}$, $F_{ОБ}$, $F_{ЕК}$ - оператори алгоритму (математичне забезпечення) відповідно системи керування (регулювання), технологічного об'єкту і цільової функції (критерію економічної ефективності); t - час.

При цьому задане значення u_i визначить деяке оптимальне значення u_i^{OPT} і процес з цим заданим значенням буде протікати найбільш ефективно.

Програми у вигляді нерівностей (1.4) і (1.5) передбачають незалежність показників ефективності процесу E від значень параметрів $\{y\}$ у деякому діапазоні їх змін. Для реалізації таких програм на нижньому рівні АСКТП використовується *логічне управління*, що базується на комбінації найпростіших логічних функцій ("или", "и", "не" та ін) і застосовуються у системах позиційного регулювання, блокування, захисту і сигналізації.

На вищому рівні АСКТП вирішується задача визначення параметрів завдання u_i і алгоритму $F_{СК} \{y, u, t\}$, які забезпечують можливість оптимального проведення технологічного процесу. Для пошуку оптимальних алгоритмів (1.1) необхідно мати інформацію про алгоритми функціонування технологічного об'єкта, тобто знати його математичну модель, тобто

$$\{y\} = F_{ОБ} \{\mu, v, t\}, \quad (1.7)$$

а також алгоритм цільової функції (функціонал)

$$E = F_{EK}\{y, a, t\} \quad (1.8)$$

Ця цільова функція і повинна встановлювати зв'язок технологічних параметрів стану процесу $\{y\}$, а також характеристик системи керування (параметрів настроювання) з економічним ефектом чи системою окремих техніко - економічних показників. Для її реалізації необхідна наявність *математичного, програмного і інформаційного* (база даних) забезпечення. У відповідності з рис.1.1 цей вищий рівень керування здійснюється у рамках контуру зворотного зв'язку $\{y\} - F_{EK}\{y, a, t\} - \{u\} - F_{CK}\{y, u, t\}$.

Таким чином, у рамках АСКТП для нижнього рівня характерні такі керуючі функції як автоматичне регулювання і логічне управління, а для вищого рівня - оптимізація керуючих програм і алгоритмів.

Виконавча функція АСКТП реалізує зв'язок між технологічним об'єктом та системою керування і необхідна для здійснення у відповідності з регулюючими впливами $\{\mu\}$ безпосереднього впливу на хід технологічного процесу шляхом зміни значень параметрів енергетичних і матеріальних потоків.

У відповідності з вище переліченими функціями необхідне і *технічне забезпечення*, тобто технічні засоби автоматизації для реалізації інформаційних, керуючих і виконавчих функцій АСКТП.

Оскільки перша обчислювальна техніка була доволі громіздка та дороговартісна, то для реалізації простих функцій керування достатньо широко використовувались і традиційні аналогові пристрої автоматизації (агрегатні комплекси такі як КАСКАД, АКЕЗР, КОНТУР, СТАРТ). Недоліком таких АСКТП була їх *централізованість*, тобто вся інформація про хід технологічного процесу надходила та оброблялась обчислювальною технікою, при виході з ладу якої її функції повинен був взяти на себе оператор-технолог для забезпечення контролю АСКТП. Безумовно, що в таких випадках якість

керування технологічним процесом значно погіршувалась, тобто оператор не міг здійснювати керування так само якісно як обчислювальна машина. Однак така централізована структура АСКТП застосовується і в сучасних умовах для нескладних технологічних об'єктів, схема якої представлена на рис.1.2.



Рис. 1.2. Централізована (локальна) структура АСКТП

Централізована структура є однією з найпростіших, у якій всі функціональні можливості розподілені на три рівні. Перший рівень складають контролери, другий рівень – пульт керування оператора, який може бути представлений робочою станцією чи промисловим комп'ютером. Рівень контролерів у локальній структурі забезпечує: збір сигналів від датчиків, встановлених на об'єкті керування (нульовий рівень); попередню обробку сигналів (фільтрація та масштабування); реалізацію алгоритмів керування (формування керуючих сигналів на виконавчі пристрої), які також знаходяться на нульовому рівні; передачу та прийом інформації з промислової мережі. Пульт оператора формує мережні запити для контролерів нижнього рівня, отримує від них оперативну інформацію про хід технологічного процесу, відображує на екрані монітору значення параметрів процесу у зручному для

оператора вигляді, здійснює довготривале збереження динамічної інформації (ведення архіву) про хід процесу, здійснює корекцію необхідних параметрів алгоритмів керування та уставок регуляторів у контролерах нижнього рівня.

Етап розподілених (децентралізованих) АСКТП став можливим завдяки появі відносно недорогих та компактних мікропроцесорних пристроїв. Один з найбільш поширених варіантів такої більш надійної структури наведено на рис. 1.3.

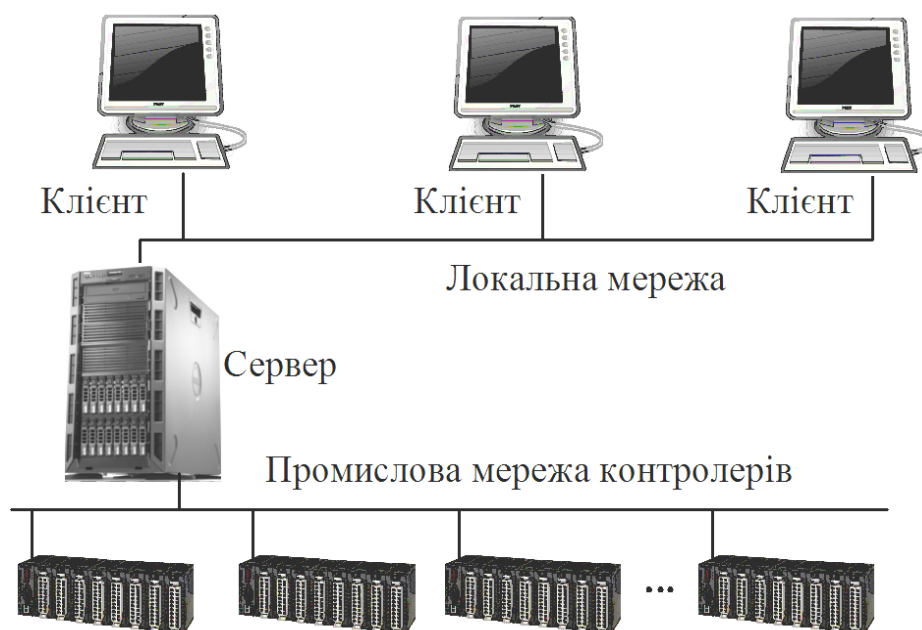


Рис. 1.3. Клієнт-серверна структура розподіленої АСКТП

У разі застосування клієнт-серверної структури АСКТП розподіл процесів керування і контролю по декільком комп'ютерам, об'єднаних у локальну мережу, дозволяє підвищити ефективність і швидкість роботи усієї системи та спростити створення резервних систем. Резервування більшості компонентів АСКТП підтримує, наприклад програмне забезпечення для керування виробничими процесами (SCADA-система). В такій структурі комп'ютер, що з'єднаний з промисловим обладнанням, набуває статусу сервера, призначеного для взаємодії з контролерами (вузлами), в той час як комп'ютери локальної мережі є клієнтами. Коли комп'ютеру-клієнту (робоча

станція) потрібні дані для відображення, то він запитує їх у сервера, той їх надає, а потім обробляє локально. До того ж клієнт може запитувати декілька вузлів, а сервер - декілька клієнтів. Робочі станції цього (2-го) рівня координують сумісну роботу ділень у межах технологічного процесу та забезпечують схемну реалізацію і контроль виконання системи блокувань між окремими дільницями, контроль стану ділень, контроль вхідних (на початку дільниці) і вихідних (на виході з дільниці) параметрів технологічного процесу. Підвищення надійності клієнт-серверної структури досягається встановленням дублюючого (резервного) серверу вводу-виводу, призначеного також для взаємодії з промисловим обладнанням через контролери. За такої схеми у випадку, якщо обмін даними з основним сервером призупиняється, то резервний сервер вважає, що основний вийшов з ладу і бере на себе його функції.

Етап комп'ютерно-інтегрованих систем керування КІСУ пов'язаний насамперед з розвитком мережних технологій, що дозволило зв'язати (об'єднати) у єдину корпоративну мережу багаточисельні та віддалені один від одного комп'ютери, за допомогою яких з'явилась можливість здійснювати контроль і аналіз фінансових, матеріальних та енергетичних потоків в процесі виробництва підприємством продукції, а також керування технологічними процесами. Розв'язання таких задач забезпечується за допомогою багаторівневої структури АСКТП, приклад якої наведений на рис. 1.4.

На відміну від розглянутих вище дворівневих структур, структура, що зображена на рис. 1.4 характеризується третім рівнем, до якого входить комп'ютерне обладнання (Web-сервер, Web-клієнт) з програмним забезпеченням для керування технологічними процесами на базі сучасних Internet-технологій. Застосування цих технологій в АСКТП забезпечує можливість публікації на Web-серверах інформації про хід технологічного процесу та всіляких підсумкових звітів. Web-сервери дозволяють здійснювати взаємодію з сервером бази даних (БД), що зберігає необхідну інформацію про

процес для передачі інформації (планових завдань та режимів роботи діляниць технологічної лінії). Крім того, такий підхід дозволяє клієнту через браузер (Internet-оглядач) робити необхідні запити до бази даних та мінімізувати затрати, бо відпадає необхідність в установці на боці клієнту додаткового програмного забезпечення, крім звичайних програм браузерів. За допомогою станції інжинірингу здійснюється обслуговування контролерів: програмування, наладка, настроювання. У деяких структурах АСКТП станції інжинірингу дозволяють виконувати технічне інженерне обслуговування робочих станцій.

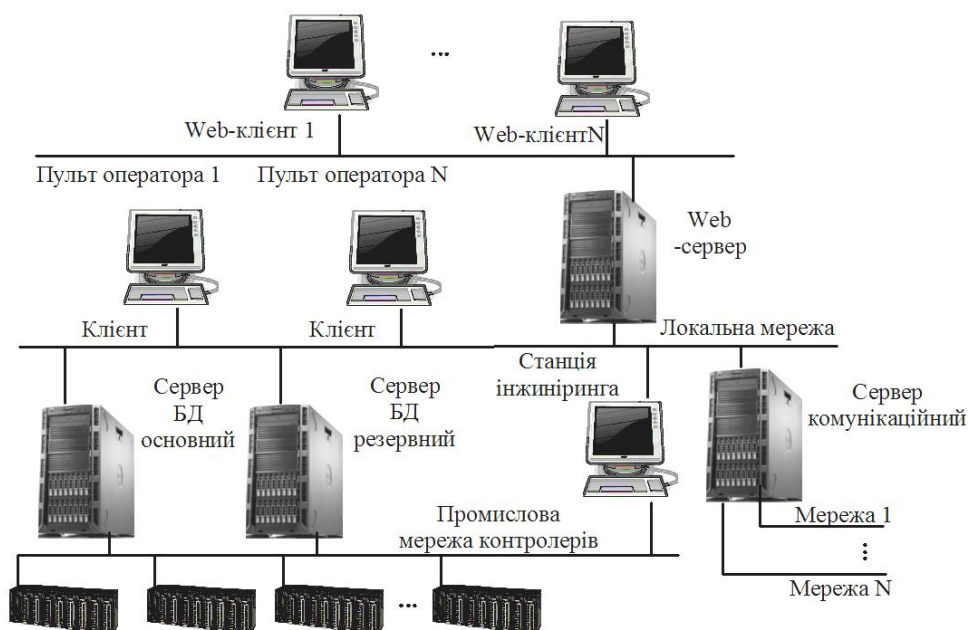


Рис. 1.4. Багаторівнева ієрархічна структура АСКТП

Етап інтелектуальних систем керування пов'язаний з підвищенням швидкодії та інших ресурсів мікропроцесорів, що використовуються для керування технологічних процесів. Застосування таких інтелектуальних АСКТП забезпечує здатність приймати ефективні рішення щодо керування виробництвом в умовах інформаційної невизначеності, тобто недостатньої необхідної інформації стосовно факторів, що впливають на його продуктивність чи якість.

1.2. Принципи побудови технічних засобів автоматизації. Державна система приладів та її структура. Сигнали-носії інформації та комплекси нормування засобів автоматизації

Економіка галузі, що виробляє ТЗА, вимагає достатньо вузької спеціалізації підприємств для виготовлення великих серій однотипових пристроїв. У той же час з розвитком автоматизації, з появою нових, все більш складних об'єктів керування та збільшенням об'єму автоматизуємих функцій зростають вимоги до функціонального різноманіття пристроїв автоматизації та до різноманіття їх технічних характеристик і конструктивних особливостей виконання. Задача зменшення функціонального та конструктивного різноманіття за оптимального задоволення запитів автоматизуємих підприємств вирішується за допомогою *принципів стандартизації*.

Рішенням по стандартизації завжди мають передувати системні дослідження практики автоматизації, типізація існуючих рішень та наукове обґрунтування економічно оптимальних варіантів і можливостей подальшого скорочення різноманіття пристроїв для застосування. При цьому рішення, що приймаються, після їх практичної перевірки оформлюються обов'язковими до виконання державними стандартами (ДГСТ). Більш вузькі по сфері застосування рішення можуть оформлюватись і у вигляді таких, що мають обмежене застосування стандартів підприємств (СТП).

Агрегативання – це основний принцип формування складу серійно, що виготовляються, засобів автоматизації, спрямований на максимальне задоволення запитів підприємств-споживачів за обмеженою номенклатурою серійно виготовлюємої продукції.

Агрегативання базується на тому, що складні функції керування можливо розкласти на найпростіші складові. Наприклад, складні обчислювальні алгоритми можна представляти у вигляді сукупності окремих найпростіших

операторів. Таким чином, агрегування ґруване на розкладанні загальної задачі керування на низку найпростіших однотипних операцій, що повторюються у тих чи інших комбінаціях у самих різних системах керування. За результатами аналізу великої кількості подібних систем керування можна виділити обмежений набір найпростіших функціональних операторів, на комбінації яких будується практично будь-який варіант АСКТП. У підсумку формується склад серійно виготовляємих засобів автоматизації, що включає такі конструктивно завершені та функціонально самостійні одиниці, як блоки і модулі, прилади і механізми.

Блок – це конструктивно збірний пристрій, що виконує одну чи декілька функціональних операцій по перетворенню інформації.

Модуль – це уніфікований вузол, що виконує елементарну типову операцію у складі блоку чи приладу.

Виконавчий механізм (ВМ) – це пристрій для перетворення керуючої інформації у механічне переміщення з певною потужністю, що достатня для впливу на об'єкт керування.

У відповідності з принципом агрегування системи керування створюються шляхом монтажу модулів, блоків, приладів і механізмів з подальшою комутацією каналів та ліній зв'язку між ними. У свою чергу, самі блоки та прилади створюються також шляхом монтажу і комутації різних модулів. Модулі ж збираються з більш простих вузлів (мікромодулів, мікросхем, плат, пристроїв комутації та ін.), що складають елементну базу ТЗА. При цьому виготовлення блоків, приладів і модулів здійснюється повністю у заводських умовах, в той час як монтаж і комутація АСКТП повністю завершується лише на місці експлуатації. Такий підхід до побудови блоків і приладів отримав назву **блоково-модульного принципу** виконання ТЗА, який по суті є супроводжуваним агрегуванню принцип.

Уніфікація – це також є супроводжуваним агрегуванню принцип стандартизації, який в значній мірі спрямований на впорядкування та розумне

скорочення складу серійно виготовляємих засобів автоматизації. Вона спрямована на обмеження різноманіття параметрів і технічних характеристик сигналів-носіїв інформації, принципів дії і схем, а також конструктивних особливостей виконання ТЗА.

Серійне виробництво ТЗА здійснюється у межах *Державної системи приладі і засобів автоматизації промислового призначення (ДСП)*. Структурно у ДСП розрізняють електричну, пневматичну, гідравлічну гілки та гілку приладів, функціонуючих без використання зовнішньої допоміжної енергії. У кожній з цих перших трьох гілок слід виділити засоби отримання, передачі, обробки і формування командної інформації та засоби перетворення командних сигналів у вплив на технологічний процес. Найбільш розвинутою є *електрична гілка*, яка складається з п'яти груп пристроїв різного рівня. *Засоби нижнього (першого) рівня* пов'язані безпосередньо з об'єктом керування та здійснюють операцію перетворення параметрів процесів в електричний уніфікований сигнал або перетворення уніфікованого сигналу у пропорційний вплив на параметр процесу. *На другому рівні* розташовані засоби контролю і регулювання, що застосовуються у простих локальних системах. До цієї групи входять вторинні прилади, що забезпечують показання, реєстрацію, найпростіше регулювання, а також датчики із вмонтованими у них регулюючими пристроями. *На третьому рівні* знаходяться засоби для складних локальних систем керування, що забезпечують складні динамічні закони регулювання, програмну зміну завдань у часі, завдань по командам оператора або командам з обчислювальних машин. Це як правило мікропроцесорні вимірювачі-регулятори або програмовані логічні контролери. *Технічні засоби четвертого рівня* призначені для розв'язання в основному задач контролю, регулювання і керування при побудові АСКТП. Ці засоби забезпечують автоматичну реєстрацію ходу технологічного процесу, швидкий пошук і контроль стану низових підсистем АСКТП, визначення необхідних значень регулюємих параметрів та керування завданням (уставками)

регуляторів. Ці задачі реалізуються з використанням програмованих логічних контролерів або найчастіше за допомогою агрегатних програмно-технічних комплексів (ПТК), що забезпечують створення багаторівневої ієрархічної структури АСКТП. *На п'ятому рівні* знаходяться засоби, що призначені для розв'язання організаційно-управлінських задач на рівні галузі чи міністерства із застосування надпотужних високопродуктивних електронно-обчислювальних машин.

Пневматична гілка складається з чотирьох рівнів. В ній відсутні засоби для автоматизації організаційно-управлінських задач. При цьому засоби другого рівня утворюють пневматичні вторинні прилади, що реалізують показання, реєстрацію, найпростіше керування завдяки вмонтованим регуляторам. Третій рівень складається з агрегатних комплексів СТАРТ, ЦИКЛ, РЕТМІНАЛ та ін., які дозволяють реалізувати більш складні алгоритми керування навіть до програмного. Засоби четвертого рівня реалізовані на базі комплексу ЦЕНТР, в якому передбачені пристрої для зв'язку з обчислювальною машиною. *Гідравлічна гілка* містить засоби лише перших двох рівнів, основу якої складає агрегатний комплекс засобів гідравлічного регулювання для забезпечення керування гідравлічними виконавчими механізмами. *Гілка засобів без допоміжної енергії* має лише нижній рівень, основу якої утворюють в основному регулятори прямої дії.

У межах ДСП застосовуються у серійному виробництві ТЗА наступні **типи сигналів-носіїв інформації:**

- електричний сигнал (напруга, сила чи частота електричного струму);
- пневматичний сигнал (тиск стислого повітря);
- гідравлічний сигнал (тиск чи перепад тисків рідини).

За формою представлення інформації сигнал може бути аналоговим, імпульсним і кодовим.

Аналоговий сигнал характеризується поточними змінами якого–небудь фізичного параметра-носія (наприклад, миттєвими значеннями електричної

напруги чи струму). Такий сигнал існує практично у кожній момент часу та може приймати будь-які значення у межах заданого діапазону зміни параметра.

Імпульсний сигнал характеризується представленням інформації тільки у дискретні моменти, тобто наявністю квантування у часі. При цьому інформація надається у вигляді послідовності імпульсів однакової тривалості, але різної амплітуди (амплітудо-імпульсна модуляція сигналу) або однакової амплітуди, але різної тривалості (широтно-імпульсна модуляція сигналу). Амплітудо-імпульсна модуляція (АІМ) сигналу застосовується в тих випадках, коли значення фізичного параметра – носія інформації можуть змінюватися з часом. Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) сигналу використовується, якщо фізичний параметр-носій інформації може приймати лише деяке постійне значення.

Кодовий сигнал становить собою складну послідовність імпульсів, що використовується для передачі цифрової інформації. При цьому кожна цифра може бути представлена у вигляді складної послідовності імпульсів, тобто коду, а сигнал передачі є дискретним (квантується) як у часі, так і по рівню.

Всі параметри і характеристики сигналів-носіїв інформації у засобах ДСП уніфіковані. Стандартами передбачено використання в аналогових засобах наступних найбільш поширених видів сигналів:

– сигнал за зміною сили постійного струму в діапазоні $0 \div 5$ мА, $0 \div 20$ мА, $4 \div 20$ мА;

– сигнал за зміною напруги постійного струму в діапазоні $0 \div 10$ В, $10 \div 0 \div +10$ В, $0 \div 24$ В, $0 \div 110$ В, $0 \div 220$ В;

– сигнал за зміною напруги змінного струму в діапазоні $0 \div 1$ В, $0 \div 2$ В, $0 \div 220$ В, $0 \div 36$ В, $0 \div 127$ В, $0 \div 380$ В;

– частотний електричний сигнал не отримав широкого розповсюдження у зв'язку з труднощами, що пов'язані з його отриманням та необхідності здійснення лінійних перетворень;

– пневматичний сигнал в діапазоні $0,02 \div 0,1$ МПа, $0,02 \div 0,25$ МПа;

– гідравлічний сигнал в діапазоні 0,01÷0,1 МПа, 0,025÷0,25 МПа, 0,05÷0,5 МПа.

Сигнали постійного струму використовуються частіше. При цьому струмовий сигнал (з великим внутрішнім опором джерела) застосовується для передачі інформації у відносно довгих лініях зв'язку. Сигнали змінного струму рідко використовуються для перетворення і передачі інформації у зовнішніх лініях зв'язку.

Це обумовлено тим, що при додаванні та відніманні сигналів змінного струму необхідно виконати вимогу синфазності, а також забезпечити заглушування нелінійних викривлень гармонік струму. Однак при використанні цього сигналу легко вирішуються задачі гальванічного розподілу електричних кіл.

Стандарти на види і параметри сигналів уніфікують систему зовнішніх зв'язків, тобто *інтерфейс засобів автоматизації*. Така уніфікація, доповнена стандартами на пристрої комутації блоків один з одним (у вигляді системи роз'ємів), створює передумови для спрощення проектування, монтажу, комутації та наладки ТЗА систем керування.

Таким чином, розробка, виготовлення та експлуатація ТЗА здійснюється у межах ДСП і забезпечується системою нормативно-технічної документації (НТД), в якій можуть бути виділені наступні **комплекси нормування**: технічні вимоги і умови на засоби автоматизації, метрологічного забезпечення пристроїв; надійності засобів; несучих і монтажних конструкцій пристроїв; експлуатації засобів.

Комплекс технічних вимог і умов на засоби автоматизації містить стандарти, що нормують загальні технічні вимоги до виробів автоматизації, до сумісності по інтерфейсу, по стійкості до зовнішніх впливів, а також методи контролю і випробування виробів.

У залежності від впливу навколишнього середовища прилади і пристрої автоматизації розподіляються на такі види виконання: звичайні, захищені від

впливу пилу (пилозахищені), захищені від агресивного середовища, вибухобезпечні (також іскробезпечні), захищені від зовнішніх впливів.

За ступенем захищеності від впливу води вироби випускають у чотирьох виконаннях: В1, В2, В3, В4. Позначення виконання входить в умовне позначення і показується на таблиці чи паспорті. За ступенем захищеності від проникнення пилу засоби випускаються двох виконань: П1 і П2. Позначення виконання також входить до умовного позначення виробу.

Виконання категорії розміщень, умов експлуатації, зберігання і транспортування приладів і пристроїв у залежності від впливу кліматичних факторів зовнішнього середовища встановлюється стандартом і розподіляється на чотири групи. Кожна з цих груп характеризується межами припустимих температур і відносної вологості відповідно в діапазонах від -50°C до 50°C та від 40% до 95% (при 30°C).

За стійкістю до механічних впливів засоби автоматизації розподіляються на виконання: звичайне і вібростійке. У звичайному виконанні пристрої витримують в процесі роботи вібрацію з частотою до 25 Гц при амплітуді до 0,1 мм. Рівень шуму від засобів в операторських пунктах не повинен перевищувати 70 дБ.

Згідно стандарту вибухозахищені електричні засоби автоматизації розподіляють за рівнями і видами вибухозахисту, за групами і температурними класами.

Рівні вибухозахисту наступні: 2 – засоби підвищеної надійності проти вибуху; 1 – вибухобезпечні; 0 – особливо вибухобезпечні. Види вибухозахисту характеризують ТЗА, що забезпечують безпеку, і позначаються таким чином: d - вибухонепроникнена оболонка; s – спеціальний вид вибухозахисту; p – заповнення або продувка захисним газом; і – іскробезпечне електричне коло. Групи вибухозахищених ТЗА визначають галузь їх застосування і можуть бути: I - рудничне; II - для внутрішньої і зовнішньої установок. Електричні засоби групи II мають вибухонепроникнену оболонку чи іскробезпечне коло і

розподіляються на підгрупи: ПА, ПВ та ПС у залежності від параметрів вибухозахисту, які застосовуються для відповідних категорій вибухонебезпечних сумішей. Найбільш небезпечною є суміш підгрупи ПС, до якої відносять суміші з воднем, ацетиленом, сірковуглецем та ін.

Температурні класи електроприладів групи II визначають граничну температуру, за якої засоби є вибухозахищеними для відповідної групи вибухонебезпечної суміші. Наприклад, для електроприладів класу Т1 припустима гранична температура поверхні 450°C , а для класу Т6 – 85°C .

Таким чином, позначення вибухозахищеного електроприладу складається з таких символів. Спочатку іде знак рівня вибухозахисту (2, 1, 0), далі знак E_x , що вказує приналежність засобу стандарту на види вибухозахисту. Потім іде знак виду і групи вибухозахисту, а наприкінці вказують знак температурного класу. Наприклад, вимірювальний перетворювач рівня "Сапфір-12ДУ-ВН" має таке позначення вибухозахисту: 1ExsdІІВТ4. Це означає, що рівень вибухозахисту відповідає вибухобезпечному засобу (знак 1), забезпечена відповідність стандарту (E_x), вид вибухозахисту – вибухонепроникна оболонка зі спеціальним видом вибухозахисту (sd), підгрупа (ІІВ) для категорії вибухонебезпечних сумішей, температурний клас Т4 (межа температури самозаймання $135\div 200^{\circ}\text{C}$).

Надійність засобів автоматизації в значній мірі пов'язана з поняттям якості і характеризує властивість системи чи виробу зберігати свої вихідні параметри у заданих межах за певних умов експлуатації. Надійність – це комплексна характеристика, яка може визначатись кількісно такими показниками, як безвідмовність, довговічність, зберігаємість та ремонтнопридатність. В технічній документації на ТЗА у більшості випадків застосовуються показники безвідмовності, як ймовірність безвідмовної роботи та середня наробка до першої відмови. Ймовірність безвідмовної роботи – це ймовірність не виникнення відмови (тобто ймовірність безперервної роботи пристрою) у межах заданого проміжку часу. Наприклад, ймовірність

безвідмовної роботи пристрою 0,9 за 10 тис. год., означає, що в середньому 10% таких пристроїв можуть вийти з ладу за заданий проміжок часу, а в середньому 90% мають функціонувати нормально. Середня наробка до першої відмови – це математичне очікування наробки до першої відмови, тобто оцінка усередненого часу безвідмовної роботи пристрою. При цьому слід мати на увазі, що при заданій наробці до відмови в 10 тис. год. такі події як відмова пристрою малоймовірні.

Метрологічне забезпечення ТЗА належить до найважливіших заходів, що дозволяє досягти потрібної якості функціонування систем керування за допомогою похибок вимірювання. Комплекс метрологічного забезпечення передбачає нормування засобів автоматизації згідно стандарту за класами точності, вивчення яких вже детально було розглянуто раніш в курсі "Метрологія та основи вимірювань".

Комплекс нормування щодо експлуатації засобів автоматизації містить наступні стандарти: терміни і визначення по експлуатації пристроїв, експлуатаційні та ремонтні документи, основні положення по технічному обслуговуванню (ТО) і ремонту засобів, трудоемність ТО та ремонту техніки, організації безпечності праці.

Контрольні запитання для самостійної підготовки за розділом 1.

1. Наведіть перелік етапів розвитку технічних засобів автоматизації (ТЗА)?
2. На якому з етапів розвитку ТЗА отримали розповсюдження регулятори прямої дії?
3. В чому полягає сутність принципу агрегування?
4. Які функції притаманні АСКТП?
5. У яких системах найчастіше застосовується логічне керування?
6. Основні керуючі функції АСКТП?
7. У чому полягає блоково-модульний принцип виконання ТЗА?

8. Для яких об'єктів керування може бути застосована централізована структура АСКТП?
9. Основні переваги розподіленої структури АСКТП.
10. Що сприяло можливості переходу до етапу інтелектуальних систем керування?
11. Для чого призначений виконавчий пристрій?
12. В чому полягає принцип уніфікації?
13. Що забезпечує можливість створення багаторівневих ієрархічних структур АСКТП?
14. Яка найбільш розвинена гілка ДСП та зі скількох рівнів вона складається?
15. Які основні функції притаманні ТЗА електричної гілки ДСП четвертого рівня?
16. Наведіть основні типи сигналів носіїв інформації?
17. Яким може бути сигнал за формою представлення інформації?
18. Що становить собою кодовий інформаційний сигнал?
19. Наведіть основні комплекси нормування ТЗА, які забезпечуються нормативно-технічною документацією?
20. Наведіть приклади уніфікованих сигналів постійного струму?

РОЗДІЛ 2

Елементна база, реалізація алгоритмів регулювання та номенклатура агрегатного комплексу пневматичної гілки ДСП

2.1 Функціональний склад та принцип дії основних елементів УСЕППА

Розвиток пневматичної гілки ДСП обмежується низькою швидкістю перетворення та передачі пневматичних сигналів. Проте в області автоматизації пожежо- та вибухонебезпечних виробництв ця гілка поза конкуренцією.

Основу гілки пневматичних засобів регулювання ДСП складають пристрої універсальної системи елементів промислової пневмоавтоматики (УСЕППА). Вона становить собою набір окремих елементів, кожний з яких може виконувати лише найпростішу функцію перетворення сигналу у загальній схемі пристрою.

Пневмоємкість – елемент, у якому накопичення потенціалу здійснюється за рахунок зміни тиску при постійному об'ємі. У залежності від функціонального призначення розрізняють постійні та змінні пневмоємкості.

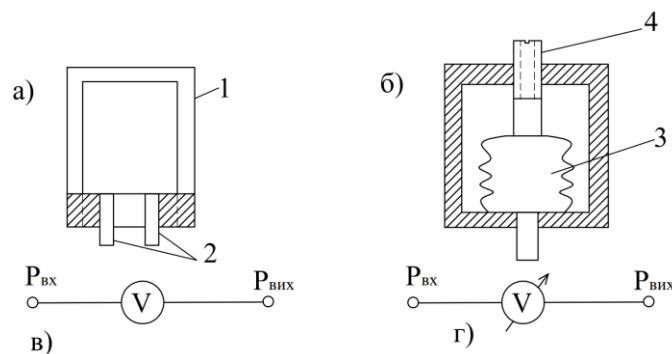


Рис. 2.1. Пневмоємкість: а – постійний об'єм; б - змінний об'єм; в, г – умовне зображення на схемах.

Постійна пневмоємкість (рис. 2.1 а) становить собою циліндричну жорстку камеру 1 з двома штуцерами 2. Змінна пневмоємкість (рис. 2.1 б)

становить собою робочий об'єм 3, величину якого можна змінювати шляхом зміни степені деформації сильфону за допомогою гвинта 4.

Пневмоопір (дросель) призначений для створення опору течії повітря (дроселювання потоку). У залежності від функціонального призначення пневматичні опори розподіляють на постійні, змінні та керуємі. Постійні опори становлять собою капіляр довжиною 20 мм з отвором діаметром 0,32 чи 0,18 мм (рис. 2.2 а).

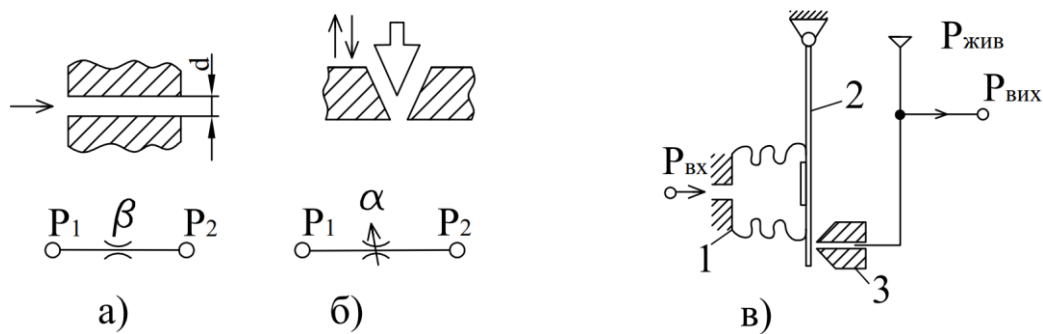


Рис. 2.2. Пневмоопори: а – постійний опір; б – змінний опір; в – керуємий опір; α і β – провідності дроселів.

Змінний опір (регулюємий) – це опір величина якого може змінюватись у певних межах. У якості змінних опорів частіше використовуються конструкція, що містить робочу пару "конус-конус" (рис. 2.2 б). Керуємі опори – це опори, величина яких може змінюватись під впливом якого-небудь параметра, тобто величина цих опорів може змінюватись в процесі роботи. Найбільше розповсюдження отримали опори типу «сопло-заслінка» (рис.2.2в), у яких під впливом тиску $P_{вх}$ сильфон 1 жорстко зв'язаний із заслінкою 2 деформується. Це призводить до зміни відстані між заслінкою 2 і соплом 3, через який продувається стисле повітря $P_{жив}$ живлення. За рахунок такої зміни відстані відбуваються і зміна вихідного тиску $P_{вих}$.

Пневматичні дросельні підсумовувачі (дросельні ділителі) реалізують операцію складання двох пневматичних сигналів (тисків), що надходять крізь постійний (ДП) та змінний (ДР) дроселі (рис. 2.3). При цьому останній як правило оснащений шкалою.

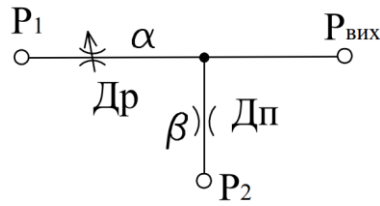


Рис. 2.3 Умовне зображення дросельного підсумовувача на схемах пневмоавтоматики.

В стаціонарному режимі у міждросельному об'ємі, який можна розглядати як проточну камеру, встановлюється тиск $P_{вих}$. При цьому масова витрата через дросель ДР має дорівнювати масовій витраті через дросель ДП. Якщо прийняти, що перепади тисків $P_1 - P_{вих}$ і $P_{вих} - P_2$ на відповідних дроселях з провідністю α і β малі, а режими протікання повітря крізь дроселі ламінарні, то на підставі рівності масових витрат можна записати:

$$\alpha (P_1 - P_{вих}) = \beta (P_{вих} - P_2) \quad (2.1)$$

Після перетворень отримаємо наступний вираз для $P_{вих}$:

$$P_{вих} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_1 + \frac{\beta}{\alpha + \beta} P_2 \quad (2.2)$$

Пневматичні підсилювачі тиску (елементи порівнювання) це елемент, який побудований на базі двохсоплового механо-пневматичного перетворювача. До складу УСЕППА входять трьохмембранні пневмопідсилювачі з двома входами та п'ятимембранні з чотирма входами. Трьохмембранний пневмопідсилювач (рис. 2.4) складається з двох пневмоопорів типу "сопло-заслінка" (1, 4 і 2, 5) та мембранного блоку 3, що утворює разом з корпусом глухі камери.

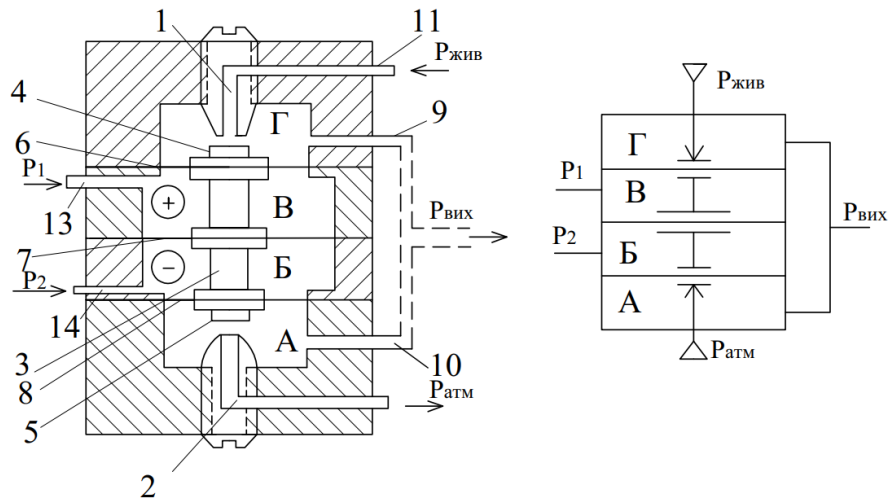


Рис 2.4. Пневматичний підсилювач тиску на два входи: а – спрощена схема; б – умовне зображення.

Мембранний блок містить три еластичні мембрани 6, 7 і 8, що з'єднані загальним штоком, торці якого 4 і 5 є заслінками сопел 1 і 2. Ефективні площі мембран 6 і 8 дорівнюють одна одній і значно менше ефективній площині мембрани 7. Камери А і Г, у яких розташовані сопла, з'єднуються послідовно (штуцери 9 і 10 об'єднані) та утворюють тим самим проточну камеру з двома керуємими пневмоопорами. До сопла 1 через штуцер 9 надходить тиск живлення $P_{жив}$, сопло 2 через штуцер 10 сполучений з атмосферою $P_{атм}$. Вхідні тиски P_1 і P_2 надходять до глухих камер В і Б крізь штуцери 13 і 14. Внаслідок різниці ефективних площин мембран, що утворюють глухі камери, з підвищенням тиску P_1 у підсилювачі тиск на виході $P_{вих}$ збільшується, а з підвищенням тиску P_2 – зменшується. Тому камеру В прийнято називати позитивною, а камеру Б – негативною. При цьому положення мембранного блоку відносно керуємих опорів визначає величину вихідного тиску та в той самий час воно само визначається значеннями вхідних сигналів. Тому між тиском $P_{вих}$ і значеннями тисків P_1 і P_2 має місце однозначна залежність, яка має суттєву крутизну. На рис. 2.5 наведена ідеалізована статична характеристика підсилювача

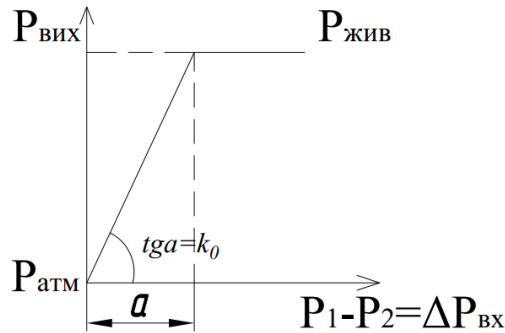


Рис. 2.5. Ідеалізована статична характеристика пневматичного підсилювача

Реальна характеристика дещо відрізняється від ідеалізованої і має форму петлі гістерезиса, що обумовлено пружністю еластичних мембран. Наявність гістерезису викликає деяку нечутливість підсилювачів, а їх коефіцієнт підсилення K_0 в діапазоні різниці тисків $(P_1 - P_2)$ не більше ніж $a = 0,4 \cdot 10^{-3}$ МПа коливається у межах $100 \div 200$ одиниць. Таким чином, остаточно можна записати:

$$P_{вих} = K_o (P_1 - P_2) \quad (2.3)$$

У зв'язку з цим двохходовий підсилювач найчастіше в схемах керування використовується як елемент порівнювання, тобто як релейний елемент.

Стійка робота пневмопідсилювача буде спостерігатися у разі охоплення його негативним зворотним зв'язком (рис. 2.6).

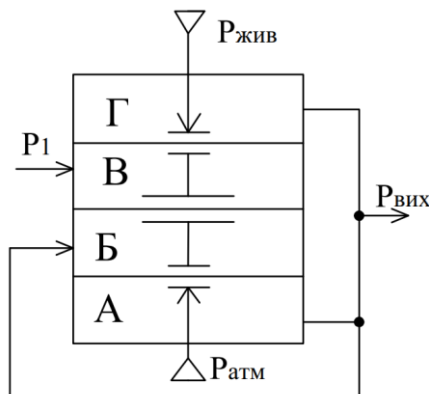


Рис.2.6. Трьохмембранний пневмопідсилювач з негативним зворотнім зв'язком

Найчастіше застосовується одиничний зворотний зв'язок. Тоді за умови $K_0 \gg 1$ такий пристрій виконує операцію повторення вхідного сигналу, тобто $P_{\text{вих}} = P_1$.

Пневмопідсилювачі п'ятимембранні з чотирма входами є різновидом розглянутого. Охоплені одиничним зворотнім зв'язком підсилювачі мають три вільних входи (два позитивних і один негативний) і по аналогії з розглянутим вище трьохмембранним підсилювачем також реалізують операцію повторення $P_{\text{вих}} = \Delta P_{\text{вх}} = P_1 - P_2 + P_3$ (рис. 2.7).

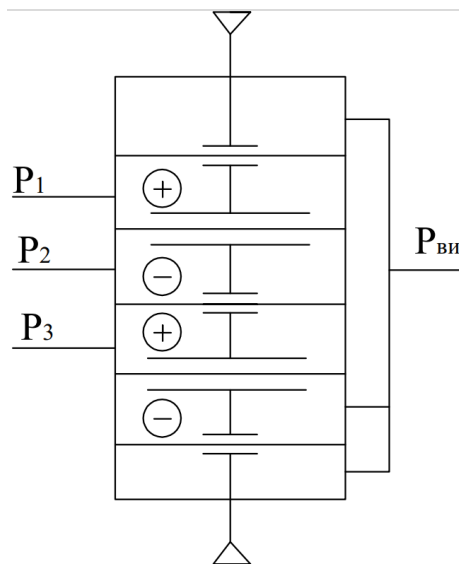


Рис. 2.7. П'ятимембранний пневмопідсилювач з негативним зворотнім зв'язком

Ці підсилювачі знайшли широке розповсюдження при реалізації аналогових пневматичних регулюючих пристроїв, здійснюючих типові П-, ПІ- і ПІД – закони (алгоритми) регулювання.

Підсилювач потужності забезпечує повторення неперервного вхідного сигналу та підсилення його по потужності (витраті повітря). Застосовуються у якості вихідних елементів у більшості приладів та регуляторів. Підсилювач (рис. 2.8) складається з трьох шайб, розподілених гнучкими мембранами та

зібраних таким чином, що в елементі утворюються чотири камери. До камери А надходить вхідний сигнал. Камера Б з'єднана з атмосферою, у камері В формується вихідний сигнал, а камера Г з'єднана з джерелом живлення.

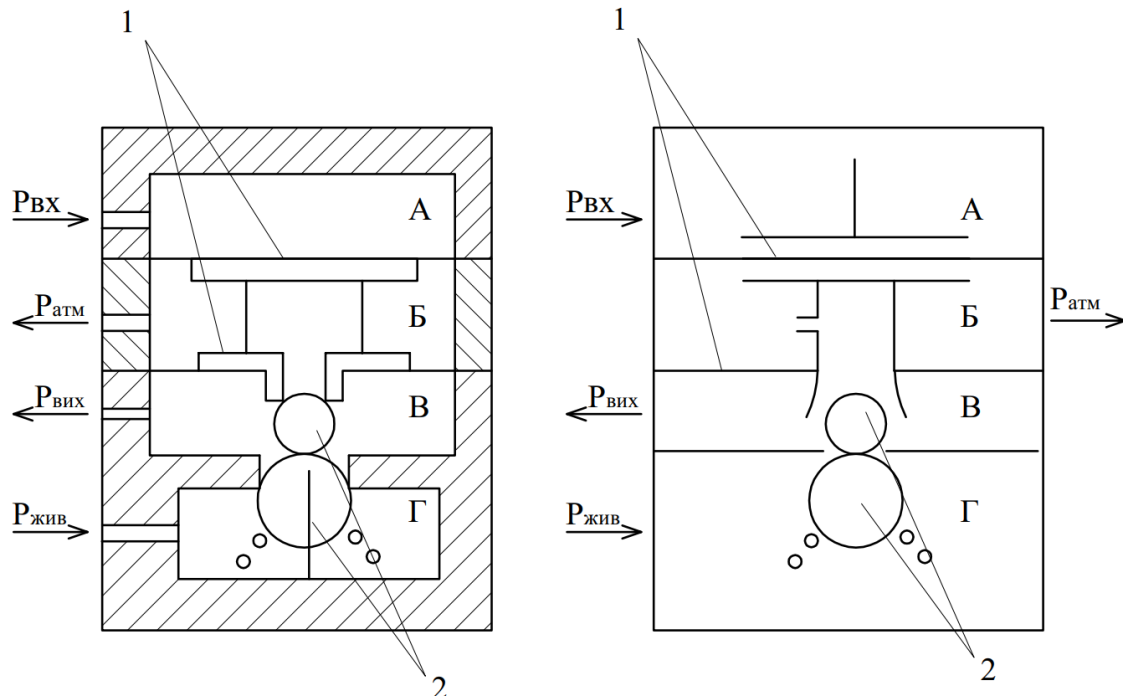


Рис.2.8. Підсилювач потужності: а – спрощена схема; б – умовне зображення.

Принцип дії елемента – компенсаційний: зусилля, що утворюється на здвоєній мембрані 1 вхідним сигналом $P_{ВХ}$, неперервно порівнюється та компенсується зусиллям, яке утворюється на тій же мембрані вихідним сигналом $P_{ВІХ}$. У разі порушення рівноваги сил на мембранному блоці подвійний кульковий клапан 2 відкриє контакт, що з'єднує вихідну камеру В з атмосферою або з камерою живлення. Це призведе до встановлення рівноваги.

Реле перемикання (вимикаюче реле) призначено для почергового з'єднання двох пневматичних каналів з третім. Реле (рис. 2.9) складається з трьох камер, що розділені мембранами, жорсткі центри яких є заслінками сопел C_1 і C_2 . Мембрани 1 і 3 жорстко з'єднані поміж собою штоком 2. Тиск команди P_K подається в камеру А. Камера В сполучена з атмосферою. При $P_K = 0$ сопло

C_1 відкрито в камеру Б, а сопло C_2 закрито під дією пружинки 4. При $P_K = 1$ – навпаки.

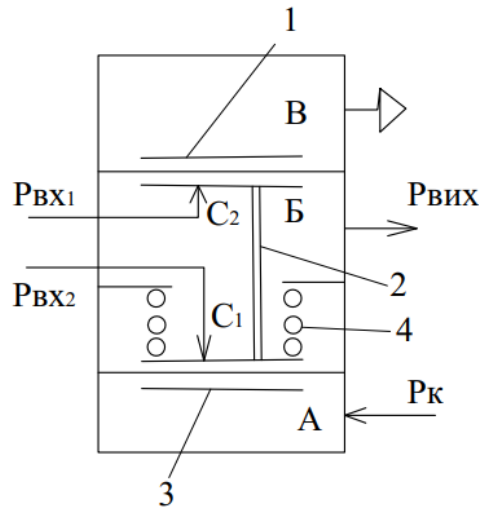


Рис. 2.9 Реле перемикання

Повторювач пневматичного сигналу складається з вхідної камери Б і вихідної А, розділених мембраною 1 (рис. 2.10).

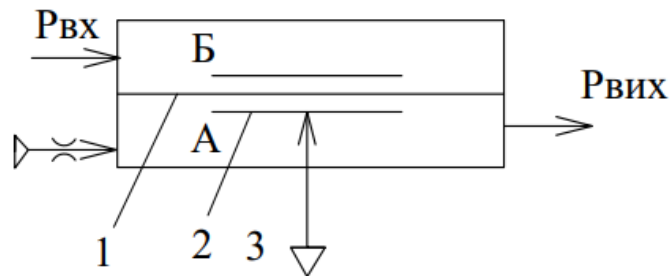


Рис. 2.10. Пневмоповторювач

Жорсткий центр 2 цієї мембрани виконує роль заслінки сопла 3. Повторювач діє за принципом компенсації зусиль. Вхідний сигнал надходить до камери Б і розвиває на мембрані 1 зусилля, спрямоване донизу. У камеру А крізь постійний дросель безперервно надходить тиск живлення. Частина повітря крізь зазор між заслінкою 2 і соплом 3 скидається в атмосферу. У камері А встановлюється тиск, проміжний за величиною між тиском $P_{ЖИВ}$ і $P_{АТМ}$. Цей тиск, що є вихідним тиском $P_{ВИХ}$, розвиває на мембрані 1 зусилля,

спрямоване догори. Обидва тиски $P_{вх}$ і $P_{вих}$ безперервно порівнюються. Таким чином, вихідний пневматичний сигнал елемента завжди слідкує за зміною вхідного сигналу.

2.2 Схеми реалізації основних алгоритмів регулювання: пропорційний, пропорційно-інтегральний, пропорційно-інтегрально- диференціальний, співвідношення

Елементи УСЕППА мають широке застосування при серійному виготовленні пневматичних засобів, що реалізують типові алгоритми керування. Ці засоби отримали назву пневматичних засобів контролю і регулювання комплексу СТАРТ. Пневматичні аналогові регулятори отримали найбільше розповсюдження. Для таких регуляторів характерна неперервна зміна вихідного сигналу при неперервній зміні вхідного.

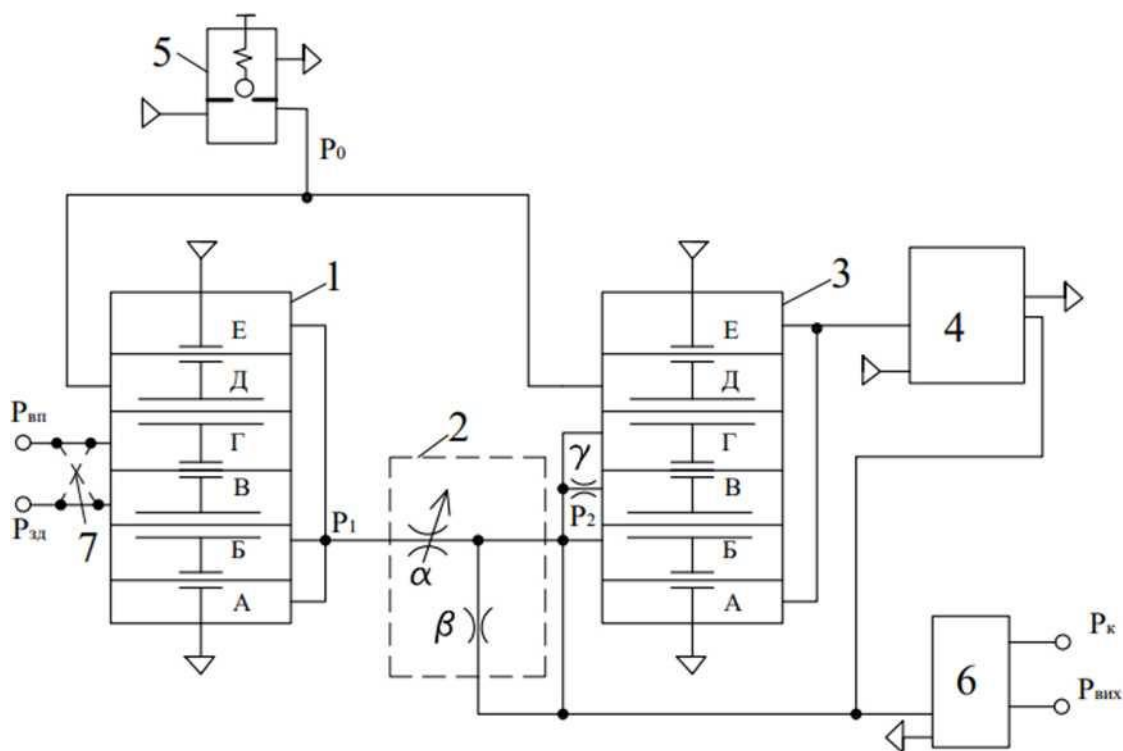


Рис. 2.11. Принципова схема пропорційного регулятора

Пневматичний пропорційний регулятор (П – регулятор) типу ФР0098 (рис. 2.11) містить два п’ятимембранні підсилювачі 1 і 3, дросельний суматор 2, підсилювач потужності 4, задатчик 5 та реле перемикання 6. На вхід підсилювача 1 надходять: $P_{ВП}$ – тиск від відповідного вимірювального перетворювача, що пропорційний величині параметра регулювання; $P_{зд}$ – тиск від задатчика вторинного приладу; P_0 – тиск від ручного задатчика-коректора, встановленого у регулюючому блоці, який визначає значення вихідного сигналу за умови $P_{ВП} = P_{зд}$. Тиск P_0 іноді називають тиском контрольної точки, величина якого дорівнює найчастіше рівня 0,06МПа.

У підсилювачі 1, що охоплений негативним зворотнім зв’язком, вихідний сигнал розузгодження буде дорівнювати величині P_1 , а саме

$$P_1 = P_0 - P_{ВП} + P_{зд} \quad (2.4)$$

Сигнал P_1 далі прямує до дросельного суматора 2, вихідний сигнал P_2 якого визначається рівнянням:

$$P_2 = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_1 + \frac{\beta}{\alpha + \beta} P_{вих} \quad (2.5)$$

де α і β – провідності дроселів.

Підсилювач 3 працює у режимі повторювача, який також охоплений негативним зворотнім зв’язком через підсилювач 4. За його великого коефіцієнту підсилення справедлива рівність $P_0 = P_2$, що обумовлює рівновагу елемента 3. Після перетворень отриманих співвідношень (2.4) і (2.5) отримаємо:

$$P_{вих} = P_0 + \frac{\alpha}{\beta} (P_{ен} - P_{зд}) \quad (2.6)$$

Позначивши $\alpha/\beta = K_p$, а $P_{ВП} - P_{ЗД} = P_{ВХ}$, отримаємо рівняння регулятора у вигляді:

$$P_{ВІХ} = P_0 + K_p P_{ВХ} \quad (2.7)$$

Рівняння (2.7) співпадає з типовим законом П-регулятора. Коефіцієнт підсилення K_p регулятора налаштовується шляхом зміни провідності α дроселя змінного пневмоопору. Для усунення автоколивань застосовані позитивний та негативний зворотний зв'язок у камері В і Г, а за рахунок опору з провідністю γ забезпечується усунення автоколивань. Вимикаюче реле 6 призначено для відключення регулятора від виконавчого механізму у випадку виходу регулятора з ладу та при переході на ручне керування. При повністю закритому дроселі коефіцієнт $K_p \rightarrow 0$, а при відкритому $K_p \rightarrow \infty$. Вибір напрямку зміни тиску у лінії виконавчого механізму при зменшенні чи збільшенні параметра регулювання змінюється за допомогою перемикача 7.

Орган настроювання дроселя провідності α проградуєвано в одиницях межі пропорційності δ , яка характеризується рівнянням:

$$\delta = \frac{1}{K_p} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

Тому при повністю закритому дроселі коефіцієнт підсилення має мінімальне значення, тобто $K_p \rightarrow 0$, а $\delta \rightarrow \infty$. Якщо дросель повністю відкрито, то $K_p \rightarrow \infty$, а $\delta \rightarrow 0$.

Пневматичний пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор) типу ФР0091 (рис. 2.12) складається з пропорційної частини (елементи 1÷4), інтегральної частини (елементи 5, 7, 9, 10) та вимикаючих реле 6 і 8. Зв'язок між пропорційною та інтегральною частинами регулятора здійснюється шляхом подачі тиску $P_{И}$ з виходу інтегральної частини у камери Д підсилювачів тиску 1 і 3 пропорційної частини.

При закритому дроселі 10 ($\alpha_1 \rightarrow 0$) регулятор реалізує П - закон регулювання. При відкритому дроселі 10 ($\alpha_1 \rightarrow \infty$) у камери Д елементів 1 і 3 надходить тиск $P_{\text{И}}$ з виходу інтегральної частини. Підсилювач 5 охоплено ще і позитивним зворотнім зв'язком через камеру В.

Вихідний тиск з елемента 3 буде визначатися рівнянням:

$$P_3 = P_{\text{ВП}} - P_{\text{ЗД}} + P_{\text{И}} \quad (2.9)$$

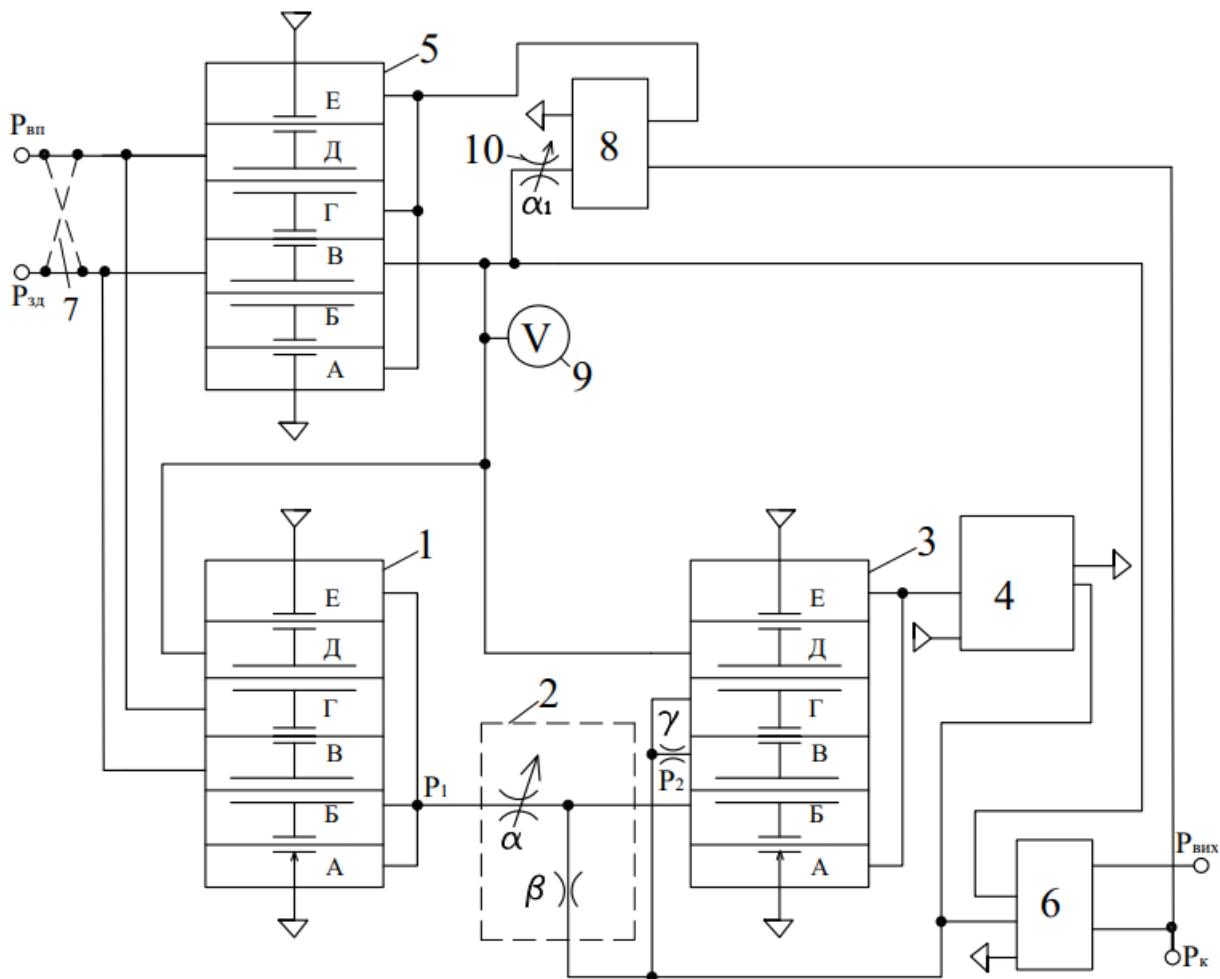


Рис. 2.12. Принципова схема пропорційно-інтегрального регулятора

Згідно рівняння газового стану витрата повітря у камеру пневмоємності 9 крізь дросель 10 визначається наступною формулою:

$$M = \frac{VdP}{RTdt} \quad (2.10)$$

де V – об’єм камери; R – універсальна газова константа; T – абсолютна температура.

Крім того, витрата повітря крізь дросель 10 з провідністю α_1 розраховується за формулою:

$$M = \alpha_1 (P_3 - P_{II}) \quad (2.11)$$

Розв’язуючі сумісно рівняння (2.10) і (2.11) відносно виходу інтегратора, отримаємо наступне рівняння:

$$P_3 = T_u \frac{dP_u}{dt} + P_u \quad (2.12)$$

де $T_u = V / RT\alpha_1$ - постійна інтегральної частини.

Підставивши значення для P_3 у рівняння (2.9) будемо мати:

$$T_u \frac{dP_u}{dt} = P_{en} - P_{zd} \quad (2.13)$$

Після інтегрування отримаємо наступний вираз:

$$P_u = \frac{1}{T_u} \int_0^t (P_{en} - P_{zd}) dt \quad (2.14)$$

По аналогії з П-регулятором вихідний сигнал $P_{ВИХ}$ визначається рівнянням:

$$P_{вих} = K_p (P_{вн} - P_{зд}) + P_u \quad (2.15)$$

Отже, з урахуванням рівняння (2.14) величина $P_{вих}$ буде дорівнювати:

$$P_{вих} = K_p (P_{вн} - P_{зд}) + \frac{1}{T_u} \int_0^t (P_{вн} - P_{зд}) dt \quad (2.16)$$

Застосовуючи перетворення Лапласу отримаємо передаточну функцію ІІІ-регулятора:

$$W(P) = K_p + \frac{1}{T_u P} \quad (2.17)$$

де T_u – постійна часу інтегральної частини.

Час інтегрування T_u в регуляторі може змінюватись у межах від 3 до 100 хвил., а межа пропорційності δ від 5 до 3000%.

Регулятор співвідношення (ПРЗ.23) становить собою послідовне з'єднання блоку співвідношення та ІІІ-регулятора у відповідності зі схемою, наведеній на рис. 2.13.

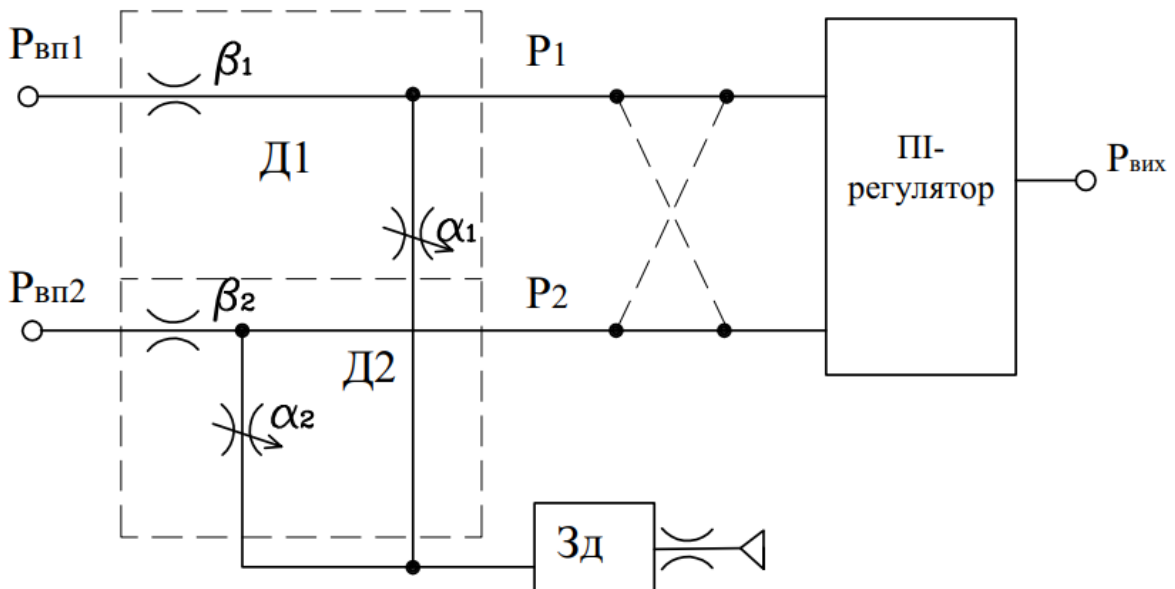


Рис. 2.13. Принципова схема регулятора співвідношення

Блок співвідношення реалізовано на базі двох дросельних підсумовувачів Д1 і Д2 та задатчика ЗД з пневмоопором. Сигнали $P_{ВП1}$ і $P_{ВП2}$, співвідношення яких необхідно підтримувати, надходять у регулятор крізь нерегульовані пневмоопори β_1 і β_2 . Співвідношення встановлюється за допомогою змінних опорів α_1 і α_2 таким чином, щоб за різних тисків $P_{ВП1}$ і $P_{ВП2}$ тиски, які надходять у схему П-регулятора були рівними. За допомогою задатчика ЗД підтримується постійний тиск P_0 на рівні 0,02 МПа. Якщо вважати, що опір дросельних підсумовувачів має лінійну характеристику, тоді вихідні тиски P_1 і P_2 визначатимуться рівняннями:

$$P_1 = \frac{\beta_1}{\alpha_1 + \beta_1} (P_{ен1} - 0,02) + 0,02 \quad (2.18)$$

$$P_2 = \frac{\beta_2}{\alpha_2 + \beta_2} (P_{ен2} - 0,02) + 0,02 \quad (2.19)$$

Співвідношення поміж параметрами регулювання визначається з наступної умови:

$$\frac{\beta_1}{\alpha_1 + \beta_1} (P_{ен1} - 0,02) + 0,02 = \frac{\beta_2}{\alpha_2 + \beta_2} (P_{ен2} - 0,02) + 0,02 \quad (2.20)$$

або:

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{P_{ен1} - 0,02}{P_{ен2} - 0,02} = \frac{\beta_2(\alpha_1 + \beta_1)}{(\alpha_2 + \beta_2)\beta_1} = C \quad (2.21)$$

Співвідношення C може змінюватись дроселями α_1 і α_2 від 0,1 до 10.

Регулятори співвідношення з корекцією по третьому параметру (ПРЗ.24) забезпечують підтримку одного з пневматичних сигналів пропорційним величині другого за рахунок зміни коефіцієнта пропорційності у

залежності від третього. Реалізація таких умов досягається шляхом заміни у схемі регулятора ПРЗ.23, наприклад змінного опору α_2 на керуємий пневмоопір.

Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор (ПІД-регулятор) типу ФР0095 побудований на базі ПІ-регулятора шляхом уведення в конструкцію реальної диференціальної ланки, що забезпечує у вихідному сигналі складової, яка пропорційна швидкості зміни сигналу на вході. Цей пристрій прийнято називати пристроєм випередження.

Пристрій випередження (рис. 2.14) містить вимикаюче реле 1, регулюємий дросель 2, ємність 3, елемент порівнювання 4 і підсилювач потужності 5.

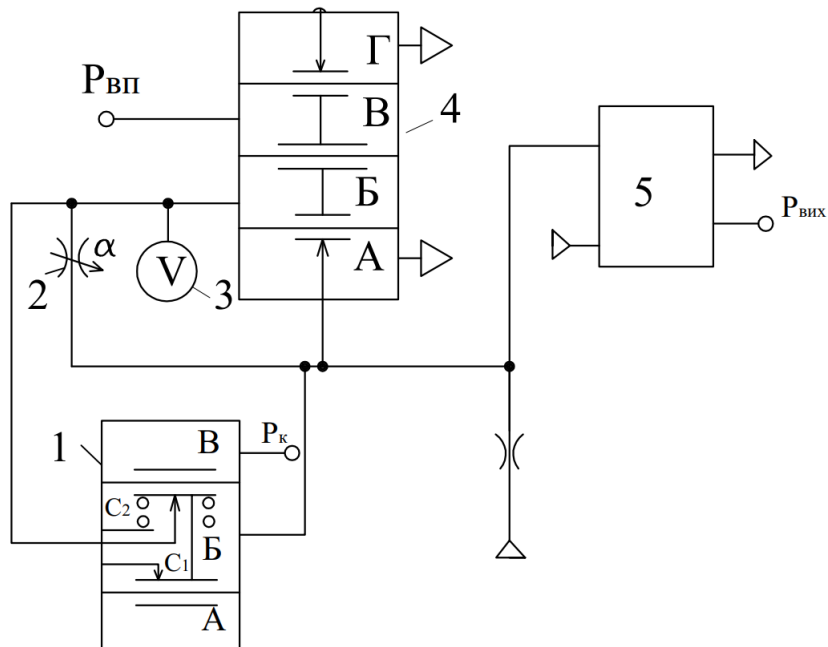


Рис. 2.14. Принципова схема пристрою прямого випередження

Процес зміни тиску P_B по аналогії з інтегратором можна представити у наступному вигляді:

$$\frac{VdP_B}{RTdt} = \alpha(P_{вих} - P_B), \quad (2.22)$$

Розв'язуючі вираз (2.22) відносно $P_{вих}$ отримаємо наступне рівняння:

$$T_{\text{д}} \frac{\alpha P_{\text{Б}}}{dt} + P_{\text{Б}} = P_{\text{вих}} \quad (2.23)$$

де $T_{\text{д}} = V / dRT$ - час випередження, що встановлюється за допомогою змінного дроселя 2 у межах від 0,05 до 10 хвил.

З урахуванням умови рівноваги елемента 4, а саме $P_{\text{ВП}} = P_{\text{Б}}$ отримаємо формулу для $P_{\text{вих}}$:

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{ВП}} + T_{\text{д}} \frac{dP_{\text{ВП}}}{dt} \quad (2.24)$$

Розглянемо ПІД-регулятор на вході якого встановлено пристрій випередження без підсилювача потужності (рис. 2.15).

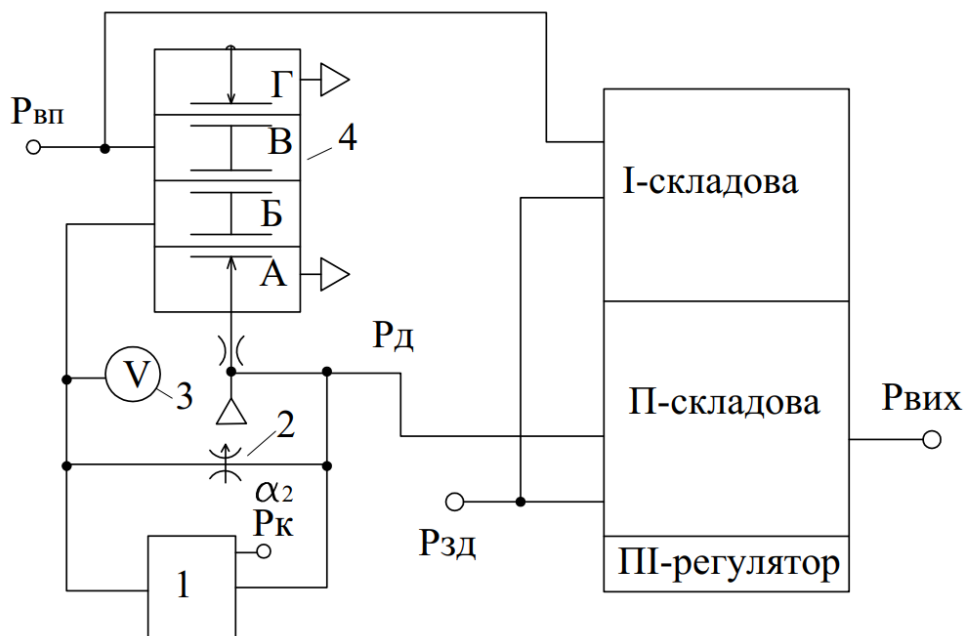


Рис. 2.15. Узагальнена схема ПІД-регулятора

По аналогії з ПІ-регулятором вихідний тиск $P_{\text{вих}}$ буде визначатись наступним рівнянням:

$$P_{\text{вих}} = K_p (P_{\text{д}} - P_{\text{зд}}) + \frac{1}{T_u} \int_0^t (P_{\text{ен}} - P_{\text{зд}}) dt \quad (2.25)$$

Тиск на виході пристрою випередження як вже встановлено вище буде дорівнювати:

$$P_{\text{д}} = P_{\text{ВП}} + T_{\text{д}} \frac{dP_{\text{ВП}}}{dt} \quad (2.26)$$

З урахуванням формул (2.25) і (2.26) вихідний сигнал ПІД-регулятора матиме наступний вигляд:

$$P_{\text{вих}} = K_p (P_{\text{ен}} - P_{\text{зд}}) + \frac{1}{T_u} \int_0^t (P_{\text{ен}} - P_{\text{зд}}) dt + K_p T_{\text{д}} \frac{dP_{\text{ен}}}{dt} \quad (2.27)$$

де K_p , T_u , $T_{\text{д}}$ – відповідно коефіцієнт підсилення, постійна інтегрування та час випередження.

З урахуванням уводу першої похідної по відхиленню регульованої величини передаточна функція такого регулятора буде дорівнювати:

$$W(P) = \frac{K_p}{T_u P} (1 + T_u P + T_{\text{д}} T_u P^2) \quad (2.28)$$

2.3 Пристрої оперативного керування у пневматичних системах регулювання. Живлення пристроїв пневмоавтоматики. Побудова автоматичних систем регулювання з використанням регуляторів пневматичної гілки

Станція керування регулюючими пристроями комплексу пневматичної гілки ДСП умонтовується безпосередньо у вторинний прилад типу ФК0071, який здійснює неперервний запис параметра регулювання і його показання, а також показання завдання від ручного чи програмного задатчика та показання тиску (положення регулюючого органу) на виконавчому механізмі.

Станція керування (рис. 2.16) дозволяє переводити процес з ручного керування виконавчим механізмом на автоматичне чи автоматичне програмне регулювання.

Маркування штуцерів ШЗ і ШЗР згідно рис. 2.16 для зовнішніх з'єднань відповідає наступним входам та виходам: 1 – вихід регулятора; 2 - змінна , що пропорційна величині параметра регулювання; 3 – керуючий сигнал до вимикаючого реле регулятора; 4 – живлення; 5 – завдання; 7 – виконавчий пристрій. При цьому це маркування ідентичне для усіх типів регуляторів і блоків.

На лицьовому боці приладу розташований кнопковий перемикач, що складається з двох частин К1 і К2. До заднього боку приладу кріпиться регулятор за допомогою штекерного з'єднувача ШЗР. Вузол задатчика містить у собі два вимикаючих реле ВР1 і ВР2 та кнопковий механізм з п'яти кнопок. Перемикач цього механізму призначений для плавного переходу на три різних режими ведення технологічного процесу в автоматичній системі регулювання: ручного регулювання (Р) процесом, коли до виконавчого механізму ВМ підключено безпосередньо ручний задатчик 3 станції керування; автоматичного регулювання (А), за якого виконавчим механізмом керує регулятор, а завдання

регулятору забезпечується задатчиком 3; автоматичного програмного регулювання (АП), який відрізняється тим, що завдання є змінною величиною і надходить до регулятора через станцію керування від програмного задатчика чи від обчислювальної машини чи від іншого регулятора.

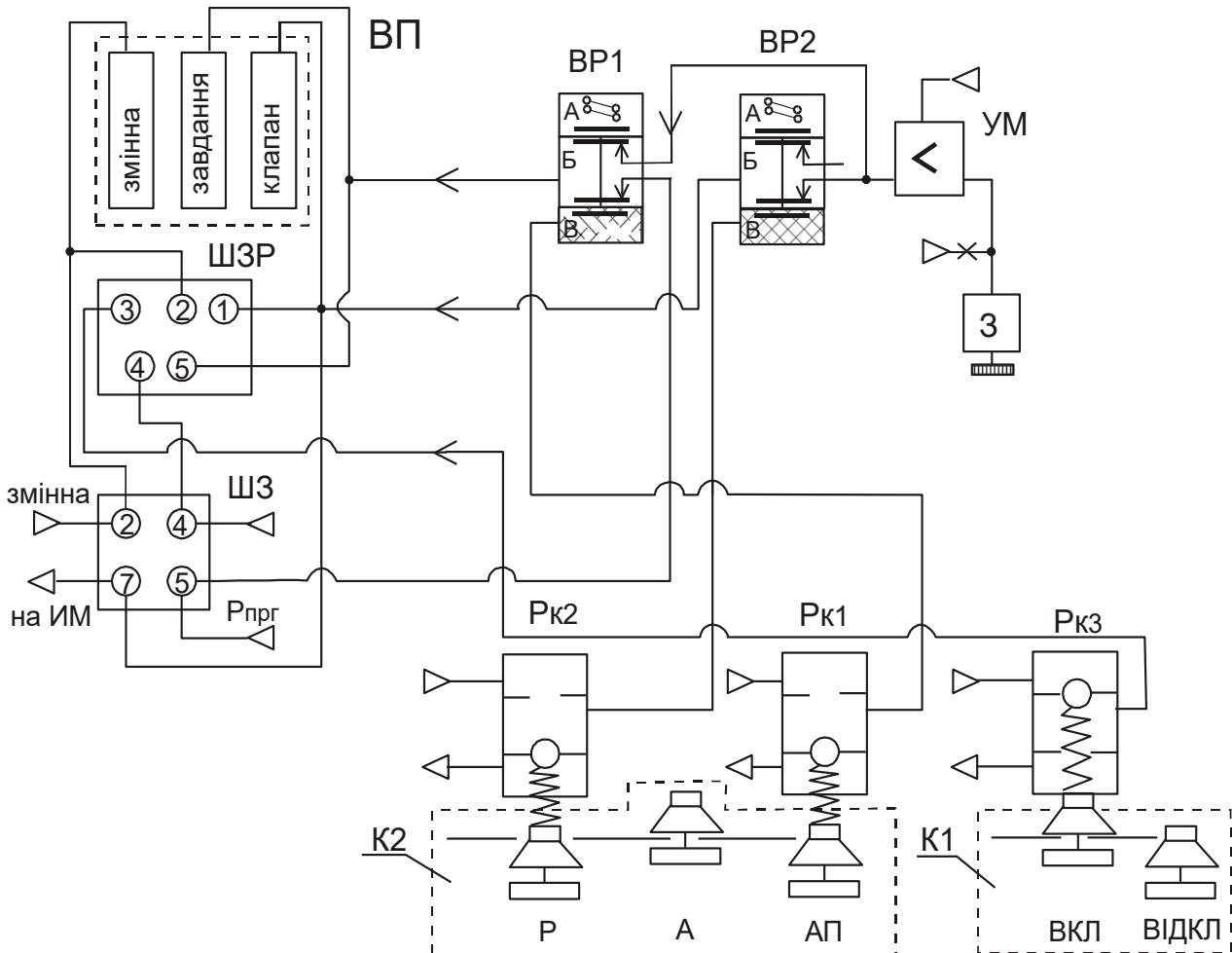


Рис. 2.16. Принципова схема станції керування вторинного приладу типу ФК: ВП – вимірювальні пристрої; ШЗР – штекерний з’єднувач для регулятора; ШЗ – штуцерний з’єднувач; К1, К2 – кнопкові перемикачі; ВР1, ВР2 – вимикаючі реле; УМ – підсилювач потужності; 3 – задатчик; РК1, РК2 – пневмокнопки; А, Р, АП – відповідно кнопки вибору автоматичного, ручного і автоматичного програмного режиму керування.

Кнопковий перемикач K_1 забезпечує вмикання або вимикання регулятора, а K_2 необхідний для вибору режиму роботи станції керування. Кожна частина K_1 і K_2 зроблена таким чином, що можливо вмикання тільки однієї кнопки. Розглянемо можливі режими роботи станції керування.

Режим Р забезпечує керування виконавчим механізмом безпосередньо за допомогою задатчика 3. Натиснуті за такого режиму можуть бути лише дві кнопки Р і ВІДКЛ. Камера В реле ВР2 за такої умови з'єднана з атмосферою ($P_{K_2}=0$) і нижнє сопло реле ВР2 буде відкрите. У реле ВР1 під дією тиску живлення ($P_{K_1}=1$), що прямує до камери В з кнопки АП, нижнє сопло буде закрито. Завдання від задатчика 3 буде надходити крізь нижнє сопло реле ВР2 до камери Б, а з неї на вихід крізь штуцер 7 ШЗ та на шкалу вимірювального пристрою "клапан". Крім того, з верхнього сопла реле ВР1 буде надходити цей тиск до вимірювального пристрою "завдання", а також крізь штуцер ШЗ 5 до регулятора. Тиск від вимірювального перетворювача, величина якого пропорційна параметру регулювання, надходить крізь штуцер 2 як до регулятора так і на шкалу вимірювального пристрою "змінна". При цьому до вимикаючого реле регулятора при натиснутій кнопці ВІДКЛ тиск $P_{K_3}=1$ надходить і на вихід регулятора через штуцер 3 з'єднувача ШЗР, що обумовить відключення регулятора від виконавчого механізму.

Проміжне положення виникає підчас переходу з ручного керування на автоматичне. До вмикання регулятора слід натиснути кнопку А. При цьому кнопка Р займе початкове положення, тобто $P_{K_2}=1$. Далі за допомогою задатчика 3 необхідно встановити необхідний сигнал завдання. У цьому положенні нижнє сопло реле ВР2 буде закрито, а сигнал від задатчика не буде надходити на виконавчий механізм. При цьому задатчик 3 буде зв'язаний тільки з камерою завдання 5 (штуцер ШЗР) регулятора через верхнє сопло і камеру Б реле ВР1. Таким чином задатчик відключається від виконавчого механізму, а регулятор буде підготовлений до переходу на автоматичне регулювання попередньо встановивши тиск завдання на одному рівні із

змінною (параметром регулювання). Цим забезпечується безударність переходу у режим регулювання А.

Режим А забезпечує керування виконавчим механізмом від регулятора. Цей режим реалізується натисканням кнопок А та ВКЛ. У камери В реле ВР1 і ВР2 надійде повітря живлення. При цьому нижні сопла цих реле стануть закритими, а верхні сопла – відкритими. Вимикаюче реле регулятора через кнопку ВКЛ буде з'єднано з атмосферою, а вихід регулятора – з виконавчим механізмом та його шкалою "клапан". Сигнал завдання від ручного задатчика З надходить крізь верхнє сопло реле ВР1 на регулятор (штуцер 5 з'єднувача ШЗР) та вимірювальний пристрій "завдання". Програмне завдання як і режим Р буде закрито підпором тиску від пневмокнопки P_{K1} крізь нижнє сопло реле ВР1.

Режим АП забезпечується натисканням кнопок АП і ВКЛ, але як і в попередньому випадку необхідно забезпечити безударність переходу через проміжний режим. При цьому сопла нижнє реле ВР2 і верхнє реле ВР1 закриті. З нижнього сопла реле ВР1 програмне завдання $P_{ПР}$ надходить до регулятора (штуцер 5 з'єднувача ШЗР) та на шкалу приладу "завдання". За такого режиму ручний задатчик З відключений за рахунок закриття нижнього сопла реле ВР2 і верхнього сопла реле ВР1.

Вторинний прилад ФК0071 для реєстрації параметра на діаграмній стрічці містить електричний або пневматичний привод діаграми.

Живлення пристроїв пневмоавтоматики стислим повітрям в стандартному діапазоні робочих тисків, забезпечується компресорами. Повітря після компресора має бути очищено від пари води і мастила, а також від пилу. Це дозволить запобігти утворенню крапель та льоду у приладах і лініях зв'язку та уникнути закупорювання пневмоопорів і сопел.

На промислових підприємствах, де застосовуються пневматичні системи, існує центральна мережа живлення приладів стислим повітрям. У цій системі стигле повітря від компресора крізь збірник повітря надходить у

теплообмінник, де охолоджується водою до 30⁰С. Сконденсовані волога і мастило скидаються через конденсатовідвідник. Від завислих частинок води і мастила повітря очищується у відцентрованому відокремлювачі. При цьому несконденсовані пари мастила відокремлюються від стиглого повітря у маслофільтрі, що заповнений активованим вугіллям. Далі стигле повітря прямує до блоку осушування, в якому застосовується адсорбційний метод поглинання водяної пари з регенерацією зволоженого адсорбенту (силікагелю).

Остаточне очищене повітря, що безпосередньо прямує для живлення приладів, забезпечуються фільтрами повітря, які встановлюються перед кожним приладом. Після фільтрів встановлюють редуктори тиску (РДВ) чи стабілізатор тиску повітря (СДВ). Найбільше розповсюдження отримали мембранні стабілізатори тиску, що поєднані з фільтром, типу ФСДВ. Тиск повітря до стабілізатора як правило складає від 0,3 до 0,6 МПа. Лінії зв'язку між пристроями повинні бути з'єднані за допомогою мідних, латунних, пластмасових чи алюмінієвих трубок діаметром 8 чи 6 мм з товщиною стінок 1 мм. При цьому необхідна перевірка ліній на герметичність.

Побудова автоматичних систем регулювання (АСР) залежить від цілої низки факторів, зокрема, складності об'єкта керування, кваліфікації інженера-спеціаліста, визначення можливих рівнів керування та ін. Однак незалежно від складності задач, що вирішує система керування, основу її складають локальні системи, на розгляді яких і буде зосереджена задача щодо реалізації АСР у вигляді функціональних схем. Опис функціональної схеми здійснюється послідовно по мірі проходження сигналу, тобто від датчика крізь перетворювачі до вторинного приладу, далі до регулятора і виконавчого пристрою. На рис. 2.17 наведені деякі типові локальні АСР, що найчастіше мають місце в практичній роботі.

АСР стабілізації рівня рідини у збірнику (рис. 2.17а) містить датчик типу Сафір, мод. 2430 (поз. 1а), що забезпечує перетворення гідростатичного тиску рівня рідини в уніфікований сигнал постійного струму 0÷5 мА. Далі

електропневматичний перетворювач типу ПЭП-95 (поз. 1б) перетворює струмовий сигнал в уніфікований пневматичний сигнал 0,02÷0,1 МПа, який потім прямує до вторинного приладу зі станцією керування типу ФК0071 (поз. 1в) та одночасно і до регулятора типу ФР0098 (поз. 1г). Вторинний прилад здійснює запис і показання величини параметра регулювання, показання величини завдання та степені відкриття регулюючого органу. У режимі станції А керування вторинного приладу регулятор за П-законом відпрацьовує у разі відхилення рівня від заданого значення сигнал регулюючої дії на пневматичний механізм виконавчого пристрою типу 25ч30нж (поз. 1д), встановлений на лінії подачі рідини у збірник. Забезпечення сигналізації граничних рівнів (максимального чи мінімального) здійснюється за допомогою вторинного показуючого приладу типу ПКП.1Э (поз. 1е), що надає можливість підключення сигнальних ламп HL1 і HL2.

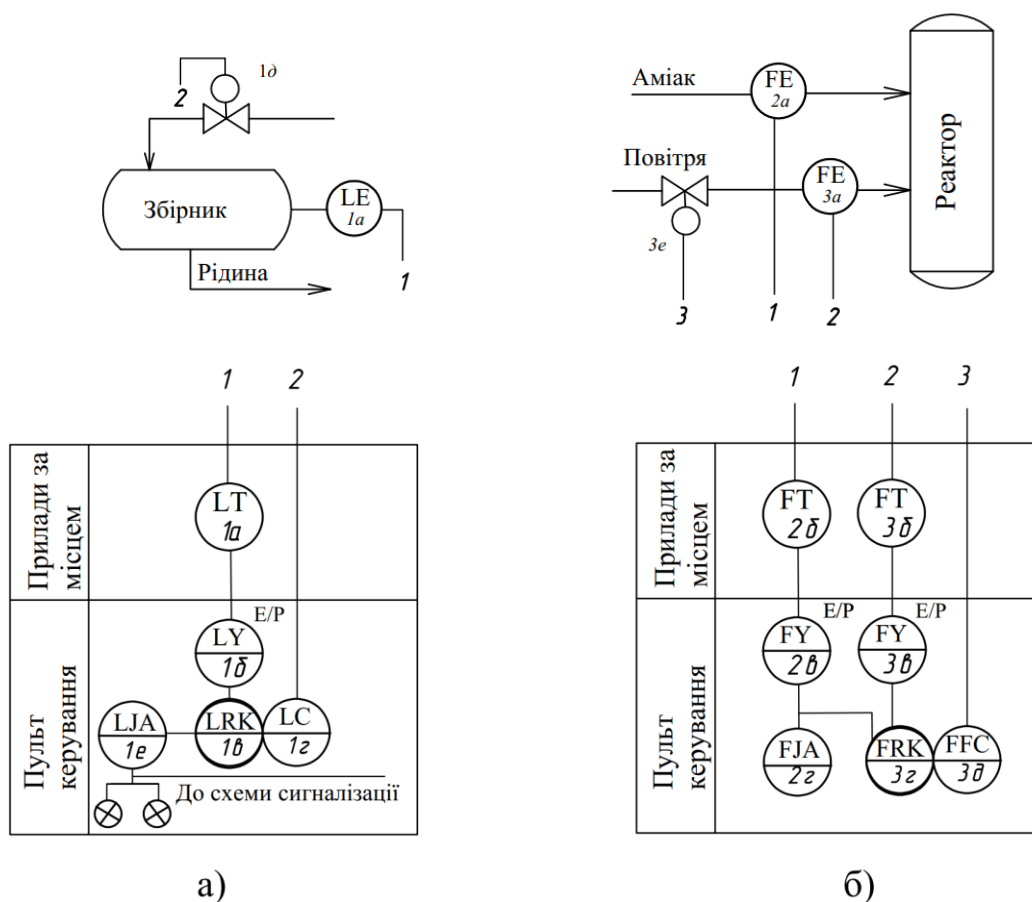


Рис. 2.17. Функціональні схеми АСР, реалізованих з використанням технічних засобів регулювання пневматичної гілки ДСП

АСР співвідношення витрат аміаку і повітря у контактний апарат становить собою слідкуючу систему. У якості датчиків витрати застосовані діафрагми типу ДКС-0,6 (поз. 2а, 3а), що встановлені на лініях подачі аміаку і повітря в апарат. У залежності від витрати змінюється величина перепаду тиску на діафрагмі, який прямує на дифманометри типу Сафір, мод. 2420 (поз. 2б, 3б) з уніфікованими струмовими вихідними сигналами 4÷20 мА. Сигнали з дифманометрів сприймаються електропневматичними перетворювачами типу ПЭП-95 (поз. 2в, 3в), з яких вихідні уніфіковані пневматичні сигнали 0,02÷0,1МПа надходять на вторинні реєструючі прилади типу ПКР.1 (поз. 2г) та ФК0071 (поз. 3г). Одночасно сигнал витрати аміаку надходить у якості програмного завдання і на прилад ФК0071, станція керування якого включена у режимі АП. За такого режиму станції керування сигнал програмного завдання буде прямувати до регулятора співвідношення типу ПРЗ.23 (поз. 3д), на вхід якого також надходить і сигнал витрати повітря. Регулятор у випадку невідповідності заданого регулятором співвідношення відпрацьовує керуючий сигнал на пневматичний механізм виконавчого пристрою типу 25с28бр (поз. 3е), який змінює витрату повітря до заданого співвідношення.

Контрольні запитання для самостійної підготовки за розділом 2.

1. Основні елементи УСЕППА.
2. Що становлять собою керуємі пневмоопори?
3. Навіщо застосовується негативний зворотній зв'язок в елементах порівнювання?
4. Призначення пневматичного підсилювача потужності.
5. Де в основному застосовується реле перемикавання?
6. Наведіть основні рівняння П-, ПІ-, ПІД-регуляторів та вкажіть їх основні органи настроювання?
7. Що таке межа пропорційності у пневматичних регуляторах?
8. Які основні складові утворюють регулятор співвідношення?

9. Навіщо застосовується пристрій прямого випередження?
10. Основне призначення станції керування вторинного приладу ФК0071.
11. Яким чином здійснюється у приладі ФК0071 перехід за допомогою станції керування з режиму ручного у режим автоматичного керування?
12. В яких випадках застосовується режим автоматичного програмного керування у приладі ФК0071?
13. Основні складові будь-якої автоматичної системи регулювання технологічного параметра?
14. Чим викликано застосування проміжного положення станції керування приладу ФК0071?
15. Самостійно виконати функціональні схеми автоматичних систем регулювання температури та витрати, навести опис їх функціональної дії.

РОЗДІЛ 3

МІКРОПРОЦЕСОРНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1. Класифікація та основні визначення мікропроцесорних засобів.

Мікропроцесорні вимірювачі-регулятори. Застосування SCADA-програм та OPC-технології в автоматизованих системах керування

Розуміння місця та основних функцій засобів мікропроцесорної техніки (МТ) у загальній структурі мікропроцесорної автоматичної системи (МПАС) або по іншому АСКТП наочно може бути проілюстровано схемою, що представлена на рис. 3.1.

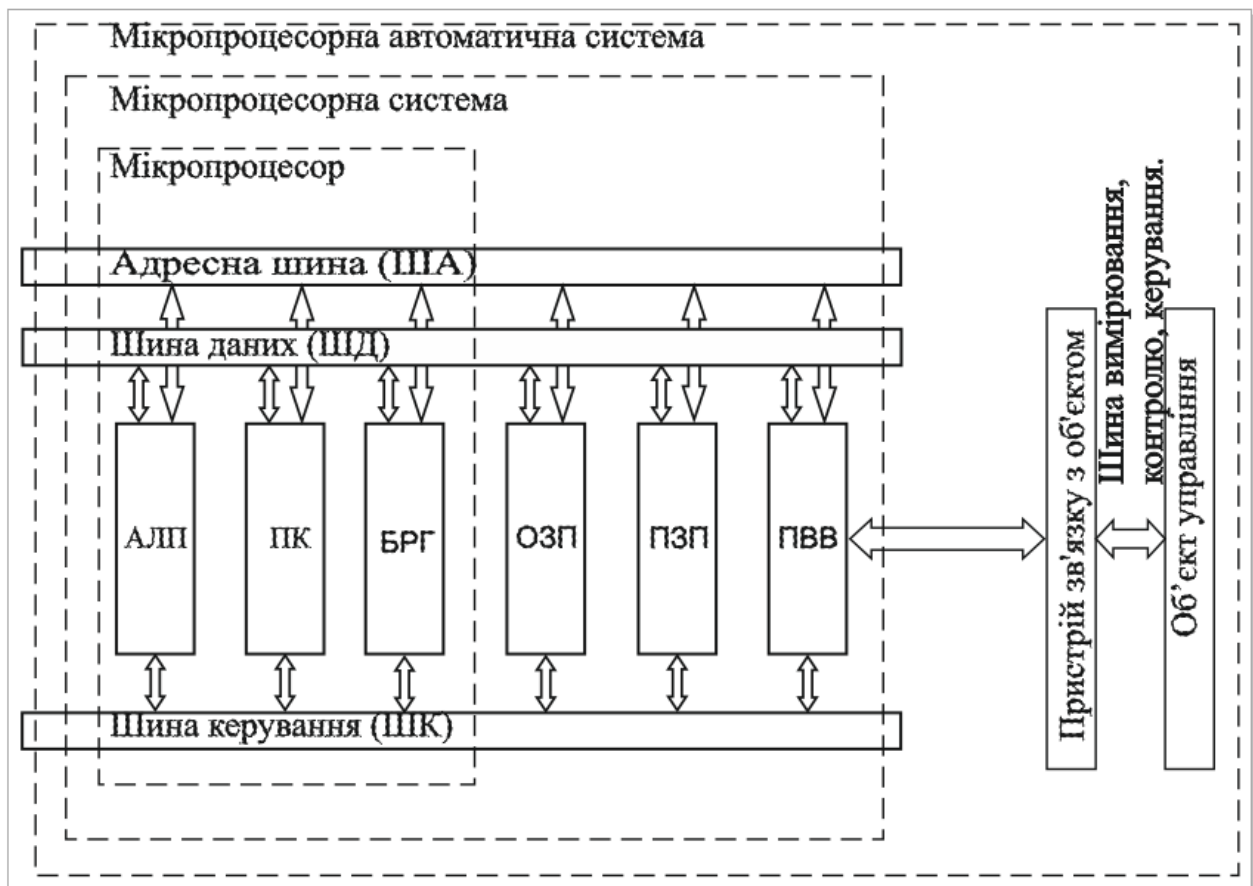


Рис. 3.1. Технічна структура і взаємозв'язок основних засобів мікропроцесорної техніки у рамках МПАС

Мікропроцесор (МП) – це програмно-керований пристрій, призначений для обробки цифрової інформації і керування процесом обробки, реалізований на одній чи декількох інтегральних схемах. Основна функція МП – перетворити інформацію, тобто його слід віднести до однієї з груп елементів (пристроїв), що входять до технічних засобів системи автоматичного регулювання та керування. МП сам по собі не здатен реалізувати переробку інформації для вирішення окремої задачі, а необхідно з'єднати з іншими пристроями, здійснити програмування і забезпечити обмін інформації з цими пристроями.

Згідно рис. 3.1 до складу МП входять арифметико-логічний пристрій АЛП, пристрій керування ПК і блок реєстрів БРГ, який містить такі реєстри: акумулятор, адреси, прапорів, стану, програмний лічильник, загального призначення та ін. МП є складовою частиною мікропроцесорної системи МПС та МПАС.

Мікропроцесорна система (МПС) – це мікропроцесорні засоби для регулювання та виконання логічних функцій (мікропроцесорні вимірювачі-регулятори, програмовані логічні контролери, мікро ЕОМ), до складу яких окрім МП (одного чи кількох) входять оперативний і постійний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП і ПЗП), пристрої вводу-виводу (ПВВ) та ряд інших пристроїв (на схемі не показані).

Мікропроцесорна автоматична система – становить собою автоматичну систему з умонтованими до неї засобами мікропроцесорної техніки. Взаємодія частин МПАС здійснюється за допомогою шин (внутрішній інтерфейс) адреси (ША), даних (ШД) і керування (ШК), що зв'язують у єдину систему компоненти МПС, а також шин вимірювання, контролю і керування, які спільно з відповідними пристроями зв'язку з об'єктом (процесом) забезпечують безпосередньо взаємодію МПС з об'єктом керування чи процесом.

МПС створює можливість реалізації розподілених засобів керування і обробки інформації у рамках МПАС (АСКТП). Розподіленість передбачає

насамперед декомпозицію загального алгоритму керування на низку паралельно чи послідовно-паралельно реалізуємих алгоритмів, непов'язаних, наскільки це можливо, один з одним у часі, та, крім того, розподіл у просторі процесів керування і обробки інформації шляхом вводу засобів МТ безпосередньо у датчики, регулюючі, виконавчі ті інші пристрої. На рис 3.2. представлена загальна схема МПАС, в якій акцент зроблено на систему зв'язку з об'єктом.

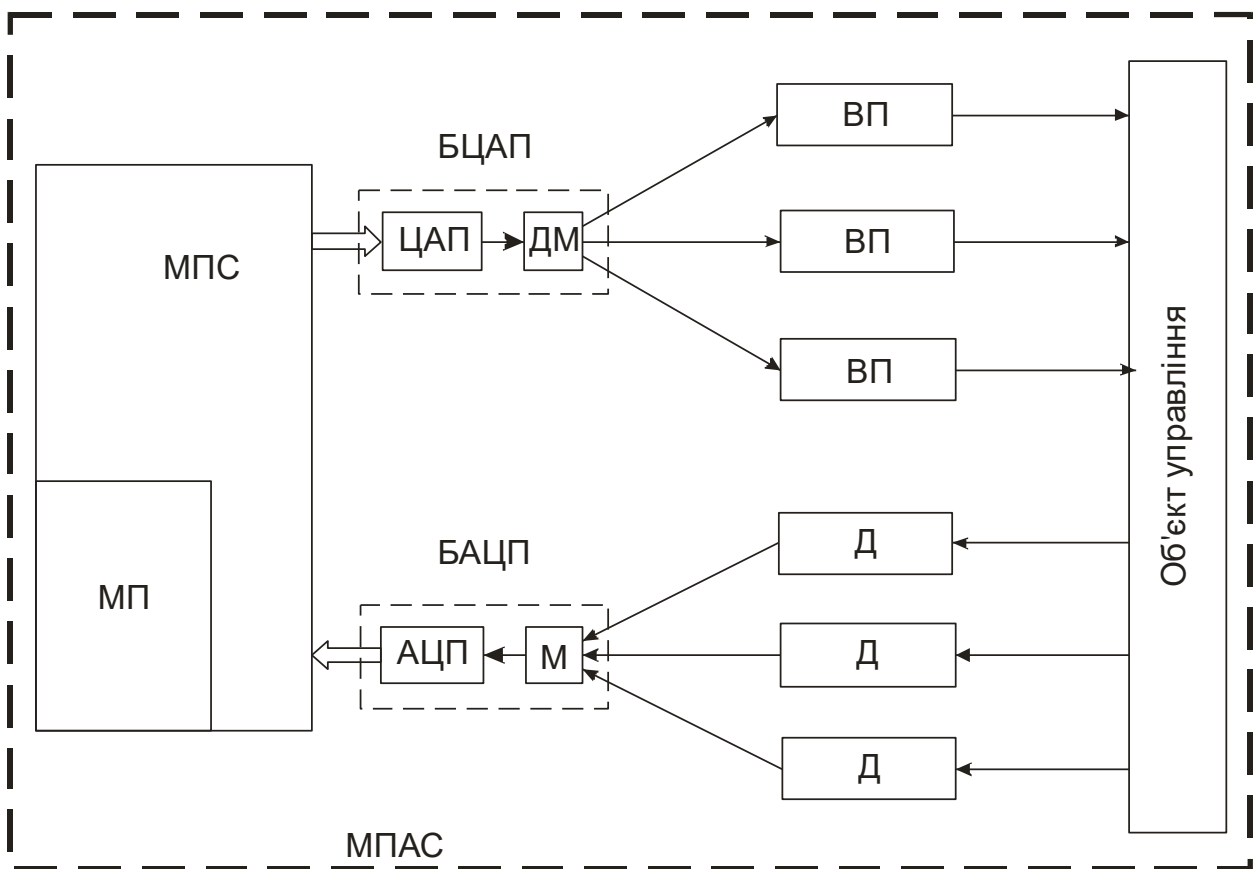


Рис. 3.2. Загальна схема МПАС: М – мультиплексор; ДМ – демultipлексор; Д – датчик; ВП – виконавчий пристрій; БЦАП, БАЦП – багатоканальні цифро-аналогові і аналогово-цифрові перетворювачі, що поєднують у собі функції одно каналних ЦАП і АЦП, а також демultipлексорів і мультиплексорів відповідно

У цій схемі мультиплексори і демультимплексори становлять собою комбінаційні пристрої, що забезпечують комутацію сигналів та потоків даних у лініях зв'язку по заданим адресам і маршрутам.

Мікропроцесорні вимірювачі-регулятори характеризуються жорсткою структурою алгоритмів обробки сигналів та керування, що закладені у постійну пам'ять МП. Особливість цих мікропроцесорних регуляторів полягає в тому, що циклічність їх роботи здійснюється автоматично тільки системним програмним забезпеченням.

Системне програмне забезпечення, як правило, безпосередньо контролює апаратні засоби регулятора, відповідає за тестування та ідентифікацію роботи пам'яті, джерела живлення, блоків вводу-виводу інформації, інтерфейсів. Це програмне забезпечення розробляється виробником регуляторів і розташоване у постійній пам'яті МП. Проводячи аналогію з РС (персональний комп'ютер) можна стверджувати, що це операційна система реального часу (ОС РЧ), яка керує роботою вузлів регулятора, взаємозв'язком складових частин й внутрішньою діагностикою. У разі вмикання живлення регулятор готовий взяти на себе керування системою вже через декілька мілісекунд. При цьому завдяки жорсткій структурі (постійній) алгоритмів обробки сигналів та керування, перепрограмуванню в режимі конфігурування підлягають лише існуючі в регуляторі алгоритми керування, параметри їх настроювання або характеристики параметрів, що описують процеси вимірювання та індикації.

Зовнішній інтерфейс організує зчленування окремих частин МПС із зовнішніми компонентами, такими як, перефідійні пристрої, канали передачі даних, контролери та ін. Він безпосередньо не з'єднується з шинами МПС і забезпечує перетворення зовнішніх сигналів, які можуть мати будь-яку природу (у тому числі і аналогову), у сигнали (цифрові), що сумісні з сигналами на шинах, та зворотне перетворення. Основні функції цього інтерфейсу (протоколу) наступні: дешифрація адреси пристроїв, дешифрація коду команди, що пов'язана із звертанням до пам'яті чи зовнішнього пристрою (ЗВП),

синхронізація обміну інформацією; узгодження форматів слів; електричне узгодження сигналів та деякі інші функції.

Сучасні вимірювачі-регулятори фірми ОБЕН найбільш поширені в Україні і оснащені на фізичному рівні послідовним інтерфейсом RS-485, що забезпечує можливість підключення до PC через адаптери ОБЕН AC3-M, ОБЕН AC4, або інший для перетворювання RS-485 в RS-232 чи в USB. За такого підключення до PC можна здійснювати читання параметрів, що вимірюються, зміну режимів керування, пуск/зупинку процесу регулювання.

У якості прикладу на рис. 3.3 наведена типова схема промислової мережі, побудованої на базі інтерфейсу RS-485, який мають більшість приладів ОБЕН ТРМ.

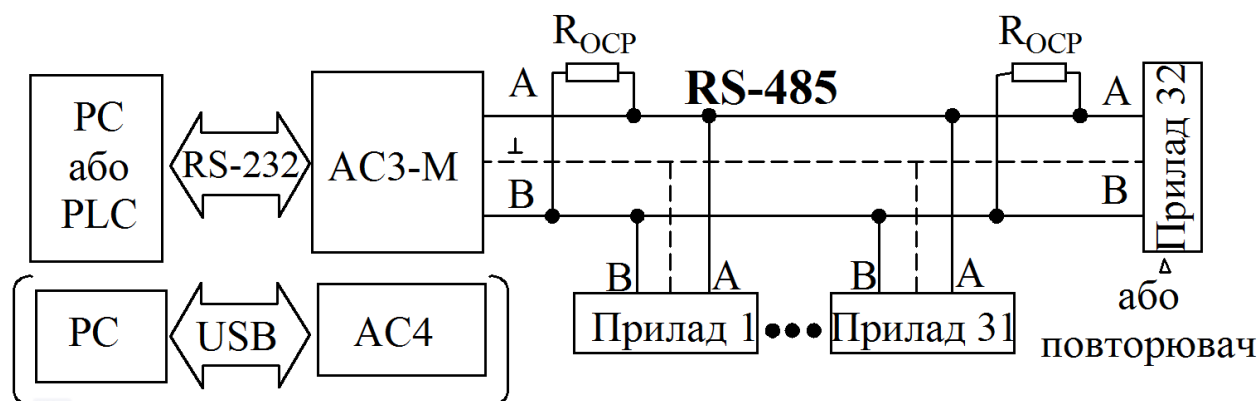


Рис. 3.3. Типова схема промислової мережі на базі інтерфейсу RS-485

Апаратура для фізичної реалізації зовнішнього послідовного інтерфейсу периферійних пристроїв містить в собі лінію послідовної передачі інформації (одиначний провідник, вита пара, радіочастотний кабель, волоконнооптичний кабель) і контролери пристроїв, які призначені для керування обміном інформації, здійснення контролю за передачею інформації, станом пристроїв, що беруть участь у зв'язку, самоконтролю.

При інтерфейсі RS-485 дані передаються в асинхронному режимі за допомогою "симетричного" (диференціального) сигналу по двом лініям A і B. Максимальна довжина лінії зв'язку між крайніми пристроями до 1,2 км та

більше у разі застосування повторювачів. Якщо довжина лінії зв'язку понад 100 м у максимально віддалених один від одної точки мережі рекомендується встановлювати узгоджуючі резистори $R_{\text{оср}}$ номіналом від 100 до 250 Ом, що компенсують хвильовий опір кабелю і мінімізують амплітуду відбитого сигналу. Кількість пристроїв у мережі не повинно перевищувати 32 (без використання повторювача). У разі інтеграції цих пристроїв до МПАС (АСКТП) у якості програмного забезпечення використовують SCADA-систему фірми ОВЕН чи будь-яку іншу програму.

SCADA – пакет це суті комплекс інструментальних засобів для створення програмного забезпечення АСКТП. Основні функції SCADA-програм майже в усіх існуючих на сьогодні пакетах в частині роботи пульта оператора у реальному масштабі часу (виконавчий комплекс SCADA) стосується диспетчерського керування і збору даних. Останнім часом ці пакети отримали більш чітку назву MMI/SCADA, де MMI (Man Machine Interface) означає наявність людинно-машинного інтерфейсу.

Для вирішення комунікаційних проблем, пов'язаних з використанням в АСКТП апаратних засобів різних виробників фірмою Microsoft було запропоновано технологію OPC. Тому сучасні регулюючі пристрої фірми ОВЕН на замовлення можуть бути оснащені драйверами для Trace Mode, FactoryLink та ін., а також OPC – сервером для підключення регулятора (приладу) до будь-якої SCADA-системи або іншої програми, що підтримує OPC-технологію, та бібліотекою WINDIL для швидкого підключення драйверів.

OPC-технологія призначена для забезпечення: універсального механізму обміну даними поміж датчиками, виконавчими пристроями, контролерами (регуляторами), пристроями зв'язку з об'єктом та системами представлення технологічної інформації; мережного диспетчерського керування; архівації даних системами керування базами даних. Через інтерфейси OPC одні додатки можуть читати чи записувати дані в інші додатки, обмінюватись подіями,

інформувати один одного про нештатні ситуації, здійснювати доступ до даних, що зареєстровані в архівах. Ці додатки можуть бути розташовані як на одному РС, так і бути розподіленими по мережі. Окремий клас OPC-додатків являють собою OPC-сервери конкретних апаратних пристроїв, які створюють так звану фізичну абстракцію апаратури, дозволяючи будь-якому OPC-клієнту записувати і запитувати дані з пристрою. Отже пристрій, для якого існує OPC-сервер, може бути використаним з будь-якою сучасною SCADA-системою.

Обмін даними між програмним забезпеченням SCADA-системи і приладом через OPC-сервер за протоколами ОВЕН або ModBus наочно ілюструється рис. 3.4.

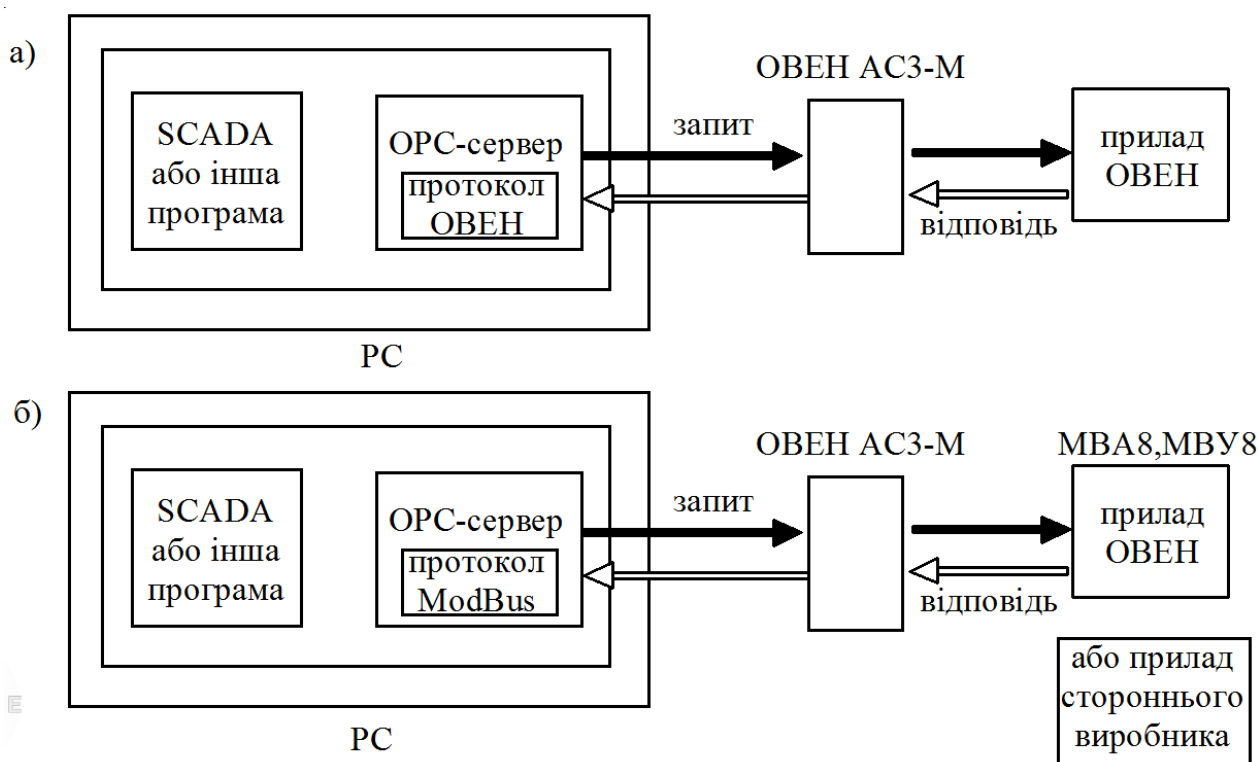


Рис. 3.4. Ілюстрація обміну даними між програмним забезпеченням SCADA-системи і приладом через OPC-сервер за протоколами ОВЕН (а) і ModBus (б): МВА8, МВУ8 - модулі вводу-виводу відповідно аналоговий і дискретний

Слід відзначити, що протокол ModBus легко інтегрується у єдину мережу автоматизації, тому усі універсальні SCADA/MMI – системи підтримують цей

протокол. При цьому, протокол, тобто схемна реалізація для певного ЗВП, як вже відзначалося, забезпечує обмін даними і може відрізнятися для того чи іншого типу ЗВП (регулятор або контролер).

ОПС-сервери ОВЕН працюють в операційній системі Windows. Особливість ОПС-сервера ОВЕН - це можливість функціонувати як у режимі "master", так і "slave" у мережі RS-485. Якщо ОПС-сервер працює у режимі "slave", функції "master" може виконувати прилад, що підключений до мережі RS-485, тобто вимірювач-регулятор. Вимірювачі-регулятори забезпечують можливість вимірювання й регулювання як температури з підключенням до входу термоопорів або термопар, так і інших фізичних величин, що перетворені в електричний уніфікований сигнал по струму ($0\div 5\text{mA}$, $0\div 20\text{mA}$, $4\div 20\text{mA}$) або напруги ($0\div 10\text{V}$). Прилади мають два виконання для монтажу – настінне і щитове. Всі параметри настроювання після програмування зберігаються в енергонезалежній пам'яті приладу і залишаються незмінними у разі відключення живлення. В деяких моделях тип вхідного пристрою програмується. Нижче розглянуто більш детально окремий регулятор фірми ОВЕН.

Вимірювач-регулятор ТРМ101 з універсальним входом являє собою одноканальний ПД-регулятор, що оснащений: універсальним входом для підключення датчиків; додатковим входом для дистанційного керування; блоком обробки даних, який формує сигнал керування вихідними пристроями; двонаправленим інтерфейсом RS-485 із швидкістю передачі даних до 115,2 кбіт/с. Згідно функціональній схемі ТРМ101, що наведена на рис. 3.5, прилад має один вхід для датчиків і додатковий вхід для можливості одночасного підключення двох зовнішніх ключів: для керування запуском/зупинкою процесу регулювання та для перемикання на керування від РС по інтерфейсу RS-485.

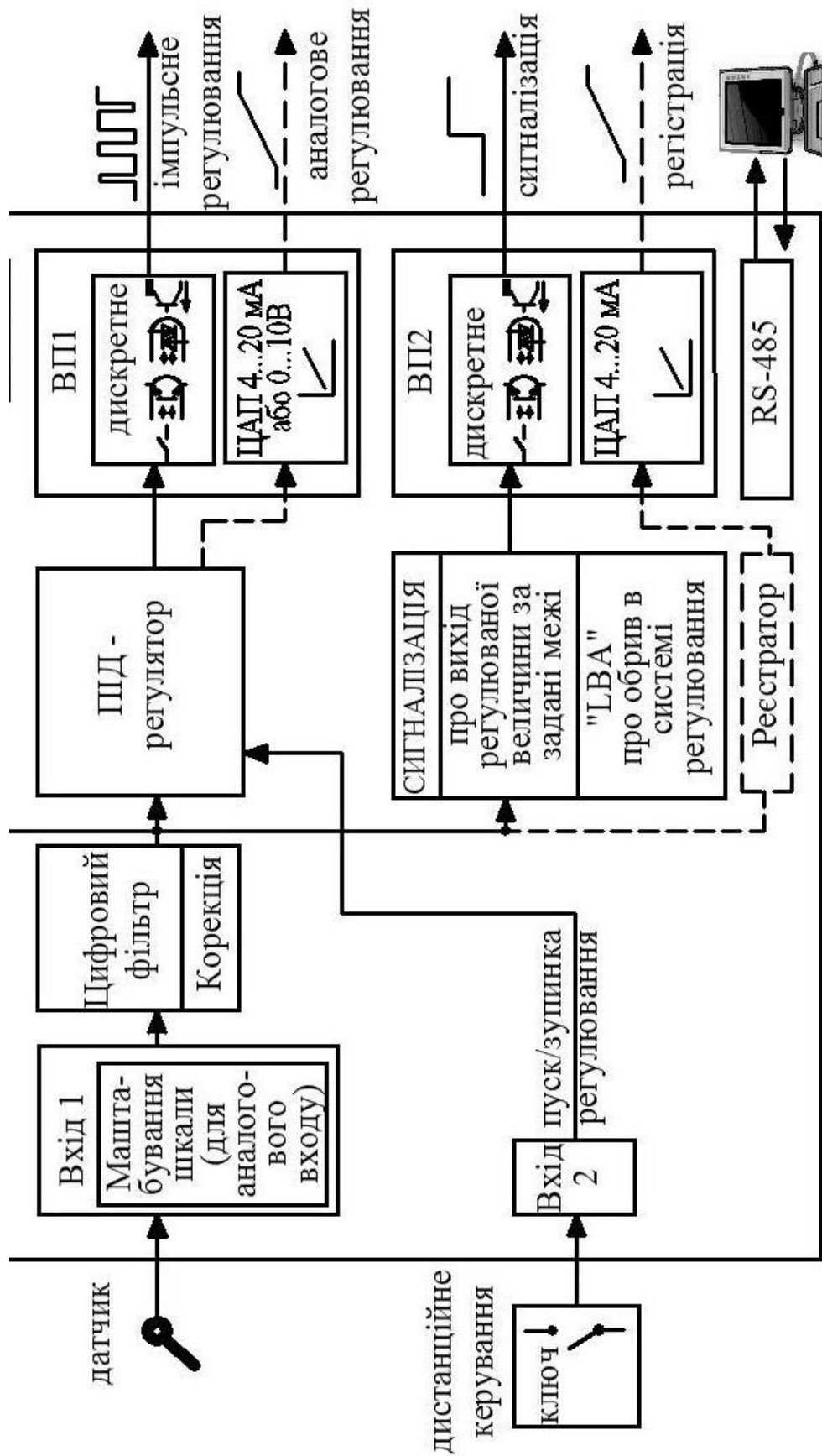


Рис. 3.5. Функціональна схема вимірювача-регулятора TRM101

Настройка коефіцієнтів ПД-алгоритму на об'єкті здійснюється за алгоритмом автонастроювання, за якого прилад обчислює оптимальні для певного об'єкту значення коефіцієнтів закону регулювання, а також постійну частоту цифрового фільтру й період прямування керуючих імпульсів. Керування навантаженням може здійснюватись двома способами: імпульсним (через реле, транзисторну чи семісторну оптопару) або аналоговим (струмом $4\div 20$ мА) сигналами. Спосіб керування визначається встановленням на замовлення у приладі вихідним пристроєм. У ТРМ101 реалізована функція виявлення обривів у контурі регулювання (ЛВА). Прилад контролює швидкість подачі параметру регулювання і здійснює видачу сигналу про аварію, якщо за умови подачі максимального керуючого впливу значення величини, що регулюється, не змінюється протягом певного часу. Два вихідних пристрої можуть бути у наступних сполученнях: обидва ключового типу; ВП1 - ключовий, ВП2 - аналоговий; обидва виходи аналогові. Мікропроцесорний регулятор має приладне виконання.

3.2. Промислові логічні контролери: типова технічна структура, циклограма роботи, конструктивне виконання, прикладне програмне забезпечення та система програмного забезпечення

Програмований логічний контролер (PLC) - це спеціалізований мікропроцесорний керуючий пристрій, пристосований для використання безпосередньо у виробничих умовах та який програмується на алгоритмічних мовах, доступних користувачам, що не мають спеціальної підготовки з програмування.

PLC являє собою пристрій, що забезпечує збір, перетворення, обробку, збереження інформації та відтворення команд керування. Він містить певну кількість входів і виходів для підключення до них пристроїв, що зв'язані з об'єктом керування (датчики, виконавчі пристрої) та призначений для роботи у режимах реального часу. В основу PLC покладена типова структура МП-пристрою, дооснащеного модулями зв'язку з керуємим об'єктом, а також пультом (пристроєм) користувача, за допомогою якого реалізуються функції програмування, налагодження, діагностування керуючої програми і відображення станів об'єкту регулювання.

Узагальнена технічна структура PLC представлена на рис. 3.6.

Згідно рис. 3.6 до складу PLC входить: керуючий автомат, пульт користувача і модулі зв'язку з об'єктом. Основним пристроєм PLC є керуючий автомат (КА), виконаний на базі МП, що здійснює програмне керування процесом запису, збереження і відпрацьовування керуючих програм (КП) у PLC. Для збереження КП використовуються різні типи ПЗП: PROM – ПЗП, що однократно програмується користувачем; REEPROM – перепрограмований ПЗП, тобто ПЗП, що програмується користувачем з можливістю стирання інформації ультрафіолетовим випромінюванням на спеціальному пристрої, для чого ПЗП

на час стирання необхідно витягти зі схеми, а також з електричним стиранням без витягу ПЗП зі схеми. У деяких моделях PLC замість ПЗП використовується ОЗП з підживленням від батареї чи акумулятора. ОЗП використовуються для оперативного збереження програм в процесі їх налаштування і апробації. За допомогою системної магістралі (СМ), яка складається з трьох шин (на схемі відсутні), а саме системної шини адреси (США), системної шини даних (СШД), системної шини керування (СШК), керуючий автомат зв'язується з іншими пристроями PLC.

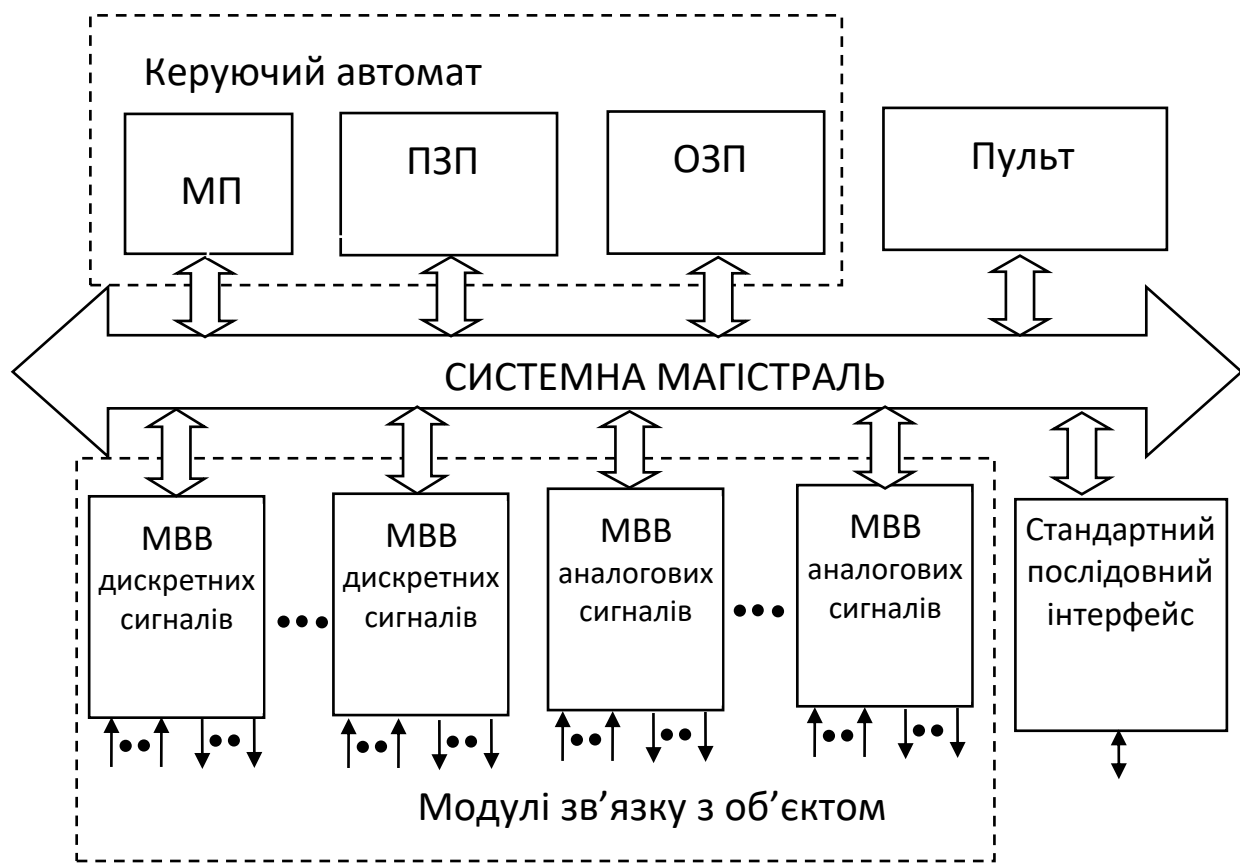


Рис. 3.6. Узагальнена структура PLC: МВВ – модулі вводу – виводу сигналів

Пульт керування містить панель (пульт, пристрій з клавіатурою) програмування і налагодження та пристрій відображення інформації, на який можна виводити інформацію про стан об'єкту керування, фрагменти КП (при

запису, налагодженні, виконанні і керуванні) та іншу інформацію. Найчастіше роль панелі може виконувати РС, зв'язаний відповідним інтерфейсом з PLC.

Модулі зв'язку з об'єктом керування становлять собою набори МВВ дискретних і аналогових сигналів, типи і кількість яких для підключення залежить від архітектури і конструкції окремої моделі PLC. Для об'єднання у промислову мережу або зв'язку з іншими мікропроцесорними системами PLC оснащуються стандартним послідовним інтерфейсом.

Принцип роботи PLC дещо відрізняється від вимірювачів-регуляторів. Програмне забезпечення PLC складається не тільки з системного програмного забезпечення, але й прикладного (ППЗ). Задачею прикладного програмування PLC є тільки реалізація керування конкретною технологічною системою відповідно до визначеного алгоритму. При цьому система виконання коду прикладної програми є частиною системного програмного забезпечення. Функціонування PLC також здійснюється циклічно, робочий цикл якого складається з чотирьох етапів. На першому етапі виконується опитування станів входів і запам'ятовування цієї інформації. На другому етапі відбувається аналіз і виконання програми користувача (керуючої програми). На третьому етапі на основі рішень згідно КП формуються значення виходів. Четвертий етап пов'язаний з виконанням деяких допоміжних операцій (діагностика, підготовка даних для налагоджувача, візуалізація, мережний обмін по інтерфейсу). Циклограма роботи контролера може бути представлена у вигляді схеми, що наведена на рис. 3.7.

Відпрацьовування частин КП здійснюється одна за одною в порядку їх розміщення в програмі з поверненням до початку КП після закінчення всього циклу. Циклічне відпрацьовування (сканування) КП здійснюється за допомогою МП. При цьому виконання першого етапу забезпечується системним програмним забезпеченням. Після чого керування передається прикладній програмі, тобто тій програмі яка закладена користувачем. По її завершенні керування переходить до системного рівня.

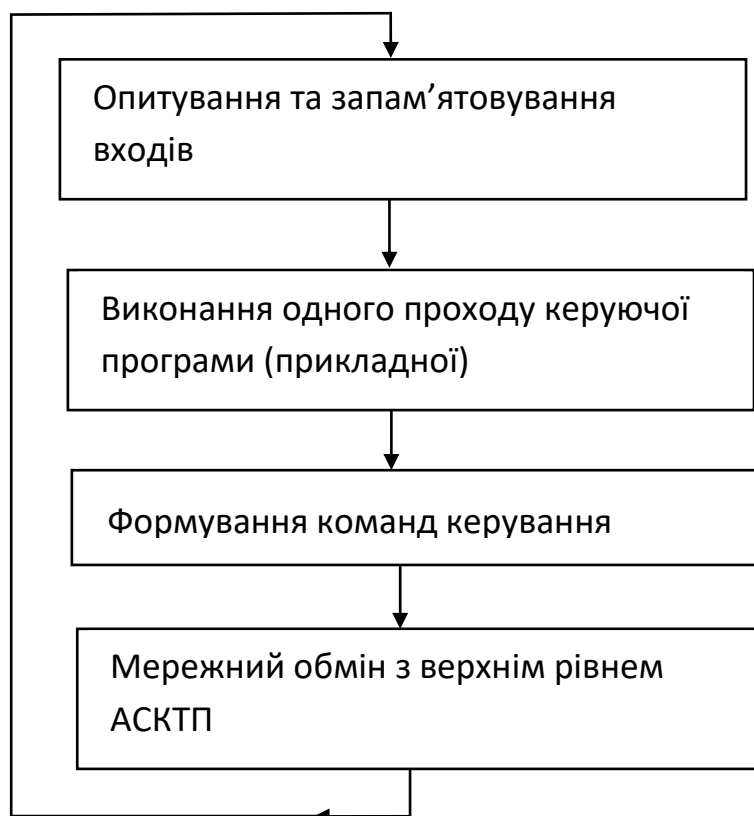


Рис. 3.7. Умовна циклограма роботи контролера

Одноразове опитування усіх входів-виходів PLC називається циклом сканування і позначається $T_{\text{Ц}}$, що характеризує швидкість контролера. При цьому для нормального функціонування PLC повинна виконуватись умова:

$$T_{\text{Ц}} + T_{\text{ІН}} < T_{\text{СПР.ВМ}} \quad (3.1)$$

де $T_{\text{ІН}}$ – час, що втрачений на обслуговування інтерфейсного каналу; $T_{\text{СПР.ВМ}}$ - час спрацьовування виконавчого механізму.

У випадку виконання цієї умови, виконавчий механізм не встигне включитися за один робочий цикл PLC. При цьому в наступному циклі, якщо існує перешкода випадкового характеру, яка може бути пов'язана з помилковими сигналами від датчиків на входах, помилковий керуючий вплив

виконаний не буде. Для більш надійної роботи системи керування рекомендується під час проектування здійснювати опитування станів входів не один, а n-разів і тільки після n-разового підтвердження стану конкретного входу використовувати цю інформацію для алгоритмічної обробки згідно КП.

Конструктивне виконання у більшості випадків PLC забезпечується блоково-модульним принципом, який дозволяє одержувати для окремої задачі керування конфігурацію контролера шляхом доукомплектування деякого базового комплекту. Як правило, до складу цього комплекту входить уніфікована касета або шасі, модуль процесора, модуль пам'яті, джерело живлення, до якого в залежності від складності системи керування додаються модулі вводу-виводу і спеціальні модулі зв'язку (розширення) для нарощування PLC. Згідно цього принципу усі PLC виготовляються у трьох варіантах конструктивного оформлення: моноблокові, модульні і розподілені. Моноблокові мають фіксований набір входів-виходів і можуть бути доукомплектовані модулями розширення. У модульних контролерах модулі вводу-виводу можуть мати різний склад і кількість, що визначається складністю поставленої задачі побудови АСКТП. У розподілених системах модулі або навіть окремі входи-виходи, що утворюють єдину систему керування, можуть бути рознесені на значні відстані.

Прикладне програмне забезпечення (ППЗ) контролерів становить собою непроцедурні технологічні мови програмування. Серед них слід виділити як технологічні мови програмування PLC, що відповідають стандартам Міжнародної електротехнічної компанії (IEC 61131-3), так і специфічні поза цим стандартом. Стандарт встановлює п'ять мов програмування PLC, з яких три графічних і дві текстові з наступними назвами:

Ladder Diagram (LD або LAD) - мова релейно-контактних схем;

Structured Text (ST) - мова структурованого тексту;

Instruction List (IL) - мова інструкцій;

Sequential Function Chart (SFC) - мова послідовних функціональних блоків;

Function Block Diagram (FBD) - мова функціональних блокових діаграм.

Серед мов, що не входять до цього стандарту в контролерах, що широко застосовуються в Україні, отримала спрощена версія мови програмування FBD, а саме ФАБЛ – мова функціональних алгоритмів.

Вибір однієї з цих мов, як правило, визначається поставленою задачею. Якщо вихідна задача формулюється у термінах послідовної обробки і передачі сигналів, то для неї найпростіше і наочніше використовувати мови FBD та ФАБЛ. Якщо задача характеризується описом послідовності спрацювань деяких ключів і реле, то для неї перевага має бути надана мові LD. Для задач, які формулюються у вигляді складного розгалуженого алгоритму, зручніше для застосування буде мова ST. Слід відзначити, що для реалізації систем автоматичного регулювання з використанням PLC, найчастіше застосовується мова FBD та спрощений варіант цієї мови ФАБЛ.

Система програмного забезпечення контролерів, що найбільш поширена у світі, це CodeSys фірми 3S-Smart Software Solutions. CodeSys (Controller Development System) являє собою комплекс програм для проектування прикладного програмного забезпечення, налагодження програми у реальній ситуації та завантаження її у PLC. Основними складовими системи є дві підсистеми: середовище розробки програми і середовище її виконання (CodeSys SP), що знаходиться у PLC (рис. 3.8).

До CodeSys входять графічні і текстові редактори для усіх п'яти мов ІЕС 61131-3. Програма, яка написана на мовах МЕК, компілюється системою CodeSys у машинний код, що оптимізований для заданої апаратної платформи. Комп'ютер видає діагностичні повідомлення як на етапі компіляції, так і на етапі вводу операторів мови. Машинний код, що сгенерований компілятором CodeSys, завантажується у PLC, після чого розробник має можливість

використати широкій набір функцій для швидкого налагодження додатку. Програму можна виконувати по крокам, або по контрольним циклам та задавати точки останову (зупинки) програми з переглядом стеку викликів. За відсутністю реального PLC налагодження програми можна виконувати за допомогою вмонтованого програмного емулятора. Система також містить вмонтований багатоканальний трасировщик (графічний самописець) значень змінних, який дозволяє наочно представляти дані проекту та акумулювати їх у пам'яті PLC. Існує можливість і «гарячого оновлення» системи, тобто здійснювати заміну частини програми контролера без зупинки виконання прикладної програми.

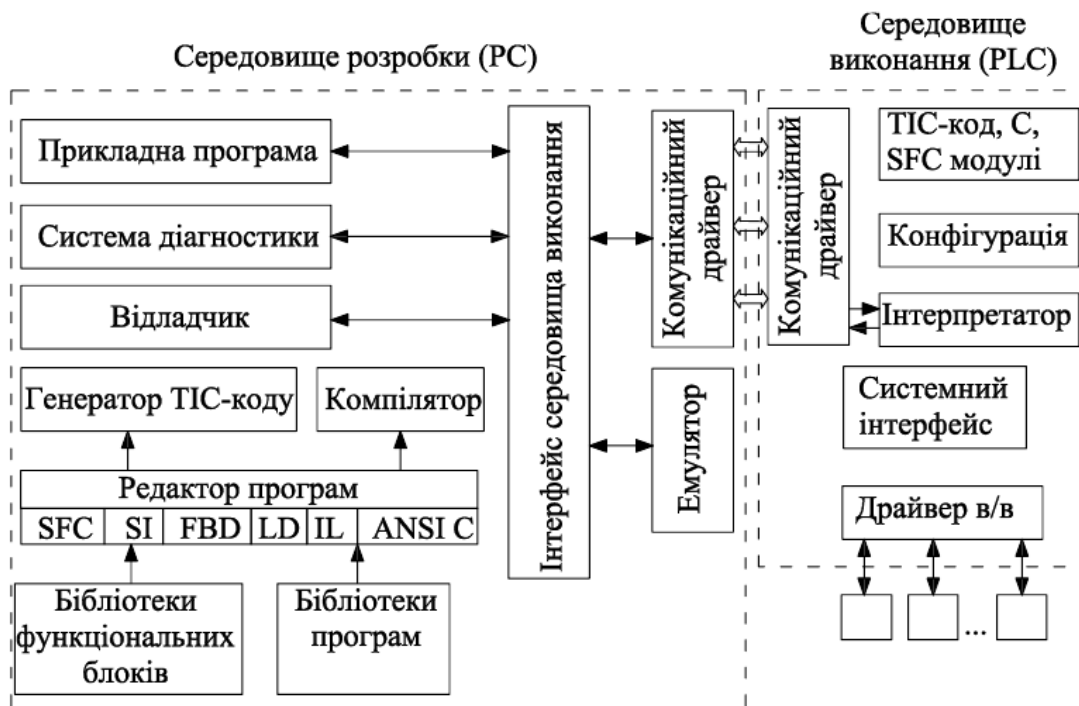


Рис. 3.8. Організація підсистем розробки та виконання PLC на базі PC

Програмований PLC з'єднується з CodeSys через допоміжний програмний компонент - шлюз зв'язку, що використовує протокол TCP/IP. Шлюз працює на PLC програміста або віддалено, наприклад через мережу Ethernet. PLC підключається до PC через будь-який послідовний канал інтерфейсу чи мережу. У разі необхідності додається драйвер, що забезпечує виробнику PC можливість підтримки свого оригінального протоколу зв'язку. Спілкування

PLC зі SCADA системою здійснюється за допомогою стандартного OPC-сервера.

Середовище виконання CodeSys може функціонувати у PLC під керуванням різних операційних систем або взагалі без них, у тому числі на звичайному PC. При цьому прикладна програма залишається працездатною навіть при зависанні операційної системи.

Окрім засобів програмування CodeSys має вмонтовану систему візуалізації, яка застосовується для оперативного керування, а також для моделювання на етапі розробки. Візуалізацію можна забезпечити на PC, графічній панелі PLC або на вмонтованому в PLC Web- сервері. Комплекс програмування CodeSys побудований по компонентній технології Microsoft. Тому користувач PLC може додавати у комплекс свої власні компоненти, від конфігуратора оригінальної мережі до власної мови програмування PLC. У випадку раптового відключення живлення комплекс CodeSys автоматично зберігає значення змінних у флеш-пам'яті або в ОЗП з живленням від акумулятора.

У наступних підрозділах будуть розглянуті окремі моделі ПЛК, які забезпечують можливість прикладного програмування систем керування на технологічній мові ФАБЛ.

3.3. Промислові мережі автоматизованих систем керування

Мережі, що забезпечують інформаційні потоки між контролерами, датчиками сигналів і різноманітними виконавчими пристроями, поєднуються загальною назвою «промислові мережі» (Field Bus чи «польова шина»). Характерна особливість сучасних мереж – розподілений характер функцій та цифровий спосіб обміну даними між вузлами мережі (контролери, інтелектуальні пристрої вводу-виводу та ін.). Використання промислової мережі дозволяє розташувати вузли з максимальним наближенням до кінцевих пристроїв (датчики, виконавчі пристрої), завдяки чому довжина аналогових

ліній скорочується до мінімуму. Кожен вузол промислової мережі є інтелектуальним пристроєм і виконує декілька функцій: прийом команд та даних від інших вузлів промислової мережі; зчитування даних з підключених датчиків; перетворення отриманих даних у цифрову форму; відпрацьовування запрограмованого технологічного алгоритму; видача керуючих впливів на підключені виконавчі пристрої за командою іншого вузла чи згідно технологічного алгоритму; передача накопиченої інформації на інші вузли мережі.

З метою розв'язання проблеми взаємодії відкритих мережних систем з різними видами обчислювального обладнання і стандартами протоколів у 1978 році Міжнародною організацією із стандартизації (ISO) на противагу закритим мережним системам (виробляє і підтримує тільки один виробник) була запропонована «Модель взаємодії відкритих систем» (ISO-модель, ISO/OSI Model).

OSI-модель взаємозв'язку відкритих мережних систем розподіляє мережні функції у відповідності з табл. 3.1 по семи рівням протоколів.

Усе, що перебуває вище 7-го рівня моделі, це задачі, що розв'язуються у прикладних програмах. OSI-модель дозволяє використовувати вже існуючі протоколи різних фірм-виробників для реалізації промислових мереж АСКТП різної архітектури.

Практичний досвід побудови АСКТП свідчить, що більшість промислових мереж підтримується тільки трьома рівнями, а саме фізичним, канальним і прикладним.

Слід відзначити, що дешеві мережі (наприклад, Modbus) як правило використовують на фізичному рівні RS-232 чи RS-485, а всі інші задачі, починаючи з канального рівня, розв'язують програмним шляхом. Як виключення існують протоколи промислових мереж, що реалізують усі сім рівнів OSI-моделі, наприклад LonWorks та Ethernet.

Велике різноманіття відкритих промислових мереж, інтерфейсів і протоколів пов'язано з великою кількістю вимог щодо автоматизуємих технологічних процесів. Ці вимоги не можуть бути задовільнені універсальним та економічно-оптимальним рішенням. Тому вже зараз зрозуміло, що жодна з існуючих мереж не стане єдиною, поховавши усі інші.

Як вже відзначалось раніше технічні структури АСКТП обумовлені різним способом об'єднання пристроїв у мережу, тобто її топологію.

Таблиця 3.1. Рівні протоколів та їх мережні функції

Рівень OSI-моделі	Найменування рівня	Функціональне призначення
7	Прикладний (Application Layer)	Виконання прикладних програм (адміністративне керування мережею, керування технологічними процесами й транспортними засобами різного призначення)
6	Представницький (Presentation Layer)	Перетворення у разі необхідності форматів даних до виду зручному для прикладних процесів.
5	Сеансовий (Session Layer)	Координація між вузлами мережі (організація і проведення сеансів зв'язку між прикладними процесами, тобто обчислювальними і керуючими програмами).
4	Транспортний (Transport Layer)	Керування передачею (пересиланням) даних (пакетів) між об'єктами мережі.
3	Мережний (Network Layer)	Відповідає за адресацію і доставку пакету даних за оптимальним маршрутом.
2	Канальний (Data Link Layer)	Визначає порядок підключення (з'єднання) і відключення (роз'єднання) каналів зв'язку, захист від помилок (перекручувань) при передачі даних.
1	Фізичний (Physical Layer)	Забезпечує фізичні характеристики каналу зв'язку і параметри сигналів, наприклад, частота передачі, довжина і тип лінії, тип штекерного роз'єму і т.ін.

Топологія мереж відрізняється одна від одної трьома основними критеріями: режимом доступу до мережі, засобами контролю передачі й відновлення даних; можливістю зміни числа вузлів мережі. Існують три основні топології – це зірка, кільце і шина, порівняльні характеристики яких зведені до табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Порівняльні характеристики основних мережних технологій

Порівняльні характеристики	Мережна топологія		
	Зірка	Кільце	Шина
Режим доступу	Доступ та керування через центральний вузол	Децентралізоване керування, доступ від вузла до вузла	Можливий централізований та децентралізований доступ
Надійність	Збій роботи центрального вузла призводить до збою всієї системи	Розрив лінії зв'язку зумовить збій всієї мережі	Помилка в роботі одного вузла не викликає збою у всій мережі
Можливість розширення	Обмежено кількістю фізичних портів на центральному вузлі	Можливе розширення кількості вузлів, але швидкодія мережі зменшується	Можливе розширення кількості вузлів без втрати швидкості передачі даних

Топологія «зірка» характерна для радіальної структури АСКТП, у якій вся інформація від периферійних станцій (контролери) передається тільки через деякий центральний вузол (пульт оператора). При цьому периферійні станції не мають прямих інформаційних зв'язків поміж собою – будь які повідомлення від однієї станції до іншої проходять через центральний вузол. Надійність і живучість такої топології, а отже і АСКТП визначається надійністю центрального вузла.

Топологія «кільце», характерна для кільцевої структури АСКТП, у якій інформація передається від вузла до вузла фізичним кільцем. Інформація у формі кадрів циркулює у кільцевій мережі тільки в одному напрямку. Кожен вузол є ретранслятором кадру, що надходить, незалежно від його адреси. В кільцевій шині можуть знаходитись одночасно декілька кадрів, що пересуваються з однаковою швидкістю від одного вузла до іншого. Керування передачею інформацією здійснюється мережним програмним забезпеченням. При цьому кожен вузол на певний проміжок часу отримує функції керуючого контролера, а відмова в роботі хоча б одного вузла приводить до порушення роботи кільця та зупинки всіх передач.

Топологія «шина» характерна для магістральної структури АСКТП, у якій всі пристрої паралельно приєднані до загального середовища передачі даних або шини. На відміну від «кільця» адресат (абонент) одержує свій інформаційний пакет без посередників. Процес підключення додаткових вузлів до шини не вимагає апаратних доробок з боку вже працюючих вузлів мережі. Однак ця топологія вимагає твердої регламентації доступу до середовища передачі, за якої може бути два варіанти: з контрольованим доступом до шини або з самовизначенням доступу до шини кожним пристроєм.

Вибір типу промислової мережі залежить насамперед від рівня автоматизації, для якого цей вибір здійснюється. У залежності від місця мережі в ієрархії промислового підприємства вимоги до її функціональних характеристик будуть різними. Ієрархія АСК промисловим підприємством становить собою як правило три поверхневу піраміду: рівень керування підприємством, рівень керування технологічним процесом і рівень керування пристроями.

На рівні керування підприємством розташовуються звичайні комп'ютери і файлові сервери, що об'єднані локальною мережею. Задача обчислювальних систем на цьому рівні – забезпечення візуального контролю основних параметрів виробництва, побудова звітів, архівування даних. При цьому

обсяги даних, що підлягають передачі, поміж вузлами вимірюються мегабайтами, а часові показники обміну інформацією не є критичними.

На рівні керування технологічними процесами здійснюється поточний контроль і керування або в ручному режимі з операторських пультів, або в автоматичному режимі за визначеним алгоритмом. При цьому виконується узгодження параметрів окремих ділянок виробництва, відпрацьовування аварійних і передаварійних ситуацій, параметризація контролерів нижнього рівня, завантаження технологічних програм, дистанційне керування виконавчими пристроями. Інформаційний кадр на цьому рівні містить, як правило, декілька десятків байтів, а припустимі часові затримки можуть складати від 100 до 1000 мс у залежності від режиму роботи.

На рівні керування пристроями розташовані контролери, що здійснюють безпосередній збір даних від датчиків та керування виконавчими пристроями. Обсяг даних, якими контролер обмінюється з кінцевими пристроями, як правило становить декілька байтів за швидкості опитування пристроїв не більше 10 мс.

На сьогодні існує велика кількість різноманітних промислових мереж, тому доцільно розглянути лише характеристики, властивості й області застосування найбільш відомих з них, що найчастіше використовуються в комп'ютерно-інтегрованих системах керування.

Найбільш поширені промислові мережі, що розглядаються нижче, завдяки використанню принципів відкритих систем забезпечують інтеграцію обчислювальних пристроїв різних виробників в одну мережу.

Протокол Modbus – це найпоширеніший протокол, що базується на клієнт – серверній архітектурі. Розроблений фірмою Modicon для використання в контролерах з програмованою логікою (PLC). Використовує для передачі даних послідовні інтерфейси RS- 485, RS-422, RS-232 та інші, а також мережі TCP/IP.

Пристрої різних виробників, що підтримують протокол Modbus, легко інтегруються у єдину мережу автоматизації. Усі універсальні SCADA/HMI системи підтримують цей протокол. На рис. 3.9 наведена схема мережі, що об'єднує PLC з послідовним інтерфейсом.

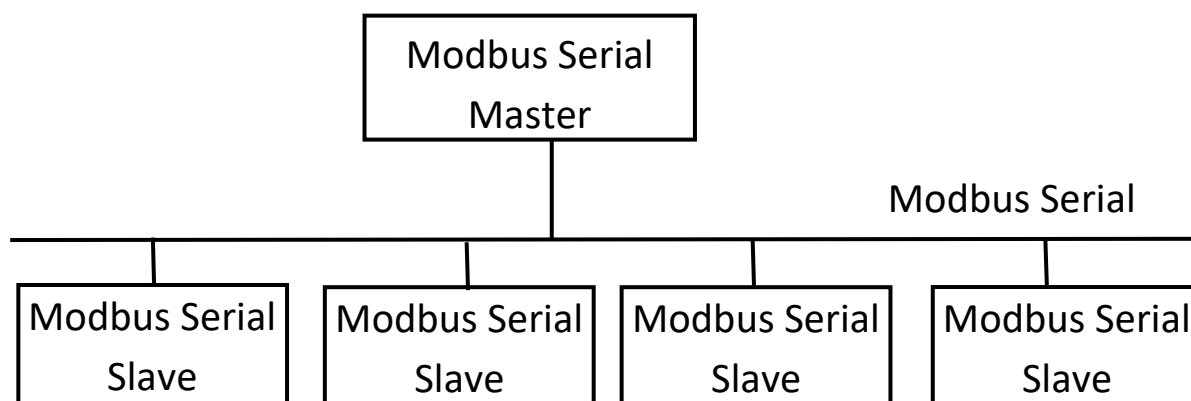


Рис.3.9. Схема об'єднання пристроїв Modbus у послідовній лінії зв'язку (serial)

У відповідності з рис.3.9 в одній мережі може бути тільки один ведучий пристрій (Master), що забезпечує опитування інших ведених пристроїв (Slave). При цьому жоден ведений пристрій не може самостійно запитати чи передати дані іншому пристрою. Лише ведучий пристрій може запитати дані з кожного веденого пристрою по черзі або ініціювати одночасну передачу повідомлень на всі інші ведені пристрої. Одна мережа може об'єднувати до 247 ведених пристроїв.

Мережа TCP/IP (див. рис. 3.10) забезпечує об'єднання практично необмеженої кількості ведучих і ведених пристроїв. При цьому, будь-який пристрій може бути одночасно як ведучим, так і веденим. У мережі можуть також існувати спеціальні шлюзи (gateway), які надають пристроям в мережі TCP/IP доступ до ведених пристроїв, що об'єднані послідовною лінією зв'язку (Modbus Serial Slave), чи до ведучого пристрою з послідовним інтерфейсом (Modbus Serial Master).

Протокол Modbus передбачає для передачі даних по послідовним лініям зв'язку два режими (формати команд): ASCII (American Standart Code for Information Interchange) та RTU (Remote Terminal Unit). Режим ASCII призначений для повільних ліній зв'язку, де кожний байт пакету передається як два ASCII символи. Новий пакет починається зі спеціального службового символу. При цьому між передачею символів одного пакету може бути пауза у декілька секунд (у залежності від настроювань) без виникнення помилок при передачі. Використання RTU дозволяє приблизно у 2 рази збільшити кількість даних, що передаються по мережі у двійковому вигляді без змін. У режимі RTU перед передачею пакету витримується невеликий інтервал тиші, а потім передається безперервним потоком даних. При цьому, на швидкості 19,2 кбіт/с можливо передати за секунду до 1400 байт даних (за умови повторюваного), 126 змінних або опитати до 40 разів один чи декілька пристроїв за умови запиту однієї змінної у якості прикладу. На рис. 3.11 наведена загальна схема інфраструктури мережі RS-485 з пристроями Modbus.

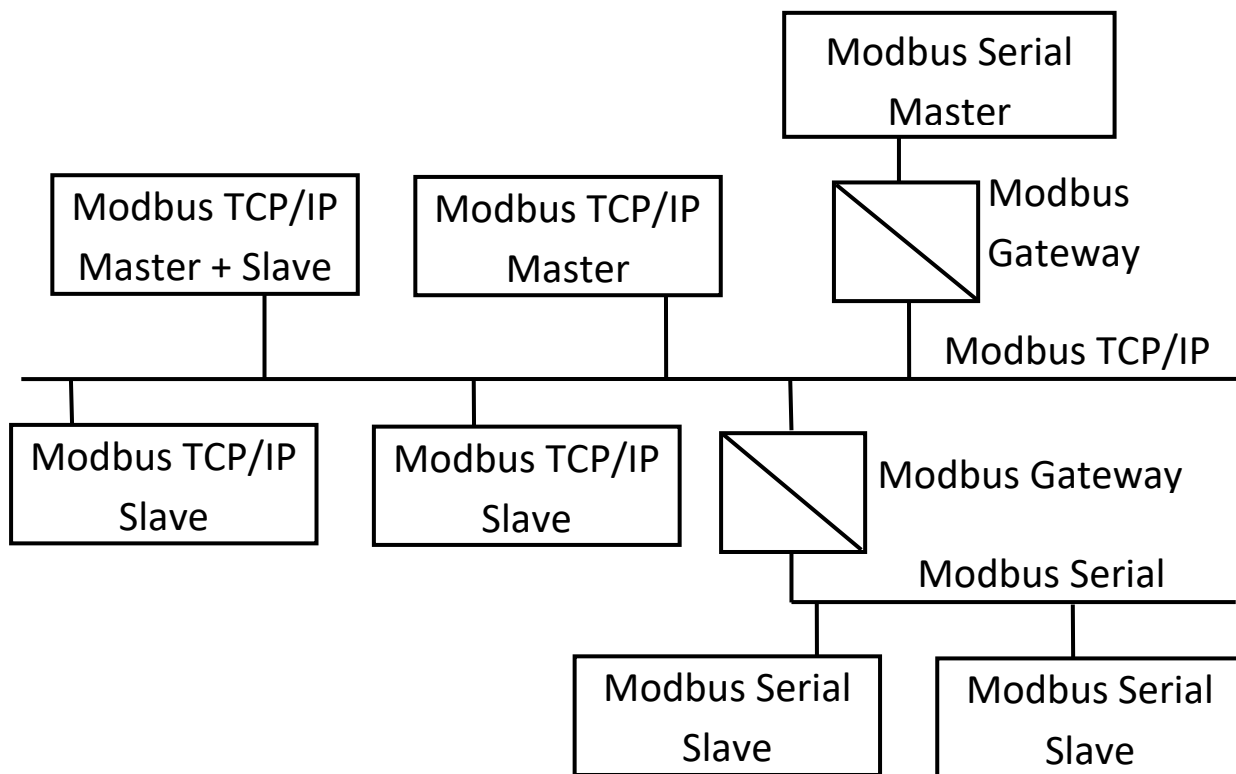


Рис. 3.10. Схема об'єднання пристроїв Modbus у мережі TCP/IP

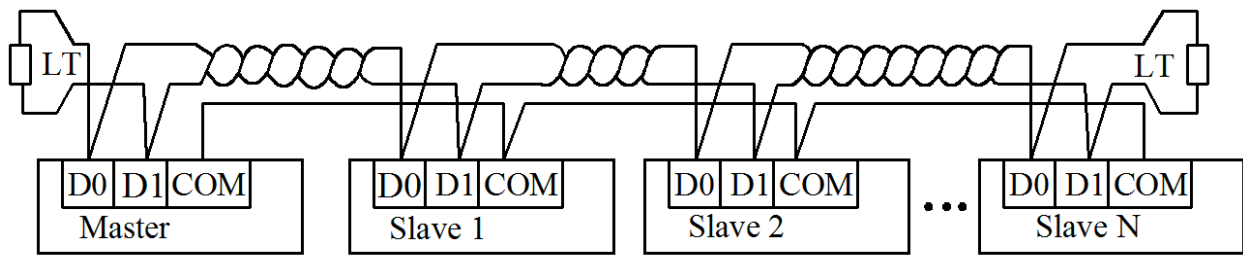


Рис. 3.11. Інфраструктура мережі RS-485 з пристроями Modbus.

Згідно рис. 3.11 об'єднання пристроїв Modbus по лінії RS-485 передбачає послідовне з'єднання одним кабелем. У кабелі повинні бути як мінімум одна вита пара, по якій проходять диференціальні сигнали (D0, D1) та провідник COM (земля приймачів RS-485 усіх пристроїв). Останній повинен бути з'єднаний із захисною землею тільки у ведучого контролера (Master). На кожному кінці лінії зв'язку встановлюються узгоджуючі резистори LT, що становлять із себе опори номіналом 120 Ом.

PROFIBUS (Process Field Bus) становить собою сімейство промислових мереж, що забезпечує комплексне вирішення комунікаційних проблем підприємства. Стандарт PROFIBUS з'явився завдяки зусиллям групи німецьких компаній (BOSH, Siemens, Klockner Moeller), а з 1996 року він став міжнародним. За допомогою PROFIBUS можуть обмінюватися інформацією компоненти автоматизації будь-яких різновидів. Через один і той самий інтерфейс можуть зв'язуватися один з одним програмуємі логічні контролери (PLC), локальні комп'ютери (PC), панелі оператора й спостереження та навіть датчики і силові приводи. Стандарт протоколу описує рівні 1,2 і 7 OSI-моделі, архітектура якого представлена у вигляді табл.3.3.

Згідно табл.3.3. PROFIBUS має три модифікації різних, але сумісних протоколів: PROFIBUS-DP, PROFIBUS-FMS і PROFIBUS-PA.

PROFIBUS-DP (Profibus for Decentralized Peripherals – для децентралізованої периферії) використовує рівні 1 і 2 OSI-моделі і є найбільш поширеним у порівнянні з іншими. Це оптимізований за продуктивністю

протокол, розроблений спеціально для підтримки критичного у часі обміну інформацією між розподіленими вузлами введення-виведення і контролерами на нижчих ієрархічних рівнях мережі PROFIBUS. На відміну від двох інших модифікацій забезпечує найбільш швидкий обмін даними з пристроями, що підключені до мережі 100 кбіт/с на відстані 1,2 км і до 1,5 Мбіт/с на відстані до 200 м. Підключення повторювачів та оптоволоконного кабелю дозволяє збільшити дальність зв'язку. Оптоволоконні інтерфейси виконуються у вигляді змінних модулів для контролерів. Мережа може складатися з 122 вузлів, з яких 32 можуть бути ведучими.

Таблиця 3.3. Стандарт протоколів PROFIBUS у відповідності з OSI-моделлю

№	Назва рівня	PROFIBUS- DP	PROFIBUS- FMS	PROFIBUS- PA
7	Прикладний	-	Протокол FMS (Fieldbus Message Specialization)	-
6	Представлення	-	-	-
5	Сеансовий			
4	Транспортний			
3	Мережний			
2	Канальний (передачі даних)	Протокол FDL (Fieldbus Data Link)		Стандарт IEC 1158-2
1	Фізичний	RS-485, оптоволоконний інтерфейс		Інтерфейс IEC 1158-2

PROFIBUS-FMS використовує рівні 1,2 і 7 OSI-моделі. Цей протокол загального призначення забезпечує взаємодію контролерів та інтелектуальних пристроїв на верхньому (цеховому) рівні та промислового (Field) рівні ієрархії промислових зв'язків. Дозволяє передати великі обсяги даних, але програє у швидкості протоколу DP.

Протоколи FMS і DP використовують однаковий фізичний рівень, оснований на інтерфейсі RS-485 та можуть працювати у загальній мережі.

PROFIBUS-PA (Profibus for Process Automation – для автоматизації технологічних процесів) використовує фізичний рівень на основі стандарту IEC 1158-2, що забезпечує живлення мережних пристроїв через шину і не є сумісним з RS-485. Дані передаються з допомогою рівнів струму +9mA і -9mA («струмова петля»). Швидкість передачі складає до 31,25 кбіт/с. Це по суті PROFIBUS-DP, з тими ж протоколами, але в іншій фізичній реалізації. Особливість його – це можливість роботи у вибухонебезпечній зоні завдяки низькій енергії сигналу.

Стандартом для шини PROFIBUS рекомендується роз'єм DB-9 з 9-ю контактами.

На каналному рівні протоколом визначається процедура передачі даних пристроями, а також керування правами передачі даних через мережу.

В PROFIBUS виконання цієї процедури здійснюється з використанням гібридного методу доступу до середовища передачі. При цьому для взаємодії між складними станціями (ведучими) протокол доступу включає метод передачі маркера, а для взаємодії між складними станціями і простими периферійними пристроями (веденими) – метод ведучий/ведений (master/slave).

За допомогою методу передачі маркера забезпечується присвоєння прав доступу до шини у межах точно визначеного часового інтервалу. Маркер – це спеціальне повідомлення, яке передає права на здійснення передачі інформації від одного ведучого пристрою до іншого. Він циркулює між усіма ведучими

пристроями у межах, які можуть регулюватися, максимального часу обертуну маркера.

Метод «master/slave» дозволяє ведучому пристрою (активній станції), якому у теперішній момент належить право передачі інформації, взаємодіяти з веденими пристроями (пасивними станціями), тобто отримувати дані від ведених пристроїв та передавати їм інформацію.

Таким чином, гібридний метод доступу до середовища передачі надає можливість реалізувати: систему, у якій усюди застосовується метод «master/slave»; систему у якій усюди застосовується метод «master/master»; систему у якій застосовується комбінація цих методів. На рис. 3.12 показана структура PROFIBUS-мережі з трьома активними (ведучими) і п'ятьма пасивними (веденими) станціями. При цьому, три ведучих пристрої утворюють маркерне кільце.

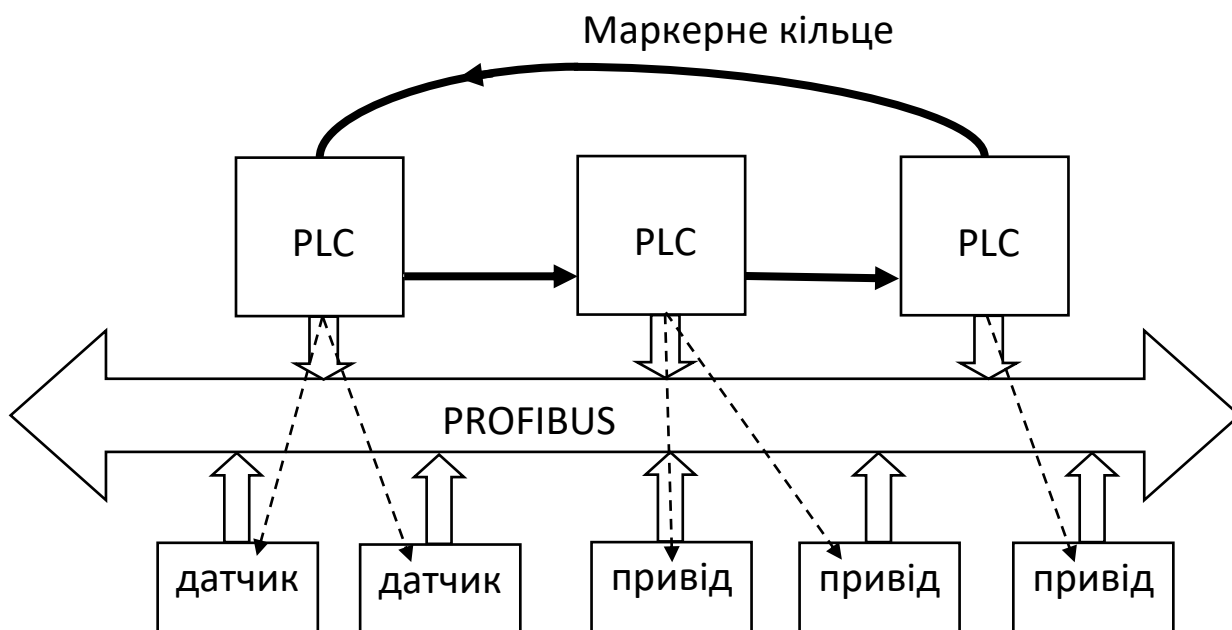


Рис. 3.12. Ілюстрація мережі PROFIBUS з гібридним методом керування доступом до середовища передачі.

Згідно рис. 3.12 після того, як активна станція (PLC чи PC) отримує маркер, їй на певний час надається дозвіл виконувати на шині функції ведучого пристрою. Вона може взаємодіяти з усіма веденими станціями (датчик,

виконавчі приводи) по методу «master/slave» і з усіма ведучими станціями, що приймають участь у взаємодії по методу «master/master». Маркерне кільце являє собою організаційний ланцюг активних станцій, що утворюють логічне кільце з адресами цих станцій. У цьому кільці у середовищі master-вузлів зростаючими номерами вузлів у заданій послідовності передається маркер, що надає право ведення циклів читання/запису на шині, тобто право доступу до середовища передачі.

У стартовій фазі цієї шинної системи задача керування доступом до середовища передачі (MAC – Medium Access Control), що закладена в активних станціях, полягає у виявленні цього логічного призначення і встановленні маркерного кільця. У робочій фазі несправні чи вимкнені активні станції повинні вилучатися з кільця, а нові активні станції включатися у кільце. Крім того програма керування MAC повинна: упізнати несправності у середовищі передачі або передавачах; виявити помилки в адресації станцій (наприклад, одночасне звернення декількох станцій); виявляти помилки в передачі маркера (наприклад, втрата маркера або його множення). При передачі даних виявлення і виправлення помилок ведеться на основі хемінгової відстані 4, тобто в будь-якій посилці даних 3 помилкових біта буде виявлено, а один біт може бути відновлений.

У цілому розподілена система (АСКТП) може складатися із пристроїв, що реалізують усі три типи стандартів модифікації протоколів, приклад структури якої наведено на рис. 3.13.

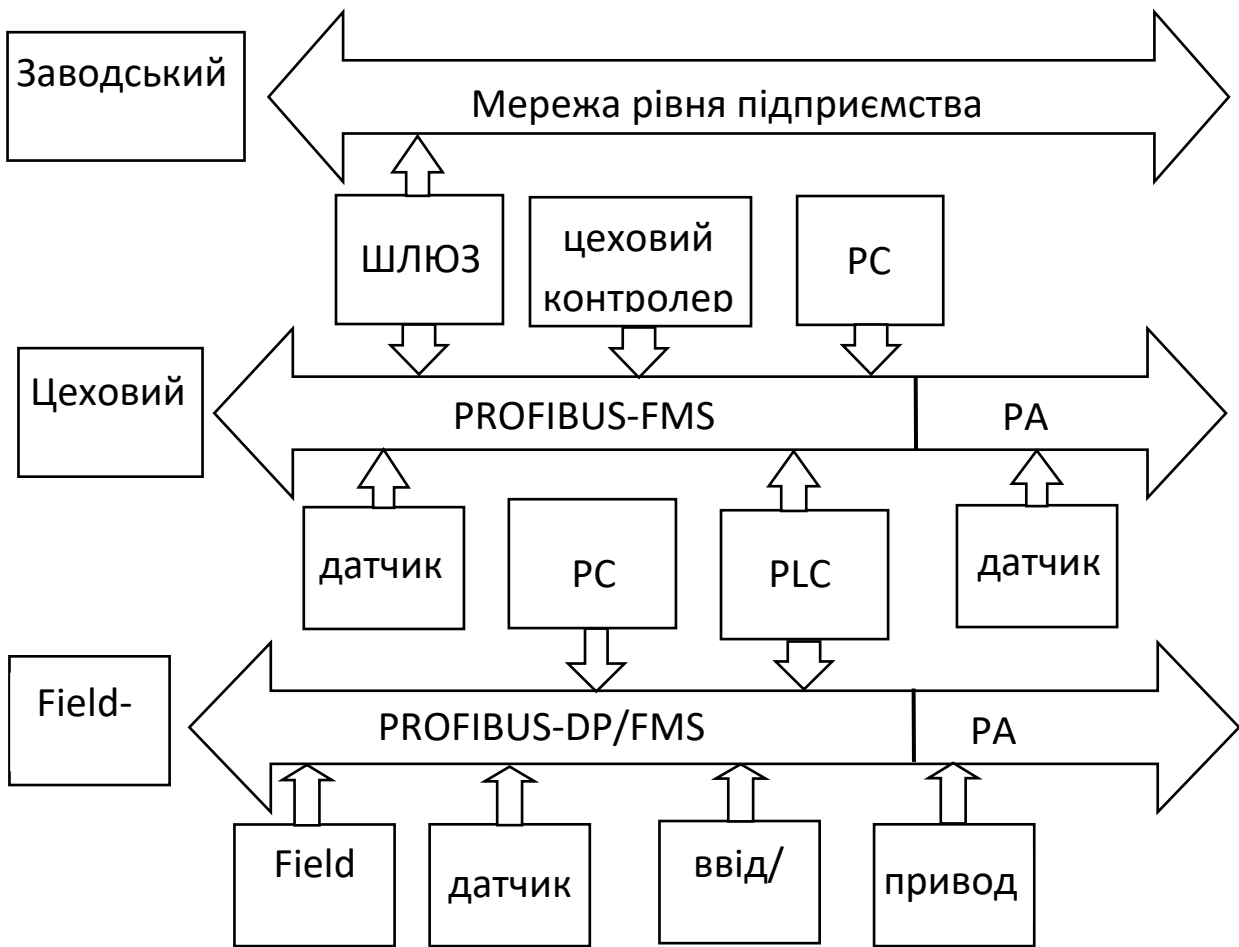


Рис.3.13. Загальна схема можливого використання протоколів PROFIBUS у розподіленій структурі АСКТП.

При цьому РА-пристрій необхідно підключати через спеціальні повторювачі.

3.4. Багатофункціональні контролери серії P130 і P130M: функціональні можливості, типи моделей, склад, варіанти застосування у мережах з різними протоколами і фізичними інтерфейсами

ПЛК P-130 призначений для автоматичного регулювання і логічного керування технологічними процесами в різних галузях промисловості. Завдяки його малоканальності забезпечується економічне керування невеликими агрегатами і висока живучість складних систем керування. ПЛК мають до 28 аналогових і дискретних входів - виходів і оснащені інтерфейсним каналом цифрового послідовного зв'язку. За допомогою P-130 можна реалізувати одноконтурні, каскадні, програмні, супервізорні й багатозв'язкові АСР, а також системи логіко-програмного керування з послідовною дією команд. Випускаються три моделі P-130: регулююча, логічна і безперервно-дискретна.

Регулююча модель, призначена для вирішення завдань автоматичного регулювання, яка дає змогу виконувати локальне, каскадне, програмне, супервізорне, багатозв'язкове керування. Завдяки структурі цієї моделі можна вручну чи автоматично вмикати, вимикати, перемикаєти та реконфігурувати контури регулювання. Крім того, всі ці операції виконуються безударно, незалежно від складності структури керування. У поєднанні з обробкою дискретних сигналів ця модель дозволяє виконувати також логічні перетворювання сигналів і видавати не лише аналогові чи імпульсні, а й дискретні команди керування.

За допомогою регулюючої моделі можна реалізувати до чотирьох незалежних контурів регулювання, кожний з яких може бути локальним чи каскадним, з аналоговим чи імпульсним виходом, з ручним, програмним чи супервізорним задатчиком. Модель уміщує 76 зашитих у постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗУ) алгоритмів безперервної і дискретної обробки інформації, до яких входять алгоритм ПД – регулювання, математичних,

динамічних, нелінійних, аналого – дискретних і логічних перетворювань. Крім того, є 99 алгоблоків з можливістю вільного їх заповнення різними алгоритмами з бібліотеки і конфігурування алгоблоків між собою та з входами – виходами ПЛК.

Логічна модель призначена для реалізації логічних програм крокового керування, дає змогу формувати логічну програму крокового керування з аналізом умов виконання кожного кроку, завдання контрольного часу на кожному кроці та з умовним чи безумовним переходом програми до заданого кроку.

За допомогою логічної моделі можна реалізувати чотири незалежні логічні програми крокового керування, кожна з яких може бути лінійною (що послідовно виконується крок за кроком) чи розгалуженою з безумовним чи умовним переходами. Ця модель дозволяє здійснювати до 87 етапів програми з можливістю реалізації на кожному етапі до 20 кроків. При цьому на кожному кроці задаються умови його виконання, контрольний час, протягом якого аналізуються умови, і визначається поведінка програми у випадку, коли ці умови не виконуються. Інші можливості моделі в основному аналогічні попередній.

Безперервно – дискретна модель призначена для вирішення змішаних завдань регулювання та логіки і дає змогу виконувати різноманітні перетворювання як аналогових, так і дискретних сигналів.

За допомогою цієї моделі можна реалізувати: одну логічну програму крокового керування, що вміщує до дев'яти кроків; чотири контури регулювання з аналоговим виходом чи вісім контурів імпульсного або позиційного регулювання. Інші функціональні можливості моделі аналогічні в основному попереднім.

Усі моделі Р-130 містять засоби оперативного керування, що розміщені на лицьовій панелі контролера, за допомогою яких можна вручну змінювати режими роботи, встановлювати завдання, керувати ходом виконання програм,

вручну керувати виконавчими пристроями, контролювати сигнали та індицирувати помилки. Стандартні аналогові й дискретні датчики, виконавчі пристрої підключаються до Р-130 за допомогою індивідуальних кабельних зв'язків.

Р-130 можуть об'єднуватися в локальну керуючу мережу "транзит" кільцевої конфігурації без застосувань якихось допоміжних пристроїв. В одну мережу можуть вмикатись як однакові, так і різні моделі контролерів. Через мережу контролери можуть обмінюватись інформацією в цифровій формі по витій парі проводів. За допомогою шлюзу, що входить до складу Р-130, мережа "Транзит" може взаємодіяти з будь-яким зовнішнім абонентом (наприклад, ПЕОМ), що має інтерфейс ІРПС чи RS-232С.

Р-130 – це програмований пристрій. Процес програмування простий і зводиться до того, що натисканням кількох кнопок пульта настроювання у певній послідовності з бібліотеки, яка зашита в ПЗУ, витягуються потрібні алгоритми. Ці алгоритми потім об'єднуються в систему заданої конфігурації і в них встановлюються необхідні параметри настроювання.

При відімкненні живильної напруги запрограмована інформація зберігається за допомогою вмонтованої батареї. Запрограмована інформація може бути записана з ОЗУ у ПЗУ (ППЗУ).

Склад мікроконтролера являє собою цілий комплекс технічних засобів. До його складу входить центральний мікропроцесорний блок контролера (БК) і низка допоміжних блоків.

Найменування моделі блока БК дає найменування Р-130 в цілому. Центральний блок перетворює аналогову і дискретну інформацію в цифрову форму, обробляє цифрову інформацію та виробляє керуючі впливи. Допоміжні блоки використовуються для попереднього підсилення сигналів термопар і термоопорів, формування дискретних вихідних сигналів напругою 220 В, організації зовнішніх перемикачів і блокування та ін.

Реалізація АСР найчастіше здійснюється за допомогою регулюючої моделі Р130. Тому ця модель ПЛК і буде розглянута нижче, загальна структура та склад якої наведено на рис. 3.14.

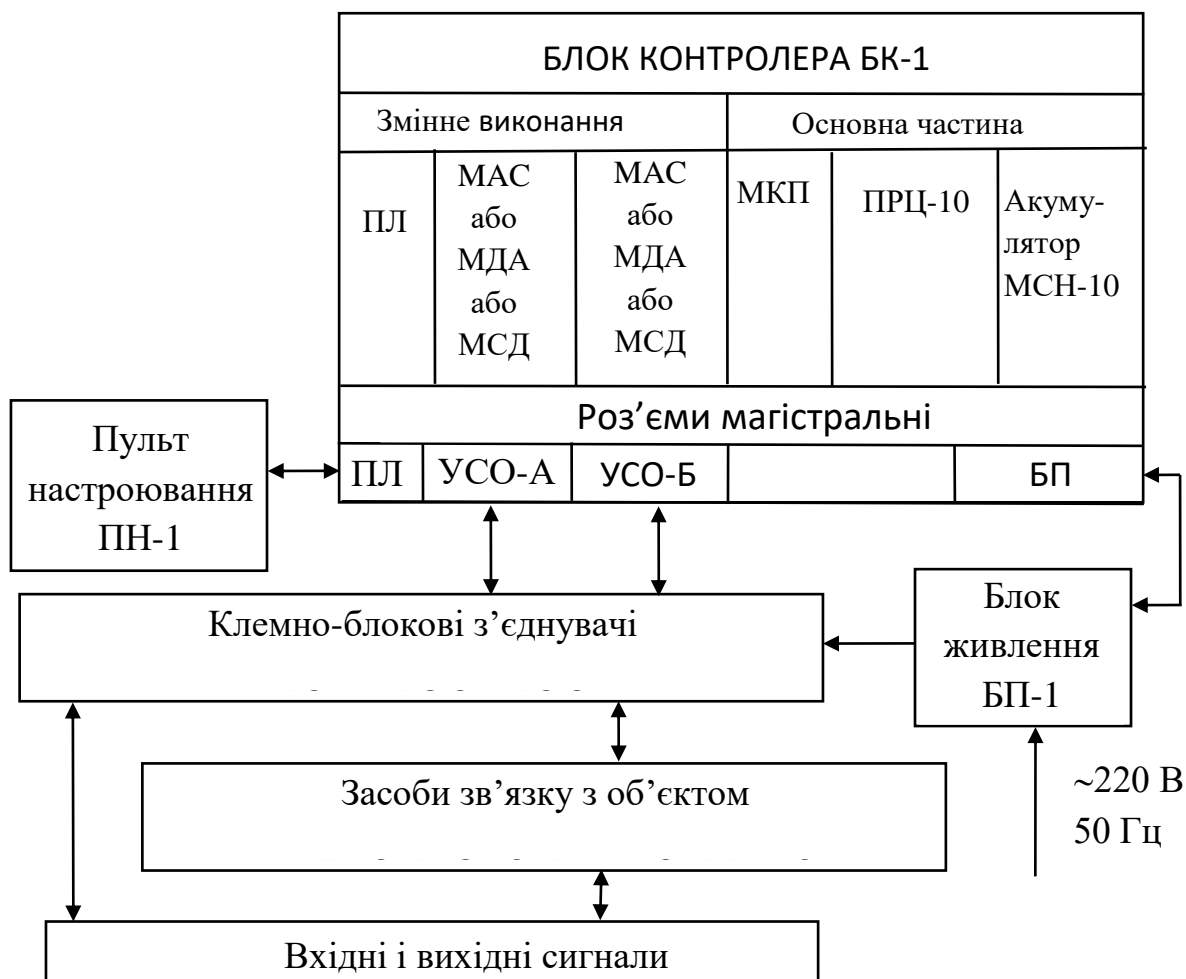


Рис. 3.14. Загальна структура і склад контролера Р-130

Блок контролера БК-1 є центральним блоком і виконує такі функції: пряме і зворотне перетворення аналогових і дискретних сигналів у цифрову форму; обробку інформації, що надходить згідно з потрібними алгоритмами керування, які об'єднані в систему заданої конфігурації; вироблення дискретних аварійних сигналів; оперативний контроль і керування за допомогою клавіш та індикаторів, розміщених на лицьовій панелі блоку.

Блок БК-1 складають основна і змінна частини. До основної частини блока входять модуль контролю і програмування (МКП), модуль процесора (ПРЦ), що має безпосередній зв'язок з акумуляторною батареєю, і модуль стабілізованої напруги (МСН), що забезпечує живленням увесь контролер. Змінну частину утворюють два модулі пристроїв зв'язку з об'єктом УСОА і УСОБ, куди може входити одна з трьох модифікацій модулів УСО: модуль аналогових сигналів (МАС), модуль аналогових і дискретних сигналів (МДА), модуль дискретних сигналів (МСД). Виконання лицьової панелі (ПЛ) блока залежить від виду бібліотеки алгоритмів керування.

Лицьова панель (див. рис. 3.15) призначена для оперативного керування контурами регулювання і містить світлодіодні лампові індикатори (ЛИ), світлодіодні цифрові індикатори (ЦИ), шкальний індикатор і клавіатуру. У верхній частині 3 ПЛ розміщені п'ять ЛИ, що контролюють помилки. Однорозрядний ЦИ (контур) 1 показує номер контуру, з яким працює оператор. На чотирирозрядний ЦИ (завдання) 4 виводиться сигнал завдання. Сім ЛИ в групі (види контролю) 6 вказують, яка інформація виводиться на нижній 5 чотирирозрядний ЦИ. Шкальний індикатор 7 (вихід) має 21-ламповий індикатор і показує значення сигналу на виході контуру чи положення виконавчого механізму. Два ЛИ “∇” і “Δ” у цій групі 7 сигналізують про роботу імпульсного регулятора в напрямку “менше” чи “більше”. Чотири ЛИ (режим керування) 2 вказують, у якому режимі працює контур (каскадне КУ, локальне ЛУ, дистанційне ДУ і ручне РУ керування). Три ЛИ (режим завдання) 8 вказують, який вид завдання встановлений у контурі (ручне РЗ, програмне ПЗ і зовнішнє завдання ВЗ).

Лицьова панель має 12 клавіш 9, за допомогою яких здійснюється оперативне керування контурами регулювання.

Модуль ПРЦ забезпечує організацію обміну даними між модулями Р130, а також логічну та арифметичну обробку цих даних у відповідності із заданою програмою. Модуль МКП є зв'язуючою ланкою між ПРЦ і лицьовою панеллю

(ПЛ), а отже і пультом настроювання ПН, що забезпечує можливість програмування, зміни параметрів та коефіцієнтів, тобто безпосередній зв'язок з ОЗУ.

Кожна з моделей блоку БК-1 має 30 модифікацій, які відрізняються номенклатурою та кількістю вхідних та вихідних сигналів. Код модифікації БК-1 позначається двозначним номером, що характеризує тип входу-виходу для груп А і Б. При цьому перша цифра коду визначає тип входу-виходу групи А, а друга – групи Б. Наприклад, модифікація БК-1 дорівнює 15. Це свідчить, що вхід-вихід групи А має тип 1, тобто 8 аналогових входів і 2 аналогових виходи. По групі Б тип 5, тобто має 8 дискретних входів та 8 дискретних виходів. При цьому слід пам'ятати, що два дискретних виходи можуть бути використані як один імпульсний вихід, тобто "більше" і "менше".

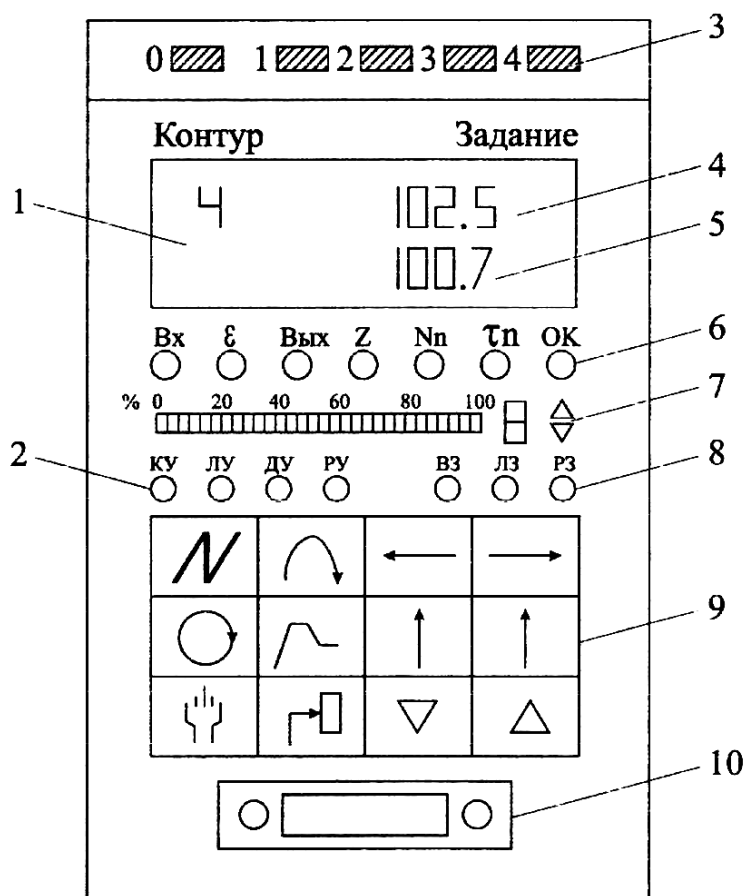


Рис. 3.15. Лицьова панель регулюючої моделі блоку БК-1: 1 – номер контуру; 2 – режими керування; 3 – помилки; 4 – сигнал завдання; 5 – значення контрольованих параметрів; 6 – види контролю; 7 – вихід; 8 – режими завдання; 9 – клавіатура; 10 – підключення пульту настроювання

Пульт настроювання ПН-1 підмикається до БК-1 за допомогою кабелю, що закінчується вилкою роз'єму. Застосовується для технологічного програмування, тестування і настроювання БК-1 будь-якої моделі. Пульт має спеціальний роз'єм, через який підмикають зовнішню програмуючу напругу (до $13,6\text{ В}$) при записуванні інформації в ППЗУ. Р130 має наступні процедури програмування: тестування, встановлення приладних і системних параметрів, вибору алгоритмів, конфігурування, встановлення параметрів настроювання і початкових умов.

Блок живлення БП-1 підключається до промислової мережі змінного струму і виробляє дві нестабілізовані напруги 24 В постійного струму, які використовуються для живлення БК-1, кіл дискретного входу і виходу, аналогового виходу, інтерфейсних кіл, аварійного виходу БК, підсилювачів для термопар і термометрів опору та блоку шлюзу.

Підсилювач для термопар БУТ – 10 забезпечує перетворення сигналу термопари в струмовий сигнал ($0...5\text{ мА}$), компенсацію зміни температури вільних кінців термопари, зміщення нуля і зміни діапазону вхідного сигналу. Один підсилювач містить два незалежних канали підсилення, розраховані на однакову термопару. Вхід і вихід кожного каналу гальванічно ізольовані один від одного і від БП-1.

Підсилювач термоопорів БУС – 10 призначений для перетворювання сигналів термоопорів чи інших резистивних датчиків у струмовий сигнал ($0...5$) мА, забезпечення живлення датчиків постійним стабілізованим струмом, зміщення нуля і вимірювання діапазону вхідного. Кількість каналів і гальванічна ізоляція аналогічні блоку БУТ.

Підсилювач потужності БУМ-10 містить чотири сильнострумівих реле РПГ-8, нормально відкриті контакти якого можуть комутувати змінну напругу до 220 В при струмі до 2 А . Кожне з чотирьох реле може управлятися як незалежно, так і одночасно з іншими, є можливість групової заборони на

перемикання. Обмотки реле підмикаються до дискретних виходів БК, а їх живлення здійснюється блоком БП-І. Вихідні контакти реле електрично попарно зв'язані, але гальванічно ізольовані від інших кіл.

Блок перемикання БПР-10 містить вісім слабкострумівих реле типу РЭС54А, перекидні контакти яких можуть використовуватися в колах перемикання, захисту, сигналізації, блокування та ін. Організація керування і живлення реле аналогічна блоку БУМ.

Блок шлюзу БШ-1 є з'єднувальною ланкою між мережею "Транзит", що об'єднує кілька БК, і засобами верхнього рівня керування (наприклад, РС). Для зв'язку з РС використовується інтерфейс ИРПС. Зв'язок виконується за допомогою двох пар витих проводів. БШ є мікропроцесорним пристроєм, низка параметрів якого програмується за допомогою пульта ПН-І. Конструкція БШ аналогічна блоку БК, однак відсутні органи оперативного керування. До складу однієї мережі "Транзит" можуть входити кілька блоків БШ.

На рис. 3.16 наведена локальна керуюча мережа "Транзит" з кільцевою конфігурацією, яка може бути закритою і відкритою.

У закритій мережі ПЛК обмінюються інформацією один з одним. Відкрита ж на відміну від закритої забезпечує обмін інформаційних кіл БК із зовнішнім об'єктом (РС) через БШ. Через блок шлюзу РС отримує доступ до будь-якого БК мережі, бо кожному БК присвоюється системний номер при програмуванні у процедурі «параметри». На фізичному рівні обмін між БК здійснюється по інтерфейсу ИРПС. Мережа «Транзит» згідно рис. 3.16 захищена від відмови окремих БК. За умови відмови при відключенні живлення або необхідності вилучення БК спрацьовує спеціальне реле З, що шунтує БК і тим самим зберігається цілісність кільцевої структури мережі.

Блок стирання БСТ-1 застосовується для стирання ППЗУ. Для цього модуль ПРЦ 10 виймається з БК і вставляється в блок БСТ, що має вмонтоване джерело стабілізованої напруги, яка може змінюватися. Її вказують у супроводжувальній документації.

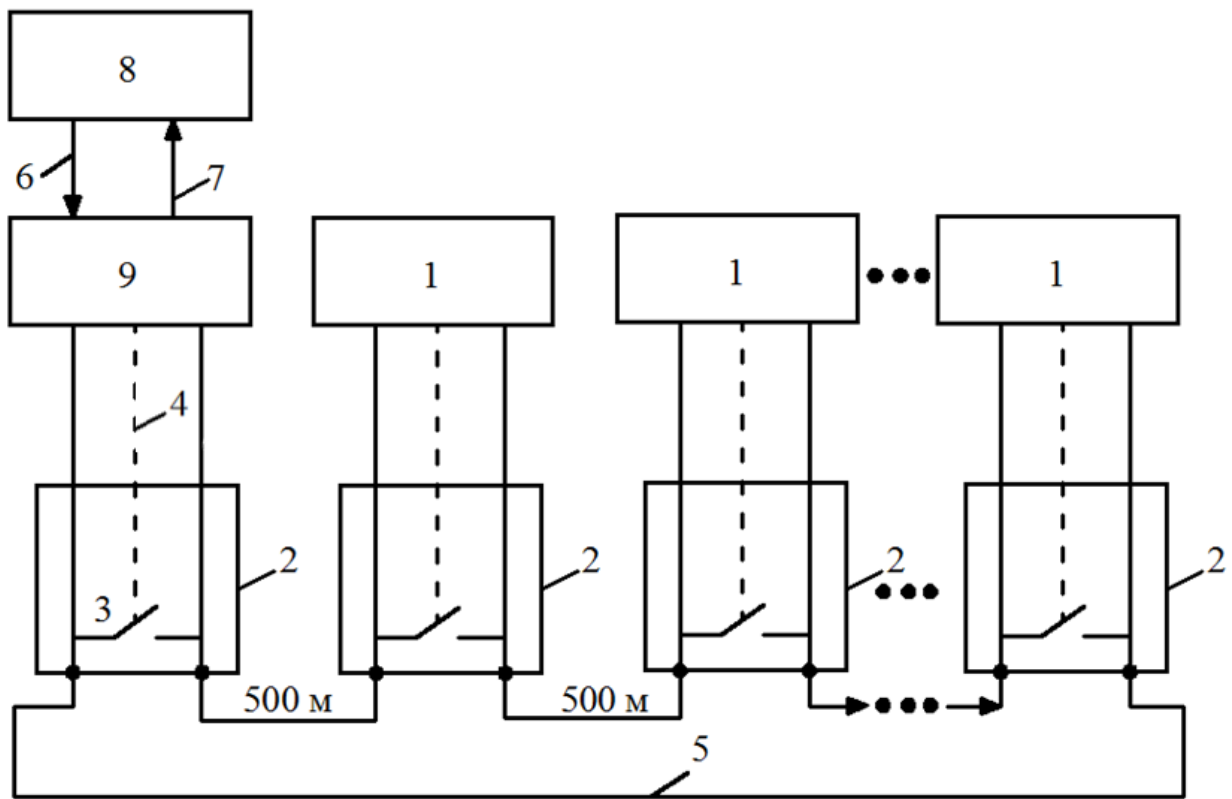


Рис. 3.16 Загальна схема локальної мережі "Транзит": 1 – блок БК; 2 – блок БП; 3 – реле блокування; 4 – сигнал "відмова" або "відключення інтерфейсу"; 5 – вита пара; 6 – сигнал від передавача абонента (вита пара); 7 – сигнал до приймача абонента (вита пара); 8 – абонент (РС); 9 – блок БШ

Резистори нормуючи РН-І застосовуються для перетворення сигналів $0...5,4(0) - 20 \text{ мА}$ і $0...10 \text{ В}$ у сигнал $0...2 \text{ В}$. Ці резистори монтуються безпосередньо на клемних збірках, до яких підмикають з одного боку кабельні зв'язки від датчиків чи підсилювачів (БУТ, БУС), з іншого – аналогові входи блока БК. Резистори використовуються лише в тому разі, коли відсутні клемно-блокові з'єднувачі КБС-3. Тип резистора (РН-І/05, РН-І/20, РН-І/10) залежить від виду вхідного сигналу, а число – від кількості аналогових входів БК.

Міжблоковий з'єднувач МБС застосовується для зв'язку приладних кіл БК з БП. МБС являє собою відрізок кабелю, що закінчується з обох боків вилками роз'єднання РП-15.

Клемно-блоковий з'єднувач КБС-1 також являє собою відрізок кабелю, на одному боці якого змонтовано вилку роз'єднання РП5-9, а на іншому – однорядну клемну колодку на 8 клем. Застосовується для підключення до блоків БП, БУС, БУТ, БУМ, що мають гніздо роз'єднання РП5-9.

Клемно-блоковий з'єднувач КБС-2 за конструкцією аналогічний КБС-1, але має вилку роз'єднання РП5-23 і трирядну клемну колодку на 24 клеми. Призначений для підключення до блоків БК, БПР, що мають гніздо роз'єднання РП5-23 (дискретні входи-виходи).

Клемно-блоковий з'єднувач КБС-3 аналогічний КБС-2, однак трирядна клемна колодка містить 24 клеми з розпаяними на її внутрішньому боці резисторами РН-І. Застосовується для підключення вхідних і вихідних аналогових ланцюгів БК з метою перетворення вхідних сигналів у сигнал $0...2 В$.

ПЛК Р-130М є модернізацією базового контролера Р-130, має розширені функціональні можливості і адаптований до вже існуючих в Р-130 програм-алгоритмів. При цьому проведена комплексна модернізація апаратного забезпечення контролера. У першу чергу модернізація торкнулась процесорного модуля, у якості якого використано ІВМ-сумісний процесор. Відпала і необхідність застосування БШ оскільки функціональні можливості його закладені у модернізований варіант контролера. Крім того, завдяки застосуванню фізичних інтерфейсів ІРПС, RS-232, RS-485 забезпечується підтримка протоколів «Транзит», ModBus, Ethernet TCP/IP, які використовуються для об'єднання ПЛК у мережі різного рівня. У порівнянні із базовою моделлю Р-130М збільшена кількість незалежних контурів регулювання та число незалежних логічних програм крокового керування з 4 до 8.

Зміни в архітектурі ПЛК пов'язані із застосуванням некоштовного ІВМ-РС-сумісного процесорного модуля в стандарті РС/104. Спрощені структури контролерів Р-130 і Р-130М представлені на рис. 3.17.

Порівняння структур згідно рис. 3.17 свідчить, що основні зміни пов'язані з підключенням процесора. Перетворювач інтерфейсу здійснює формування керуючих сигналів у внутрішній магістралі контролера, а також перетворення сигналів комунікаційних портів контролера у гальванічно розв'язані сигнали RS-232, RS-485 чи ІППС. Запропонована структура Р-130М розширює можливості побудови мереж з різними протоколами, що наочно ілюструється рис. 3.18.

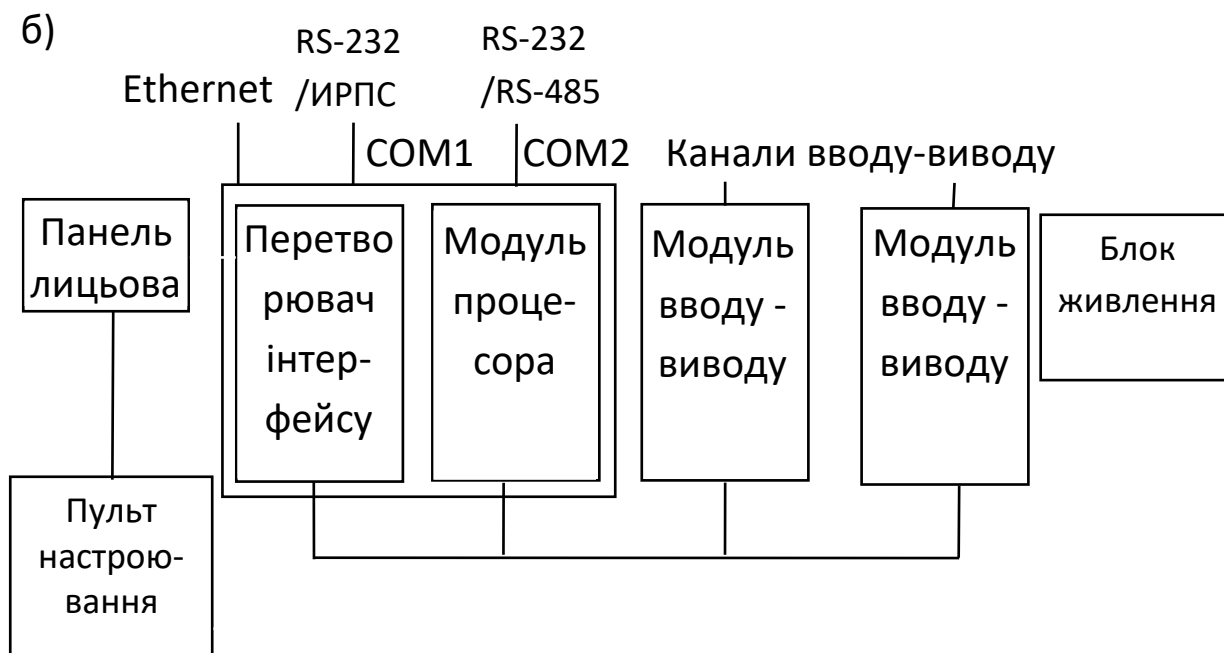
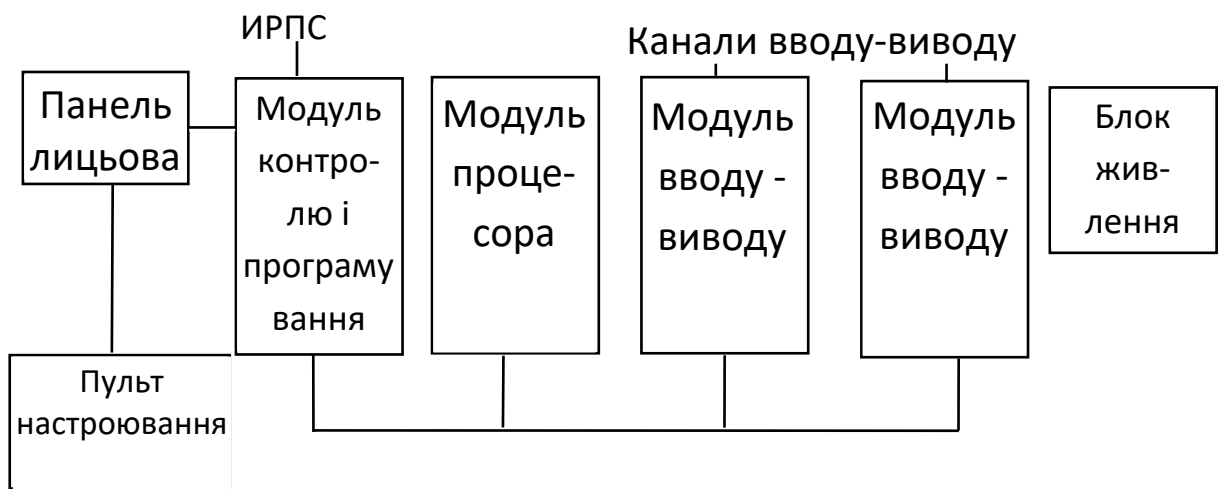


Рис. 3.17. Спрощені структури контролерів P130 (а) і P130М (б)

Згідно рис. 3.18а контролери Р-130 можуть бути підключені до контролера Р-130М за допомогою інтерфейсу ИРПС. При цьому Р-130М буде виконувати роль не тільки контролера, але і блоку шлюзу мережі «Транзит». Тим самим здійснюється можливість інтеграції вже існуючого на багатьох підприємствах парку контролерів Р-130 у сучасні багаторівневі структури АСКТП.

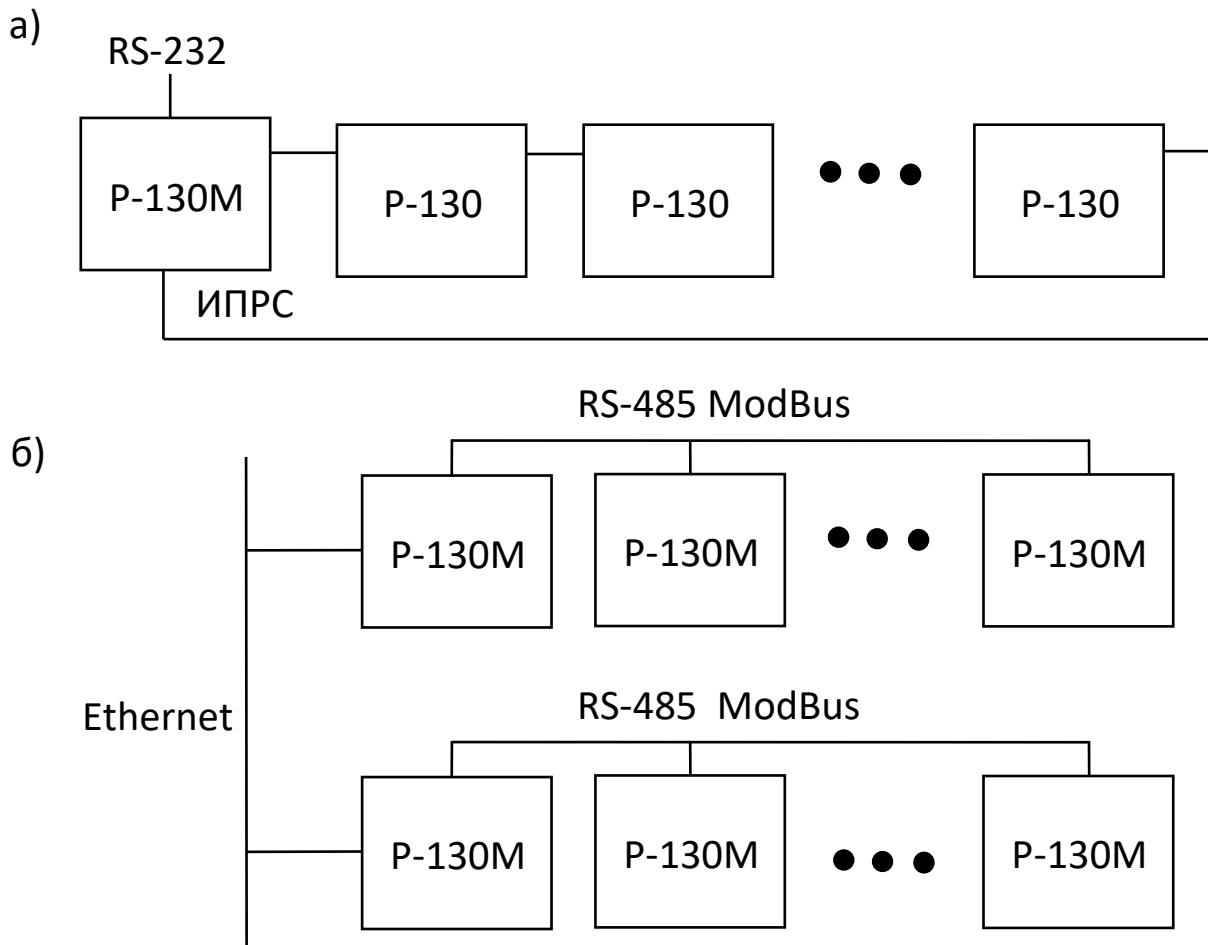


Рис. 3.18. Варіанти застосування контролерів P-130M у мережах з різними протоколами і фізичними інтерфейсами

Зв'язок контролерів P-130M поміж собою забезпечується інтерфейсом RS485 ModBus, а Ethernet використовується для зв'язку з верхнім рівнем АСКТП, що ілюструється рис. 3.18б. Програмне забезпечення підтримується операційною системою жорсткого реального часу RTOS-32 фірми On Time Informatik, що дозволяє проводити програмування не тільки за допомогою пульта настроювання, але і з персонального комп'ютера (PC).

3.5. Бібліотека алгоритмів багатofункціональних контролерів

Бібліотека алгоритмів мікроконтролера дозволяє вирішувати складні завдання автоматичного регулювання та логіко-програмного керування. Кожен бібліотечний алгоритм має свої входи, виходи і функціональне ядро. Входи алгоритму поділяються на сигнальні та настроювані. Сигнали, що надходять на сигнальні входи алгоритму, обробляються їм відповідно до призначення алгоритму, а сигнали, що надходять на настроювані входи, керують параметрами настроювання алгоритму. Сигнальні й настроювані входи алгоритму мають однакові можливості конфігурування. Кількість входів і виходів залежить від виду алгоритму: максимум 99 входів і 24 виходи, хоча конкретний алгоритм може мати менше. Деякі алгоритми, які належать до групи зв'язкових (увід-вивід, прийом-передача, оперативне керування), мають неявні входи та виходи, які не можна конфігурувати; їх позначають пунктиром на схемах. Усі явні входи нумеруються від 01 до 99, виходи — від 01 до 24.

У загальному випадку бібліотечний алгоритм на схемах має три реквізити (параметри): бібліотечний номер (код), модифікатор (m) і масштаб часу (MB). Бібліотечний номер являє собою двозначне десяткове число і є основним параметром, що характеризує властивість алгоритму. Модифікатор задає додаткові властивості алгоритму. Звичайно модифікатор задає число однотипових операцій, які може виконувати один алгоритм. Ряд алгоритмів модифікатора не мають. Масштаб часу мають такі алгоритми, робота яких пов'язана з реальним часом (таймер, програмний задавач, регулювання та ін.). Бібліотечні алгоритми зберігаються в бібліотеці і самі по собі жодної функції не виконують. Для того щоб він включився в роботу його потрібно помістити в один із алгоблоків при проведенні технологічного програмування. При цьому існують два правила: будь - який алгоритм можна вміщувати в будь – який (за номером) алгоблок; один і той самий алгоритм можна вміщувати в різні алгоблоки.

Бібліотеку утворюють такі групи алгоритмів: лицьової панелі, вводу – виводу, регулювання, динамічних, статичних і аналогово-дискретних перетворювань, логічних операцій, дискретного та групового безперервно – дискретного керування. Далі розглянуто послідовно основні алгоритми, що найчастіше використовуються при побудові найпростішої АСР.

Алгоритм ОКО (код ОІ) – оперативний контроль регулювання використовується в складі регулюючої моделі Р-ІЗО і як правило в поєднанні з алгоритмами ЗДН, ЗДЛ, РУЧ, РАН, РИМ. Алгоритм ОКО вміщують тільки в алгоблоки з номерами від 1 до 4. Номер алгоблока, у який вміщено алгоритм ОКО, визначає номер контуру. Алгоритм має модифікатор $m = 0...15$, який визначає вид регулятора у складі АСР. Перелік модифікацій із зазначенням виду регулятора наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Перелік модифікацій алгоритму ОКО

Вид регулятора (АСР)	Режим		Модифікатор
	Зовнішнього завдання (ВНШ)	Дистанційного керування (ДСТ)	
Звичайний аналоговий	-	-	00
	-	+	01
	+	-	02
	+	+	03
Звичайний імпульсний	-	-	04
	-	+	05
	+	-	06
	+	+	07
Каскадний аналоговий	-	-	08
	-	+	09
	+	-	10
	+	+	11
Каскадний імпульсний	-	-	12
	-	+	13
	+	-	14
	+	+	15

Якщо який-небудь із режимів завдання чи каскадного регулювання не передбачається, то перемикання в ці режими блокуються.

Алгоритм ОКО має 10 чи 15 входів. Якщо $m \leq 7$ є 10 входів, при $m \geq 8$ є 15 входів. Функціональну схему алгоритму зображено на рис. 3.19.

	Код	$m = 00-15$	МВ відсутній
ХзДН	01	Керування завданням і індикація входу, розузгодження стандартного чи ведучого регуляторів в каскадному режимі	
Хвх	02		
W ₀	03		
W ₁₀₀	04		
Хε	05		
Хруч	06	Ручне керування і індикація виходу, довільного параметра та помилки	
Хвр	07		
Z	08		
N _z	09		
N _{ок}	10		
ХзДН	11	Керування завданням і індикація входу, розузгодження веденого регулятора в локальному режимі (тільки при $m \geq 8$)	
Хвх.л	12		
W _{0.л}	13		
W _{100.л}	14		
Хε.л	15		

Рис. 3.19. Функціональна схема алгоритму ОКО.

Вхід ХзДН визначає сигнал, що є сигналом поточного завдання, і виводиться на цифровий індикатор "задание" БК. Звичайно цей вхід підключається до основного виходу алгоритму ЗДН.

Вхід Хвх визначає сигнал, що є вхідним (регульованим параметром) і виводиться на цифровий індикатор у позиції "ВХ". Звичайно цей вхід підключається до одного із виходів алгоритму вводу аналогового ВАА чи ВАБ.

Вхід X_{ϵ} визначає сигнал розбіжності і виводиться на цифровий індикатор контролю в позиції "ВХ". Звичайно цей вхід підключається до виходу Y_{ϵ} алгоритмів РАН чи РИМ. Входи W_0 і W_{100} – настроювані. Ці входи задають технічні одиниці, що індицирують сигнал завдання, вхідний сигнал і сигнал розбіжності (одні й ті самі одиниці вимірювання для всіх трьох параметрів). Вхід W_0 задає значення, що відповідає 0% аналогового сигналу, вхід W_{100} – значення, що відповідає 100% сигналу. Поточне значення $W_{\text{инд}}$ сигналів $X_{\text{здн}}$, $X_{\text{вх}}$ і X_{ϵ} , що виражені в процентах, визначається за формулою:

$$W_{\text{инд}} = W_0 + \frac{W_{100} - W_0}{100} X \quad (3.2)$$

Вхід $X_{\text{руч}}$ підключається до основного виходу алгоритму ручного керування РУЧ. На вхід $X_{\text{вр}}$ (вихід регулятора) подається сигнал керуючого впливу. На вхід Z подається будь-який (за вибором) сигнал, який необхідно індициувати при оперативному керуванні. Тип сигналу (аналоговий – 8, дискретний – 0 та ін.) задається на настроюваному вході N_z .

Вхід $N_{\text{ок}}$ (помилка контуру) використовується, якщо необхідно проконтролювати вихід одного чи кількох сигналів за припустимий діапазон. Якщо $N_{\text{ок}} > 0$, то на (лицьовій панелі) БК засвічується один із лампових індикаторів "1-4" у зоні "ошибки", що відповідає номеру контуру регулювання, який обслуговується алгоритмом ОКО. Вхід $N_{\text{ок}}$ звичайно з'єднується з виходом алгоритму граничного контролю ПОК. У цьому разі за цифровим індикатором вибіркового контролю БК у позиції "ОК" (помилка контуру) можна визначати номер сигналу, що вийшов за припустимі межі. Якщо $N_{\text{ок}} = 0$, то ламповий індикатор БК ("ошибка") не засвічується.

Усі перелічені входи (від 01 до 10) задають параметри оперативного керування як звичайного регулятора, так і каскадного. В останньому випадку входи 01-05 визначають параметри ведучого регулятора в каскадній схемі, а

входи 06-10 параметри регулятора в цілому. Можливості керування каскадної АСР у локальному режимі (ведений контур) визначаються сигналами, що подаються на входи 11-15.

Вхід Хзд звичайно з'єднують з основним виходом алгоритму локального задавача ЗДЛ. У цьому разі сигнал локального завдання в режимі ЛУ контролюється за цифровим індикатором "задание". Входи Хвх.л і Хл задають відповідно сигнали, що контролюються за цифровим індикатором вибіркового контролю БК у позиції "ВХ" і "ε" при ЛУ. Призначення входів $W_{0Л}$ і $W_{100Л}$ таке саме, як і входів W_0 і W_{100} .

Таким чином, алгоритм ОКО визначає, які сигнали будуть виведені на індикатори лицьової панелі БК і в яких технічних одиницях сигнали (завдання, вхід і розбіжність) будуть індицируватися.

Алгоритми ВАА (код 07) і ВАБ (код 08) – увід аналогових груп А і Б – застосовуються для зв'язку функціональних алгоритмів з апаратними засобами аналогового входу (з АЦП). Кожний алгоритм вхідної групи А чи Б обслуговує до восьми аналогових входів.

Число незалежних каналів ($m = 0...8$) задається модифікатором. На рис. 3.20 зображено функціональну схему алгоритму ВАА (ВАБ).

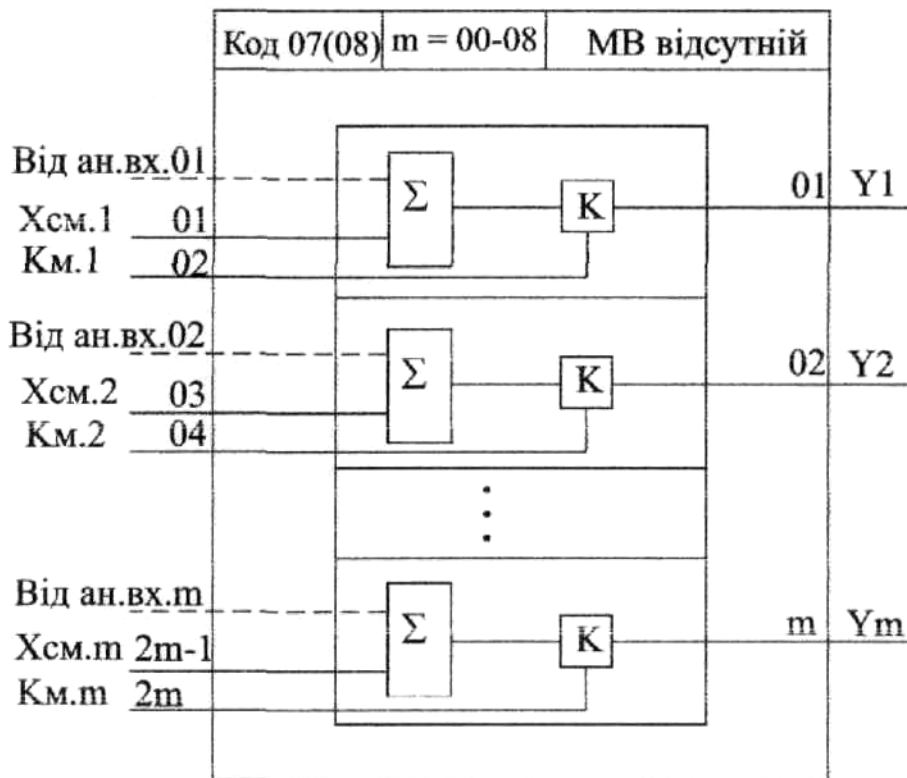


Рис. 3.20. Функціональна схема алгоритму ВАА (ВАБ)

Кожний канал зв'язаний з відповідним (за номером) аналоговим входом контролера. Цей зв'язок утворюється автоматично, як тільки алгоритм ВАА (ВАБ) буде введений в один із алгоблоків контролера. До вхідного аналогового сигналу додається сигнал зміщення $X_{см.i}$, а здобутий результат множиться на коефіцієнт $K_{м.i}$. Ці операції дають змогу компенсувати зміщення нуля та діапазону як АЦП, так і датчика, підключеного до контролера. Таким чином, вихідний сигнал каналу Y_i визначається рівнянням:

$$Y_i = (X_{ан.вх.i} + X_{см.i}) K_{м.i}, \quad (3.3)$$

де $X_{ан.вх.i}$ – аналоговий вхідний сигнал, що надходить від АЦП на i -й канал (якщо корекція не потрібна, то $Y_i = X_{ан.вх.i}$.)

Алгоритми АВА (код 11), і АВБ (код 12) – аналоговий вивід груп А і Б - застосовуються для зв'язку функціональних алгоритмів з апаратними засобами аналогового виводу (з ЦАП), Кожний алгоритм вихідної групи А чи Б обслуговує до двох аналогових виходів. Число незалежних каналів ($m = 0...2$) задається модифікатором. На рис. 3.21 зображено функціональну схему алгоритму АВА (АВБ).

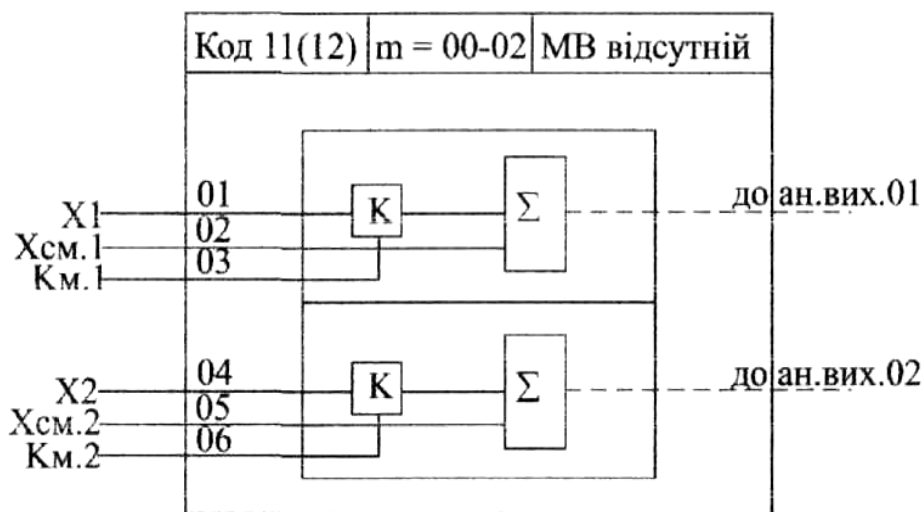


Рис. 3.21. Функціональна схема алгоритму АВА (АВБ)

Кожний канал зв'язаний з відповідним (за номером) аналоговим виходом контролера. Цей зв'язок утворюється автоматично, як тільки алгоритм АВА (АВБ) уводиться в один із алгоблоків контролера. Вихідний сигнал (на виході ЦАП) $Y_{ан.вих.i}$ визначається рівнянням:

$$Y_{ан.вих. i} = X_i * K_{mi} + X_{см.i} \quad (3.4)$$

де X_i – вхідний сигнал алгоритму.

Операція множення X_i , на масштабний коефіцієнт K_{mi} і введення зміщення $X_{см.i}$ дають змогу компенсувати зміщення діапазону і нуля ЦАП.

Алгоритм ИВА (код 15) і ИВБ (16) – імпульсний вивід груп А і Б – застосовуються для реалізації схем АСР з виконавчими механізмами постійної

швидкості (МЕО чи МЕР). Алгоритми перетворюють сигнали, сформовані алгоблоками з алгоритмами імпульсного регулювання РИМ, у послідовність імпульсів змінної шпаруватості. Алгоритм видає послідовність зазначених імпульсів на засоби дискретного виходу контролера. На рис. 3.22 зображено функціональну схему алгоритму ИВА (ИВБ).

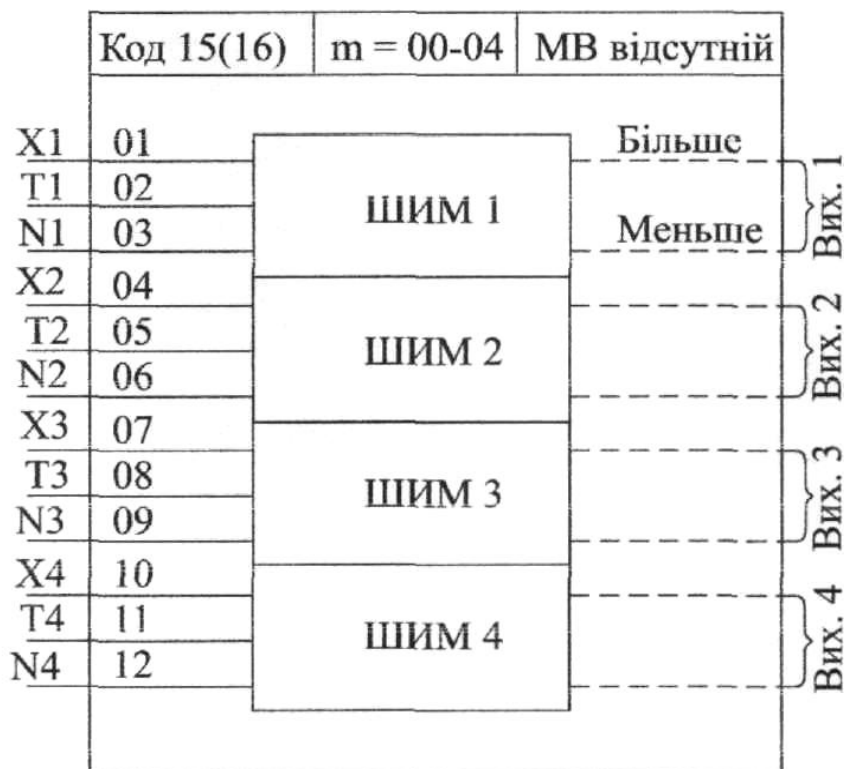


Рис. 3.22. Функціональна схема алгоритму ИВА (ИВБ).

Алгоритм містить чотири канали зв'язку, число яких задається модифікатором. Якщо імпульсний вихід використовується як у групі А, так і у групі Б, то загальне число імпульсних виходів не може перевищувати чотирьох. Кожний незалежний канал містить широтно-імпульсний модулятор (ШИМ), що перетворює вхідний сигнал X_i у послідовність імпульсів, шпаруватість яких визначається за формулою

$$Q = |X_i| // 100\%. \quad (3.5)$$

При $|X| > 100\%$ величина $Q = 1$. Якщо $X_i > 0$, то імпульси формуються у вихідному колі "більше", а якщо $X_i < 0$ – у колі "менше". При $X_i = 0$ вихідний сигнал дорівнює нулю. Параметр T_i задає мінімальну тривалість вихідних імпульсів ($T_i = 0,12 \dots 3,84$ с). Параметр N_i визначає, до якого контуру АСР віднесений цей канал алгоритму ИВА (ИВБ). Цей параметр задається у разі необхідності синхронного засвічування лампових індикаторів ПЛ (більше, менше) з формуванням вихідних імпульсів. Наприклад, якщо встановлено параметр N_1 , то при роботі ШИМ1 на ПЛ контролера будуть засвічуватись індикатори при виклику першого контуру.

Алгоритм РАН (код 20) – регулювання аналогове – застосовується при побудові ПД-регулятора, що має аналоговий вихід. Додатково в алгоритмі можна обчислювати сигнал розбіжності, здійснювати його фільтрацію, вводити зону нечутливості і обмежувати вихідний сигнал за максимумом чи мінімумом. В алгоритмі є вузол настроювання, що дозволяє за допомогою алгоритму АНР автоматично змінювати параметри настроювання. Функціональна схема алгоритму, що зображена на рис 3.23, містить кілька ланок.

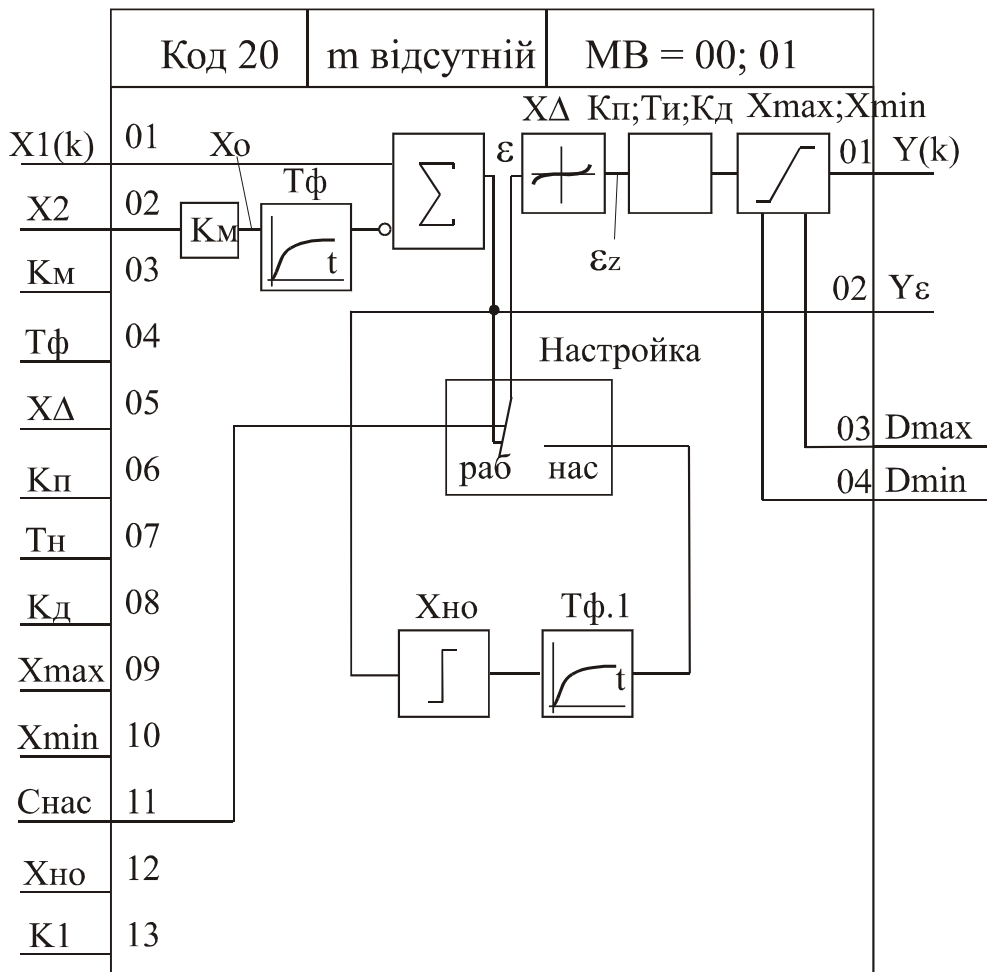


Рис. 3.23. Функціональна схема алгоритму РАН.

Ланка розбіжності формує сигнал

$$\varepsilon = X_1 - K_m X_2 \quad (3.6)$$

де X_1 – немасштабований вхідний сигнал; K_m – масштабний коефіцієнт; X_2 – масштабований вхідний сигнал.

Вхідний сигнал X_2 перед суматором попередньо фільтрується та інвертується. При цьому фільтр реалізується рівнянням першого порядку зі сталою часу T_f . Ланка нечутливості із зоною ε_z не пропускає на свій вихід сигнали, значення яких знаходяться всередині встановленого значення цієї зони.

ПД-ланка перетворює сигнал згідно з передаточною функцією

$$W(P) = K_n \left[1 + \frac{1}{T_u P} + \frac{K_d T_u P}{\left[1 + \frac{K_d T_u P}{8} \right]^2} \right], \quad (3.7)$$

де K_n , T_u , K_d – відповідно коефіцієнт пропорційності, стала часу інтегрування і коефіцієнт диференціювання, що визначає відношення сталої часу диференціювання T_d до T_u . Рівні обмеження ланки встановлюються коефіцієнтами X_{\max} і X_{\min} . Окрім двох вхідних сигналів X_1 і X_2 алгоритм має вісім настроюваних входів (03-13), що задають параметри настройки алгоритму. Додатково настроюваними вхідними параметрами є: $S_{нас}$ – командний сигнал переходу в режим настройки; X_n – рівень сигналу на виході нуль-органу; K_1 – коефіцієнт, що залежить від властивостей об'єкта. При $S_{нас} = 0$ алгоритм переходить у режим роботи.

Алгоритм має чотири виходи. Вихід $Y(k)$ є основним. На виході формується відфільтрований сигнал розбіжності. Два дискретних виходи (D_{\max} і D_{\min}) фіксують момент настання обмеження вихідного сигналу $Y(k)$. Якщо сигнал $Y(k)$ лежить у діапазоні X_{\max} і X_{\min} , то сигнали $D_{\max} = D_{\min} = 0$.

Алгоритм РИМ (код 21) – регулювання імпульсне – застосовується при побудові ПІД-регулятора для АСР, що містить виконавчий механізм постійної швидкості. Окрім формування закону регулювання, алгоритм обчислює сигнал розбіжності, фільтрує його і вводить зону нечутливості. Аналогічно попередньому є вузол настройки. Функціональну схему алгоритму зображено на рис. 3.24.

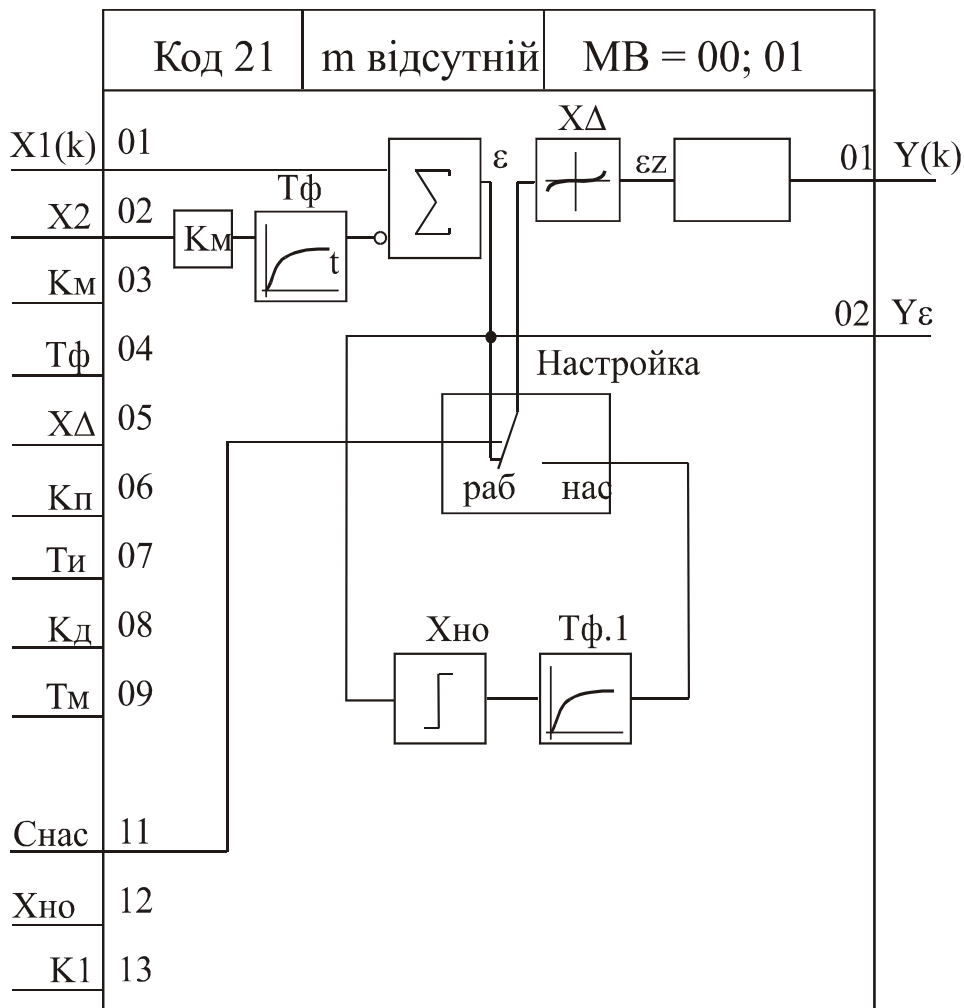


Рис. 3.24. Функціональна схема алгоритму РИМ

На відміну від алгоритму РАН алгоритм РИМ містить ПДД² ланку з передаточною функцією виду

$$W(P) = Kn(T_m / Tu) \left[1 + T_u p + \frac{K_o T_u^2 p^2}{[1 / 8(K_o T_u p) + 1]^2} \right], \quad (3.8)$$

де T_m – час повного переміщення виконавчого механізму, що рухається з максимальною швидкістю.

У поєднанні з інтегруючим виконавчим механізмом, що має передаточну функцію $W_{им}(P) = 1/T_m P$, загальна передаточна функція регулятора з алгоритмом РИМ матиме вигляд

$$Wp(P) = Kn(T_m / T_u) \left[1 + \frac{1}{T_u P} + \frac{K_o T_u P}{[1 / 8 \times (K_o T_u P) + 1]^2} \right], \quad (3.9)$$

Алгоритм має два виходи. Вихід $Y(k)$ є основним, а вихід Y_ε формує сигнал розбіжності.

Алгоритм ЗДН (код 24) – завдання – застосовується для формування сигналу ручного завдання в АСР. Через цей алгоритм до регулятора підключаються також програмні задатчики й сигнал зовнішнього завдання. В АСР використовується в поєднанні з алгоритмом ОКО. Функціональну схему алгоритму зображено на рис. 3.25.

Алгоритм містить вузол ручного завдання 1, динамічного балансування 2, перемикачі програм 3 і виду завдання 4. Алгоритм має модифікатор $0 < m < 40$, який визначає число незалежних програмних задатчиків, що підключаються до регулятора. За відсутності програмних задатчиків встановлюють $m = 0$. Зміна виду завдання ручне (РЗ), програмне (ПЗ) чи зовнішнє (ВЗ) – здійснюється перемикачем 4. У режимі ПЗ сигнал завдання надходить із входів $X_{пр.i}$ від програмних задатчиків. У режимі ВЗ завдання надходить із входу $X_{вн(k)}$, який може бути з'єднаний з виходом будь-якого алгоблоку. При ввімкненому статичному балансуванні ($C_{сб} = 1$) вузол ручного задатчика відмикається і відслідковує поточне завдання в режимах ПЗ і ВЗ чи початкове значення на виході $Y_{здн(k)}$. Після вмикання ручного задатчика останнє значення сигналу завдання запам'ятовується, а потім може бути змінене вручну. Якщо ввімкнено динамічне балансування ($C_{дб} = 1$), то за будь-яких перемикачів перемикача 4 вузол 2 виробляє сигнал компенсації, за допомогою якого сигнал $Y_{здн(k)}$ у першу мить зберігається незмінним. Далі сигнал компенсації буде зменшуватися до нуля з постійною швидкістю, що задається входом $V_{дб}$. Вихідний сигнал $Y_{здн(k)}$ таким чином плавно переходить (ненаголошено) до поточного значення будь-якого з видів завдання. Якщо $C_{сб} = C_{дб} = 1$, вузол ручного завдання (режим РЗ) працює згідно з правилами статичного

балансування, а в режимах ПЗ і ВЗ, змін номера програми і вмикання алгоритму (режими ПЗ і ВЗ) діятиме динамічне балансування.

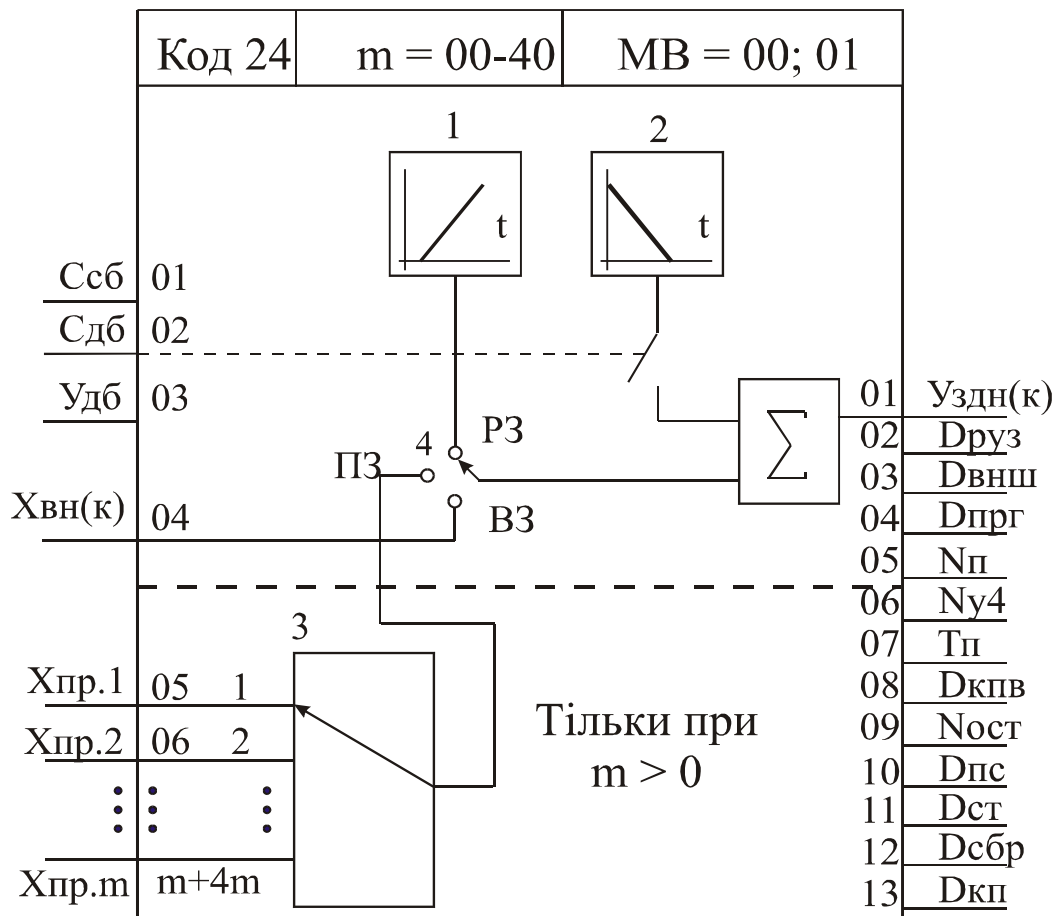


Рис. 3.25. Функціональна схема алгоритму ЗДН.

Дискретні виходи Друз, Двнш, Дпрг призначені для індикації встановленого виду завдання. Наприклад, якщо Друз = 1, а Двнш = Дпрг = 0, то завдання ручне.

У випадку $m > 0$ (увімкнено хоча б один програмний задавач) алгоритм ЗДН має також інші виходи. Вихід Нп визначає номер програми, що виконується (положення перемикача 3), а вихід Ну4 – номер поточної ділянки програми. Відлік часу, що залишився до кінця поточної ділянки програми, встановлюється виходом Тп. Якщо в алгоритмах програмного задатчика ПРЗ задано число повторень $N_{пвт} > 1$, то після закінчення кожного поточного

повторення програми на один цикл роботи контролера ($T_0 = 0,2 \div 2$ с) встановлюється дискретний сигнал (кінець повторень) $D_{кпв} = 1$. Після закінчення останнього повторення сигнали $D_{кп} = D_{кпв} = 1$ постійно і зберігають ці значення, доки програма не буде скинута ($D_{кп}$ – кінець програми). Якщо $N_{пвт} = 1$, то після закінчення програми $D_{кп} = D_{кпв} = 1$. Вихід $N_{ост}$ визначає число повторень програми, що залишилися. Дискретні сигнали $D_{пс}$, $D_{ст}$, $D_{сбр}$, дорівнюють логічній одиниці, якщо програма знаходиться в стані пуску, зупинки і скидання. На вході $Y_{руз}$ формується сигнал, ідентичний вихідному сигналу вузла ручного задатчика. При $t = 0$ вихід $Y_{руз}$, має номер 05, а при $t > 0$ – номер 14.

Алгоритм ЗДЛ (код 25) – завдання локальне - використовується в складі каскадного регулятора і в поєднанні з алгоритмом ОКО. Цей алгоритм дає змогу передбачити перемикання каскадного регулятора в локальний режим і ручну зміну завдання веденого регулятора в цьому режимі. На рис. 3.26 зображено функціональну схему алгоритму.

Алгоритм містить вузол ручного завдання і перемикач режимів (ЛУ – локальне керування і КУ – каскадне керування). У схемах АСР його вмикають між веденим і ведучим регуляторами. У режимі КУ сигнал на вході $X(k)$ передається на його вихід $Y(k)$. Звичайно вхід $X(k)$ підключається до виходу ведучого регулятора, а вхід веденого регулятора – до виходу $Y(k)$. У режимі ЛУ завдання може змінюватися вручну за допомогою клавіш ПЛ контролера. На дискретному виході $D_{лок}$ встановлюється значення $D_{лок} = 0$ у режимі КУ і $D_{лок} = 1$ у режимі ЛУ.

Алгоритм РУЧ (код 26) ручне управління – застосовується для зміни режимів управління регулятора в поєднанні з алгоритмом ОКО. При цьому може працювати у складі як аналогового так і імпульсного регулятора. На рис. 3.27 зображено функціональну схему алгоритму.

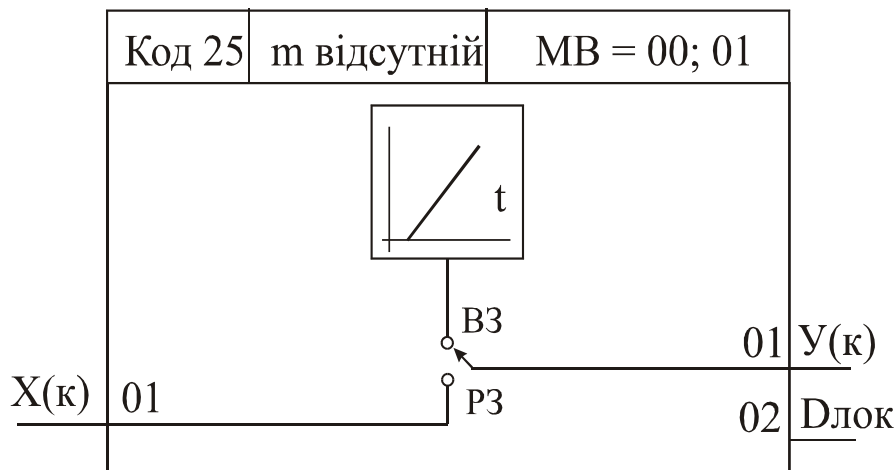


Рис. 3.26. Функціональна схема алгоритму ЗДЛ

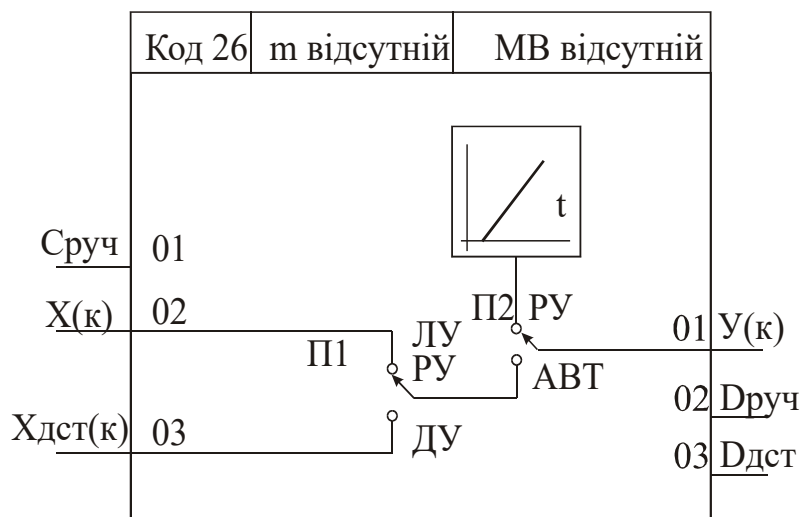


Рис. 3.27. Функціональна схема алгоритму РУЧ

Алгоритм містить перемикачі режимів роботи П1, П2 і вузол ручного управління. Якщо на ПЛ контролера натискається клавіша ручного режиму, то до виходу алгоритму РУЧ підключається вузол ручного управління. При завданні в алгоритмі ОКО аналогового регулятора вузол ручного управління алгоритму РУЧ працює за принципом "більше-менше". Якщо в алгоритмі ОКО задано імпульсний регулятор, то вузол ручного управління формує константу (-100, -25, 0, 25 чи 100 %), що визначає середню швидкість переміщення виконавчого механізму.

Якщо на ПЛ контролера натискається клавіша автоматичного режиму управління, то вузол ручного управління відмикається і вихід $Y(k)$ алгоритму РУЧ з'єднується з його входом $X(k)$, чи $X_{дст}(k)$. Із входом $X(k)$ вихід $Y(k)$ з'єднується в режимах ДУ і КУ, а із входом $X_{дст}(k)$ – у дистанційному режимі (ДУ). За допомогою входу $S_{руч} = 1$ алгоритм може бути примусово переключений у ручний режим. При цьому його переведення в автоматичний режим (АВТ) блокується. Перехід у режим АВТ здійснюється тільки вручну. При положенні перемикача П2 у положенні РУ сигнал $D_{руч} = 1$, у протилежному разі $D_{руч} = 0$. Якщо перемикач П1 знаходиться в положенні ДУ, то $D_{дст} = 1$. Для іншого положення П1 сигнал $D_{дст} = 0$.

3.6. Виконання функціональних схем конфігурування автоматичних систем регулювання за спрощеною версією мови програмування FBD.

Виконання функціональних схем здійснюється за допомогою алгоритмів контролера, які зображені у вигляді однакових прямокутників довільних розмірів з урахуванням номеру алгоблоку і позначення алгоритму, системи зв'язків між входами і виходами (конфігурація) і наявності (при необхідності) інверсії сигналу на вході алгоритму. Крім того, на схемі бажано вказувати числові значення параметрів настройки, що задаються на настроюваних входах алгоритмів, і відмічати, чи є даний параметр константою, що встановлюється в режимі програмування, чи коефіцієнтом, який можна змінювати в режимі оперативного управління. При конфігуруванні необхідно керуватись такими правилами:

- будь-який вихід будь-якого алгоблока можна зв'язати з будь-яким входом будь-якого алгоблока чи залишити вільним;
- на будь-якому вільному вході будь-якого алгоблока можна вручну задавати сигнал у вигляді константи чи коефіцієнта;
- на будь-якому зв'язаному вході будь-якого алгоблока сигнал можна інвертувати.

Приклад виконання фрагменту функціональної схеми показано на рис. 3.28.

Звичайно графічне зображення функціональної схеми доповнюється її табличним зображенням (табл. 3.5).

У табл. 3.5 наведено інформацію, яку зручно використовувати при її введенні в контролер за допомогою ПН при конфігуруванні. Згідно з правилами конфігурування конфігурація 00.00 означає, що на даному вході задається константа, а 00.01 – коефіцієнт. Усі інші позначення (наприклад 10.01) задає, номер алгоблока – джерела (перше двозначна цифра) і номер його виходу

(друга двозначна цифра). Для запобігання можливих; помилок при конфігуруванні у такій таблиці найчастіше вказуються стани і невикористані входи.

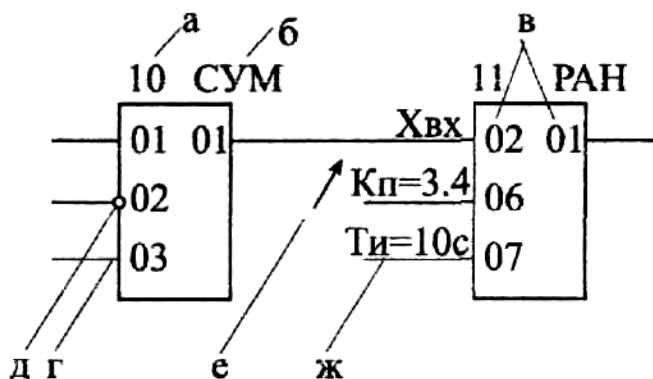


Рис. 3.28. Фрагмент функціональної схеми: а – номер алгоблока; б – позначення алгоритму та номер його коду з модифікатором; в – номер входу чи виходу алгоритму; г – сигнал, без інверсії, д – інвертований сигнал; е – коефіцієнт; ж – константа

Таблиця 3.5. Табличне зображення функціональної схеми

Номер алгоблока	Алгоритм			Конфігурація			Настройка
	код	m	МВ	Номер входу	Інв.	Конф.	
10	42	03	—	01	—	05.01	
				02	ІНВ.	07.02	
				03	—	20.05	
11	20	00	00	02		10.01	
				06		00.01	3,4
				07		00.00	10,0 с

Перед початком виконання конфігурування необхідно вибрати модифікацію БК (див. табл. 3.6), яка б відповідала вимогам до вхідних і вихідних сигналів.

Приклади побудови схем конфігурування автоматичних систем регулювання, що розглянуті нижче, виконані за допомогою алгоритмів регулюючої моделі Р-130М. У кожному контролері можна реалізувати до восьми незалежних чи взаємозв'язаних АСР.

АСР стабілізації технологічного параметра, схему якої показано на рис. 3.29, реалізована на базі алгоритму РАН.

Як випливає з рис. 3.29, сигнал завдання $X_{здн}$, що формується в режимі РЗ алгоритмом ЗДН, надходить на вхід алгоритму РАН. На другий вхід цього алгоритму надходить сигнал $X_{вх}$ від датчика, що попередньо перетворений калібруванням і масштабуванням алгоритмом уводу ВАА. Вихідний сигнал Y алгоритму РАН через алгоритм РУЧ у режимі "АВТ", що встановлюється за допомогою клавіші ПЛ блока БК, і алгоритм виводу АВА надходять на аналоговий вихід контролера. За допомогою алгоритму ОКО забезпечується оперативне управління. Функції, що виконуються при оперативному управлінні, задаються конфігуруванням входів алгоритму ОКО. Сигнал, що надходить на вхід 01 цього алгоритму, завжди виводиться на верхній цифровий індикатор "задание" ПЛ блока БК незалежно від того, до виходу якого алгоблока підключений вхід 01 алгоритму ОКО. Однак, якщо сигнал, завдання необхідно не лише контролювати, а й змінювати вручну, вхід 01 алгоритму ОКО повинен бути обов'язково підключений до виходу 01 алгоритму ЗДН.

На нижньому цифровому індикаторі вибіркового контролю в положенні "вх", "ε", "вых" можуть індицируватися сигнали відповідно датчика, розбіжності і виходу регулятора, що надходять на входи 02, 05 і 07 алгоритму ОКО. Сигнал виходу регулятора "ВР" надходить не тільки на нижній цифровий індикатор у положенні "вых", а й на шкальний індикатор.

При цьому за шкальним індикатором контролюється вихідний сигнал регулятора Y незалежно від того, який сигнал у даний момент виводиться на нижній цифровий індикатор. Крім того, вхід 06 алгоритму ОКО обов'язково має бути підключений до виходу 01 алгоритму РУЧ, що дає змогу змінювати режим

керування і управляти виконавчим механізмом за допомогою клавіш ПЛ блока БК.

Таблиця 3.6. Модифікації блока контролера БК

Номенклатура	Модифікація	Число входів - виходів			
		Аналогові входи	Аналогові виходи	Дискретні входи	Дискретні виходи
1	2	3	4	5	6
Аналогові входи – виходи	10	8	2	-	-
	11	6	4	-	-
Аналогові й дискретні входи - виходи	12	16	2	-	4
	13	8	2	-	16
	14	8	2	4	12
	15	8	2	8	8
	16	8	2	12	4
	17	8	2	16	-
	20	8	-	-	4
	22	16	-	-	8
	23	8	-	-	20
	24	8	-	4	16
Аналогові входи і дискретні виходи - входи	25	8	-	8	12
	26	8	-	12	8
	27	8	-	16	4
	30	-	-	-	16
	33	-	-	-	32
Дискретні входи виходи	40	-	-	4	12
	43	-	-	4	28
	50	-	-	8	8
	53	-	-	8	24
	60	-	-	12	4
	63	-	-	12	20
	70	-	-	16	-
	73	-	-	16	16
	74	-	-	20	12
	75	-	-	24	4
	76	-	-	28	4
	77	-	-	32	-

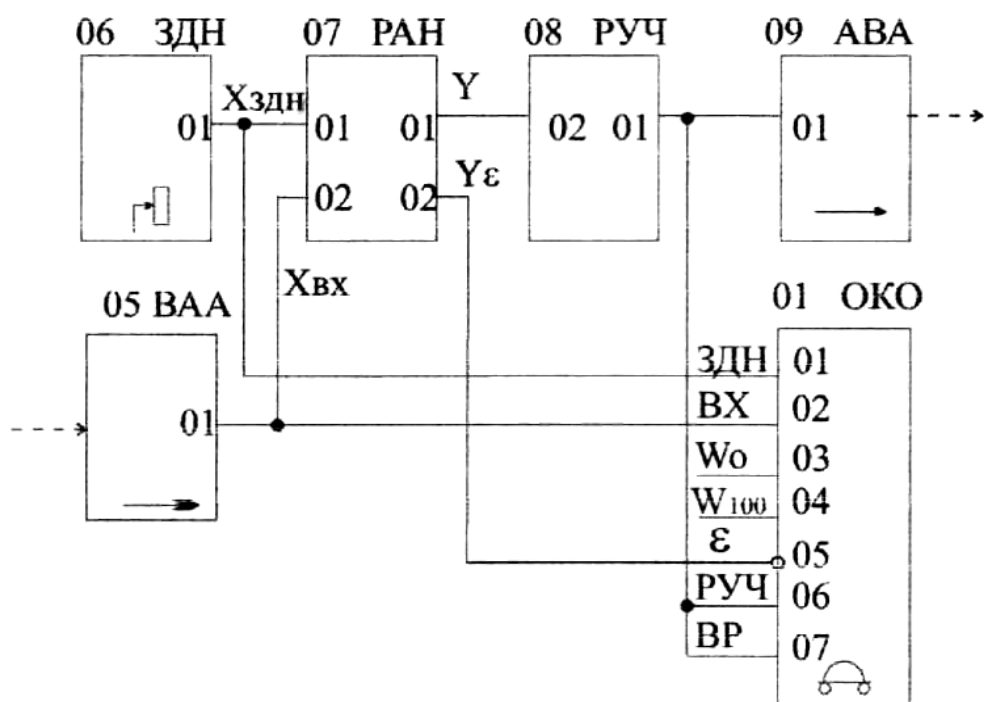


Рис. 3.29. Схема АСП стабілізації технологічного параметра на базі алгоритму РАН.

На двох настроюваних входах 03 і 04 алгоритму ОКО задаються константи W_0 і W_{100} , що визначають технічні одиниці, в яких контролюються сигнали завдання, входу і розбіжності. При цьому значення констант визначаються згідно з рівнянням (9.1).

Вихідний сигнал як за цифровим, так і за шкальним індикатором завжди контролюється в процентах незалежно від одиниць завдання значень W_0 і W_{100} . Знаку сигналу розбіжності $Y_\epsilon = Y_{здн} - Y_{вх}$ прийнято приписувати протилежний зміст. Тому сигнал на вході 05 алгоритму ОКО інвертується.

АСП стабілізації технологічного параметра, схему якої зображено на рис. 3.30, реалізована за допомогою алгоритму РИМ.

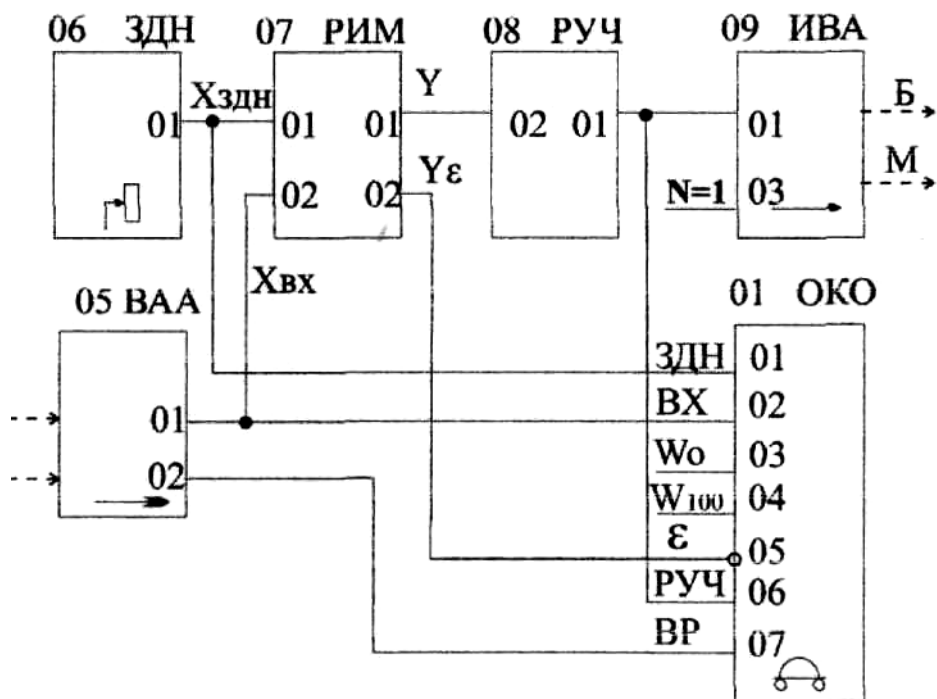


Рис. 3.30. Схема АСР стабілізації технологічного параметра на базі алгоритму РИМ.

Із порівняння схем, показаних на рис. 3.29 та 3.30, випливає, що вони різняться лише алгоритмами виводу інформації. При цьому алгоритм ИВА перетворює аналоговий сигнал, що сформований алгоритмом РИМ, у послідовність імпульсів, які управляють виконавчим механізмом постійної швидкості. За допомогою алгоритму ИВА додатково встановлюється мінімальна тривалість імпульсу $T_{\text{імп}}$ і номер контуру, до якого віднесений цей канал алгоритму ИВА. Зазначення номера контуру забезпечує включення в роботу індикаторів "∇" і "Δ" на ПЛ при виклику даного контуру. Ще одна особливість цієї АСР пов'язана з контролем виходу алгоритму РИМ, а саме для контролю положення виконавчого механізму датчик його положення підключається до одного з вільних входів контролера, з яким і з'єднується вхід 07 алгоритму ОКО.

Для реалізації схем АСР на базі алгоритму РАН у алгоритмі ОКО встановлюється $m = 00$ (аналоговий регулятор), а на базі алгоритму РИМ – $m =$

04 (імпульсний регулятор). У алгоритмі ЗДН значення $m = 00$, що забезпечує блокування переходу на інші режими задавання і керування.

Каскадну АСР можна побудувати за допомогою алгоритмів РАН і РИМ, а також тільки на базі алгоритмів РАН. На рис. 3.31 зображено схему каскадної АСР для першого варіанту.

На відміну від АСР стабілізації в каскадних АСР в алгоритмі ОКО задається інший модифікатор (наприклад, 08 і 12). Крім того, задіяні його входи I2-I5. Сигнали другої групи входів виходять на цифрові індикатори ПЛ контролера в каскадному режимі роботи, а сигнали першої групи виходів - у локальному режимі.

При переході в режим ЛУ ведучий регулятор (алгоблок 09) ненаголошено відмикається, а завдання веденому регулятору (алгоблок 11) встановлюється вручну за допомогою алгоритму ЗДЛ. У режим КУ повертаються також ненаголошено. Для того щоб зазначені перемикання могли виконуватися, вхід 11 алгоритму ОКО має бути безпосередньо (без проміжних алгоблоків) підключений до виходу 01 алгоритму ЗДЛ.

Між алгоритмами ЗДН, РАН, ЗДЛ, РИМ, РУЧ при необхідності можуть бути ввімкнені інші алгоритми. У каскадній АСР також задаються одиниці W, у яких контролюються сигнали, при цьому ці одиниці можуть бути різними для ведучого і веденого регуляторів.

У деяких випадках необхідна зміна напрямку вихідного сигналу регулятора. Тоді на вході алгоритмів РАН чи РИМ інвертуються сигнали, а на вході 05 сигналу ОКО інверсії сигналу не виконують.

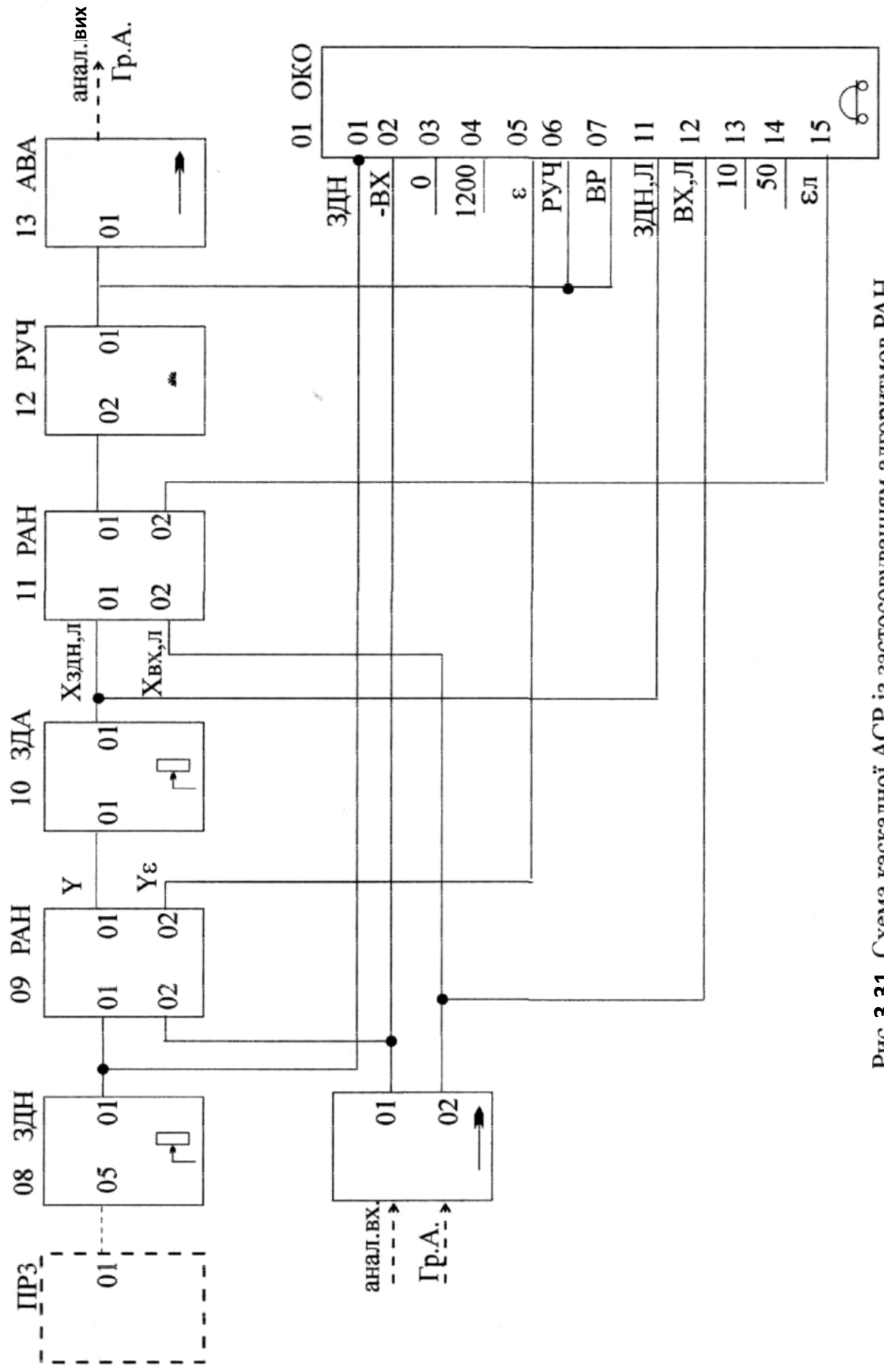


Рис. 3.31. Схема каскадної АСР із застосуванням алгоритмів РАН.

Контрольні запитання для самостійної підготовки за розділом 3.

1. Основне призначення мікропроцесора (МП) у загальній технічній структурі мікропроцесорної автоматичної системи (МПАС).
2. Що становить собою мікропроцесорна система (МПС) та основні її складові?
3. Чим забезпечується взаємодія МПАС із засобами мікропроцесорної техніки?
4. Основна відмінність мікропроцесорних вимірювачів-регуляторів від програмованих логічних контролерів.
5. Функції системного програмного забезпечення.
6. Основні функції зовнішнього інтерфейсу МПС.
7. Фізичний інтерфейс RS-485 та його характерні особливості.
8. Призначення узгоджуючих резисторів та повторювачів у типовій схемі промислової мережі на базі інтерфейсу RS-485.
9. Основні функції SCADA пакетів в процесі реалізації МПАС.
10. OPC-технологія: загальна характеристика та функціональне призначення.
11. Застосування OPC-серверів.
12. Чим обумовлено широке застосування протоколу Modbus/
13. Загальна характеристика мікропроцесорного вимірювача-регулятора ТРМ101.
14. Узагальнююча технічна структура програмованого логічного контролера (PLC).
15. Особливості програмного забезпечення PLC.
16. Циклограма роботи PLC.
17. Конструктивне виконання PLC.
18. Основні мови програмування PLC.
19. Система програмного забезпечення контролерів CodeSys.

20. Загальна характеристика моделей PLC серії P130.
21. Загальна структура PLC серії P130 та призначення його основних складових блоків.
22. Яким чином утворюється код модифікації PLC серії P130.
23. Застосування нормуючих резисторів у PLC серії P130.
24. Особливості PLC серії P130M на відміну від P130.
25. Загальна структура PLC серії P130M.
26. Варіанти застосування PLC серії P130M у промислових мережах з різними протоколами і фізичними інтерфейсами.
27. Загальна характеристика бібліотеки алгоритмів PLC серії P130M.
28. Основні реквізити бібліотечного алгоритму PLC серії P130M.
29. Перелік основних бібліотечних алгоритмів PLC серії P130M.
30. Виконання функціональних схем конфігурування для PLC серії P130M: основні правила та графічне зображення схеми.
31. Приклади виконання функціональних схем конфігурування автоматичних систем регулювання на базі бібліотеки алгоритмів PLC серії P130M.
32. Які рівні OSI-моделі описує стандарт протоколів PROFIBUS?
33. Скільки модифікацій мають протоколи PROFIBUS та їх особливості застосування?

РОЗДІЛ 4

ВИКОНАВЧІ ПРИСТРОЇ: РЕГУЛЮЮЧІ ОРГАНИ ТА ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ

4.1. Регулюючі органи: класифікація, можливості застосування, основні характеристики, розрахунок та їх вибір

Виконавчі пристрої (ВП) є складовою частиною будь-якої автоматичної системи регулювання. ВП різноманітні за принципом дії, конструкції, але усі вони складаються з двох частин: виконавчого механізму (ВМ) і регулюючого органу (РО).

Регулюючі органи можуть бути дозуючими і дросельними. До дозуючих РО відносять такі, що змінюють витрату речовини за рахунок зміни продуктивності агрегатів (дозатори, живильники, насоси, компресори та ін.). Дросельні РО становлять собою перемінний гідравлічний опір, що змінює витрату речовини за рахунок зміни свого прохідного перерізу. Дросельні регулюючі органи мають велику кількість параметрів, що характеризують їх роботу, основними з яких є наступні: пропускна і умовна пропускна здатність; умовний і робочий тиск; перепад тиску на РО і умовний прохід.

Пропускна здатність K_v ($m^3/год$) – це витрата рідини з густиною $1000 \text{ кг}/m^3$, що проходить крізь РО, при перепаді тиску на ньому 10^5 Па за нормальних умов. *Умовна пропускна здатність* K_{vu} ($m^3/год$) – це номінальне значення пропускної здатності РО за максимальної (умовної) ходи затвору S_y регулюючого органу. Умовна пропускна здатність залежить від типу РО і розміру його умовного проходу. *Умовним проходом* D_u у РО називають номінальний діаметр проходу у приєднувальних патрубках. Стандартні розміри умовних проходів не розповсюджуються на розміри проходу усередині корпусу. *Умовний тиск* P_u – це найбільший припустимий тиск середовища на

РО за нормальної температури. Міцність металів з підвищенням температури знижується, тому для арматури і з'єднувальних частин слід передбачати максимальний робочий тиск. **Максимальний робочий тиск** – найбільш можливий встановлений тиск середовища на РО при фактичній температурі. Дозволяється перевищення фактичного робочого тиску не більш ніж на 5 % понад встановленого для заданої температури. **Перепад тиску** на РО визначає зусилля, на яке розраховують ВМ, а також зношення дросельних поверхонь. Для багатьох видів ВП, у яких затвор не розвантажений від статичних і динамічних впливів середовища, гранично припустимий перепад тиску встановлюють у залежності від потужності ВМ.

Серед характеристик, що враховують при виборі РО у залежності від конкретних умов їх застосування, відрізняють наступні: пропускна, конструктивна, витратна і негерметичність затвору. **Пропускна характеристика** (ідеальна) встановлює залежність пропускної здатності відносно переміщення затвору S (хід штоку) при постійному перепаді тиску. **Конструктивна характеристика** встановлює залежність зміни відносного прохідного перерізу РО від переміщення затвору. Дросельні РО регулюючих клапанів, що серійно виготовляють, профілюють найчастіше з лінійною чи рівновідсотковою (логарифмічною) характеристикою. При цьому регулюючі заслінки не профілюють і мають пропускну характеристику близьку до рівновідсоткової. **Витратна характеристика** встановлює залежність відносної витрати середовища від переміщення затвору у робочих умовах. **Негерметичність затвору** характеризує пропуск середовища при повністю закритому проході РО.

Дросельні РО отримали найбільш широке розповсюдження у АСР. Серед них слід відзначити наступні: заслінкові з поворотними дросельними заслінками (рис. 4.1а); клапанні односідельні (з поступальним переміщенням запірно–регулюючого елемента уздовж осі сідла - рис. 4.1б) і двосідельні (з поступальним переміщенням запірно–регулювального елемента уздовж осі

двох сідел - рис. 4.1в); клапанні триходові (з поступальним переміщенням запірно-регулювального елемента уздовж осі двох сідел) з корпусом розрахованим на три проходи, через які один потік може розділитись на два чи, навпаки, - два потоки з'єднуються в один (рис. 4.1г); шлангові із змінним прохідним перерізом пружистого елемента у вигляді відрізка шлангу (рис. 4.1д); діафрагмові з поступальним переміщенням центра діафрагми відносно сідла, виконаного у вигляді перегородки в корпусі (рис. 4.1е); заслінкові жалюзного типу (рис. 4.1 ж). Для повного або неповного відкриття чи закриття трубопроводів використовують перекриваючі органи: кранові (рис. 4.1 з) і кульові (рис. 4.1і) з поворотом запірного елемента навколо своєї осі; засувочні з переміщенням запірного елемента навколо осі штока приводу (рис. 4.1.к).

Заслінкові РО широко застосовуються у системах автоматичного регулювання компресорних і вакуумних машин та установок, у системах кондиціонування, вентиляції, у криогенній техніці. Великий економічний ефект дає використання заслінкових пристроїв замість клапанних при діаметрах трубопроводу понад 150 мм. Це пояснюється значно меншими витратами тисків у трубопроводах через малі коефіцієнти гідравлічного опору дросельних заслінкових пристроїв. При використанні заслінкових пристроїв на діаметри умовного проходу 500 мм і більше через наявність великих невірноважених обертальних моментів на валу заслінок необхідно застосовувати приводи великої потужності. Найчастіше використовуються заслінкові РО з діаметром умовного проходу 50 ÷ 1000 мм і призначених для тиску 0,6 ÷ 2,5 МПа і перепаду тиску 0,01 ÷ 1,6 МПа.

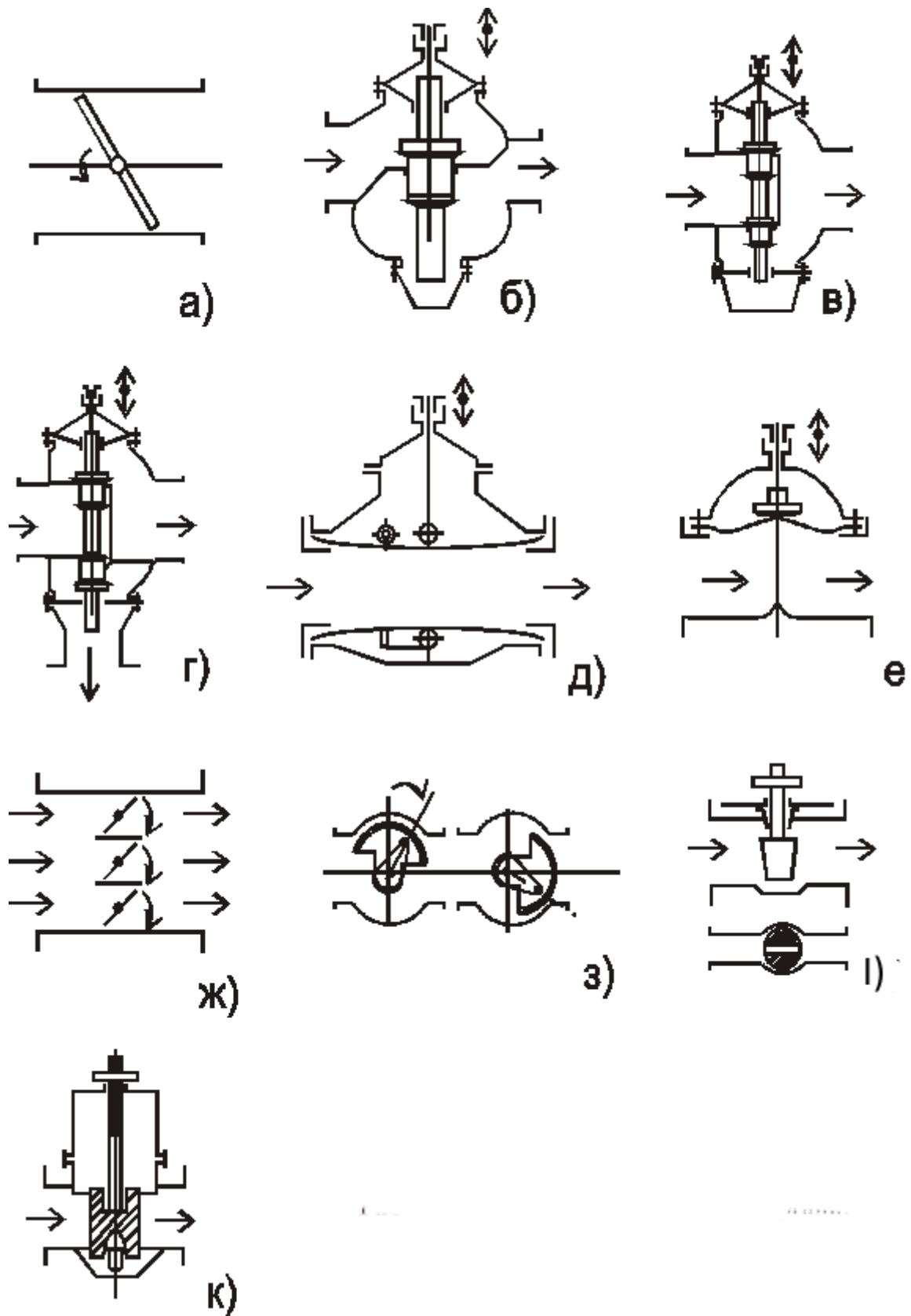


Рис. 4.1. Регулюючі і перекриваючі органи

Клапанні РО є найбільш розповсюдженим видом дросельних пристроїв. Регулюючі клапани відрізняються за видом і кількістю опірних поверхонь (одно – і двосідельні), по конструкції затворів (тарілчасті, пробкові і поршневі) і корпусів. Односідельні РО можуть бути прохідними і кутовими. У прохідних РО напрямок потоку середовища при вході і виході не змінюється, а у кутових змінюється при виході на 90° по відношенню до напрямку на вході. Двосідельні клапани виготовляються нормального (типу НО) і зворотного (НЗ) виконання. Недоліком двосідельного РО є відносно велике значення негерметичності затвору. Крім того, при великих перепадах тиску і звичайних конфігураціях дросельних поверхонь рух середовища створює великі зусилля на клапан через динамічну невривноваженість затвору. Односідельні РО застосовують у тих випадках, коли неможливо застосування розвантажених двосідельних РО, у разі необхідності забезпечення герметичності закриття проходу, при малих розмірах проходів (до 15 мм), а також при великих проходах, якщо середовище має велику в'язкість чи містить тверді частинки. При регулюванні потоків з великим перепадом тиску на клапані ($\Delta P > 1,5 \text{ МПа}$), у разі коли об'єм регулюючого середовища при виході з щілини між затвором і сідлом різко підвищується, а також при регулюванні в'язких потоків і середовищ, що містять тверді частинки, слід застосовувати кутові односідельні клапани. Це пов'язано з тим, що вони мають менше „мертвих” просторів для осідання і кристалізації твердих частинок.

Тарілчасті затвори мають плоску чи конічну форму поверхні запирання і дросельної поверхні. Затвори з плоскою формою найчастіше застосовують як запірні органи або при двопозиційному регулюванні, а з конічною формою – при регулюванні великих витрат. Конструктивна характеристика тарілчастих клапанів має лінійну залежність. Недолік цих затворів – швидке зношення поверхні.

Пробкові затвори становлять собою дросельну поверхню, яка має форму поверхні оберту параболи, а поверхня запирання виконана і вигляді конічних

кромок. Пробкові затвори використовують у важких умовах експлуатації при регулюванні витрати в'язких рідин і середовища, що виділяє кристали. Конструктивні характеристики клапанів з пробковим затвором можуть бути будь-якими у залежності від профілю дросельної поверхні. Для запобігання швидкого зношення дросельної поверхні на ній роблять наплавлення твердими сплавами, що забезпечує їх широке застосування у двосідельних РО.

Поршневі затвори мають дросельну поверхню, що виконана у вигляді шліців чи різьбових отворів. У першому випадку (шліці) площина прохідного перерізу між затвором і сідлом утворюється сумарною площиною окремих шліців. Застосовують цей тип затворів для регулювання нев'язких рідин і таких, що не кристалізуються. У затворів з різьбовими отворами кількість отворів підбирають таким чином, щоб з підняттям затвору підвищувалась і сумарна площина прохідного перерізу. У клапанах, призначених для роботи в умовах кавітації, поршневі затвори мають велику кількість різьбових отворів на боковій поверхні поршня. Характеристики конструктивні і пропускні можуть бути будь-якими і легко змінені шляхом зміни профілю шліців.

Триходові клапанні РО звичайно застосовують для безперервного і двопозиційного регулювання. При безперервному регулюванні використовують клапани, що розділяють потік чи змішують два потоки. Для двопозиційного регулювання ці клапани застосовують у тому випадку, коли потік по чергово направляєється то в одному, то в іншому напрямках або коли обидва потоки по чергово переміщуються в одному напрямку.

Шлангові РО мають пружисті елементи для зміни витрати середовища. Пружистий елемент – шланг (рис. 4.1д) виготовляють з якісної гуми на основі тканинного армування, що забезпечує високу міцність. При роботі РО два вали, між якими розташований шланг, наближуються чи розходяться у площині, що перпендикулярна осі проходу корпусу. При посуванні донизу верхнього валу, керованого штоком приводу, нижній вал переміщується догори, а при посуванні верхнього валу догори нижній вал переміщується у зворотному

напрямку. Шлангові клапани застосовують у якості запірних і регулюючих органів для потоків середовищ, що містять тверді і абразивні частинки. У конструкції шлангових клапанів передбачена можливість зміни зношених шлангів на нові. Найбільш інтенсивне підвищення пропускної здатності відбувається при посуванні штоку від 0 (з положення закриття РО) до 0,25 його максимального значення. На цій ділянці пропускна (витратна) характеристика РО майже лінійна.

Діафрагмові РО застосовуються для регулювання витрат агресивних рідин і газів. Особливість діафрагмових РО полягає у застосуванні у якості ущільнення і рухливого дросельного елемента гнучкої мембрани (діафрагми з резини, фторопласту та ін.), а внутрішня поверхня пристрою футерується кислотостійкими матеріалами (емаль, гума, вініпласт, фторопласт і т.п.). Витратна характеристика діафрагмових РО ідентична шланговим.

Кранові перекриваючі органи містять перекриваючий елемент (затвор), який має форму тіла обертання і обертається навколо власної осі, сковзаючи своєю поверхнею запирання по поверхні запирання сідла. Найчастіше використовуються конічні і сферичні затвори. Останні мають суттєві переваги у порівнянні з першими. В них виключена можливість заклинення. Затвор здійснює обертальний рух, а розміри і маса завдяки сферичній (кульовій) формі поверхні запирання незначні.

Засувні перекриваючі органи містять затвор, що постійно сковзає поверхнями запирання по поверхням запирання сідел, які доволі швидко зношуються. Переміщення затвору вимагає великих перестановочних зусиль. Конструктивна характеристика засувних органів майже лінійна.

При виборі типу, конструкції та розмірів РО і ВМ для роботи їх у конкретних умовах необхідно урахувати: характер середовища (газ, рідина, пар), що регулюється, їх склад і робочі параметри (тиск, температура, густина, в'язкість); максимальна і мінімальна витрати середовища, що проходить крізь РО; крайнє положення, яке повинен зайняти РО (відкрите, закрите) при

аварійному відключенні сигналу, поданого до приводу ВП чи при виході з ладу самого приводу; конструкція РО повинна бути розрахована на максимальний тиск і мінімальну чи максимальну робочу температуру середовища; матеріали основних деталей РО повинні бути хімічно стійкими до агресивних дій з боку середовища; швидкодію спрацьовування запірних клапанів. Вибір діаметра умовного проходу і характеристик РО та ВМ проводять розрахунковим шляхом. Регулюючі органи зчленовуються з виконавчими механізмами різними способами.

Алгоритм розрахунку та вибору виконавчих пристроїв, а також окремі схеми зчленування ВМ і РО наведені у підрозділі 4.3. При цьому алгоритм розрахунку ВП з дросельним РО полягає у визначенні розмірів РО з точки зору пропускання потрібної кількості потоку для заданих параметрів трубопровідної мережі, форми пропускної характеристики, а також значення пересувного зусилля (моменту) для обладнання ВП певним ВМ у відповідності з місцем розташування ВП на об'єкті. Форму пропускної характеристики вибирають у два етапи. На першому етапі встановлюється форма (профіль) витратної характеристики, що забезпечує по можливості сталість коефіцієнта підсилення РО в усьому діапазоні навантажень по витраті, а на другому етапі – форма пропускної характеристики РО, що забезпечує при даних параметрах середовища бажану форму витратної характеристики.

Дросельні РО з пневматичними та електричними ВМ серійно випускаються як єдиний блок, що має назву промислової регулюючої арматури.

4.2. Виконавчі механізми: класифікація, особливості конструктивного оформлення та застосування в автоматичних системах регулювання. Промислова регулююча арматура

Найбільше застосування в автоматичних системах регулювання отримали електричні та пневматичні виконавчі механізми.

Електричні виконавчі механізми (ВМ) за принципом дії розподіляються на електромагнітні і електродвигунні, а за характером роботи вихідного органу – на однообертові, багатообертові і поступальної дії. *Електромагнітні ВМ* найчастіше є двопозиційними елементами, здійснюючими поступальний рух привідних органів за дискретним принципом "увімкнено-вимкнено". Усі електромагнітні ВМ розподіляються на дві групи: елементи з котушкою електромагніта, що розрахована на тривале обтікання струмом, і елементи з котушкою, що розрахована на короткочасну дію. Електромагнітні ВМ першої групи спрацьовують (відкривають чи закривають) під впливом сили ваги якоря електромагніта чи пружини при відключенні живлення. Електромагнітні ВМ другої групи мають тяговий електромагніт і електромагніт заціпки, які розраховані на короткочасне вмикання.

Електродвигунні ВМ розподіляються на однооборотні (МЭО), багатооборотні (МЭМ) і прямоходні (МЭП). Виконавчі механізми типу МЭО зчленуються з арматурою РО, у якій затвор має обертальне чи наступальне переміщення. ВМ типу МЭМ зчленуються з гвинтовим шпинделем трубопровідної арматури РО, що мають велику площину прохідного перерізу затвору. ВМ типу МЭП і МЭМ зчленуються з арматурою у поєднанні з РО, які мають малу чи середню площину прохідного перерізу затвору. ВМ в системах регулювання використовуються як правило з постійною швидкістю переміщення вихідного органу (шток, кривошип, шпиндель) у сполученні з релейно-імпульсними регулюючими пристроями.

Склад електродвигунних ВМ як правило утворюють, наступні елементи: асинхронний електродвигун, редуктор, кінцеві і шляхові вимикачі, датчики положення, гальмуючий пристрій, ручний привід. Електродвигун з редуктором здійснюють перетворення електричної енергії у механічну, достатню для подолання опору середовища з боку регулюючого органу. Кінцеві вимикачі використовуються для вимикання пускового пристрою при досягненні РО крайніх положень, тобто виконують захисні функції, а шляхові вимикачі - для обмеження діапазону переміщення РО у автоматичному режимі. Датчики положення (індуктивні, реостатні, струмові) формують сигнал, пропорційний куту повороту вихідного валу ВМ. Цей сигнал надходить до індикатора положення на пульті оператора, а також може використовуватись у системі керування у якості сигналу зворотного зв'язку за положенням РО чи забезпечення потрібного алгоритму регулювання. Гальмуючі пристрої встановлюються у ВМ для зменшення вибігу вихідного валу (штоку) у процесі зупинки електродвигуна (після припинення дії керуючих сигналів). Ручний привід передбачений у ВМ для забезпечення можливості переміщення РО у разі виходу з ладу пускового пристрою.

Пускові пристрої призначені для керування ВМ і забезпечують необхідне підсилення потужності керуючих сигналів від регулюючих блоків чи блоків керування у ручному режимі. Пускові пристрої можуть бути контактні і безконтактні. Кожний тип пускового пристрою розрахований на роботу у комплекті з певним типом ВМ. Вхідні кола пускових пристроїв дозволяють використовувати найчастіше два види керуючих сигналів: активний сигнал керування у вигляді постійного чи пульсуючого струму напругою 24 В; пасивний сигнал керування у вигляді замикання відповідних вхідних затискачів за допомогою безконтактних чи контактних ключів. Активний сигнал використовується звичайно при керуванні пусковим пристроєм (ПП) від релейно-імпульсних регулюючих блоків (рис. 4.2а), а пасивний сигнал застосовується в основному при ручному дистанційному керуванні за

допомогою відповідних кнопок чи ключів (рис. 4.2б). Енергія, що необхідна для спрацьовування пускового пристрою, в останньому випадку надходить від джерела живлення самого пускового пристрою (блок керування – БК).

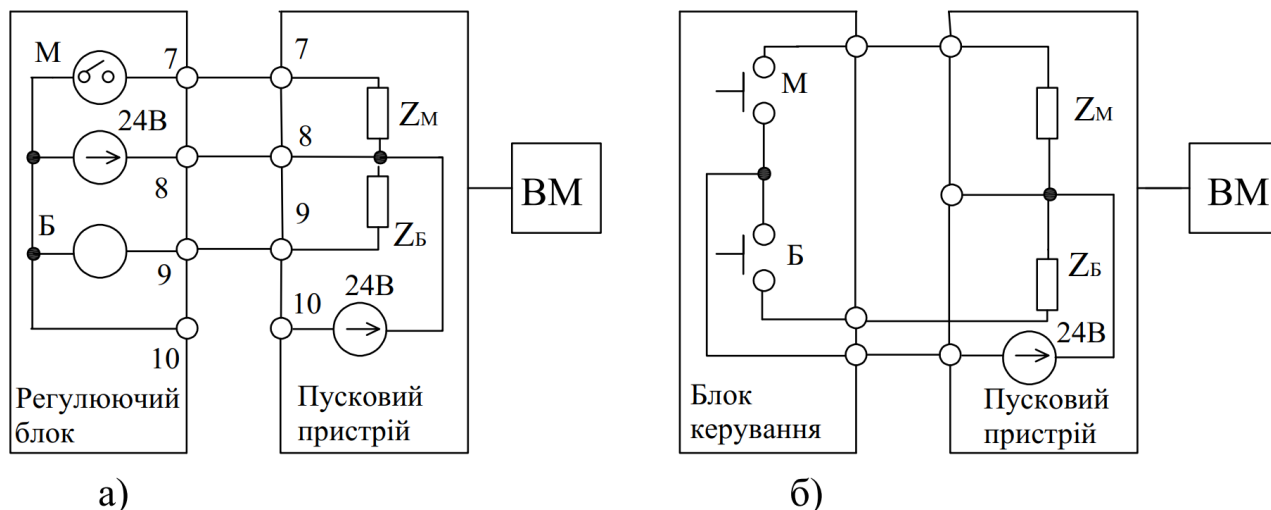


Рис. 4.2. Способи керування пусковим пристроєм: а – сигналом від регулюючого блоку; б – сигналом від блоку керування (ручний режим); z – електричні схеми спрацьовування тиристорних ключів, що забезпечують "вмикання-вимикання" ВМ

Для кожного з розглянутих способів керування використовується трьохпровідна лінія зв'язку. Один з проводів є загальний, а два інших необхідні для подачі керуючого сигналу у напрямку „менше” і „більше”. Параметри сигналів зв'язку регулюючих блоків, пускових пристроїв і ВМ стандартизовані, що сприяє застосуванню одного і того ж типу ВМ з різними системами регулюючих блоків. У якості пускових пристроїв найчастіше використовуються безконтактні, серед яких слід виділити ПБР-2М, ПБР-3А, У24, У300. При цьому пристрої ПБР-2М і У300 застосовуються для керування однофазними електродвигунними ВМ, а У24 і ПБР-3А – трифазними ВМ.

Слід відзначити, що сучасні регулятори, зокрема ПЛК, забезпечують можливість керування електродвигуном (навантаженням) імпульсним сигналом

через реле або транзисторну чи симисторну оптопару, які встановлені безпосередньо у регуляторі.

Механізми виконавчі електричні однооборотні типу МЭО призначені для переміщення з постійною швидкістю регулюючих органів у системах автоматичного регулювання у відповідності з командними сигналами від релейно-імпульсних регулюючих пристроїв, у цих механізмах вихідний орган здійснює обертальний рух у межах 0,25 чи 0,63 оберту. ВМ мають позначення, згідно якого вказується послідовно три величини: $M_{кр}$ - номінальний обертальний момент на вихідному валу, Нм; $T_{ВМ}$ - номінальний час повної ходи вихідного валу від одного крайнього положення до іншого, с; $\varphi_{ВМ}$ - номінальна повна хода вихідного валу, оберти. Наприклад, ВМ з шифром МЭО 100/25 - 0,63 - 99 має номінальне значення обертального моменту 100 Н·м, номінальний час повної ходи вихідного валу 25 с, номінальне значення ходу 0,63 оберту, рік розробки - 1999 р. У механізмах типу МЭО використовуються синхронні типу ДСР і асинхронні трифазні типу ДСТР електродвигуни.

На механізми може бути встановлено один з блоків сигналізації положення ВМ: струмовий БСПТ чи індуктивний БСПИ, реостатний БСПА чи блок кінцевих вимикачів БКВ. У разі наявності блоку БСПТ необхідно застосування блоку живлення напругою 24 В постійного струму.

Електричні виконавчі механізми прямохідні типу МЭП, ЕСПА призначені для прямолінійного переміщення з постійною швидкістю регулюючих органів у системах автоматичного і дистанційного керування. У механізмах прямоходних, як і в МЭО, встановлені блок датчиків зворотного зв'язку (положення ВМ) і мікровимикачі, є маховик для ручного керування регулюючим органом. Обертальний механізм, що утворений швидкісним і силовим редукторами, працює у межах повної ходи від 0,25 до 4 *обертів* вихідного валу. При цьому прямоходний вихідний орган становить собою шарикову гвинтову пару, яка перетворює обертальний рух вихідного валу швидкісного редуктора у поступальний рух штоку. У позначенні модифікації

ВМ перша цифра - номінальне зусилля на штоку (H), друга цифра - номінальний час повної ходи штоку (c), третя цифра - повний хід штоку ($мм$), остання цифра - рік розробки. Наприклад ВМ модифікації МЭП25000/100 - 50 - 99 має номінальне значення зусилля $25 кН$, номінальний час повної ходи штоку $100 с$, повний хід штоку $50 мм$, розробка 1999 р.

Живлення механізмів МЭП здійснюється трифазним змінним струмом, а механізмів ЕСПА - від однофазної мережі змінного струму.

Електричні багатооборотні виконавчі механізми призначені для дистанційного, місцевого і автоматичного керування трубопровідною запірною арматурою (засувкою, вентилем, заслінкою і т.п.) і становлять собою електромеханічний привід, що складається з електродвигуна, понижуючого кількість обертів механічного редуктора і низки допоміжних пристроїв. Незважаючи на конструктивні і схемні різниці, усі ці ВМ взагалі дозволяють здійснювати: дистанційний чи автоматичний пуск електроприводу за допомогою пускових кнопок “відкрити” і “закрити” чи через контакти блокувальних реле; зупинку електроприводу у будь-якому проміжному положенні РО за допомогою кнопки “стоп” чи відповідних контактів блокувальних реле; автоматичну зупинку електроприводу при надмірному зростанні обертового моменту, що можливо при відмові путьових вимикачів чи заїданні рухливих частин приводу чи робочого органу; дистанційну світлову сигналізацію крайніх положень РО; місцеве визначення положення РО у певний момент за допомогою стрілкового покажчика, що є на коробці путьових вимикачів; дистанційне показання будь-якого проміжного положення РО за допомогою покажчика положення, датчик якого може бути встановлений на коробці путьових вимикачів; електричне блокування певного електроприводу з іншими механізмами і агрегатами; ручне керування електроприводом за допомогою маховика на випадок тимчасового припинення подачі електроенергії.

Слід відзначити, що найчастіше багатооборотні ВМ є пристроями позиційної дії, які не можуть бути застосовані в автоматичних системах для реалізації П-, ПП- і ППД-законів регулювання.

Електричне дистанційне керування електроприводом може здійснюватись за двома варіантами: без примусового та з примусовим ущільненням при закритті. У якості прикладу схема дистанційного керування електроприводом запірною пристроєм без примусового ущільнення при закритті наведена на рис. 4.3.

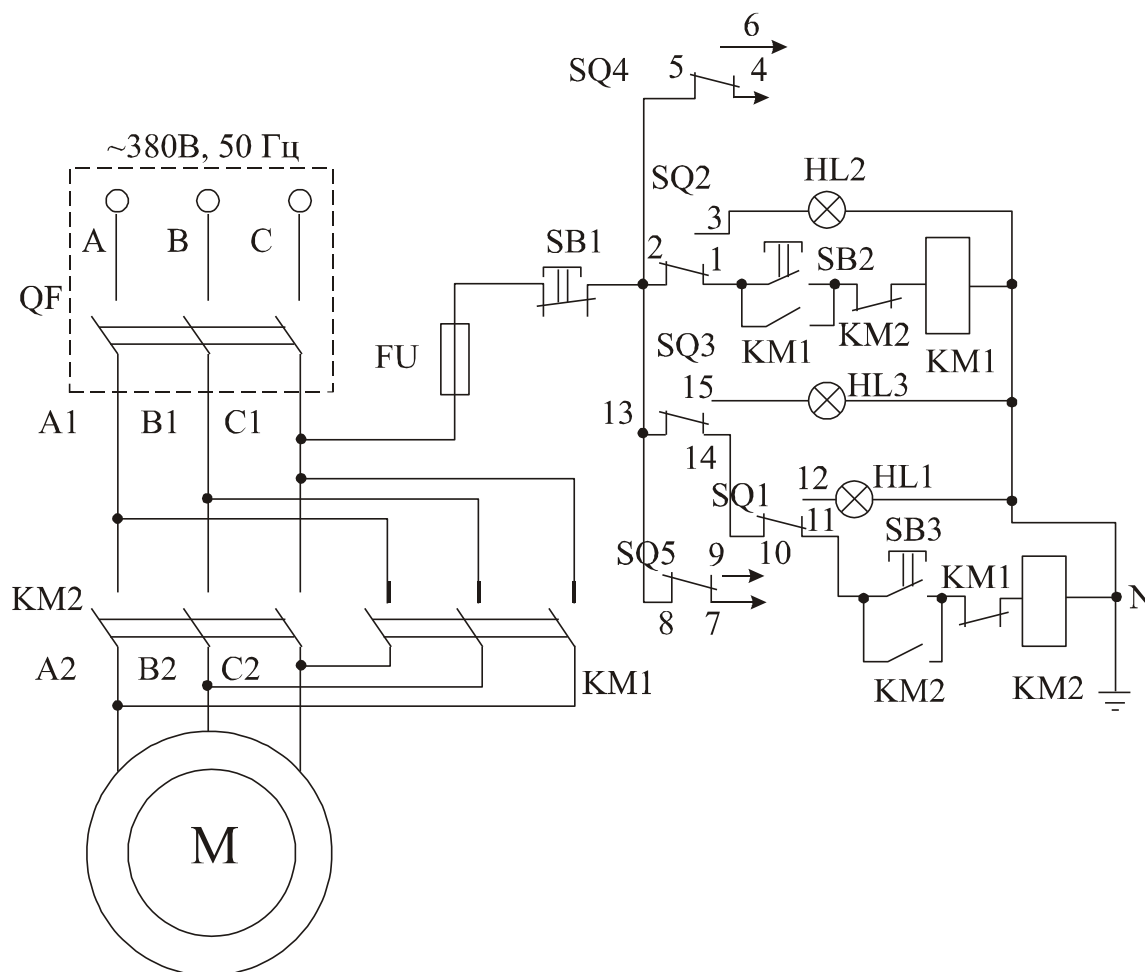


Рис. 4.3. Принципова електрична схема керування електроприводом без примусового ущільнення запірною пристроєм при закритті: QF – автомат захисту; М – електродвигун; FU – запобіжник; SQ4 і SQ5 - додаткові мікрореле; 1÷15 – позначення контактів мікрореле у корпусі

Пуск електродвигуна у бік відкриття здійснюється натисканням кнопки SB2, що замикає коло котушки магнітного пускача KM1. При цьому головні контакти KM1 вмикають у мережу електродвигун M, а блок – контакт KM1 шунтує розімкнені контакти SB2. Після цього кнопка SB2 може бути відпущена. Коли запірний орган досягне крайнього верхнього положення (відкриття) спрацьовує кінцевий вимикач SQ2, що призведе до розімкнення кола котушки пускача KM1, контакти KM1 якого повернуться у початковий стан (розімкнуться), а електродвигун відімкнеться від джерела живлення. Одночасно контакт кінцевого вимикача SQ2 увімкне сигнальну лампу HL2 (відкрито). На цьому операція відкриття завершується. У бік закриття електропривод включається натисканням кнопки SB3, після чого відбувається процес ідентичний вищерозглянутому, але при відключенні від кінцевого вимикача SQ3.

Для запобігання одночасного вмикання обох котушок магнітного пускача крім механічного блокування, яким обладнаний пускач, у схемі передбачене електричне блокування за допомогою контактів KM2 чи KM1. Таким чином, у разі випадкового заклинювання запірного органу у проміжному положенні відключення електродвигуна здійснюється контактами SQ1 муфти обертального моменту, що діє при прямованні запірного органу у бік закриття. При цьому загоряється сигнальна лампа муфти HL1. Кнопка SB1 призначена для зупинки запірного органу у проміжному положенні, але її використання на тривалий час не припустимо по технічним умовам. Слід відзначити, що у проміжному положенні одночасно світяться обидві лампи HL3 і HL2, сигналізуючи про переміщення запірного органу, але не вказуючи напрямку руху.

Пневматичні виконавчі механізми отримали широке розповсюдження завдяки простоті конструкції, надійності у роботі і можливості застосування у вибухонебезпечних умовах виробництва.

Пересувне зусилля у цих механізмах утворюється за рахунок дії стислого повітря на чутливий елемент (мембрана, поршень або пневмодвигун, сільфон). Пневматичні механізми мембранні і поршневі забезпечують зворотно-поступальний рух штоку, який може бути перетворений у поворотній за допомогою додаткового механічного пристрою, а пневмодвигуни - тільки поворотній рух вихідного валу. Наявність робочої пружини у мембранних і поршневих ВМ дозволяє утворювати пересувне зусилля в одному напрямку за рахунок стислого повітря.

У протилежному напрямку пересувне зусилля утворюється за рахунок зусилля, що розвивається пружиною, і значна частина зусилля від дії тиску повітря витрачається на стиск пружини. У безпружинних ВМ пересувне зусилля у протилежних напрямках утворюється дією тиску з обох боків чутливого елемента - тиск з одного боку підвищується, а з іншого зменшується або ж навпаки. Отже ці механізми належать до пристроїв двосторонньої дії.

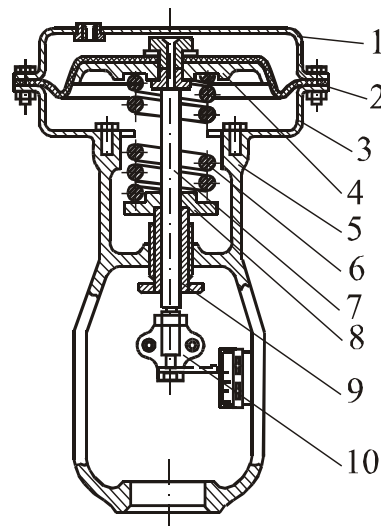


Рис. 4.4, Мембранний виконавчий механізм прямої дії

Мембранні виконавчі механізми типу МИМ найчастіше використовуються у системах керування у якості приводів регулюючих поворотних заслінок, одно- і двосідельних клапанів, шлангових і діафрагмових регулюючих органів. Основними елементами МИМ прямої дії (ППХ), що

побудований за принципом компенсації зусиль є мембранна камера, кронштейн з пружиною і рухлива частина (див. рис. 4.4). Мембранна камера утворена кришками 1, 3 і затиснутою між кришками мембраною 2. Кришка 3 прикріплена до кронштейну 5. Верхня кришка і мембрана утворюють робочу порожнину. Рухлива частина складається з опорного диску 4, до якого прикріплена мембрана 2 і шток 7 із з'єднувальною гайкою 10. Остання призначена для з'єднання штоку механізму зі штоком РО. Пружина 6 одним торцем спирається в опорний диск 4, а іншим через опірне кільце 8 - у регулювальну втулку 9, яка служить для зміни початкового натягування пружини і напрямку руху штоку. У мембранних пружинних механізмах зворотної дії (ОПХ) з підвищенням тиску повітря у робочій порожнині (тиск підводиться під мембрану) кінець штоку наближується до площини забиття мембрани, тобто утягується. Мембранні ВМ дуже часто комплектуються боковими чи верхніми ручними дублерами, які призначені для керування РО у випадку аварійного відключення стислого повітря. При цьому бокові дублери забезпечують керування РО ручним способом не тільки у випадку припинення подачі стислого повітря, але і при відмові самого МИМ (зламу пружини, розгерметизація робочої пружини і т.п).

В процесі експлуатації у залежності від умов роботи МИМ його характеристика змінюється. Для запобігання великого гістерезису (не більш 1,5 - 2 % повного ходу РО), який може бути викликаний внутрішнім тертям пружини чи зовнішнім тертям у сальниковому ущільненні штоку, а також з метою підвищення чутливості ВМ до командного тиску застосовуються підсилювачі (позиціонери) потужності із зворотним зв'язком по положенню РО.

Позиціонери підвищують швидкодію і точність установки штоку ВМ. Для підвищення перестановочних зусиль у кінці ходи штоку звичайні МИМ компонується більш жорсткими пружинами. В таких більш потужних

механізмах МИМП менш жорстка пружина застосовується у механізмах прямої дії, а у механізмах зворотної дії - більш жорстка.

Мембрани ВМ звичайно виготовляють із гуми з парусиновим прошарком. Іноді застосовують мембрани з неопрена чи з неопрена з парусиновою чи капроною прокладкою. Останні мембрани тонше гумових і більш міцні.

На рис. 4.5 наведена схема позиціонера типу ППС-100, що встановлюється на мембранні механізми.

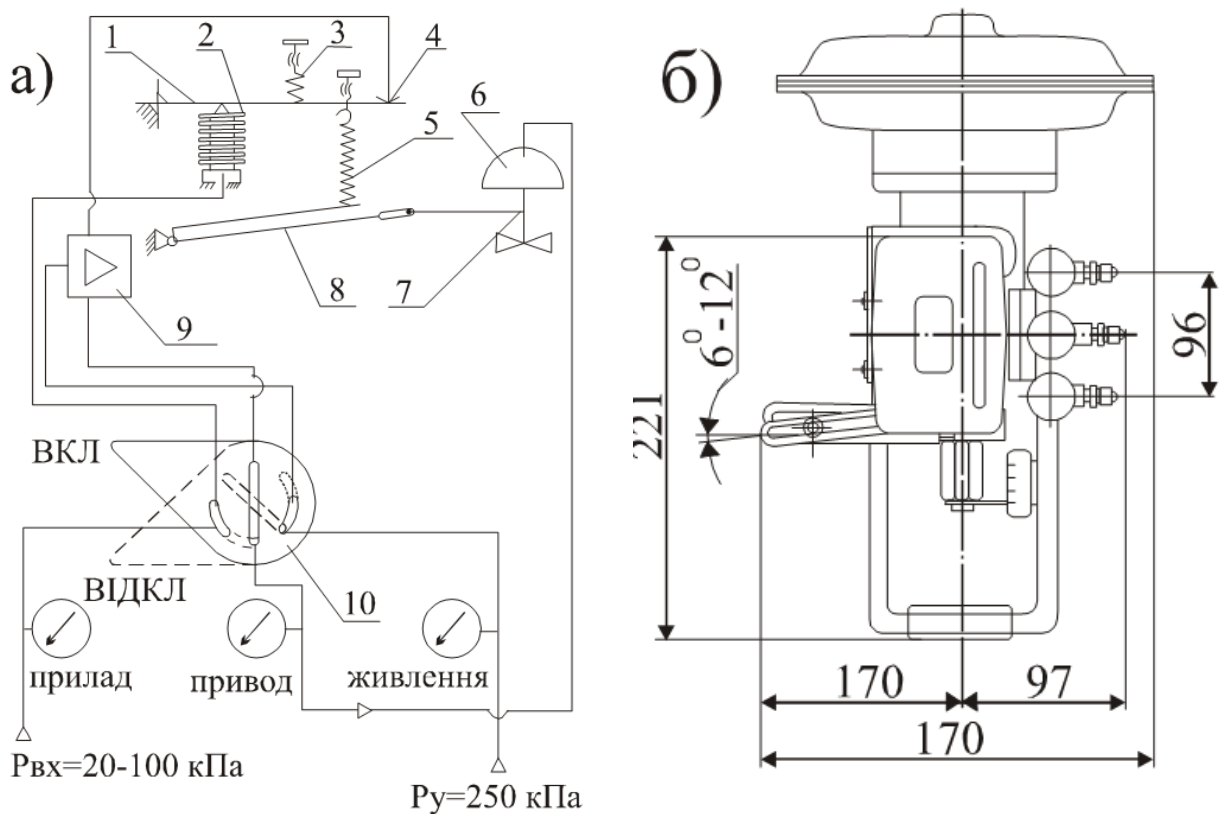


Рис. 4.5. Пневматичний позиціонер типу ППС-100: а – принципова схема; б – монтаж позиціонера на механізмі типу МИМ ОПХ

Принцип дії позиціонера (рис. 4.5 а) оснований на методі компенсації моментів на рухливому важелі 1, що утворюється чутливим елементом 2 (сильфон) і пружиною зворотного зв'язку 5. У положенні "Вкл" крану перемикача 10 вхідний сигнал по лінії "Прилад" надходить у сильфон 2. Під впливом сили, що утворюється сильфоном, переміщується важель 1. Переміщення важеля викличе зміну зазору між ним і соплом 4, що у свою

чергу, призведе до зміни тиску повітря у лінії сопла 4 пропорційно тиску вхідного сигналу. Тиск, що утворюється у лінії сопла, надходить далі у керувальну камеру реле підсилувача 9 і формує на його виході підсилений за потужністю (витраті) сигнал, який по лінії "Привод" прямує у камеру мембранного механізму 6. Цей сигнал викличе переміщення вихідної ланки МИМ, жорстко зв'язаної за допомогою важеля 8 з пружиною зворотного зв'язку 5. Переміщення вихідної ланки (штоку 7) буде відбуватись до тих пір, доки момент, що утворюється пружиною 5 на важелі 1, не врівноважить момент, що утворюється сільфоном 2, тобто до динамічної рівноваги на важелі 1.

Таким чином, кожному значенню вхідного сигналу позиціонера буде відповідати визначене положення вихідної ланки (штоку) МИМ. Корегування початкового положення вихідної ланки здійснюється пружиною 3. У положенні "Відкл" перемикача 10 лінія "Прилад" з'єднується з лінією "Привод" і керування МИМ здійснюється безпосередньо вхідним сигналом. Позиціонер монтується до корпусу МИМ за допомогою кронштейна (рис. 4.5б). Зворотний зв'язок позиціонера по положенню штоку ВМ здійснюється за рахунок скоби, що закріплена на штоці ВМ, і пальця важеля.

Механізми типу МИМ ППХ і МИМП ППХ на відміну від МИМ ОПХ і МИМП ОПХ розповсюджені більше. Це пояснюється тим, що у двосідельних РО зміна положення "нормально відкрите" (НО) на "нормально закрите" (ПЗ) досягається перестановкою положення затвору.

У залежності від комплектації додатковими блоками виконавчі механізми типу МИМ (МИМП) мають наступні позначення: 10 - без додаткових блоків; 01 - з боковим дублером; 02 - з позиціонером; 05 - з позиціонером і боковим дублером; 01В - з верхнім дублером; 05В - з позиціонером і верхнім дублером.

Максимально припустимий тиск стислого повітря у робочій порожнині механізмів з діаметром забиття мембрани 160 мм складає 0,4 МПа, а з діаметром 200 мм і більше - 0,26 МПа. Повний робочий хід вхідного елемента

механізму МИМ без позиціонера і з позиціонером, механізму МИМП з позиціонером здійснюється при зміні пневматичного командного сигналу від 20 до 100 кПа. Повний робочий хід вихідного елемента МИМП без позиціонера здійснюється при зміні сигналу від 100÷130 до 200÷220 кПа.

Виготовляються також мембранні механізми коливальної дії типу МИМ - К, які відрізняються від механізмів типу МИМ тим, що вихідною ланкою у них є важіль. Останній кріпиться до штоку і тяги. Робочий хід кінця важеля 100 мм.

Приклад умовного позначення (шифр) - МИМ ППХ-320-40-0,5-1: виконавчий механізм типу МИМ ППХ; 320 - діаметр забиття мембрани, мм; 40 - умовний хід штоку, мм; 05 - комплектність механізму згідно стандарту (позиціонер і ручний боковий дублер); I - температурна група.

Пневмодвигуни поворотні типу ППР призначені для приводу поворотної трубопровідної арматури (крани кульові, крани пробкові, шиберні затвори і т.п.). Живлення пневмодвигунів здійснюється стислим повітрям 250÷600 кПа.

Принцип дії пневмоприводу оснований на повороті лопаті з вихідним валом під впливом стислого повітря, що надходить в одну з порожнин, яка утворена лопаттю і частиною корпусу. При досягненні валом пневмодвигуна крайніх положень здійснюється скидання тиску керуючого сигналу з робочої порожнини пневмодвигуна.

На рис. 4.6 наведена принципова схема запірно-регулюючого кульового виконавчого пристрою з позиціонером та пневмодвигуном.

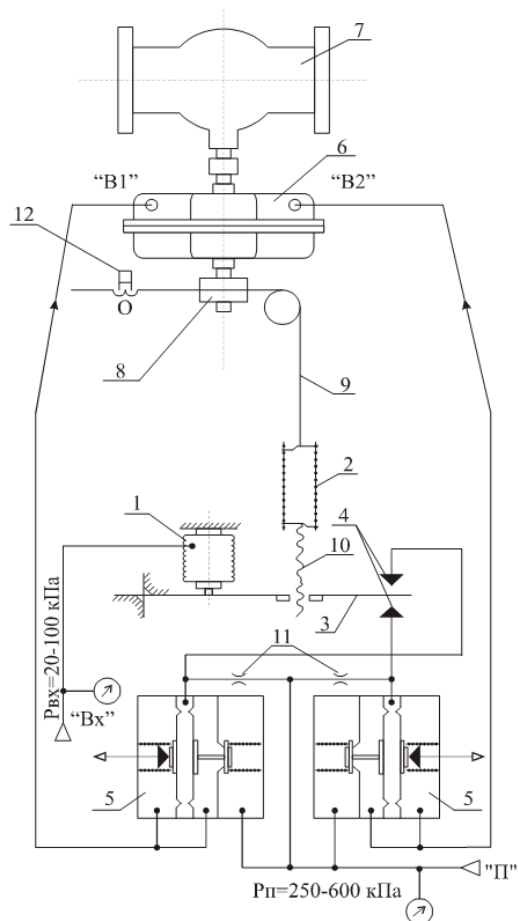


Рис. 4.6. Принципова схема виконавчого пристрою з поворотним пневмодвигуном та позиціонером: "П", "Вх", "В1" і "В2" – маркування штуцерів

Принцип дії пристрою оснований на повороті затвору кульового крану на кут пропорційний вхідному пневматичному сигналу від регулятора під впливом зусилля, що утворюється поворотним пневмодвигуном з позиціонером. Вхідний сигнал $P_{ВХ}$ від регулятора надходить у сильфон 1. Різниця моментів, що утворені сильфоном 1 і пружиною зворотного зв'язку 2, переміщує заслінку 3 у той чи інший бік. Це призведе до зміни тиску у лінії сопел 4. Тиск, що утворюється у лінії сопел прямує у керуючі камери реле 5, звідки підсилений за потужністю сигнал надходить в одну з порожнин пневмодвигуна 6, що викличе поворот затвору кульового крану 7. При цьому вал пневмодвигуна через кулачок 8 буде натягувати (послабляти) пружину зворотного зв'язку. Поворот затвору кульового крану буде відбуватись до тих пір, доки момент, що

утворюється пружиною зворотного зв'язку на заслінці 3, не врівноважить момент, що утворюється сильфоном 1. Отже кожному значенню вхідного сигналу буде відповідати визначене положення затвору кульового крану. Корегування початкового положення затвору кульового крану здійснюють зміною початкового натягнення пружини зворотного зв'язку 2 шляхом зміни на натягнення тяги 9 гайками 12. Настроювання кута повороту затвору кульового крану 7 здійснюється зміною кількості робочих витків пружини 2 гвинтом 10. Постійні дроселі 11 виконують роль демпферів для усунення коливань тиску.

Промислова регулююча арматура (виконавчі пристрої) завдяки системі літерних цифрових індексів забезпечується кодом умовних позначень. Цей код у системній формі дозволяє зафіксувати деякі основні технічні характеристики виробу, що дає можливість правильного вибору арматури, використанню її за призначенням і підвищення її контролю під час монтажу. Кодове позначення містить п'ять елементів, розташованих послідовно (за відсутності приводу код виробу складається з чотирьох елементів).

Перші дві цифри позначають тип арматури, букви за ними - матеріал корпусу, одна чи дві цифри після букв-номер моделі.

У разі наявності трьох цифр після букв - перша з них позначає вид приводу, а дві наступні - номер моделі. Останні букви вказують на матеріал ущільнюючих поверхонь чи спосіб нанесення внутрішнього покриття корпусу.

В окремих випадках після букв, що свідчать про матеріал ущільнюючих поверхонь, додають цифру, яка позначає варіант виконання його з іншого матеріалу. Виріб без вставних чи наплавлених кілець, тобто з ущільнюючими поверхнями, що виконані безпосередньо на корпусі чи затворі, позначається буквами "бк" (без кілець). Наприклад кодове позначення виконавчої арматури 15с922нж свідчить: 15 - клапан запірний; с - з вуглецевої сталі; 9 - електропривод; 22 - номер моделі; нж - ущільнюючі поверхні, наплавленні корозійностійкою сталлю.

Для арматури з електроприводами у вибухозахищеному виконанні наприкінці умовного позначення додається буква "Б", а у тропічному виконанні - буква "Т". Поряд з розглянутою системою користуються кодом, отриманим шляхом скорочення назви виробу. Окремі конструкції позначаються тільки номером креслення, за яким вони виготовлені. Іноді до позначення входить буква, що вказує завод-виготовник арматури.

Кріплення арматури до трубопроводу найчастіше забезпечується за допомогою фланцевих з'єднань, а на трубопроводах малого діаметру ($D_u \leq 80$) розповсюдженні і різьбові з'єднання (муфтові). У деяких випадках застосовують і зварні з'єднання. Арматура звичайно постачається з комплектом фланців для з'єднань, деталями для кріплення і прокладками.

Регулюючі клапани при монтажі слід розташовувати на прямих ділянках трубопроводів (направлення потоку середовища повинно відповідати напрямку стрілки на корпусі клапану). Найкраще клапани встановлювати на горизонтальній ділянці у вертикальному положенні. Припускається установка клапану і в інших положеннях обумовлених у інструкціях. Довжина прямої ділянки трубопроводу до і після клапану має бути не менше $10D_u$. В окремих відповідальних випадках слід передбачити байпасні лінії для забезпечення можливості відключення з технологічної системи.

Нижче розглянуті у якості прикладів окремі конструкції виконавчих пристроїв з пневмоприводом та електроприводом.

На рис. 4.7 наведено конструктивне оформлення виконавчого пристрою з пневмоприводом типу ПОУ-7.

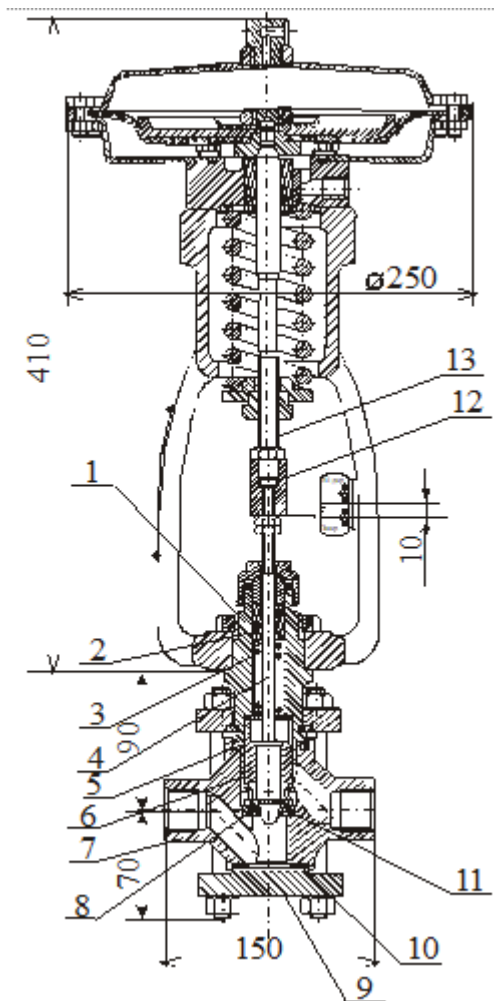


Рис. 4.7. Конструкція та габаритно-монтажні розміри виконавчого пристрою ПОУ-7

Регулюючий орган (див. рис. 4.7) складається з наступних основних частин: корпусу 7; обойми 1, у якій встановлюється втулка 6 з умонтованими в ній сідлом 8 і затвором 4; кришки 9. Ущільнення обойми з корпусом здійснюється за допомогою спірально навитої прокладки 5, а сідла і кришки – за допомогою паронітових прокладок 10 і 11. Переміщення затвору здійснюється виконавчим механізмом, шток 13 якого жорстко зв'язаний зі штоком затвору 4 з'єднувальною гайкою 12. Усі ВП комплектуються прокладками спірально навитими. При цьому фторопластові ущільнюючі кільця 2 підтиснуті пружиною 3, а у ВП типів ПОУ-9, ПОУ-12 ущільнюючі кільця виготовлені з азбестової набивки марки АПС.

Виконавчі пристрої з електродвигуном (моторним) приводом використовують, як правило, за відсутності на об'єктах пневматичної мережі. На рис. 4.8 представлено конструктивне оформлення виконавчого пристрою з багатообертним електроприводом типу АК 23031 і АК 28016.

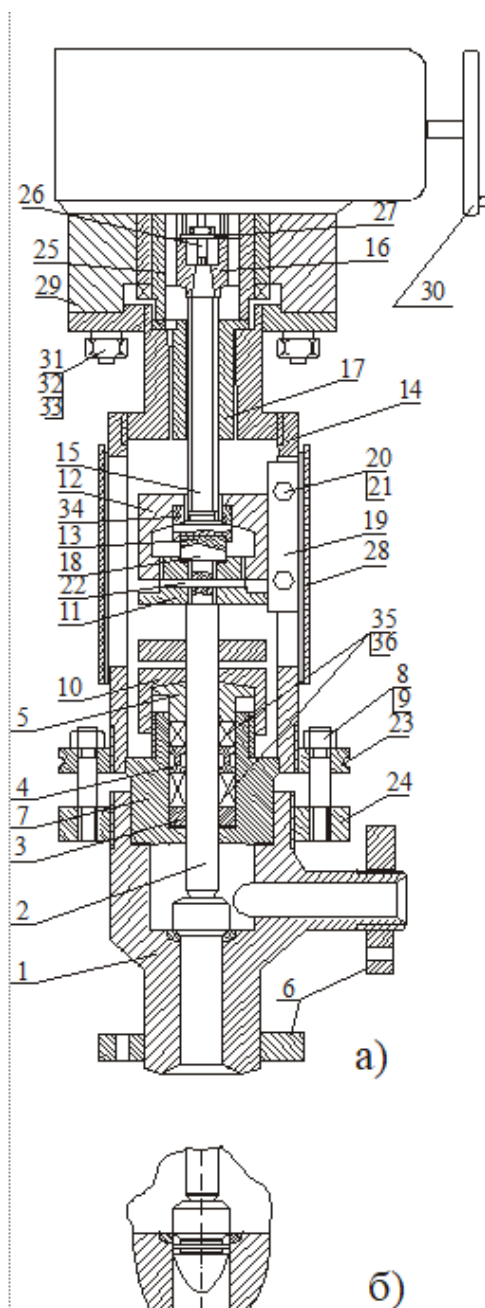


Рис. 4.8. Конструкція запірною АК 23031 (а) і вузол затвору запірно-регулюючого АК28016 (б) клапану для Ду50 фланцевого виконання: 1 - корпус; 2 - шток; 3 - кільце опірне; 4 - кільце; 5 - втулка сальника; 6 - фланець з'єднувальний; 7 - корпус сальника; 8 - гайка М24х2; 9 - шпилька М24х2х140; 10 - гайка накладна; 11 - диск; 12 - напівмуфта; 13 - підп'ятник; 14 - стійка; 15 -

шпindelь; 16 - втулка шпицева; 17 - втулка різьбова; 18 - п'ята; 19 - планка; 20 - бовт М8х20; 21 - шайба 8,65Г; 22 - штифт 6Пр22ах50; 23, 24 - фланець; 25 - муфта, 26 - бовт М8х50; 27 - шайба; 28 - кожух; 29 - електропривод; 30 - маховик ручного керування; 31 - гайка М20; 32 - шайба 20.65Г; 33 - шпилька М20-х65; 34 - кільце; 35, 36 - кільця набивні і проміжні

ВП складається з корпусу 1, крізь який при відкритому затворі проходить потік середовища. Затвор забезпечує герметичне перекриття прохідного перерізу вентиля, що складається з сідла, виконаного у корпусі наплавленням, і штоку 2. Ущільнюючі поверхні - конусні і притерті. Зовнішня герметичність забезпечується корпусом сальника 7 з набивним кільцем 3, набивкою 35, втулкою сальника 5 і проміжними кільцями 36. Підтягування сальникової набивки здійснюється за допомогою накидної гайки 10. З'єднання корпусу сальника 7 з корпусом 1 плоске, безпрокладочне, притерте. Потрібна щільність з'єднання досягається затягуванням фланця корпусу 24 і фланцям стійки 23 за допомогою шпильок 9 і гайок 8. Роз'ємна муфта клапану складається з диску 11 і напівмуфти 12, що з забезпечують з'єднання шпindelя 15 зі штоком 2 через п'яту 18 і підп'ятник 13. Електропривод 29 закріплений на стійці 14 за допомогою шпильок 33 і гайок 31 з шайбами 32. Зчленування електроприводу зі шпindelем клапану здійснюється за допомогою кулачкової муфти 25 і шлицевої втулки 16. Муфта обмеження обертального моменту електроприводу може наструюватись в обидва боки обертання.

Керування клапану, здійснюється електроприводом чи маховиком 30 ручного дублера. При вмиканні електроприводу шпindelь 15 угвинчується у втулку 17 чи вигвинчується з неї, надаючи поступальний рух штоку 2. Внаслідок цього затвор закриває чи відкриває прохідний переріз клапану. Напрямок подачі робочого середовища - під затвор.

4.3. Алгоритм розрахунку та вибору виконавчих пристроїв з дросельними регулюючими органами

Серед виконавчих пристроїв (ВП) у хімічній, нафтохімічній, харчовій та багатьох інших галузях промисловості найчастіше застосовуються пристрої з регулюючим органом (РО) у вигляді клапану і поворотної заслінки.

Розрахунок регулюючого органу розпочинають з вибору форми витратної характеристики.

При виборі форми витратної характеристики РО можна керуватися практичними даними, наведеними в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Рекомендації щодо вибору форми витратної характеристики

Регульований параметр	Параметр, що спричинює збурення	Форма витратної характеристики, що рекомендується
Рівень	Витрата	Лінійна
Частота обертання		
Тиск після РО	Перепад тиску на РО	Рівновідсоткова
	Витрата	Лінійна
Тиск до РО	Витрата	Лінійна
Температура	Витрата чи температура регульованого середовища	Рівновідсоткова
	Перепад тиску на РО чи тепловміст потоку	
Витрата	Перепад тиску на РО	Лінійна
	Задана величина, програмне регулювання	
Якість (рН, густина і т. ін), регулювання якої здійснюється змішуванням	Витрата чи якість потоків	Рівновідсоткова
	Витрата чи якість одного потоку	
Співвідношення	Витрата одного потоку	Лінійна
	Задана величина, програмне регулювання	

Якщо для регулювання найкращою виявилась рівновідсоткова витратна характеристика, то слід вибрати і РО з рівновідсотковою пропускною характеристикою, що пов'язано з менш різким падінням коефіцієнта рівновідсотковості порівняно з лінійною. У випадку, коли за умовами регулювання потрібна лінійна витратна характеристика, тоді при $n < 1,5$ переважаючою є лінійна пропускна характеристика, при $n > 3$ – рівновідсоткова, для проміжного n з цього діапазону можна вибрати будь-яку з двох форм. При цьому величина n визначається відношенням перепадів тиску в трубопроводній лінії ΔP_{Λ} та на регулюючому органі ΔP_{PO} .

Вихідними даними для розрахунку регулюючих органів є:

- максимальна об'ємна $V_{\text{МАКС}}$ (масова $M_{\text{МАКС}}$, кг/с) витрата середовища, м³/с;
- мінімальна об'ємна $V_{\text{МИН}}$ (масова $M_{\text{МИН}}$, кг/с) витрата середовища, м³/с;
- характеристика каналу регулювання і регульованого середовища;
- перепад тиску в мережі ΔP_C , Н/м²;
- характеристика чи схема мережі.

Розрахунок виконують у такій послідовності. За видом середовища та його параметрами визначають необхідні дані для розрахунку густини ρ (кг/м³), кінематичної в'язкості ν (м²/с) і показника адіабати κ .

Знаходять втрати тиску в лінії ΔP_{Λ} при максимальній витраті:

$$\Delta P_{\Lambda} = \Delta P_{\text{ПР}} + \Delta P_{\text{М}}. \quad (4.1)$$

При цьому значення $\Delta P_{\text{ПР}}$ і $\Delta P_{\text{М}}$ визначають за рівняннями

$$\Delta P_{np} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \rho \frac{L_i \omega_i^2}{2D_i}; \quad (4.2)$$

$$\Delta P_m = \sum_{j=1}^m \xi_j \rho \frac{\omega_j^2}{2}, \quad (4.3)$$

де $\Delta P_{\text{пр}}$ – втрати тиску на прямих ділянках трубопроводу при $V_{\text{макс}}$, Н/м²; ΔP_m – втрати тиску в місцевих опорах при $V_{\text{макс}}$, Н/м²; λ_i – коефіцієнти гідравлічних опорів тертя, що залежать від режиму руху потоку; ξ_j – коефіцієнти місцевих гідравлічних опорів (входу, виходу, трійників, поворотів, запірних органів, діафрагм та ін.), що визначаються з табл. 4.2; L_i – довжина прямих ділянок трубопроводів, м; D_i – умовні діаметри прямих ділянок трубопроводів, м; ω_i, ω_j – середні за перерізом швидкості потоку в трубопроводі чи місцевому опорі, м/с.

Величина ω визначається з рівняння:

$$\omega = 4V / \pi D_i^2 3600. \quad (4.4)$$

Коефіцієнт λ для круглих шорстких сталевих і чавунних трубопроводів знаходять за формулою, що застосовується при $Re > 2320$:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right], \quad (4.5)$$

де $\varepsilon = e/D_i$ – відносна шорсткість; e – середня висота виступів, що визначається за табл. 3.3, мм.

При величині $Re < 2320$ коефіцієнт λ визначається рівнянням:

$$\lambda = 64 / Re. \quad (4.6)$$

Для круглих труб число Re знаходять за формулою:

$$Re = \omega_i D / \nu. \quad (4.7)$$

Перепад тиску $\Delta P_{po}^{\text{макс}}$ у РО обчислюють при $V_{\text{макс}}$ за формулою:

$$\Delta P_{po}^{\text{макс}} = \Delta P_c - \Delta P_{\Delta} \pm \Delta P_r, \quad (4.8)$$

де $\Delta P_r = \rho g \Delta h$, а Δh – різниця рівня верхньої і нижньої відміток трубопроводу.

Визначають за одним із наступних рівнянь значення пропускної здатності $K_{V\text{макс}}$ залежно від $V_{\text{макс}}$ ($M_{\text{макс}}$) і $\Delta P_{po}^{\text{макс}}$.

Для потоку рідини:

$$K_{V\text{макс}} = 36 \cdot 10^3 V_{\text{макс}} \sqrt{\rho / \Delta P_{po}}; \quad (4.9)$$

$$K_{V\text{макс}} = 36 \cdot 10^3 M_{\text{макс}} / \sqrt{\rho \Delta P_{po}}. \quad (4.10)$$

Для потоку газу при його докритичному режимі течії, коли $\Delta P_{po} < \Delta P_{KP} = 0,5P_1$:

$$K_{V\text{макс}} = 7 \cdot 10^5 V_{\text{макс}}^H \sqrt{\frac{\rho_H T_1 K'}{P_2 \Delta P_{po}}}; \quad (4.11)$$

$$K_{V\text{макс}} = 7 \cdot 10^5 M_{\text{макс}} \sqrt{\frac{T_1 K'}{\rho_H P_2 \Delta P_{po}}}. \quad (4.12)$$

При критичному режимі течії газу ($\Delta P_{po} > 0,5P_1$):

$$K_{V\text{макс}} = 14 \cdot 10^5 \frac{V_{\text{макс}}^H}{P_1} \sqrt{\rho_H T_1 K'}; \quad (4.13)$$

$$K_{V\text{макс}} = 14 \cdot 10^5 \frac{M_{\text{макс}}}{P_1} \sqrt{\frac{T_1 K'}{\rho_H}}, \quad (4.14)$$

де $V_{\text{макс}}^H$ - максимальна об'ємна витрата газу при нормальних умовах, $\text{нм}^3/\text{с}$; ρ - густина рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_H - густина газу при нормальних умовах, $\text{кг}/\text{м}^3$; T_1 - температура газу перед РО, К ; P_1 - тиск газу перед РО, $\text{Н}/\text{м}^2$; P_2 - тиск газу після РО, $\text{Н}/\text{м}^2$; K' - коефіцієнт стисливості, що враховує відхилення газу від закону ідеального газу.

Таблиця 4.2. Коефіцієнти місцевих опорів

Вид опору	Значення коефіцієнту місцевого опору ξ							
Вхід у трубу	З гострими краями: $\xi = 0,5$							
Вихід з труби	З закругленими краями: $\xi = 0,2$							
Діафрагма (отвір) у прямій трубі	$\xi = 1,0$							
	М	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	
	ξ	7000	1670	730	400	245	1 5	
	М	0,24	0,28	0,34	0,50	0,70	0,90	
	ξ	32	22,3	13,1	4	0,97	0,13	
m – модуль діафрагми								
Косинець (коліно) 90° стандартний чавунний нарізбї Плавний поворот круглої труби на 90°	Умовний прохід D_y , мм	12,5	25,0	37,0	50,0			
	ξ	2,2	2,0	1,6	1,1			
	R/ D_y	1	2	4	5÷7			
	ξ	1,1	0,7	0,63	0,6			
	R – радіус повороту труби							
Заслінка	D_y , мм	15÷100	175÷200	300 і вище				
	ξ	0,5	0,25	0,15				
Вентиль нормальний	Значення ξ при повному відкритті							
	D_y , мм	20	40	80	100	200	250	350
	ξ	8	4,9	4,0	4,1	4,7	5,1	5,5
Вентиль прямоточний	D_y , мм	25	50	100	150	200	250	
	ξ	1,04	0,79	0,5	0,42	0,36	0,32	
Раптове розширення	$\xi = (F_2/F_1 - 1)$, де F_1 і F_2 – відповідно площа більшого і меншого поперечного перерізу, m^2							
Раптове звуження	$\xi = 0,5 (1 - F_2/F_1)^2$, де F_1 і F_2 – відповідно площа більшого і меншого поперечного перерізу, m^2							

Таблиця 4.3. Середні значення шорсткості стінок труб.

Трубопроводи	Шорсткість ϵ , мм
Труби сталеві цільнотягнуті та зварні при незначній корозії	0,2
Чавунні труби водопровідні, що були в експлуатації	1,4
Нафтопроводи при середніх умовах експлуатації та паропроводи насиченої пари	0,2
Паропроводи, що працюють періодично	0,5
Конденсаторопроводи, що працюють періодично	1,0
Повітропроводи стиснутого повітря від компресора	0,8
Теплофікаційні паропроводи перегрітої пари та водяні теплопроводи при наявності деаерації і хімічної очистки підживленої води	0,1
Старі заіржавлені сталеві труби	0,67

Коефіцієнт стисливості визначається з наступних умов: якщо $(P_1 - P_2)/P_1 < 0,08$, то $K' = 1$; при $(P_1 - P_2)/P_1 > 0,08$ його розраховують із співвідношення

$$K' = 1 - [0,46(P_1 - P_2)/P_1]. \quad (4.15)$$

Для потоку водяної пари при її докритичному режимі течії ($\Delta P_{po} < 0,5P_1$):

$$K_{v \text{ макс}} = 36 \cdot 10^3 M_{\text{макс}} \sqrt{\frac{I}{\rho_{п2} \Delta P_{po}}} \quad (4.16)$$

При критичному режимі водяної пари ($\Delta P_{po} > 0,5P_1$):

$$K_{v \text{ макс}} = \frac{50,7 \cdot 10^3 M_{\text{макс}}}{\sqrt{\rho_{\text{п1}} P_1}}, \quad (4.17)$$

де $\rho_{\text{п2}}$ – густина пари при температурі T_1 і тиску P_2 , кг/м^3 ; $\rho_{\text{п1}}$ – густина пари при температурі T_1 і тиску $0,5P_1$, кг/м^3 .

Пропускна здатність шлангових РО визначається за такими рівняннями:

- для потоку “рідина – тверде” (пульпа)
-

$$K_{v \text{ макс}} = \frac{3600 V_{\text{макс}} K_{\text{тв}}}{\sqrt{\frac{\Delta P_{\text{po}}^{\text{макс}} K_p}{10^5}}}; \quad (4.18)$$

- для потоку “газ - тверде “

$$K_{v \text{ макс}} = \frac{3600 V_{\text{макс}} K_{\text{тв}}}{0,14 \cdot P_1 \cdot K_p \cdot K_T \cdot K_c \cdot K_p \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{po}}^{\text{макс}}}{10^5}}} \quad (4.19)$$

де $K_{\text{тв}}$ – коефіцієнт, що визначається з рис. 4.9; K_p – коефіцієнт, що враховує відносну густину середовища ρ_o (відношення густини регульованого середовища при T_1 і P_1 до густини води для середовища “рідина – тверде” чи для середовища “газ - тверде “ при нормальних умовах) і визначається за табл.4.4; $K_T = 293/T_1$ - температурний коефіцієнт; K_c – коефіцієнт, що враховує умови розширення газу і визначається за табл. 4.5 K_p – коефіцієнт тиску, що знаходиться з табл. 4.6.

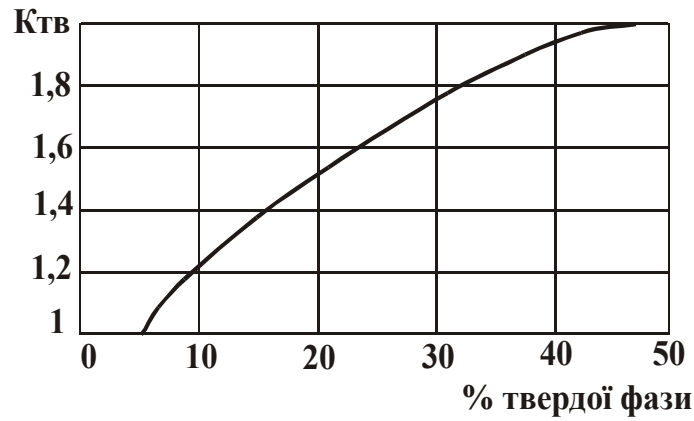


Рис. 4.9. Залежність коефіцієнта $K_{ТВ}$ від вмісту твердої фази.

За знайденим значенням $K_{V \text{ макс}}$ обчислюють умовну пропускну здатність K_{vy} , яка перевищує розрахункове значення на 20%, за формулою:

$$K_{vy} = 1,2 K_{V \text{ макс}} \quad (4.20)$$

Таблиця 4.4. Залежність коефіцієнта K_p від ρ_o

ρ_o	K_p	ρ_o	K_p	ρ_o	K_p	ρ_o	K_p
0,069	3,801	0,15	2,581	0,45	1,489	0,75	1,155
0,070	3,779	0,20	2,240	0,50	1,414	0,80	1,117
0,080	3,535	0,25	2,000	0,55	1,350	0,85	1,081
0,090	3,333	0,30	1,825	0,60	1,290	0,90	1,055
0,100	3,126	0,35	1,688	0,65	1,240	0,95	1,025
0,138	2,691	0,40	1,580	0,70	1,195	1,0	1,000
1,05	0,972	1,40	0,845	2,25	0,664	4,50	0,472
1,10	0,953	1,50	0,817	2,50	0,633	5,00	0,447
1,20	0,923	1,75	0,756	3,00	0,577	-	-
1,30	0,877	2,00	0,707	4,00	0,500	-	-

Таблиця 4.5. Залежність коефіцієнта K_c від відношення теплоємностей C_p/C_v

C_p/C_v	1,001	1,02	1,04	1,08	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8
K_c	1,000	1,005	1,016	1,029	1,038	1,07	1,13	1,182	1,203

Таблиця 4.6. Залежність коефіцієнта K_p від перепаду тиску ΔP_{po}^{max} на РО

$\Delta P_{po}, \% \text{ від } P_1$	50	30	25	20	15	10	5	2
K_p	1,0	0,94	0,9	0,84	0,76	0,65	0,45	0,25

Таблиця 4.7. Умовна пропускна здатність регулювальних органів залежно від типу регулювального органа і його умовного тиску, МПа

Діаметр умовного проходу, мм	Умовна пропускна здатність, м ³ /год							
	Односідельні			Двосідельні				
	1,6	4,0	6,4	1,6	4,0	6,4	10,0	16,0
15	3,2	3,2	3,2	4	4	4	4	4
20	5	5	5	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
25	8	8	8	10	10	10	10	10
40	20	20	20	25	25	25	25	25
50	32	32	32	40	40	40	40	40
65	50	50	50	63	63	63	63	63
80	80	80	80	100	100	100	100	100
100	125	125	125	160	160	160	160	160
125	200	200	200	250	250	250	250	250
150	320	320	320	400	400	400	400	400
200	500	500	500	630	630	630	630	630
250	-	-	-	1000	1000	1000	1000	1000
300	-	-	-	1600	1600	1600	1600	1600

Продовження табл.4.7

Діаметр умовного проходу, мм	Умовна пропускна здатність, м ³ /год									
	Триходові			Шлангові						
	1,6	4,0	6,4	0,1	0,25	0,4	0,6	1,0		
15	3,2	3,2	3,2	12	12	12	12	12		
20	5	5	5	20	20	20	20	20		
25	8	8	8	32	32	32	32	32		
40	20	20	20	80	80	80	80	80		
50	32	32	32	125	125	125	125	125		
65	50	50	50	200	200	200	200	200		
80	80	80	80	320	320	320	-	-		
100	125	125	125	600	600	600	-	-		
125	200	200	200	800	800	800	-	-		
150	400	400	400	1250	1250	1250	-	-		
200	600	600	600	2000	2000	-	-	-		
250	-	-	-	3200	3200	-	-	-		
300	-	-	-	5000	5000	-	-	-		
Діаметр умовного проходу, мм	Умовна пропускна здатність, м ³ /год									
	Діафрагмові					Заслінкові				
	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	0,6	0,6	1,6	2,5	4,0
15	3	3	3	3	3	-	-	-	-	-
20	5	5	5	5	5	-	-	-	-	-
25	8	8	8	8	8	-	-	-	-	-
40	20	20	20	20	20	-	-	-	-	-
50	32	32	32	32	32	60	60	60	60	60
65	5	5	5	5	5	100	100	100	100	100
80	80	80	80	80	80	160	160	160	160	160
100	125	125	125	125	125	250	250	250	250	250

Закінчення табл.4.7

125	200	200	-	-	-	400	400	400	400	400
150	320	320	-	-	-	600	600	600	600	600
200	500	500	-	-	-	1000	1000	1000	1000	1000
250	-	-	-	-	-	1600	1600	1600	1600	1600
300	-	-	-	-	-	2500	2500	2500	2500	2500
400	-	-	-	-	-	4000	4000	4000	4000	4000
500	-	-	-	-	-	600	6000	6000	6000	6000
600	-	-	-	-	-	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	-	-	-
700	-	-	-	-	-	12,5x 10^3	12,5x 10^3	-	-	-
800	-	-	-	-	-	$16 \cdot 10^3$	-	-	-	-
900	-	-	-	-	-	$2 \cdot 10^4$	-	-	-	-
1000	-	-	-	-	-	$2,5 \cdot 10^4$	-	-	-	-

Користуючись табл.4.7, беруть найближче більше значення K_{vy} , вибирають характеристику РО і визначають діаметр умовного проходу D_y .

Після вибору РО перевіряють вплив в'язкості рідини на пропускну здатність, тому що збільшення в'язкості середовища, що проходить через РО, вище деякої межі може спричинити зменшення пропускну здатності. Поправочний коефіцієнт на вплив в'язкості залежить від виду РО і числа Re потоку через РО. Число Re , що віднесене до обраного проходу РО, знаходять за формулою (4.7). Якщо $Re > 2000$, то обирають РО з раніше визначеною пропускну здатністю K_{vy} з подільшою перевіркою на можливість виникнення кавітації. Якщо $Re < 2000$, то визначають поправочний коефіцієнт ϵ на вплив в'язкості рідини з рис. 4.10.

Значення пропускну здатності K_{vy1} з урахуванням в'язкості рідини знаходять за формулою

$$K_{vy1} = 1,2 \varepsilon K_{v \text{ макс}} \quad (4.21)$$

Якщо для попередньо обраного РО $K_{vy1} \leq K_{vy}$, вибір вважають закінченим.

При $K_{vy1} > K_{vy}$ наново обирають РО із значенням K_{vy} , найближчим більшим до K_{vy1} , згідно табл.4.7 і знову визначають Re_y , ε і K_{vy1} з перевіркою зазначених умов. При перевірці можливості виникнення кавітації визначають коефіцієнт кавітації $K_{кав}$ і перепад тиску $\Delta P_{кав}$, при якому виникає кавітація, за формулами:

$$\xi_y = 25,4 F_y^2 / K_{vy}^2; \quad (4.22)$$

$$\Delta P_{кав} = K_{кав} (P_1 - P_n), \quad (4.23)$$

де $F_y = 0,785 D_y^2$ – площа перерізу вхідного патрубку РО, $см^2$; P_1 – абсолютний тиск перед РО, $Н/м^2$; P_n – абсолютний тиск насичених парів рідини при температурі T_1 , $Н/м^2$.

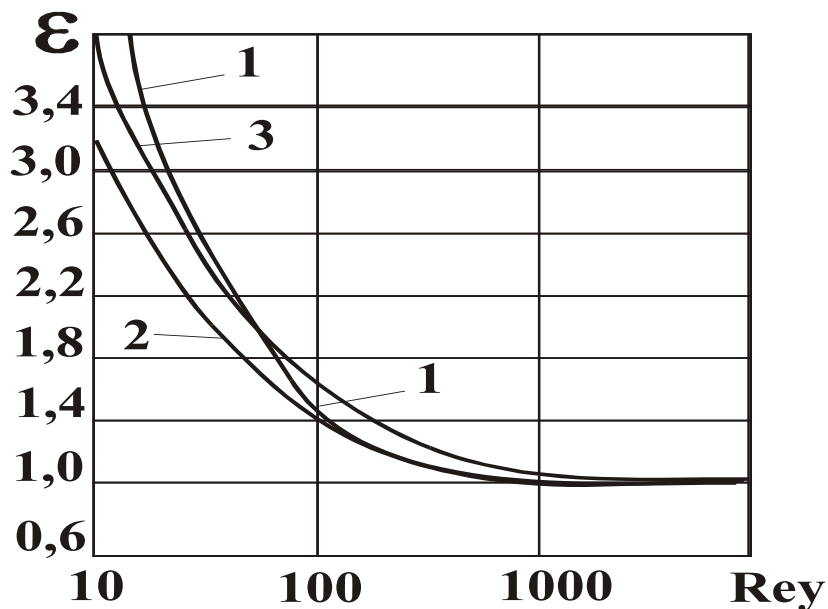


Рис. 4.10. Поправочний коефіцієнт ε для умови повного відкриття РО: 1 – двосідельний клапан; 2 – односідельний клапан; 3 – заслінка з кутом повороту $\alpha_y=60^\circ$

Коефіцієнт $K_{\text{кав}}$ визначають з рис. 4.11.

Перевіряється умова

$$\Delta P_{\text{po}} \leq \Delta P_{\text{кав}} . \quad (4.24)$$

Якщо вона виконується, то обирають РО з раніш знайденою умовною пропускною здатністю K_{vy} . Якщо умова не виконується ($\Delta P_{\text{po}} > \Delta P_{\text{кав}}$), то обирають РО з найближчим більшим K_{vy} , згідно табл. 4.7, для якого знову визначають ξ_y , $K_{\text{кав макс}}$ з рис. 4.11 (крива 3) і максимальний перепад тиску $\Delta P_{\text{кав макс}}$, при якому припиняється приріст витрати, за формулою:

$$\Delta P_{\text{кав макс}} = K_{\text{кав макс}} (P_1 - P_H) . \quad (4.25)$$

За отриманим значенням $\Delta P_{\text{кав макс}}$ знаходять пропускну здатність $K_{vy \text{ кав}}$ за допомогою рівнянь (4.9) і (4.10), а потім перевіряють умову для заново обраного K_{vy} :

$$1,2 K_{vy \text{ кав}} \leq K_{vy} . \quad (4.26)$$

Якщо умова (4.26) виконується, то заново обраний РО забезпечить задану максимальну витрату в умовах кавітації і вибір РО за пропускною здатністю вважається закінченим. Якщо не виконується, беруть інший РО з іще більшим значенням K_{vy} і розрахунки за формулами (4.22) - (4.26) повторюють.

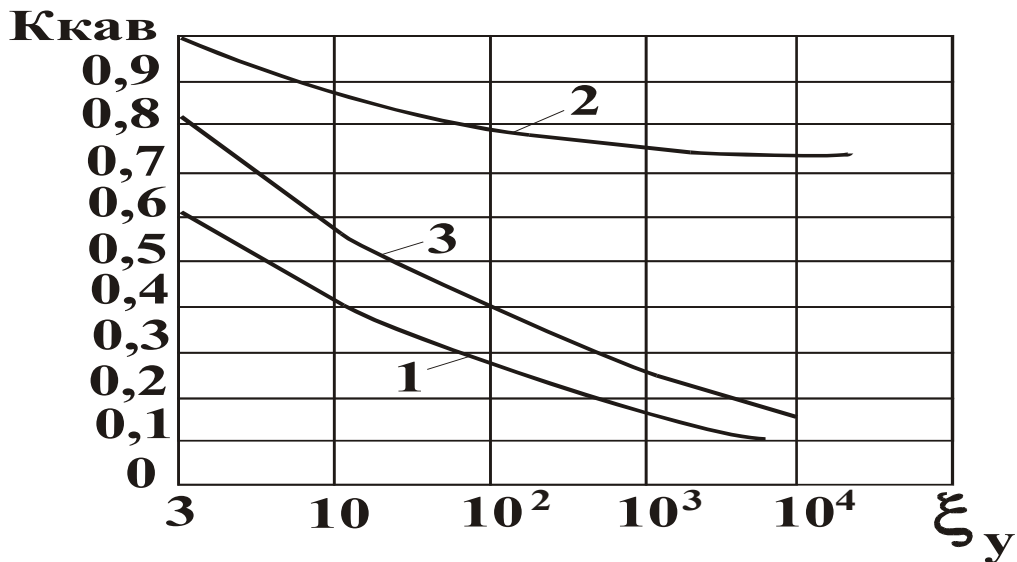


Рис. 4.11. Залежність коефіцієнта кавітації $K_{\text{кав}}$ і $K_{\text{кав макс}}$ від ξ_y : 1 - $K_{\text{кав}}$ для одно – і двосідельних РО при подачі середовища на затвор; 2- $K_{\text{кав}}$ і $K_{\text{кав макс}}$ для одно-і двосідельних РО при подачі середовища під затвор; 3 - $K_{\text{кав макс}}$ для одно- і двосідельних РО при подачі середовища на затвор.

Діапазон переміщення РО з урахуванням поправки на в'язкість для рідини визначають у такій послідовності.

Знаходять відношення n при максимальній витраті за рівнянням:

$$n = \Delta P_n / \Delta P_{po}^{\text{макс}} . \quad (4.27)$$

Якщо $K_{vy} > K_v^{\text{макс}}$, то уточнюють значення n за формулою:

$$n' = n [K_{vy} / (\varepsilon K_{v\text{макс}})]^2 . \quad (4.28)$$

Уточнюють перепад тиску на РО за рівнянням:

$$\Delta P_{\text{роу}} = \Delta P_c / (n' + 1) . \quad (4.29)$$

За значенням $\Delta P_{\text{роу}}$ і прийнятим значенням K_{vy} знаходять уточнене значення максимальної витрати через РО $V'_{\text{макс}}$ ($M'_{\text{макс}}$) за рівнянням:

$$V'_{\text{макс}} = K_{\text{vy}} / (36 \cdot 10^3 \varepsilon \sqrt{\rho / \Delta P_{\text{роу}}}) \quad (4.30)$$

$$M'_{\text{макс}} = K_{\text{vy}} \sqrt{\rho / \Delta P_{\text{роу}}} / 36 \cdot 10^3 \varepsilon \quad (4.31)$$

Для газів, пари та рідини без урахування поправки на в'язкість значення $V'_{\text{макс}}$ ($M'_{\text{макс}}$) знаходять за формулами:

$$V'_{\text{макс}} = V_{\text{макс}} K_{\text{vy}} / K_{\text{vмакс}}; \quad (4.32)$$

$$M'_{\text{макс}} = M_{\text{макс}} K_{\text{vy}} / K_{\text{vмакс}} \quad (4.33)$$

Визначають відносні значення витрат $\varphi_{\text{макс}}$ і $\varphi_{\text{мін}}$ за формулами

$$\varphi_{\text{макс}} = V_{\text{макс}} / V'_{\text{макс}}; \quad (4.34)$$

$$\varphi_{\text{мін}} = V_{\text{мін}} / V'_{\text{мін}} . \quad (4.35)$$

Обирають форму пропускнуої характеристики РО на підставі наведених рекомендацій і знаходять діапазон $\Delta S(\Delta \alpha)$ переміщень (зміни кута повороту) РО для визначеної величини n' за рис. 4.12 – 4.16.

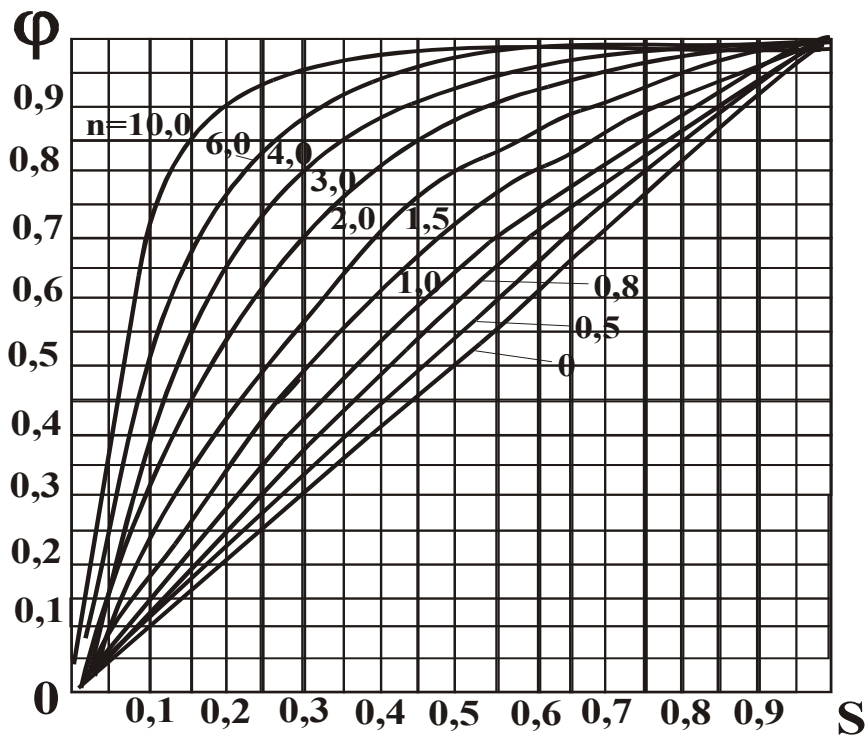


Рис. 4.12. Витратні характеристики РО з лінійною пропускнуою характеристикою

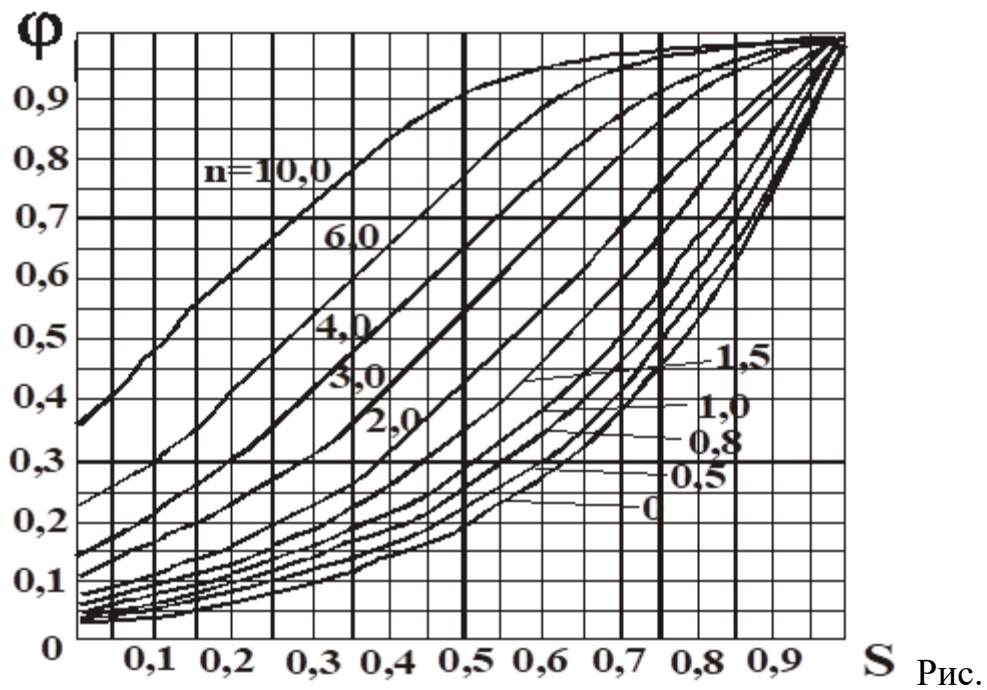


Рис. 4.13. Витратні характеристики РО з рівновідсотковою пропускнуою характеристикою

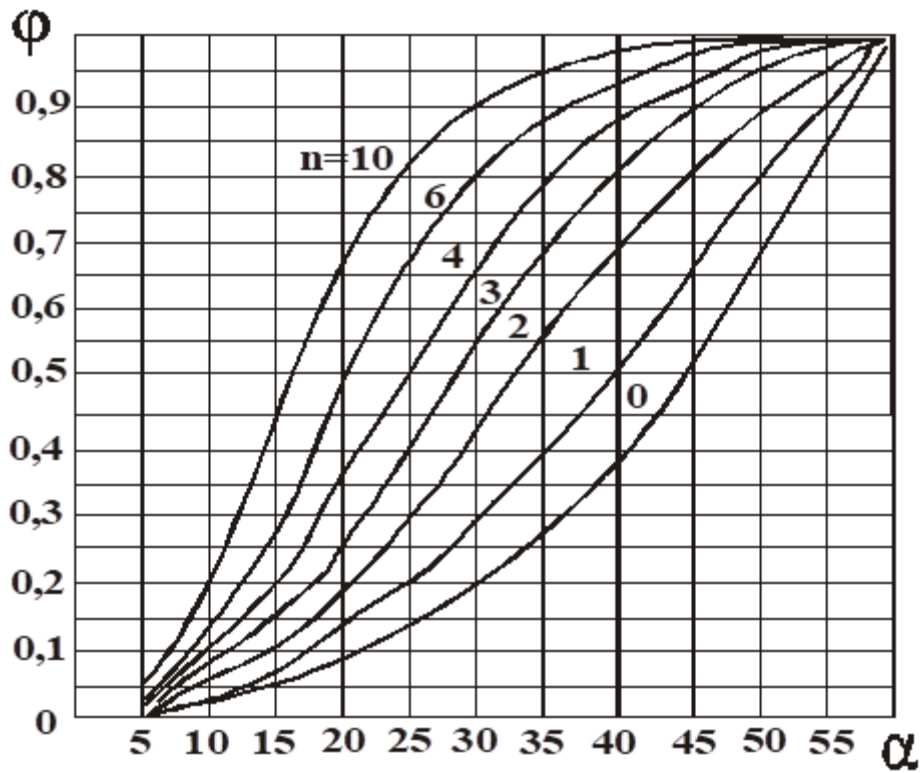


Рис. 4.14. Витратна характеристика заслінкового РО від кута повороту α .

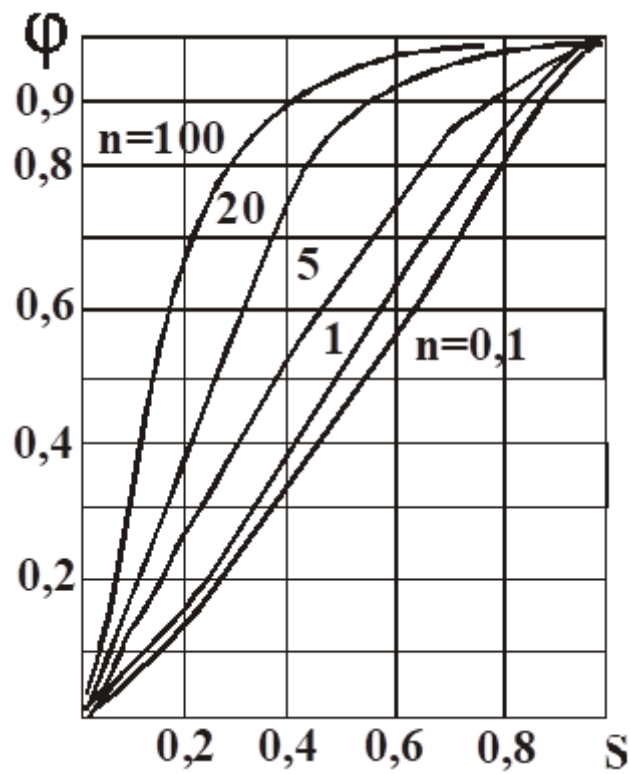


Рис. 4.15. Витратна характеристика шлангового РО

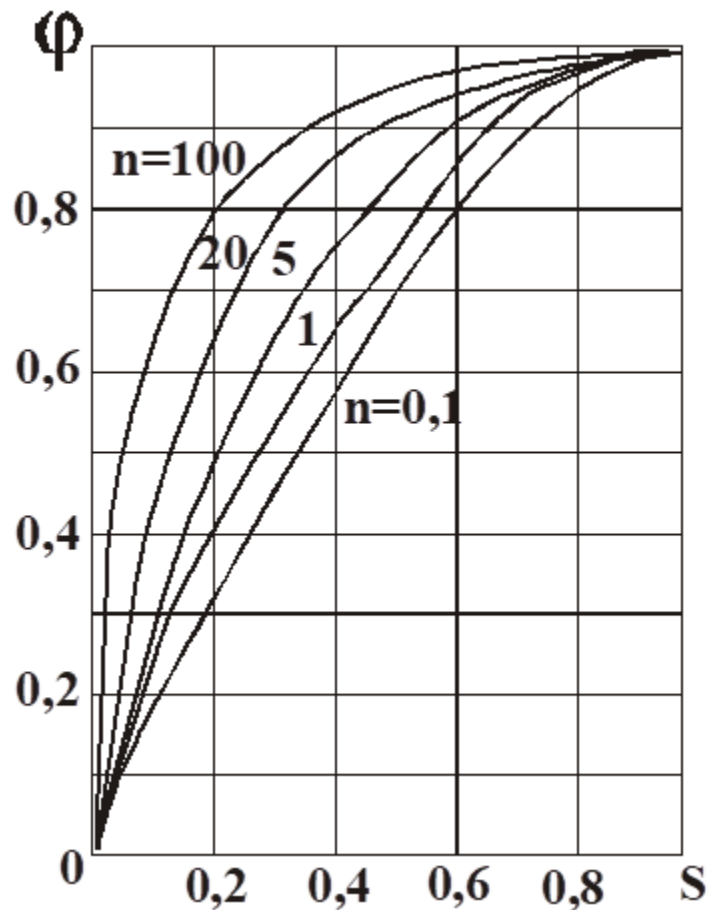


Рис. 4.16. Витратна характеристика діафрагмового РО

Коефіцієнти передачі для максимального $(d\phi/dS)_{\text{Макс}}$ і мінімального $(d\phi/dS)_{\text{Мін}}$ навантажень РО визначають з рис. 4.17 - 4.19.

На рис. 4.17 - 4.19 лінії I, II, III позначають залежність відносної витрати ϕ від коефіцієнта передачі $d\phi/dS$ при $n = 0$ для ИУ з лінійною (I) і рівновідсотковою (II) пропускними характеристиками та для заслінкових ВП (лінія III).

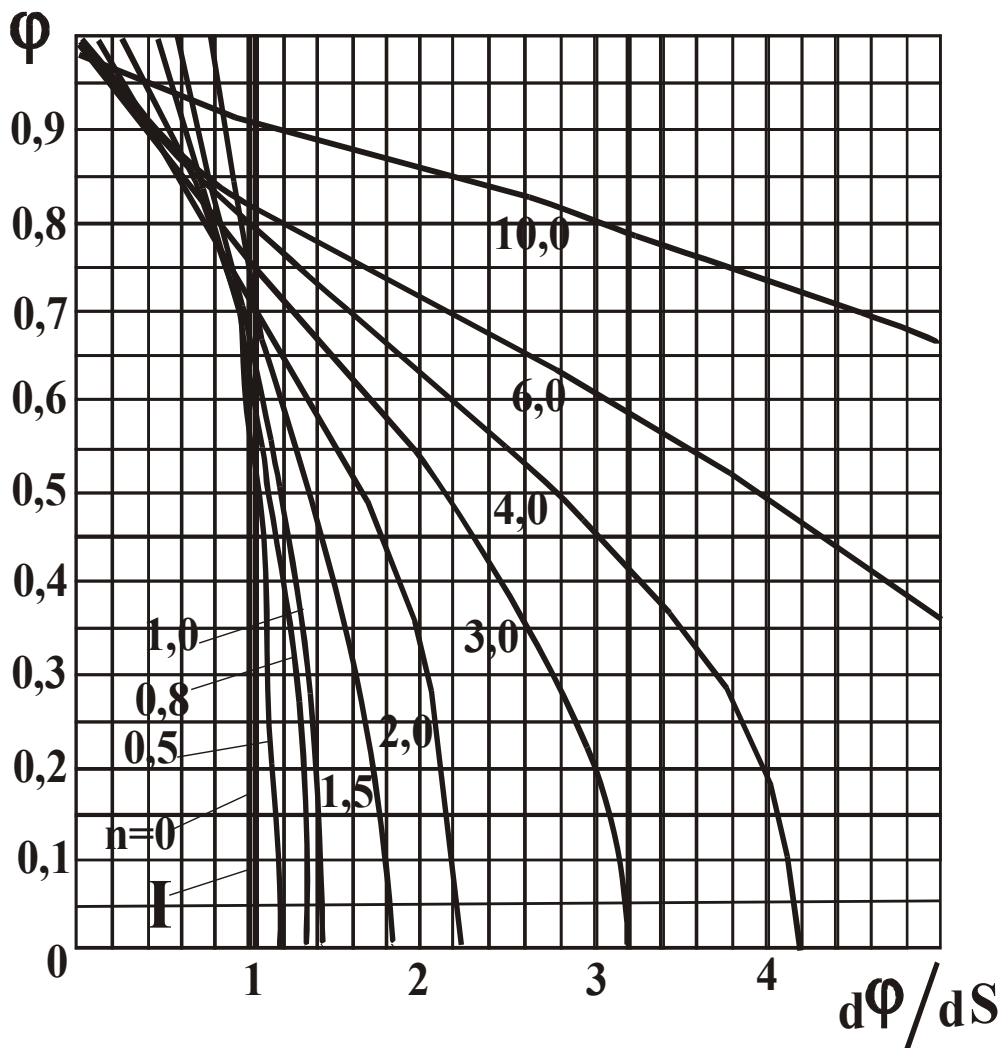


Рис. 4.17. Значення коефіцієнта передачі РО з лінійною пропускною характеристикою

Розрахунок перестановочного зусилля передбачає застосування даних, отриманих при виборі регулюючого органа. Загальна формула визначення перестановочного зусилля $N_{пс}$, для переміщення РО має вигляд:

$$N_{пс} = n(N_c + N_d + N_{ш} + N_{тр}), \quad (4.36)$$

де $n = 1,2...1,3$ – коефіцієнт запасу, що враховує масу рухомих деіалей; N_c , N_d , $N_{ш}$ і $N_{тр}$ – відповідно зусилля статичної і динамічної невірноваженості, тиску середовища на шток і сила тертя в сальнику і напрямних, Н.

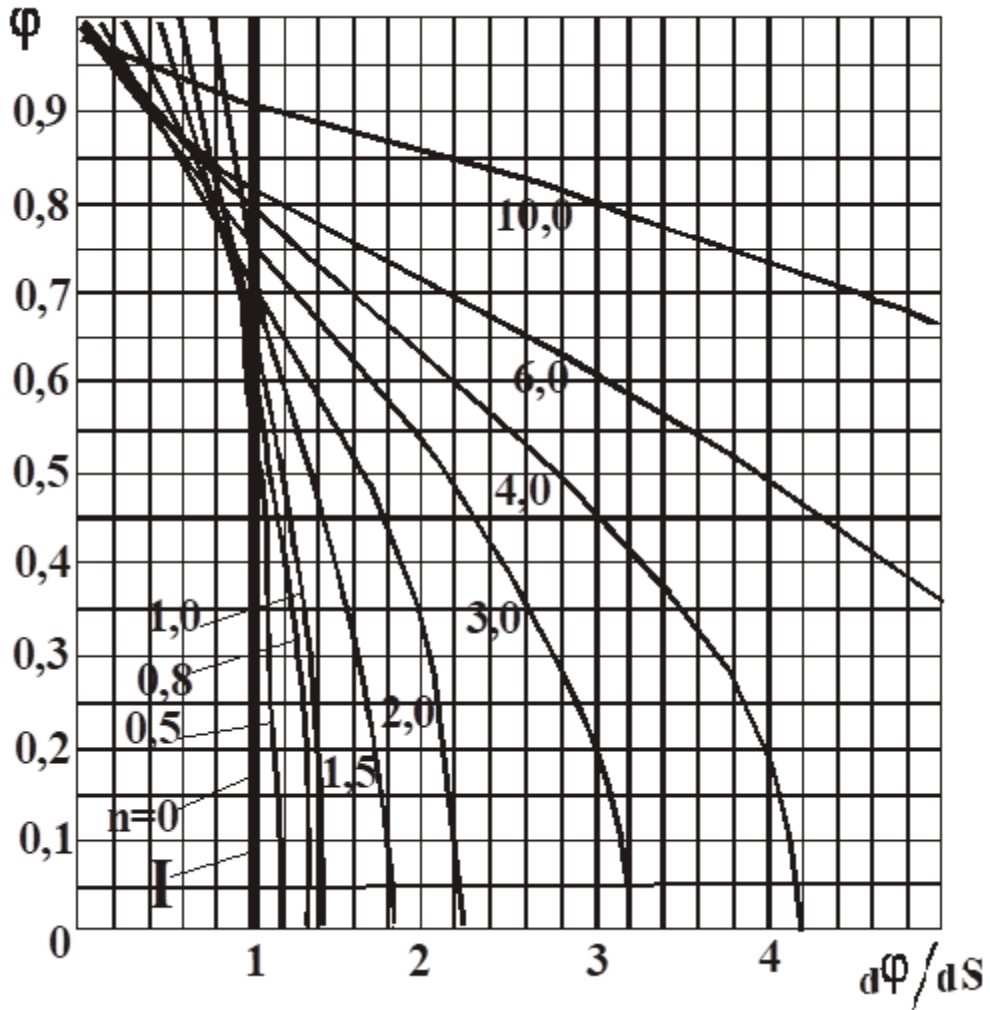


Рис. 4.18. Значення коефіцієнта передачі РО з рівновідсотковою пропускною характеристикою

Зусилля N_c визначають за такими рівняннями:

для двосідельних РО

$$N_c = \Delta P_{po}^{\text{макс}} \Delta F_c \quad . \quad (4.37)$$

для односідельних РО

$$N_c = \Delta P_{po}^{\text{макс}} \Delta F_z \quad , \quad (4.38)$$

де ΔP_{po}^{max} – перепад тиску на РО, Н/м²; ΔF_c – різниця площ верхнього і нижнього сідел, значення якої наведено в табл. 4.8;

$\Delta F_3 = 0,785 (D_3^2 - d_{ш}^2)$ – неврівноважена площа затвору (D_3 – зовнішній діаметр затвору, $d_{ш}$ – діаметр штока), м².

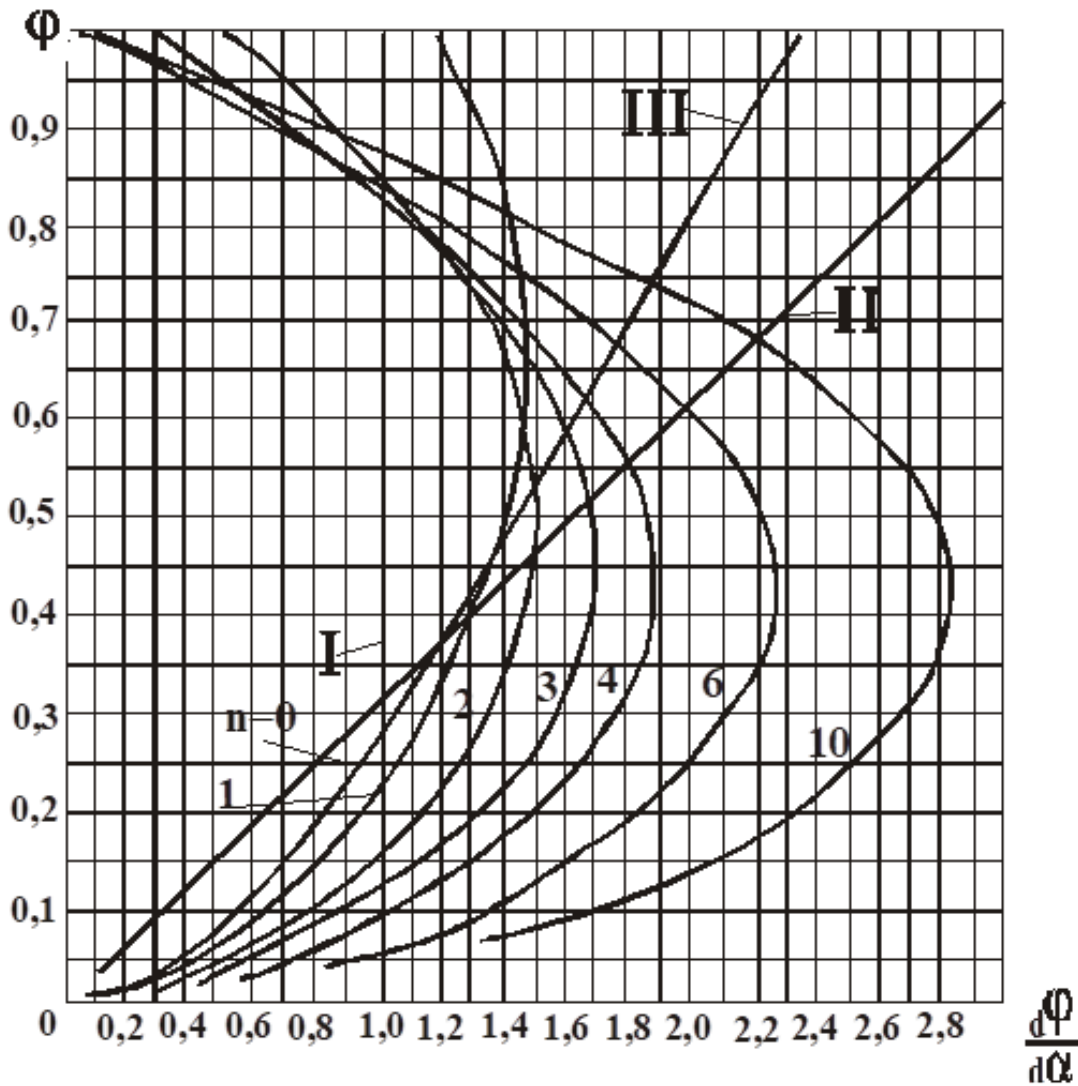


Рис. 4.19. Значення коефіцієнта передачі заслінкового РО

Таблиця 4.8. Функціональна залежність ΔF_c і $d_{ш}$ від діаметра умовного проходу для двосідельних РО.

Умовний прохід	15	32	65	100	200
D_y , мм	20	40		125	250
	25	50	80	150	300
Різниця площ					
ΔF_c , см ²	0,7	1,2	2,0	5,0	20,0
Діаметр штока					
$d_{ш}$, мм	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0

У розрахунках можна приблизно взяти D_3 однаковим з діаметром сідла D_c . При цьому значення $D_c = D_y$ знаходять з табл. 4.7 для РО. Значення S_y умовного ходу для тарілчастого затвора визначають із рівняння

$$S_y = (0,3...0,4) D_c \quad (4.39)$$

Для тарілчастого (пробкового і поршневого) затвора з конічною опорною поверхнею S_y знаходять із виразів

$$1 = 1,42 \left[\frac{2S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right]; \quad (4.40)$$

$$1 = 1,5 \left[\frac{2,3S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right]. \quad (4.41)$$

Рівняння (4.40) і (4.41) справджуються при конусності кутів відповідно $\delta = 90^\circ$ і 120° .

Для конічного затвора з конусністю кутів відповідно 120° , 90° , 60° і 30° S_y визначають з наступних рівнянь:

$$1 = 1,5 \left[\frac{2,3S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right]; \quad (4.42)$$

$$1 = 1,42 \left[\frac{2S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right]; \quad (4.43)$$

$$1 = 0,867 \left[\frac{2,3S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right]; \quad (4.44)$$

$$1 = 0,26 \left[\frac{2,3S_y}{D_c} + \left\langle \frac{S_y}{D_c} \right\rangle^2 \right]. \quad (4.45)$$

Величину S_y , отриману з виразів (4.40) - (4.45), округлюють до найближчої більшої величини зі стандартного ряду: 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 200; 400мм.

Зусилля N_d відповідно для односідельних тарілчастого (поршневого), тарілчастого з конічною опорною поверхнею, конічного і пробкового (профільованого) затворів знаходять із рівнянь:

$$N_d = F_c \frac{\omega_{cp}^2}{2} \rho \left[2,5 + \left(\frac{D_c}{2,45S_y} \right)^2 \right]; \quad (4.46)$$

$$N_d = F_c \frac{\omega_{cp}^2}{2} \rho \left[1,05 + \left(\frac{D_c}{3,65 S_y} \right)^2 \right]; \quad (4.47)$$

$$N_d = F_c \frac{\omega_{cp}^2}{2} \rho \left[0,38 + \left(\frac{D_c}{2,72S_y} \right)^2 \right]; \quad (4.48)$$

$$N_d = F_c \frac{\omega_{cp}^2}{2} \rho \left[0,96 + \left(\frac{D_c}{4,6 S_y} \right)^2 \right], \quad (4.49)$$

де F_c – площа проходу сідла, m^2 ; ω_{cp} – середня швидкість потоку середовища через РО, m/c ; ρ – густина середовища, kg/m^3 .

Для двосідельних РО зусилля N_D і N_{TR} важко враховувати. Тому значення пересувного зусилля, що визначається також сумою сил N_C і N_{III} , вибирають з деяким запасом, звичайно з коефіцієнтом запасу 1,5.

Зусилля від тиску на шток

$$N_{III} = 0,785 d_{III}^2 P_2, \quad (4.50)$$

де P_2 – максимальний вихідний тиск за клапаном, H/m^2 .

Перестановочний момент $M_{ПС}$ ($H \cdot m$), необхідний для обертання затвора заслінкового РО з урахування сил тертя, визначають за формулою

$$M_{ПС} = 2 m D_D^3 \Delta P_{РО}, \quad (4.51)$$

де D_D – діаметр диску заслінки, m ; $\Delta P_{РО}$ – перепад тиску на диску, H/m^2 ; m – коефіцієнт, що залежить від кута повороту диску α і який визначають за графіком (рис. 4.20). Діаметр D_D і товщину δ круглої поворотної заслінки з упорами визначають за формулами

$$D_D = 0,95 D_y, \delta = 0,02 D_y. \quad (4.52)$$

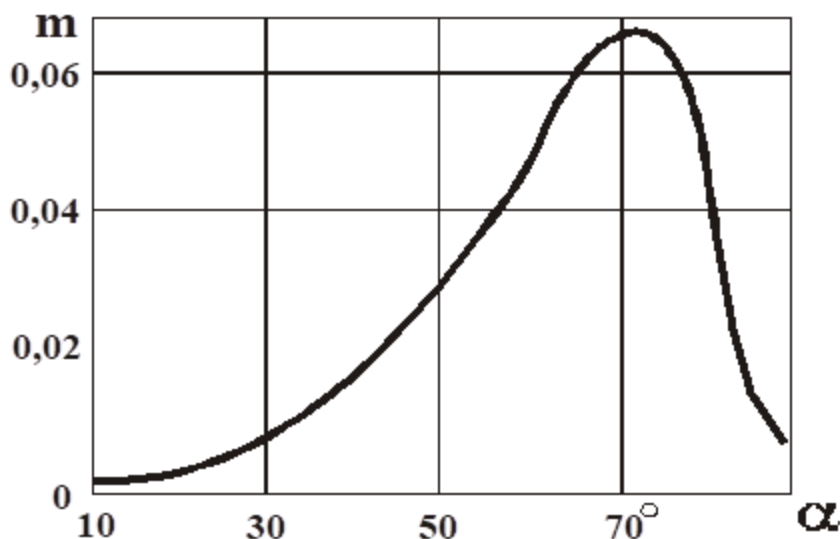


Рис. 4.20. Залежність коефіцієнта m від кута повороту заслінки α

Найбільше зусилля для переміщення шиберів у положення мінімального відкриття знаходять за рівнянням

$$N_{\text{ш}}^{\text{ш}} = 1,5 (K \Delta P_{\text{po}} F + G), \quad (4.53)$$

де F – площа рухомої частини шибера, на яку діє перепад тиску, м^2 ; G – вага рухомої частини, Н ; K – коефіцієнт тертя (для чавуна по чавуну - 0,15; для чавуна по сталі – 0,18; для сталі по чавуну – 0,14) ; ΔP_{po} – перепад тиску на шибері, $\text{Н}/\text{м}^2$.

Вибір виконавчих механізмів (ВМ) згідно з розрахунковим значенням перестановочного зусилля чи моменту здійснюється за табл. 4.9 – 4.11. При цьому перерахунок перестановочного моменту $M_{\text{пу}}$, що утворюється ИМ, у перестановочне зусилля $N_{\text{пу}}$ можна виконати за формулою

$$M_{\text{пу}} = N_{\text{пу}} r , \quad (4.54)$$

де r – радіус важеля ВМ, м .

Таблиця 4.9. Характеристики прямохідних електродвигунних ВМ типу МЕР

Перестановочне зусилля $N_{\text{пу}}$, Н	Час робочого ходу штока T_c , с	Робочий хід вихідного елемента, мм	Розгін (не більше)	Вибіг (не більше)	Люфт (не більше), мм
63; 160; 400	16; 40; 100	10; 40	1%повного ходу штока при $T_c=16\text{с}$; 0,5% повного ходу при $T_c>16\text{с}$	1%повного ходу штока при $T_c=16\text{с}$; 0,5% повного ходу при $T_c>16\text{с}$	0,2
1000; 2500	16; 40; 100; 250	25; 100			
6300; 16000	40; 100; 250	63; 250			0,5

Таблиця 4.10. Характеристики багатооборотних електродвигунних ВМ типу МЕР

Перестановочний момент $M_{пу}$, Н·м	Час одного оберту вала T_c , с	Робочий хід вихідного елемента, мм	Розгін (не більше)	Вибіг (не більше)	Люфт (не більше), град
6,3	1; 2,5	10; 25; 63 мм (за 160 оборотів)	50° при $T_c=1$ с; 20 при $T_c>1$ с	50 пр $T_c=1$ с; 20 при $T_c>1$ с	3
16	1; 2,5; 6,3				
40; 10	1; 2,5; 6,3; 16				
250	2,5; 6,3; 16				
630	6,3; 16				
1600	16				

Таблиця 4.11 Характеристика однооборотних електродвигунних ВМ типу МЕР

Перестановочний момент $M_{пу}$, Н·м	Час одного оберту T_c , с	Кут повороту вихідного елемента, град	Розгін (не більше)	Вибіг (не більше)	Люфт (не більше), град
6,3	40; 100	0-90	1° при $T_c = 40$ с;	1° при $T_c= 40$ с;	1
16; 40	40; 100; 250				
100; 250; 630; 1000	40; 100; 250; 630	0-240	30' при $T_c > 40$ с;	30' при $T_c > 40$ с;	
4000	100; 250; 630				
10000	250; 630				

Розрахунок площі відкритого перерізу та профілю затвора регулюючих клапанів здійснюється у відповідності з отриманою формою пропускної характеристики РО. Найчастіше в РО при регулюванні застосовуються пробкові й поршневі затвори, що мають два типи профілю – стрижневий і порожнистий. Вихідними даними для розрахунку профілю затвора є: залежність коефіцієнта опору РО від ступеня відкриття $\xi_{po}=f(l)$; умовний хід штока (затвора) S_y ; діаметр сідла D_c .

Коефіцієнт опору РО залежно від ступеня його відкриття $L_x=S/S_y$ знаходять за рівнянням

$$\xi = \xi_{po}^{max} \left(\frac{1}{L_x}\right)^2, \quad (4.55)$$

де $L_x=0\dots 1$.

Коефіцієнт ξ_{po}^{max} визначається за експериментальними характеристиками чи приблизно з умови

$$\xi_K \leq 0,9 \xi_{po}^{max}, \quad (4.56)$$

яка визначає нормальну роботу РО. Коефіцієнт ξ_K опору корпусу для одно- і двосідельних плунжерних РО орієнтовно можна вибрати з табл. 4.15.

Встановлюють масштаб, у якому буде побудований профіль затвора РО (звичайно 10:1), і проводять вісь затвора, по один бік якої проводять паралельну лінію на відстані $D_c/2$ у обраному масштабі. На цій лінії вибирають відрізок, що дорівнює S_y . Цей відрізок далі розбивають на рівні частини (звичайно 10 чи 5), що відповідають ступеню відкриття L регулюючого органу.

Таблиця 4.12. Перестановочне зусилля $N_{пу}$, яке розвивають мембранні ИМ типу МИМ, кН

Тип	Елемент механізму, що розвиває зусилля		Діаметр забиття мембрани D_m , мм					
			160	200	250	320	400	500
1	2		3	4	5	6	7	8
МИМ прямої і зворотної дії	Вихідна ланка	На початку ходу	3,5	5,6	9,0	14	22,5	35,5
		У кінці ходу	2,4	3,75	6,0	9,5	15,0	23,5
	Пружина	Попередньо стиснута	0,32	0,5	0,8	1,25	2,0	3,15
		Стиснута на величину робочого ходу	1,6	2,5	4,0	6,3	10,0	16,0
МИМ прямої дії	Вихідна ланка	На початку ходу	3,75	6,0	9,5	15	23,5	37,5
		У кінці ходу	3,35	5,3	8,5	13,2	21,2	33,5
	Пружина	Попередньо стиснута	0,2	0,32	0,5	0,8	1,25	2,0
		Стиснута на величину робочого ходу	0,6	0,95	1,5	2,4	3,75	6,0
МИМ зворотньої дії	Вихідна ланка	На початку ходу	2,0	3,15	5,0	8,0	12,5	20,5
		У кінці ходу	0,8	1,25	2,0	3,15	5,0	8,0
	Пружина	Попередньо стиснута	2,0	3,0	4,5	7,5	11,8	18
		Стиснута на величину робочого ходу	4,0	5,0	8,0	12,5	20	31,5

Для кожного з перерізів L_x будують криву Y твірних, яка задається рівнянням:

$$Y^2 = \left(\frac{f_{PO}}{\pi} \right)^2 \frac{I}{(D_c - x)^2} - x^2, \quad (4.57)$$

де f_{po} – площа відкритого перерізу для відповідного ступеня L_x відкриття РО, мм²; x – відстань від лінії $D_c/2$ до твірної профілю, мм.

Значення f_{po} визначають з рівняння

$$f_{po} = m_p F_{po}, \quad (4.58)$$

де $m_p=0\dots 1$ – відносний прохідний переріз РО; $F_{po} = \frac{\pi D_y^2}{4}$ – площа перерізу на вході у РО.

Таблиця 4.13. Характеристика поршневих прямоходних пневмоциліндрів.

Параметр	Діаметр поршня D_p , мм				
	50	100	125	160	200
Статичне зусилля на штоку при максимальному тиску N_{pc} , Н (не менше):					
Штовхаюче	1590	6750	10600	18100	28400
Тягове	1390	6350	9900	17000	27200
Швидкість переміщення штока, м/с (не більше)	1				0,5
Тиск початку руху без навантаження, МПа (не більше)	0,025			0,02	

Таблиця 4.14. Характеристика поршневих поворотних пневмодвигунів типу ПДП

Модифікація	Престановочний момент Мпс при номінальному тиску, Н·м	Мінімальний тиск, МПа	Кут повороту вала двигуна, град
ПДП.1 – 10.040.180	10	1	180
ПДП.2 – 80.063.180	80		

Таблиця 4.15. Залежність коефіцієнта ξ_k від діаметра Ду умовного проходу РО

Ду, мм	25	50	80	100	150 і більше
ξ_k	2,4	2,9	4,3	4,9	5,5

Значення m_p знаходять за формулою:

$$m_p = \frac{1}{\alpha_k \sqrt{\xi_{s_0} + 1}}, \quad (4.59)$$

де α_k – коефіцієнт витрати відкритого перерізу РО; $\xi_{s_0} = \xi_{po} - \xi_k$ – коефіцієнт опору відкритого перерізу РО.

Оскільки m_p і α_k взаємозалежні, розрахунок m_p виконують методом послідовних наближень. Початково задають величину m_3 і за графіком з рис. 4.21 знаходять значення α_k . Знайдене значення α_k підставляють у формулу (4.59) і обчислюють m_p . Якщо задане m_3 збіглося з розрахунковим m_p , то розрахунок припиняють, а якщо ні – задаються іншим значенням m_3 і розрахунок повторюють до забезпечення збіжності.

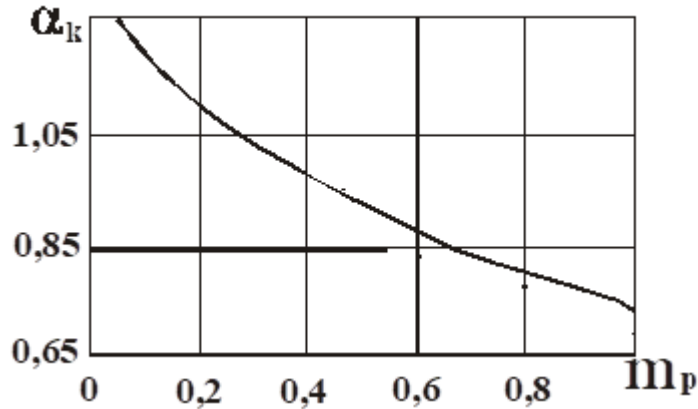


Рис. 4.21. Залежність α_k для РО з профільованим затвором від m_p

Для двосідельних РО площа відкритого перерізу

$$f_{po} = \frac{m_p F_{po}}{2}, \quad (4.60)$$

Перевіряють співвідношення:

$$u = \frac{Y_0}{X_0} \geq 0,9, \quad (4.61)$$

де Y_0 – ордината при $X=0$, що визначається з рівняння (4.57); X_0 – абсциса при $Y=0$.

Якщо умова (4.61) виконується, то крива з достатньою точністю замінюється колом, радіус якого дорівнює:

$$r = \frac{(X_0 + Y_0)}{2}. \quad (4.62)$$

Проведена обвідна побудованих кривих (X, Y) і буде профілем плунжера.

У порожнистих плунжерах витрата регулюється зміною площини вікон плунжера для проходження потоку. Розрахунок площі вікна зводиться до визначення його ширини H залежно від ступеня відкриття L . Ширина вікна в перерізі, що розглядається, мм:

$$L_k = \frac{2(f_{po.k} - f_{po.k-1})}{ab} \cdot L_{k-1}, \quad (4.63)$$

де $f_{po.k}$ – площа відкритої частини вікна в перерізі, що розглядається, мм^2 ; $f_{po.k-1}$ – площа відкритої частини вікна в попередньому перерізі, мм^2 ; a – відстань між перерізами, мм ; b – кількість вікон на плунжері; L_{k-1} – ширина вікна в попередньому перерізі, мм .

За отриманими точками викреслюють криву, яка являтиме собою профіль вікна.

Розрахунок зчленувань виконавчих механізмів з регулюючими органами передбачає визначення типу і конструкції РО та ВМ, взаємне їх розміщення, характер переміщення РО, конкретні умови об'єкта регулювання.

Найчастіше застосовують два типи зчленування: безпосереднє та жорстке. У схемах безпосереднього зчленування переміщення вихідного пристрою ВМ і рухомої частини РО однакові, а швидкості рівні. Такий вид зчленування частіше застосовують при компонованні РО з багатооборотними (рідше однооборотними) електродвигунними, пневматичними і гідравлічними ВМ. При цьому забезпечується лінійність зв'язку ВМ з РО та коефіцієнт передачі $K_c=1$.

Найбільшого поширення набули зчленування другого типу, що забезпечують нелінійність зв'язку РО і ИМ. Ці зчленування дають змогу завдяки нелінійності зв'язку змінювати (виправляти) витратну характеристику РО, а також розширювати границі взаєморозміщення РО і ВМ. На рис.4.22 показано дві схеми зчленування РО і ВМ.

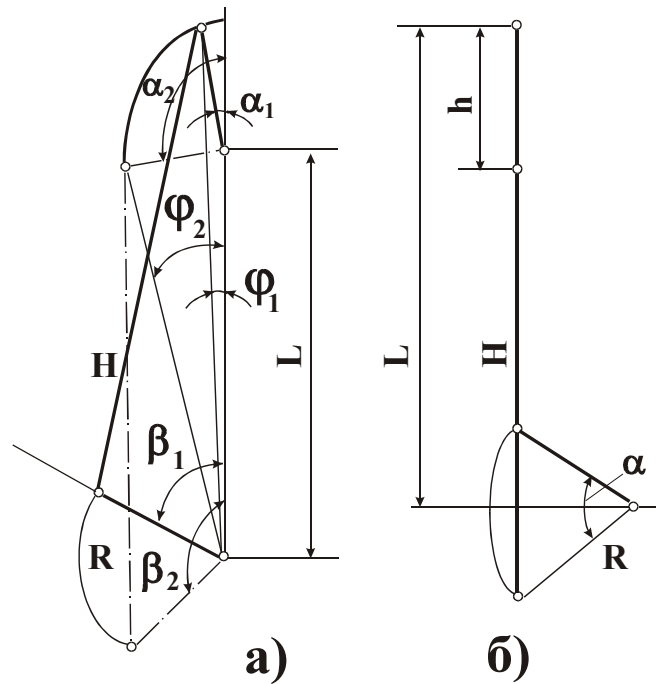


Рис. 4.22. Кінематична схема зчленування ВМ і РО: а – при обертальному русі рухомої частини РО і вихідного пристрою ВМ; б – при обертальному русі рухомої частини РО і поступальному русі вихідного пристрою ВМ

Розрахунок зчленування, зображеного на рис. 4.22а, зводиться до визначення довжини R важеля РО і довжини з'єднувальної тяги H . Вихідними даними є: довжина r важеля ВМ, відстань L між осями РО і ВМ, повний кут повороту $(\alpha_1 - \alpha_2)$ вала ВМ і повний кут повороту $(\beta_1 - \beta_2)$ вала РО. Довжина R і H визначаються за формулами:

$$R = \frac{A^2 - B^2}{2[A \cos(\beta_1 - \alpha_1) - B \cos(\beta_2 - \alpha_2)]}; \quad (4.63)$$

$$H = \sqrt{R^2 + A^2 - 2R \cos(\beta_1 - \alpha_1)}. \quad (4.64)$$

Величину A визначають з системи рівнянь:

$$A = \sqrt{r^2 + L^2 + 2rL \cos \varphi_1}; \quad (4.65)$$

$$A = r \frac{\sin \varphi_1}{\sin \alpha_1}. \quad (4.66)$$

Величину В знаходять з системи рівнянь за формулами:

$$B = \sqrt{r^2 + L^2 + 2rL \cos \varphi_2}; \quad (4.67)$$

$$B = r \frac{\sin \varphi_2}{\sin \alpha_2}. \quad (4.68)$$

При $(\alpha_1 - \alpha_2) = (\beta_1 - \beta_2) = 90^\circ$ величина

$$R = r \frac{\sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{1,414}. \quad (4.69)$$

Звичайно величина $\varphi_1 = 10^\circ$. Тоді рівняння (4.69) буде мати наступний вигляд:

$$R = 0,8197r. \quad (4.70)$$

Цей вид механічного зв'язку широко застосовується для з'єднання регулюючих клапанів з електричними ВМ. На рис. 4.23 зображено найпоширеніші випадки такого механічного зв'язку.

Для цих схем кут повороту α кривошипа ВМ слід взяти 90° , тоді довжина важеля РО визначиться рівнянням:

$$R = c \frac{mr}{S_y}, \quad (4.71)$$

де c – коефіцієнт, що залежить від витратної характеристики РО ($C=1,4$ – при лінійній і $C=1,2$ – при нелінійній); m – задана відстань між віссю обертання

важеля РО і пальцем, що скріплює шток і важіль, мм; r – довжина кривошипа, мм; S_y – робочий хід РО, мм.

Для виконання зчленувань без лінеаризації характеристики РО важіль встановлюють у положення, при якому РО має $L_x=0,5$, тобто шток піднятий на $0,5S_y$. У цьому разі важіль перпендикулярний до штока. Далі ВМ встановлюють так, щоб коло радіусом r , описане кінцем кривошипа, торкалося перпендикулярно до кінця важеля в положенні РО $L_x=0,5$. Кривошип встановлюють паралельно важелю, і у цьому положенні їх з'єднують тягою. Залежно від розміщення обладнання (РО і ВМ) зчленування можна виконати як пряме (рис.4.23а), так і зворотне (рис. 4.23б). Відстань S між осями обертання важеля і кривошипа відповідно для прямого і зворотного зчленувань визначається за формулами:

$$S = R - r; \quad (4.72)$$

$$S = R + r. \quad (4.73)$$

Відстань L згідно рис. 4.23 між осями обертання звичайно беруть у діапазоні $(3...5)r$.

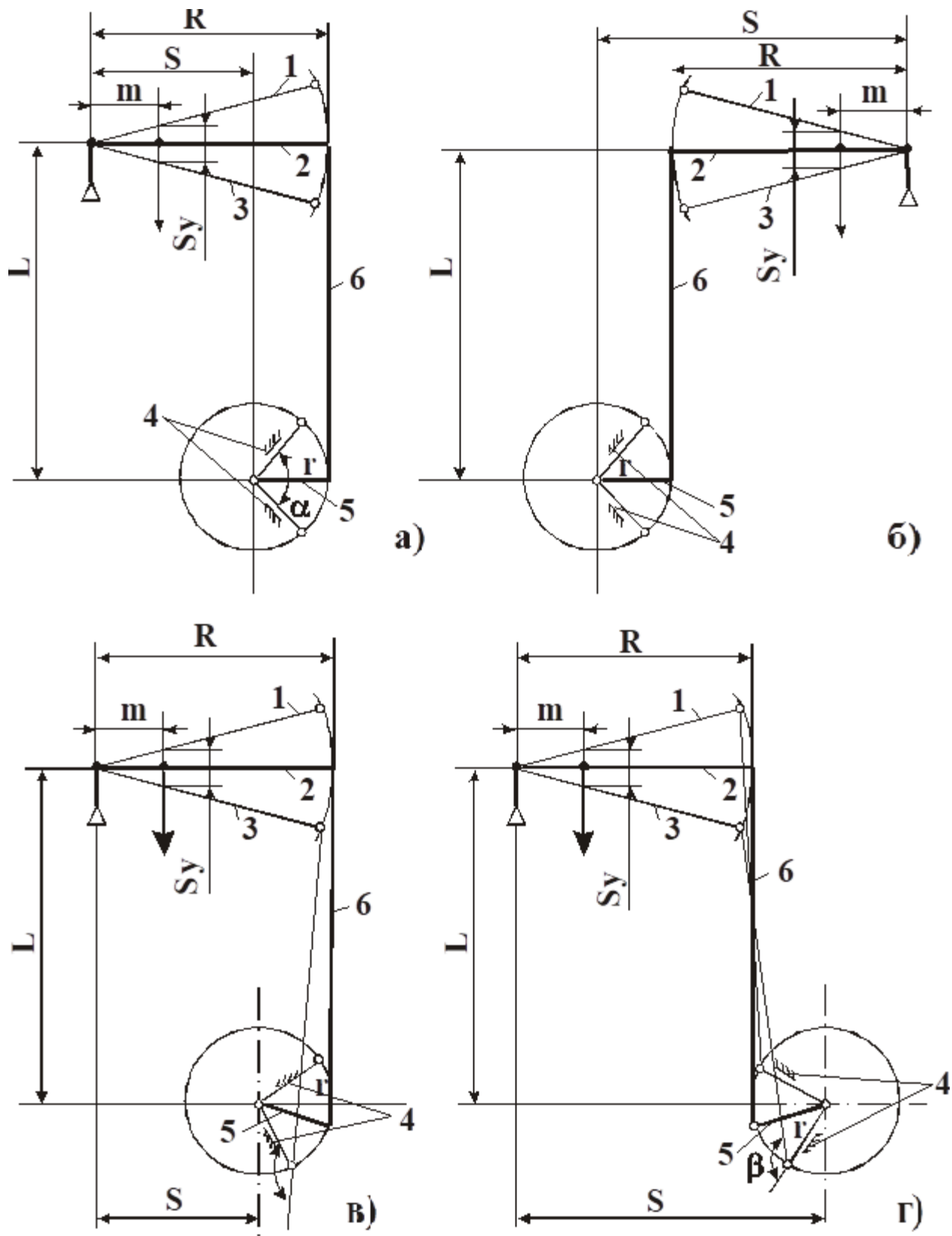


Рис. 4.23. Кінематичні схеми жорсткого зчленування РО з електродвигунними ВМ: 1 – положення важеля “відкрито”; 2 – середнє положення важеля; 3 – положення важеля “закрито”; 4 – механічні упори; 5 – кривошип ВМ; 6 – тяга

Для РО з нелінійною характеристикою з метою її лінеаризації ВМ установлюють так, щоб для прямого (рис.4.23в) і зворотного (рис.4.23г) зчленувань виконувались відповідно співвідношення:

$$S = R - 0,6r; \quad (4.74)$$

$$S = R + 0,6r. \quad (4.75)$$

Потім важіль установлюють у положення $L_x = 1$ (закрито), а кривошип – у таке положення, щоб кут $\beta = 160 \dots 170^\circ$. У цьому положенні кривошип і важіль з'єднують тягою. При з'єднуванні ВМ з РО за схемою, що зображена на рис. 4.23б, вихідними даними для розрахунку є: хід $h(S_y)$ вихідного пристрою ВМ, відстань L від кінця вихідного пристрою ВМ у початковому положенні до осі РО, повний кут повороту α вала РО. За результатом розрахунку встановлюють довжину R важеля РО і довжину H з'єднувальної тяги, що визначається за рівняннями

$$R = \frac{h}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (4.76)$$

$$H = \sqrt{\left(L - \frac{h}{2}\right)^2 + \left(\frac{h}{4} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4}\right)^2}. \quad (4.77)$$

Перестановочне зусилля ВМ обчислюють за формулою

$$N_{ny} = 1,2 K_c N_{nc} \quad (3.78)$$

Коефіцієнт передачі K_c механічних зв'язків для зчленувань, зображених на рис.4.22 і 4.23 визначають за формулами:

$$K_c = \frac{R}{r}; \quad (4.79)$$

$$K_c = \frac{m}{r}. \quad (4.80)$$

Контрольні запитання для самостійної підготовки за розділом 4.

1. Що становить собою дозуючий та дросельний регулюючий орган (РО)?
2. Основні параметри, що характеризують роботу дросельних РО?
3. Характеристики дросельних РО та за яким видом профілюють регулюючі клапани?
4. Навести приклади найбільш розповсюджених дросельних РО.
5. Основні конструкції затворів регулюючих клапанів.
6. У яких випадках застосовують пробкові та поршневі затвори?
7. Порівняльна характеристика односідельних та двосідельних РО .
8. Основна задача розрахунку та вибору РО.
9. Формули для розрахунку пересувного зусилля для односідельних та двосідельних РО.
10. Класифікація електричних виконавчих механізмів (ВМ) за принципом дії.
11. Основні види електродвигунних ВМ.
12. Склад електродвигунних ВМ.
13. Призначення пускових пристроїв та характеристика їх керуючих сигналів.
14. Які основні величини утворюють шифр електродвигунних ВМ однообертових та прямохідних?
15. У яких випадках найчастіше застосовують багатообертові електричні ВМ?
16. Принцип дії електричної схеми керування багатообертовим електроприводом?
17. Класифікація пневматичних ВМ?
18. У яких випадках застосовуються найчастіше мембранні ВМ та пневмодвигуни?
19. Призначення ручних дублерів та позиціонерів у конструкції ВМ.
20. Основні матеріали мембран, що застосовують у мембранних ВМ.

21. На чому оснований принцип дії позиціонерів?

22. Які показники входять до умовного позначення (шифру) мембранного ВМ?

23. Для приводу якої трубопровідної арматури в основному застосовуються поворотні пневмодвигуни?

24. З яких літерних і цифрових індексів складається кодове позначення промислової регулюючої арматури (виконавчого пристрою)?

25. Основні правила розташування регулюючих клапанів в процесі монтажу на трубопроводах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабіченко А.К. Основи вимірювань та автоматизації технологічних процесів: Підручник / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, М.О. Подустров та ін.; за ред. А.К. Бабіченко. – Харків: НТУ "ХПІ", 2009. – 616 с.
2. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації. Ч. 1. Вимірювальні пристрої: Навч. посібник / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, М.О. Подустров та ін.; за ред. А.К. Бабіченка. – Харків: НТУ "ХПІ", 2001. – 472 с.
3. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації. Ч. 2. Регулюючі та виконавчі пристрої: Навч. посібник / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін.; за ред. А.К. Бабіченка. – Харків: НТУ "ХПІ", 2003. – 658 с.
4. Бабіченко А.К. Практикум з метрології, основ вимірювань та технічних засобів автоматизації: Навч. посібник / А.К. Бабіченко, М.О. Подустров, Ю.А. Бабіченко та ін.; за ред. А.К. Бабіченка. – Харків: НТУ "ХПІ", НФаУ, 2019. – 132 с.
5. Бабіченко А.К. Мікропроцесорні засоби в автоматизованих системах керування технологічними процесами: Підручник / А.К. Бабіченко, І.Л. Красніков, Ю.А. Бабіченко та ін.; за ред. А.К. Бабіченка. – Харків: Вид-во "Водний спектр Джі-Ем-Пі", 2016. – 440 с.
6. Фурман І.О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Підручник / І.О. Фурман, В.А. Краснобаєв, П.П. Рожков та ін.; за ред. І.О. Фурмана. – Харків: Факт, 2006. – 317 с.
7. Фурман І.О. Мікроелектронні засоби програмного керування: Підручник / І.О. Фурман, М.Л. Малиновський, В.Г. Джулгаков та ін.; за ред. І.О. Фурмана. – Харків: Факт, 2007. – 486 с.
8. Романенко В.Д. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ: учеб. пособие / В.Д. Романенко, Б.В. Игнатенко. – Киев: Вища школа, 1990. – 334 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Розділ 1. Загальні відомості про склад, принципи побудови та основні комплекси нормування технічних засобів в автоматизації.....	5
1.1. Основні тенденції та етапи розвитку технічних засобів автоматизації. Узагальнююча математична структура автоматизованої системи керування технологічним процесом.....	5
1.2. Принципи побудови технічних засобів автоматизації. Державна система приладів та її структура. Сигнали-носії інформації та комплекси нормування засобів автоматизації.....	14
Контрольні запитання для самостійної підготовки за розділом 1.....	22
Розділ 2. Елементна база, реалізація алгоритмів регулювання та номенклатура агрегатного комплексу пневматичної гілки Державної системи приладів.....	24
2.1. Функціональний склад та принцип дії основних елементів універсальної системи елементів промислової пневмоавтоматики.....	24
2.2. Схеми реалізації основних алгоритмів регулювання: пропорційний, пропорційно-інтегральний, пропорційно-інтегрально-диференціальний, співвідношення.....	32
2.3. Пристрої оперативного керування у пневматичних системах регулювання. Живлення пристроїв пневмоавтоматики. Побудова автоматичних систем регулювання з використанням регуляторів пневматичної гілки.....	42
Контрольні запитання для самостійної підготовки за розділом 2.....	48
уу] . Мікропроцесорні засоби автоматизації.....	50
3.1. Класифікація та основні визначення мікропроцесорних засобів. Мікропроцесорні вимірювачі-регулятори. Застосування SCADA-програм та OPC-технології в автоматизованих системах керування.....	50

3.2. Промислові логічні контролери: типова технічна структура, циклограма роботи, конструктивне виконання, прикладне програмне забезпечення та система програмного забезпечення.....	60
3.3. Промислові мережі в автоматизованих системах керування	67
3.4. Багатофункціональні контролери серії P130 і P130M: функціональні можливості, типи моделей, склад, варіанти застосування у мережах з різними протоколами і фізичними інтерфейсами.....	81
3.5. Бібліотека алгоритмів багатофункціональних контролерів	94
3.6. Виконання функціональних схем конфігурування автоматичних систем регулювання за спрощеною версією мови програмування FBD.....	111
Контрольні питання для самостійної підготовки за розділом 3.....	119
Розділ 4. Виконавчі пристрої: регулюючі органи та виконавчі механізми	121
4.1. Регулюючі органи: класифікація, можливості застосування, основні характеристики, розрахунок та їх вибір.....	121
4.2. Виконавчі механізми: класифікація, особливості конструктивного оформлення та застосування в автоматичних системах регулювання. Промислова регулююча арматура	129
4.3. Алгоритм розрахунку та вибору виконавчих пристроїв з дросельними регулюючими органами.....	147
Контрольні запитання для самостійної підготовки за розділом 4.....	184
Список літератури.....	186

Навчальне видання

Бабіченко Анатолій Костянтинович

Красніков Ігор Леонідович

Бабіченко Юлія Анатоліївна

Лисаченко Ігор Григорович

Шутинський Олексій Григорович

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Навчально-методичний посібник для студентів
спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка"

В авторській редакції