

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
“НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ”



**Л.І. Цвіркун,  
Г. Грулер**

# **РОБОТОТЕХНІКА ТА МЕХАТРОНІКА**

Навчальний посібник

Під загальною редакцією професора Л.І. Цвіркуна

Видання третє, перероблене і доповнене

Дніпро  
НГУ  
2017

УДК 621.865.8+681.5: 681.1  
Ц 28

*Рекомендовано вченою радою  
ДВНЗ «НГУ» як навчальний посібник для  
бакалаврів спеціальності 151  
Автоматизація та комп'ютерно-  
інтегровані технології  
(протокол № 5 від 16.03.2017).*

Рецензенти:

*О.І. Михальов*, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій і систем (Національна металургійна академія України, м. Дніпро);

*О.І. Рязанцев*, доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи та міжнародної діяльності (Східноукраїнський національний університет імені В.І. Даля, м. Сєверодонецьк).

**Цвіркун Л.І.**

Ц 28 Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.

ISBN 978–966–350–645–6

Наведено основні поняття робототехніки та мехатроніки, розрахунки та визначення кінематики, привід та системи керування промислових роботів (ПР), а також методи розробки їх програм керування. Подано класифікацію мехатронних об'єктів, концепцію проектування мехатронних систем, особливості реалізації лабораторій для вивчення мехатронних об'єктів через Internet, а також лабораторний практикум з основ моделювання ПР у системі MATLAB. Розглянуто конструкцію, привід та циклові системи керування ПР, пропоновано вивчення систем керування ПР і мехатронних систем через Internet. Сформульовано вимоги до складових курсового проекту з проектування системи керування ПР та наведено рекомендації до його оформлення.

Для студентів вищих навчальних закладів спеціальності “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

УДК 621.865.8+681.5: 681.1

©Л.І. Цвіркун, Г. Грулер, 2017  
©Державний ВНЗ “Національний  
гірничий університет”, 2017

ISBN 978–966–350–645–6

## ЗМІСТ

Передмова .....	6
Вступ .....	7
<b>Частина 1. РОБОТОТЕХНІКА</b> .....	9
<b>1. Основні поняття робототехніки</b> .....	9
1.1. Класифікація промислових роботів .....	9
1.2. Класифікація РТК .....	11
1.3. Стандартні завдання для ПР .....	13
<b>2. Кінематичні схеми промислових роботів</b> .....	15
2.1. Основні поняття і визначення кінематики ПР .....	15
2.2. Робочі зони та показники якості кінематичних схем ПР .....	21
2.3. Захоплювачі ПР .....	25
2.4. Технічні вимоги до ПР .....	26
<b>3. Розрахунок кінематики промислових роботів</b> .....	31
3.1. Методи розрахунку кінематики промислових роботів .....	31
3.2. Розв'язання прямої задачі кінематики .....	32
3.3. Розв'язання оберненої задачі кінематики .....	35
3.4. Приклад розрахунку кінематики промислового робота .....	36
<b>4. Привід промислових роботів</b> .....	44
4.1. Загальні відомості про привід ПР .....	44
4.2. Типові елементи пневматичного приводу ПР .....	46
4.3. Особливості конструкції пневматичних приводів .....	51
4.3.1. Загальні відомості про гальмування поршня .....	51
4.3.2. Гальмування поршня спеціальним дроселюванням .....	52
4.3.3. Гальмування поршня за допомогою протитиску .....	53
4.3.4. Гальмування поршня зовнішніми амортизаторами .....	55
4.4. Принцип роботи ПР з пневматичним приводом .....	56
4.5. Гідравлічний привід ПР .....	57
<b>5. Системи керування промислових роботів</b> .....	64
5.1. Класифікація систем керування .....	64
5.2. Системи програмного керування .....	65
5.3. Циклові системи керування .....	67
5.4. Режими роботи циклової системи керування .....	69
<b>6. Команди циклової системи керування</b> .....	76
6.1. Програмна модель системи керування .....	76
6.2. Команди тестового контролю функціональних блоків системи керування .....	79
6.3. Команди редагування та контролю програми .....	82
6.4. Команди вводу-виводу .....	83
<b>7. Програмний емулятор РТК</b> .....	88
7.1. Структура програмного емулятора .....	88
7.2. Інтерфейс програмного емулятора .....	90
7.3. Особливості роботи програмного емулятора .....	93

<b>Частина 2. МЕХАТРОНІКА</b> .....	97
<b>8. Основні поняття мехатроніки</b> .....	97
8.1. З історії розвитку мехатроніки .....	97
8.2. Класифікація мехатронних об'єктів .....	100
8.3. Стандартні завдання мехатроніки .....	102
<b>9. Мехатронні системи</b> .....	105
9.1. Концепція проектування мехатронних систем .....	105
9.2. Сучасні методи керування мехатронними системами .....	108
9.3. Напрямки розвитку мехатроніки .....	110
<b>10. Реалізація лабораторій для вивчення мехатронних об'єктів через Інтернет</b> .....	112
10.1. Технічні характеристики дослідів через Інтернет .....	112
10.2. Типи експериментів на базі Інтернет .....	114
10.3. Концепції віддаленого доступу .....	118
10.4. Методи і компоненти реалізації телелaboratorій .....	125
10.5. Інші аспекти реалізації телелaboratorій .....	131
<b>Частина 3. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ</b> .....	135
<b>11. Основи моделювання ПР у системі MATLAB</b> .....	135
11.1. Знайомство із системою MATLAB .....	135
11.2. Вивчення можливостей системи MATLAB .....	137
11.3. Операції з векторами та матрицями .....	138
11.4. Побудова графіків функцій .....	140
11.5. Використання операторів IF та FOR .....	141
11.6. Програмування у системі MATLAB .....	143
<b>12. Вивчення конструкції і приводу ПР</b> .....	148
12.1. Пневматичний привід ПР МП-9С .....	148
12.2. Спеціальні системи координат .....	150
12.3. Пряма та обернена задачі кінематики .....	152
<b>13. Вивчення циклових систем керування ПР</b> .....	154
13.1. Структура та режими роботи циклової системи керування .....	154
13.2. Система команд МПЦП .....	155
13.3. Розроблення програми керування ПР .....	157
13.4. Розроблення програми керування РТК .....	160
<b>14. Вивчення систем керування ПР через Інтернет</b> .....	162
14.1. Вивчення динамічних характеристик ПР типу KUKA KR 6—2 ...	163
14.2. Випробування і програмування планшетного робота через Інтернет .....	167
<b>15. Вивчення мехатронних систем через Інтернет</b> .....	175
15.1. Приклади з вивчення елементів мехатронних систем .....	175
15.1.1. Керування світлодіодною панеллю через Інтернет .....	175
15.1.2. Дослідження крокового двигуна .....	182
15.2. Вивчення складної мехатронної системи через Інтернет .....	186
15.2.1. Мехатронна система “М'яч на колесі” .....	186
15.2.2. Мехатронна система “М'яч на кулі” .....	192

<b>Частина 4. КУРСОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ</b> .....	198
<b>16. Проектування системи керування ПР</b> .....	198
16.1. Завдання на курсовий проект .....	198
16.2. Вимоги до складових курсового проекту .....	201
16.3. Рекомендації до оформлення курсового проекту .....	204
16.3.1. Загальні положення .....	204
16.3.2. Оформлення пояснювальної записки .....	204
16.3.3. Оформлення графічної частини .....	209
Список літератури .....	209
Перелік скорочень .....	215
Предметний покажчик .....	217
Додатки .....	219
А. Порядок визначення елементів спеціальних системи координат ланок маніпулятора .....	219
Б. Приклад оформлення титульного аркуша пояснювальної записки курсового проекту .....	221
В. Приклад оформлення завдання на курсовий проект .....	222
Г. Приклад оформлення відомості матеріалів курсового проекту .....	223

## ПЕРЕДМОВА

Дисципліна „Робототехніка і мехатроніка” належить до групи професійно орієнтованих і займає важливе місце у підготовці студентів з спеціальності “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

Посібник відповідає навчальному плану дисципліни „Робототехніка та мехатроніка”, яка понад двадцять років викладається авторами у Державному ВНЗ “Національний гірничий університет” (Державний ВНЗ “НГУ”, м. Дніпро, Україна) та у Ройтлінгенському університеті (РУ, м. Ройтлінген, Німеччина).

Навчальний посібник може бути використаний для самостійного навчання. Для цього розроблено програмний емулятор РТК (розділ 7), який дозволяє виконувати лабораторні роботи з розділів 12, 13 поза межами навчального закладу на локальному персональному комп’ютері. За наявності комп’ютера, підключеного до Інтернету лабораторні роботи з розділів 14–15 можна виконувати дистанційно через веб-сервіс лабораторій Державного ВНЗ “НГУ” та РУ.

Посібник, написаний викладачем Державного ВНЗ “НГУ” Л.І. Цвіркуном, кандидатом технічних наук, професором кафедри автоматизації та комп’ютерних систем (АКС), і Г. Грулером, професором РУ, складається з 4 частин і 16 розділів. Розділи 1–9, 11–13, 15.1, 16 та загальне редагування виконано Л.І. Цвіркуном, 10 і 14 – написані Г. Грулером, а 15.2 – сумісно. Ідея рисунків належить авторам посібника, художня обробка їх виконана Р.В. Липовим, переклад з німецької мови розділів 10 і 14 – С.О. Гончаруком.

Автори вдячні аспірантам та асистентам кафедри АКС Державного ВНЗ “НГУ” (Л.В. Бешті, С.О. Гончаруку, І.В. Кмітіній, Я.В. Панферовій, П.Ю. Огієнку) за участь у підготовці лабораторних робіт, які увійшли до посібника.

Зауваження й побажання стосовно матеріалів книги будуть із вдячністю прийняті за адресою: кафедра автоматизації та комп’ютерних систем, просп. Дмитра Яворницького, 19, Державний ВНЗ “Національний гірничий університет”, м. Дніпро, 49005, або за e-mail: TsvirkunL@gmail.com.

## ВСТУП

Сучасна робототехніка виникла у 60-х роках минулого сторіччя. Для подальшого розвитку суспільного виробництва треба було створити універсальні машини-автомати для заміни людини на виробництві при виконанні різних маніпуляційних дій. Проте корені робототехніки ідуть у глибоку стародавність, коли робилися спроби створення механічних людиноподібних пристроїв. Так, відома розробка механічних людей у вигляді жіночих фігур, які були встановлені на маяку Фарос [1]. Через призначений час вони поверталися, показували руками на циферблатах напрям і силу вітру, а вночі подавали трубні звуки для попередження кораблів про близькість берега.

В епоху Відродження були розроблені нові типи андроїдів, які уміли грати на музичних інструментах, писати і малювати.

У той же час виникли обманні андроїди, які вміли говорити і відповідати на запитання, грати в шахи, карти. У цих механічних пристроях інтелектуальні функції покладалися на заховану від сторонніх очей людину, а допоміжні – на маніпулятор.

Термін "робот" уперше з'явився у 1920 р. у фантастичній п'єсі „Росумські універсальні роботи” (Р.У.Р.) чеського письменника К. Чапека [2]. Пізніше у 1950 р. Айзек Азімов написав оповідання про роботів, які увійшли у книгу „Я робот” [3].

Технічний термін "промисловий робот" (ПР) виник у 70-х роках 20-го століття.

Перші сучасні ПР типу "Версотран" були випущені фірмою АМФ (США) у 1962 році. У цьому ж році фірма Юнімейт випустила ПР Марк І.

Далі промислова робототехніка за кордоном розвивалася так [2]:

1967 р. – випуск ПР в Англії за ліцензіями США;

1968 р. – випуск ПР у Швеції, Японії також за ліцензіями США;

1971 р. – ФРН; 1972 р. – Франція; 1973 р. – Італія.

Зростання парку роботів (тис. шт.) за цей час мало таку картину [2]:

1975 р. – 8,5, 1980 р. – 30, 1985 р. – 90, 1990 р. – 400, 1995 р. – 800, 2000 р. – 1200, 2005 р. – 2500.

У 1998 р. парк роботів у світі перевищив 1 млн. шт., а в середньому кожні 5 років він подвоюється.

Значна частина світового парку роботів знаходиться в Японії, ця країна посідає перше місце з виробництва і застосування роботів. Далі йдуть США, Італія, Франція і Швеція.

Більшість з цих роботів використовується у промисловості, а половина з них – для виконання основних технологічних операцій.

У СРСР перші сучасні промислові роботи УМ-1, "Універсал-50", УПК-1 з'явилися у 1971 р. [1,2], а у 1975 р. – створені перші 30 серійно придатних ПР. У подальші роки було розроблено 100 марок ПР і організовано серійний випуск 40 марок.

Крім того, були початі роботи з уніфікації і стандартизації ПР.

У 1980 р. парк ПР перевищив 6 тис. шт. (20% від світового парку ПР) і досяг рівня США. З'явилися перші ПР другого покоління із засобами зчутливлення на складальних операціях у приладобудуванні.

У 1982 р. створено перший ПР МП-8 з технічним зором.

У 1985 р. парк ПР перевищив 40 тис. шт. (40% від світового парку ПР) і у декілька разів перевершив парк ПР США.

Відповідно до нині діючих стандартів (ГОСТ 25686-85, ГОСТ 26228-85) промисловий робот – це автоматична машина, яка складається з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора, що має кілька ступенів рухомості і перепрограмованого пристрою керування для виконання у виробничому процесі рушійних і керуючих функцій.

До того ж під перепрограмуванням розуміють властивість ПР змінювати керуючу програму автоматично або людиною-оператором. А до перепрограмування належить зміна послідовності і значень переміщення за ступенями рухомості та керуючих функцій за допомогою засобів керування ПР.

Крім того, при розгляді ПР застосовуються наведені далі поняття.

Маніпулятор – пристрій або машина для виконання рушійних функцій, (аналогічно функціям руки людини при переміщенні об'єкта у просторі) оснащений робочим органом.

Об'єкт маніпулювання – це тіло, яке переміщається у просторі маніпулятором.

Біотехнічний робот – це маніпулятор, керований оператором.

Інтерактивний робот – це маніпулятор поперемінно керований оператором чи діючий автоматично.

Гнучкий виробничий модуль (ГВМ) – це одиниця технологічного обладнання (ТО) для виготовлення виробів довільної номенклатури в установлених межах значень їх характеристик з програмним керуванням, автоматично здійснююча всі функції, пов'язані з виробництвом, має можливість вбудування у гнучкі виробничі системи (ГВС).

Роботизований технологічний комплекс (РТК) – це сукупність одиниць ТО, ПР та засобів оснащення, автономно функціонуюча та здійснююча багаторазові цикли. Як ТО може бути використаний сам ПР. Засобами оснащення РТК можуть бути: пристрої накопичування, орієнтації, поштучної видачі об'єктів виробництва та інші пристрої, які забезпечують функціонування РТК.

Роботизована технологічна лінія – це сукупність РТК, пов'язаних між собою транспортними засобами та системою керування, або кількох одиниць ТО, які обслуговуються одним або кількома ПР для виконання операцій у прийнятій технологічній послідовності.



# ЧАСТИНА 1. РОБОТОТЕХНІКА

## 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ РОБОТОТЕХНІКИ

У результаті вивчення даного розділу студенти повинні вміти:

- сформулювати визначення промислового робота і маніпулятора;
- називати ознаки, за якими класифікуються ПР і РТК;
- навести приклади класифікації ПР і РТК;
- навести приклади стандартних завдань ПР.

### 1.1. Класифікація промислових робіт

ПР складається з таких складових частин:

- виконавчої, у вигляді маніпулятора руки і пристрою пересування;
- керуючої, у вигляді керуючого пристрою робота.

Таким чином, ПР – це автоматична машина, яка складається із виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора (що має кілька ступенів рухомості) та перепрограмованого пристрою програмного керування для виконання у виробничому процесі рушійних і керуючих функцій. А маніпулятор – це керований пристрій (або машина) для виконання рушійних функцій (аналогічних функціям руки людини при переміщенні об'єктів у просторі), оснащений робочим органом.

Маніпулятор робота являє собою багатоланковий механізм із ступенем рухомості від 3-х до 9-ти з поступальними чи обертальними зчленуваннями, що закінчується робочим органом у вигляді захоплювача.

Пристрій пересування робота може бути виготовлений із застосуванням одного з відомих способів пересування, починаючи від кочення і закінчуючи крокуванням.

До складу ПР входять: пульт керування (ПК), за допомогою якого оператор здійснює введення і контроль завдання; запам'ятовуючий пристрій (ЗП), у якому зберігаються програми роботи й інша необхідна інформація; обчислювальний пристрій (ОП), у якому реалізується алгоритм керування роботом; блок керування приводами (БКП) маніпулятора і пристрою пересування (ПП).

Промислові роботи класифікуються за такими ознаками [4]:

- характер виконуваних операцій:
  - а) технологічні (виробничі);
  - б) допоміжні (підйомно-транспортні);
  - в) універсальні;
- ступінь спеціалізації:
  - а) спеціальні;
  - б) спеціалізовані;
  - в) багатоцільові;
- галузь застосування і вид виробництва:
  - а) ливарні;

- б) нанесення покриттів;
- в) ковальсько-пресові;
- г) автоматичного контролю;
- д) зварювальні;
- е) складальні;
- ж) механічної обробки;
- з) транспортно-складські роботи;
- і) термообробка;
- к) інші;
- системи основних координатних переміщень:
  - а) прямокутні (плоскі і просторові);
  - б) полярні (плоскі, циліндричні чи сферичні);
  - в) ангулярні (плоскі, циліндричні чи сферичні);
- кількість ступенів рухомості;
- вантажопідйомність:
  - а) надлегкі (до 10 Н);
  - б) легкі (до 100 Н);
  - в) середні (до 2000 Н);
  - г) важкі (до 10000 Н);
  - д) надважкі (понад 10000 Н);
- мобільність:
  - а) стаціонарні (убудовані в обладнання, підлогові і підвісні);
  - б) пересувні (підлогові і підвісні);
- тип приводу:
  - а) електромеханічні;
  - б) пневматичні;
  - в) гідравлічні;
  - г) комбіновані;
- схема розташування приводів:
  - а) в єдиному блоці;
  - б) на виконавчих органах;
- вид відпрацьовування програми:
  - а) жорстко програмувальні;
  - б) адаптивні;
  - в) гнучко програмувальні;
- вид систем керування:
  - а) позиційні;
  - б) контурні;
  - в) комбіновані.

## 1.2. Класифікація РТК

РТК можна класифікувати за трьома основними ознаками (рис. 1.1):

- галузь застосування;
- тип структури;
- тип компонувань [5, 6].

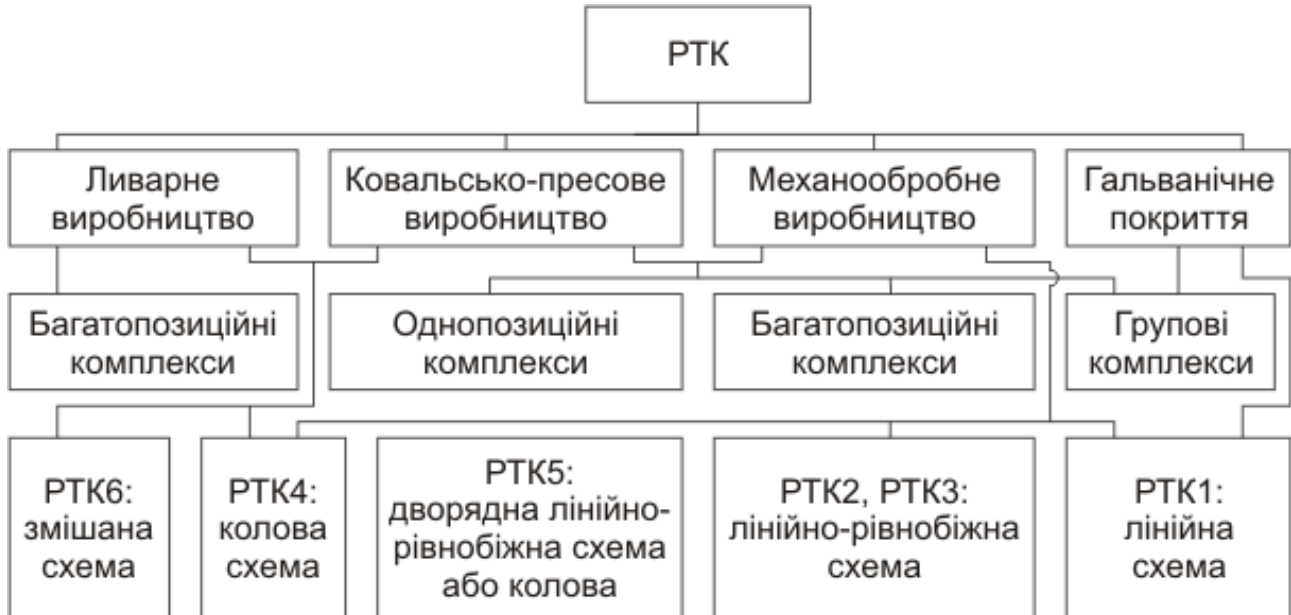


Рис. 1.1. Класифікація РТК

**Першою** ознакою РТК є галузь застосування, що характеризує вид виробничого процесу (метод обробки), де повинен функціонувати РТК.

**Друга** ознака характеризує тип структури комплексу, взаємодію ПР з технологічним обладнанням (ТО) та допоміжним обладнанням (ДО) усередині комплексу.

Відповідно до структурної ознаки РТК бувають:

- однопозиційні (верстат-робот, прес-робот і т.д.), що включають один ПР у комплексі з технологічним обладнанням, рис. 1.2 а, 1.2 б;
- групові, що включають один ПР, який обслуговує групу однотипного чи різнотипного технологічного обладнання, рис. 1.2 в, 1.2 г;
- багатопозиційні, що включають групу ПР, які виконують взаємозалежні чи взаємодоповнюючі функції, рис. 1.2 д, 1.2 е.

Для однопозиційних комплексів характерно співвідношення  $ПР \leftrightarrow ТО = 1$ ; для групових –  $ПР \leftrightarrow \sum ТО > 1$ ; для багатопозиційних –  $\sum ПР \leftrightarrow \sum ТО \geq 1$ .

**Третьою** – відмітною – ознакою класифікації комплексів є тип компонувань комплексу чи схема розташування обладнання (рис 1.2).

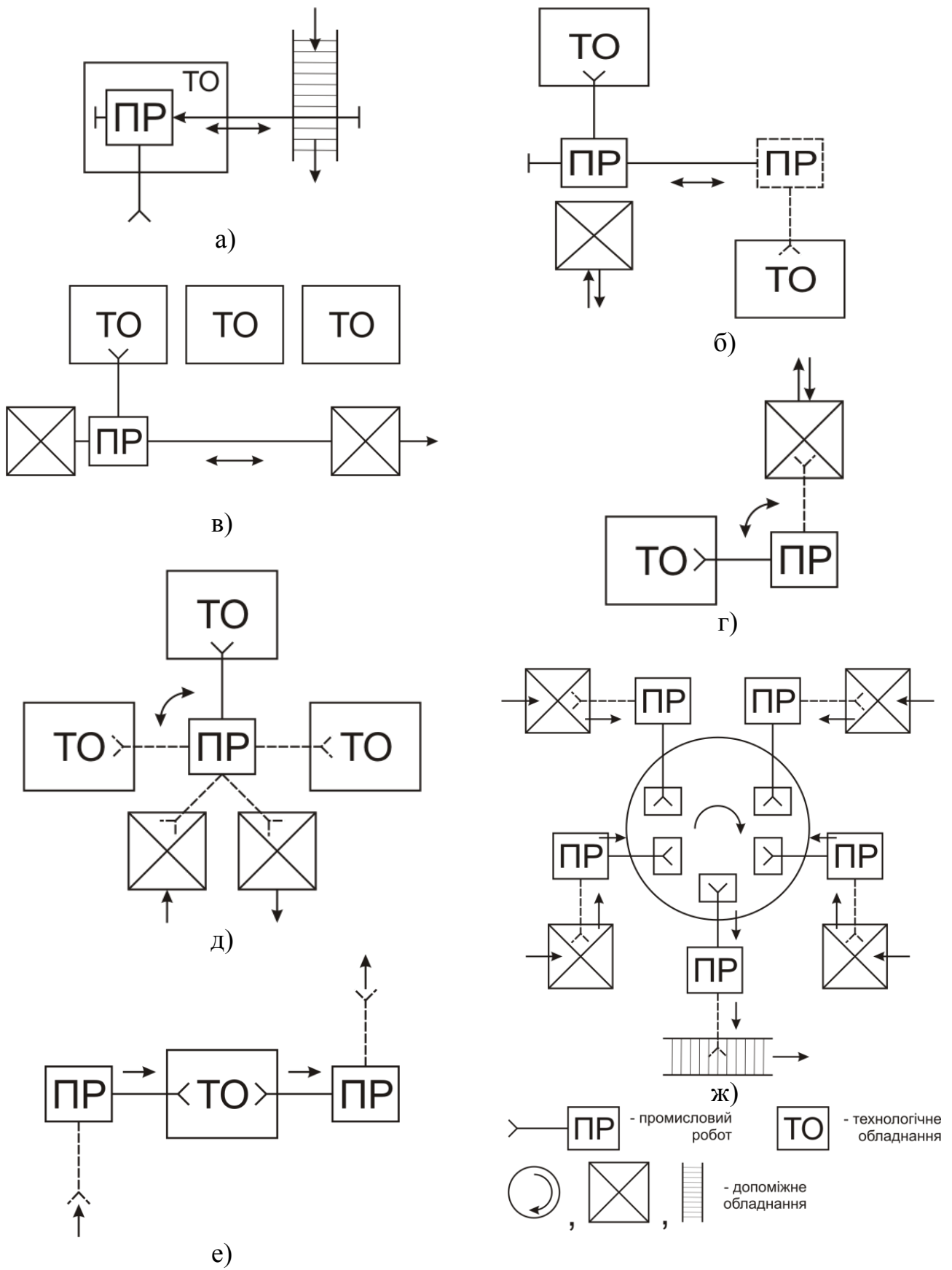


Рис. 1.2. Типи компонувань комплексів: РТК1 (а), РТК2 (б, в), РТК3 (г), РТК4, РТК5 (д), РТК6 (е, ж)

Компонування комплексу залежить від конструктивно кінематичного виконання ПР, а саме: від типу основних координатних переміщень робота, що визначають характер його робочої зони.

У компонуванні РТК передбачено шість основних схем:

РТК1 – включає комплекси, характерні лінійними розташуваннями ТО і ДО. Даний тип компонування комплексів створюється на базі ПР, що працюють у плоскій прямокутній системі координат. Він застосовується в основному в механопереробному виробництві для однопозиційних комплексів "верстат-робот".

РТК2 – характеризується лінійно-рівнобіжним розташуванням ТО і ДО. Створюється на базі ПР тельферного типу з плечоліктьовою конструкцією маніпулятора.

РТК3 – включає комплекси, створені на базі ПР, що працюють у циліндричній системі координат з горизонтальною віссю обертання. Застосовуються у механічній обробці і ковальсько-пресовому виробництві при однопозиційній структурі комплексів. Мають лінійно-рівнобіжну схему розташування обладнання.

РТК4 – створюється на базі ПР, що працюють у циліндричній системі координат, характеризується коловим розташуванням ТО і ДО.

РТК5 – створюється на базі ПР, що працюють у сферичній системі координат. У дану групу входять ПР, що мають широкі функціональні можливості (до шести ступенів рухомості). Комплекси використовуються у найбільш складних умовах – при груповому обслуговуванні різнотипного (за схемою завантаження) обладнання для механічної обробки, а так само при виконанні фарбувальних та інших робіт. Схема розташування обладнання дворядна лінійно-рівнобіжна або колова.

РТК6 – створюється для багатопозиційних комплексів, характерних для ливарного, складального і частково ковальсько-пресового виробництва. Застосовується змішана схема розташування обладнання.

### **1.3. Стандартні завдання для ПР**

Завдання, що можуть виконуватися ПР, класифікуються у такий спосіб:

- просте переміщення:
  - а) завантаження/розвантаження верстатів;
  - б) маніпулювання деталями (укладання, сортування, транспортування й орієнтація);
  - в) розміщення в палетах;
- переміщення й обробка:
  - а) точкове зварювання;
  - б) зварювання суцільним швом;
  - в) складання механічних та електричних деталей;
  - г) складання електронних деталей;
  - д) фарбування розпиленням;
  - е) укладання кабелю;
  - ж) різання;

и) інші операції обробки з переносним інструментом;  
– переміщення і контроль (підрозділ категорії деталей при завантаженні/розвантаженні відповідно до типів верстатів виконуваних операцій):

- а) верстати для видалення задирок, свердлильні, шліфувальні, для вирізного фрезерування;
- б) формування пластмас та інжекційне лиття;
- в) лиття під тиском;
- г) гаряче кування і листове штампування;
- д) завантаження/розвантаження печей;
- е) термообробка;
- ж) ливарні цехи лиття у піскові форми, відповідно до виплавлюваних моделей.

Найбільш успішно ПР застосовуються на операціях: зварювання, завантаження/розвантаження верстатів, лиття і фарбування.

### **Висновки**

У даному розділі розглянуті наведені нижче основні питання:

- визначення промислового робота і маніпулятора;
- класифікація ПР;
- класифікація РТК відповідно до галузі застосування, типу структури і типу компонування;
- стандартні завдання ПР.

### **Контрольні питання**

1. Сформулюйте визначення маніпулятора промислового робота.
2. Сформулюйте визначення промислового робота.
3. За якими ознаками класифікуються ПР?
4. За якими ознаками класифікуються РТК?
5. Наведіть приклади стандартних завдань для ПР.
6. Як класифікуються ПР відповідно до характеру виконуваних операцій?
7. Як класифікуються ПР відповідно до галузі застосування і виду виробництва?
8. Як класифікуються ПР відповідно до систем основних координатних переміщень?
9. Як класифікуються ПР відповідно до вантажопідйомності?
10. Як класифікуються ПР відповідно до мобільності?
11. Як класифікуються ПР відповідно до типу приводу?
12. Як класифікуються ПР відповідно до виду відпрацьовування програми?
13. Як класифікуються ПР відповідно до виду систем керування?
14. Як класифікуються РТК відповідно до галузі застосування?
15. Як класифікуються РТК відповідно до типу структури?
16. Як класифікуються РТК відповідно до типу компонування?

## 2. КІНЕМАТИЧНІ СХЕМИ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

У результаті вивчення даного розділу студенти повинні вміти:

- сформулювати основні поняття і визначення кінематики промислового робота;
- навести приклади кінематичних пар;
- розрахувати ступінь рухомості ПР;
- навести приклади видів систем координат ПР та їх робочих зон;
- сформулювати технічні вимоги до ПР.

### 2.1. Основні поняття і визначення кінематики ПР

ПР містить дві органічно зв'язані частини: керуючий пристрій та механічну систему (маніпулятор).

Механічна система ПР забезпечує виконання рушійних функцій і реалізацію технологічного призначення ПР. Механічна система чи маніпулятор являє собою просторовий механізм із розімкнутим кінематичним ланцюгом [7 – 9].

Маніпулятор складається з таких основних вузлів:

- несучих конструкцій;
- приводів;
- передавальних механізмів;
- виконавчих механізмів (ВМ);
- захоплювача (захоплюючого пристрою).

**Захоплювач** – це вузол механічної системи, що забезпечує захоплення й утримання у визначеному положенні об'єкта маніпулювання.

**Виконавчі механізми** – це сукупність рухомо з'єднаних ланок механічної системи, призначених для впливу на об'єкт маніпулювання.

**Кінематична пара** – це з'єднання двох дотичних ланок, що допускає їх відносний рух. Кінематична пара забезпечує зв'язок і переміщення двох сусідніх ланок маніпулятора ПР одна відносно другої.






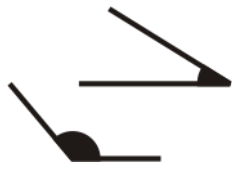
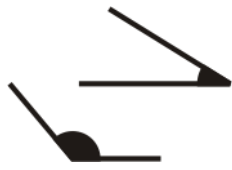






Кінематичні пари діляться на п'ять класів. Номер класу пари визначається кількістю умов зв'язку тих, що накладаються на рух однієї ланки пари відносно іншої.

Для визначення класу кінематичної пари необхідно умовно виділити її з механізму разом з дотичними ланками. Одну з ланок приймають за нерухому. З цією ланкою пов'язують просторову систему координат і вивчають можливі рухи іншої ланки в зображеній системі координат. Незалежні рухи відзначають стрілками. Кількість незалежних рухів визначає клас кінематичної пари.

**Кінематична схема** – це зображення механічної системи за допомогою умовних позначок кінематичних пар.

Позначення, що найбільш часто вживаються, при зображенні принципів кінематичних схем (ГОСТ 2.701–84) подані в табл. 2.1. Умовні позначення напрямку руху в кінематичних схемах показані в табл. 2.2.

## Умовні позначення кінематичних схем

Позначення	Найменування	Позначення	Найменування
	Вал, валик, вісь, стрижень, шатун і т.п.		Опора для стрижня: – нерухома;
 	Підшипники ковзання і кочення на валу без уточнення типу: – радіальні; – радіальні упорні односторонні;		– рухома;
		З'єднання кривошипа і шатуна з постійним радіусом	
	З'єднання кривошипа і шатуна із змінним радіусом		– шарнірне;
	З'єднання кривошипа і шатуна із змінним радіусом		– кульовим шарніром;
	Пружина циліндрова стиснення		Пружина циліндрова розтягування

Сукупність деякої кількості рухомих ланок забезпечує механізму визначений ступінь рухомості.

**Ступенем рухомості** механічної системи називають кількість ступенів вільності кінематичної схеми відносно ланки, прийнятої за нерухому.

Отже, кінематичні пари можна класифікувати за такими ознаками:









- відповідно до кількості умов зв'язку ланок, що накладаються на відносний рух (клас кінематичної пари);
- відповідно до кількості ступенів рухомості у відносному русі ланок;
- відповідно до виду місця контакту поверхонь ланок:
  - а) нижчі, контакт ланок здійснюється по площині або поверхні (пари ковзання);
  - б) вищі, контакт ланок здійснюється по лініях або точках (пари, які допускають ковзання з перекочуванням);



- відповідно до відносного руху ланок, які створюють пару:
  - а) обертальні;
  - б) поступальні;
  - в) гвинтові;
  - г) плоскі;
  - д) сферичні;
- відповідно до способу забезпечення контакту ланок пари:
  - а) силові (за рахунок дії сили ваги або сили пружності пружини);
  - б) геометричні (за рахунок конструкції робочих поверхонь пари).

Таблиця 2.2

## Умовні позначення напрямів руху

Позначення	Найменування	Позначення	Найменування
	Рух прямолінійний: – в одному напрямі (вправо); – в обох напрямах;		Обертання вала: – в одному напрямі (за годинниковою стрілкою); – в обох напрямах;
			
	Рух обертальний: – в одному напрямі (за годинниковою стрілкою); – в обох напрямах.		– коливальне;  – гвинтове.
			

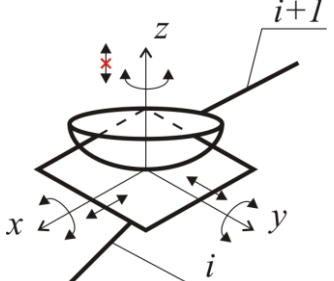

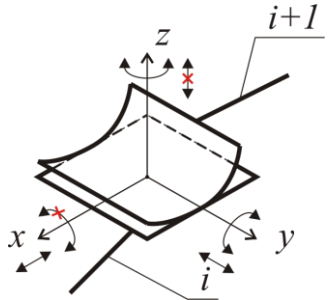
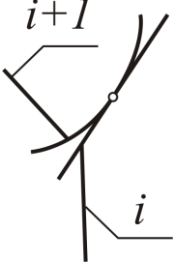
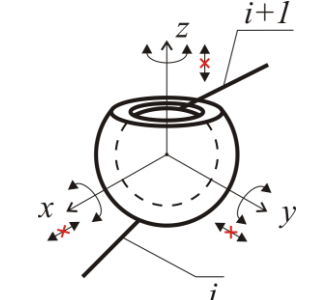

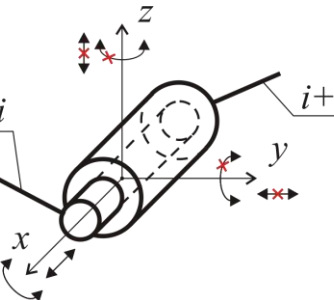

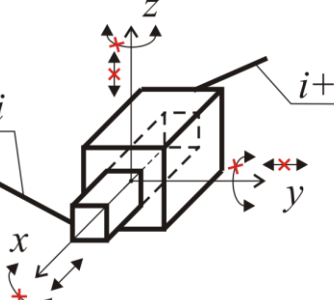
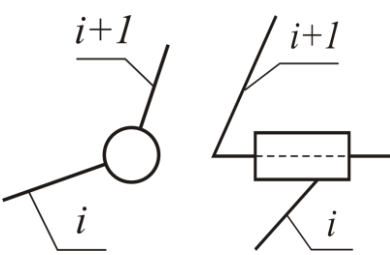
Приклади кінематичних пар, які відрізняються ступенем рухомості і класом, наведені в табл. 2.3. Стрілки у координатних осях показують можливі кутові і лінійні відносні переміщення ланок. Якщо стрілка перекреслена, то даний рух у кінематичній парі заборонений (тобто на даний відносний рух накладений зв'язок).

Ступінь рухомості  $W$  незамкненої кінематичної схеми визначається за формулою Соснова–Малишева [8]:

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1, \quad (2.1)$$

де  $n$  – кількість рухомих ланок кінематичного ланцюга;  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  – кількість кінематичних пар відповідно 1–5 класів.

## Приклади кінематичних пар

Загальний вигляд пари	Клас пари	Кількість ступенів рухомості	Умовне позначення
	1	5	
	2	4	
	3	3	
	4	2	
	5	1	

Узагальнений вигляд формули (2.1):

$$W = C_6 n - \sum_{i=1}^{C_6-1} (C_6 - i) P_{6-i}, \quad (2.2)$$

де  $C_6$  – кількість ступенів вільності твердого тіла (відповідно при розгляді механізму в просторі  $C_6 = 6$ , на площині  $C_6 = 3$ ).

Для плоских механізмів, у яких  $P_3 = P_2 = P_1 = 0$ , а  $C_6 = 3$ :

$$W_{nl} = 3n - 2P_5 - P_4. \quad (2.3)$$

Для кінематичної схеми, утвореної тільки парами 5 класу:

$$W = 6n - 5P_5 \quad (2.4)$$

або

$$W_{nl} = 3n - 2P_5. \quad (2.5)$$

Для маніпулятора ПР кількість рухомих ланок завжди дорівнює кількості пар:

$$n = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5, \quad (2.6)$$

тоді

$$W_m = P_5 + 2P_4 + 3P_3 + 4P_2 + 5P_1, \quad (2.7)$$

$$W_{m,nl} = P_5 + 2P_4. \quad (2.8)$$

А для ПР, де застосовуються кінематичні схеми, утворені тільки парами 5 класу:

$$W_m = P_5, \quad (2.9)$$

$$W_{m,nl} = P_5. \quad (2.10)$$

Таким чином, у ПР ступінь рухомості дорівнює кількості кінематичних пар.

Розрізняють три основні групи рухів ланок, за допомогою яких реалізуються ступені рухомості:

- **орієнтувальні** (рухи захоплювача порівняно з його розмірами);
- **регіональні** (рухи захоплювача порівняно з розмірами робочого місця);
- **глобальні** (переміщення на відстань, що перевищує розміри ПР і робочого місця).

У більшості конструкцій ПР знайшли застосування кінематичні пари класу 5 – обертальні чи поступальні, що забезпечують один ступінь рухомості у відносному русі кожної з двох рухомо з'єднаних ланок.

Розглянемо типову кінематичну схему ПР на прикладі МП-9С [10].

Кінематична схема маніпулятора МП-9С з позначенням ступенів рухомості зображена на рис. 2.1.

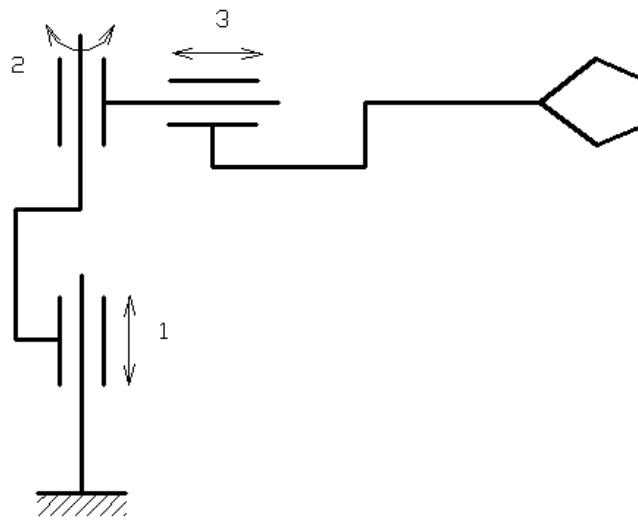


Рис. 2.1. Кінематична схема маніпулятора ПР МП-9С

### Технічні характеристики ПР МП-9С

Номінальна вантажопідйомність ПР, кг (не менше)	–	0,8
Кількість ступенів рухомості	–	3
Привід маніпулятора робота	–	пневматичний
Максимальна абсолютна похибка позиціонування маніпулятора, мм (не більше)	–	0,1
Величина підймання руки, мм (не менше)	–	30
Кут повороту руки, град (не менше)	–	120
Величина висування (втягування) руки, мм (не менше)	–	150
Кількість точок позиціонування відповідно до кожного ступеня рухомості	–	2
Зусилля захоплення контрольного вантажу, Н (кг) (не менше)	–	12 (1,2)
Час захоплення (попущення), с (не більше)	–	0,35
Характерні розміри захоплюваного предмета (типу вал-фланець):		
діаметр, мм	–	50
довжина, мм	–	32
Показники надійності:		
установлене безвідмовне напрацювання, год. (не менше)	–	200
установлений термін служби, років (не менше) до капітального ремонту	–	2
до списання	–	4

Маніпулятор робота має один механічний універсальний захоплювач кліщового типу.

Більш складні види кінематичних схем маніпуляторів показані на рис. 2.2.

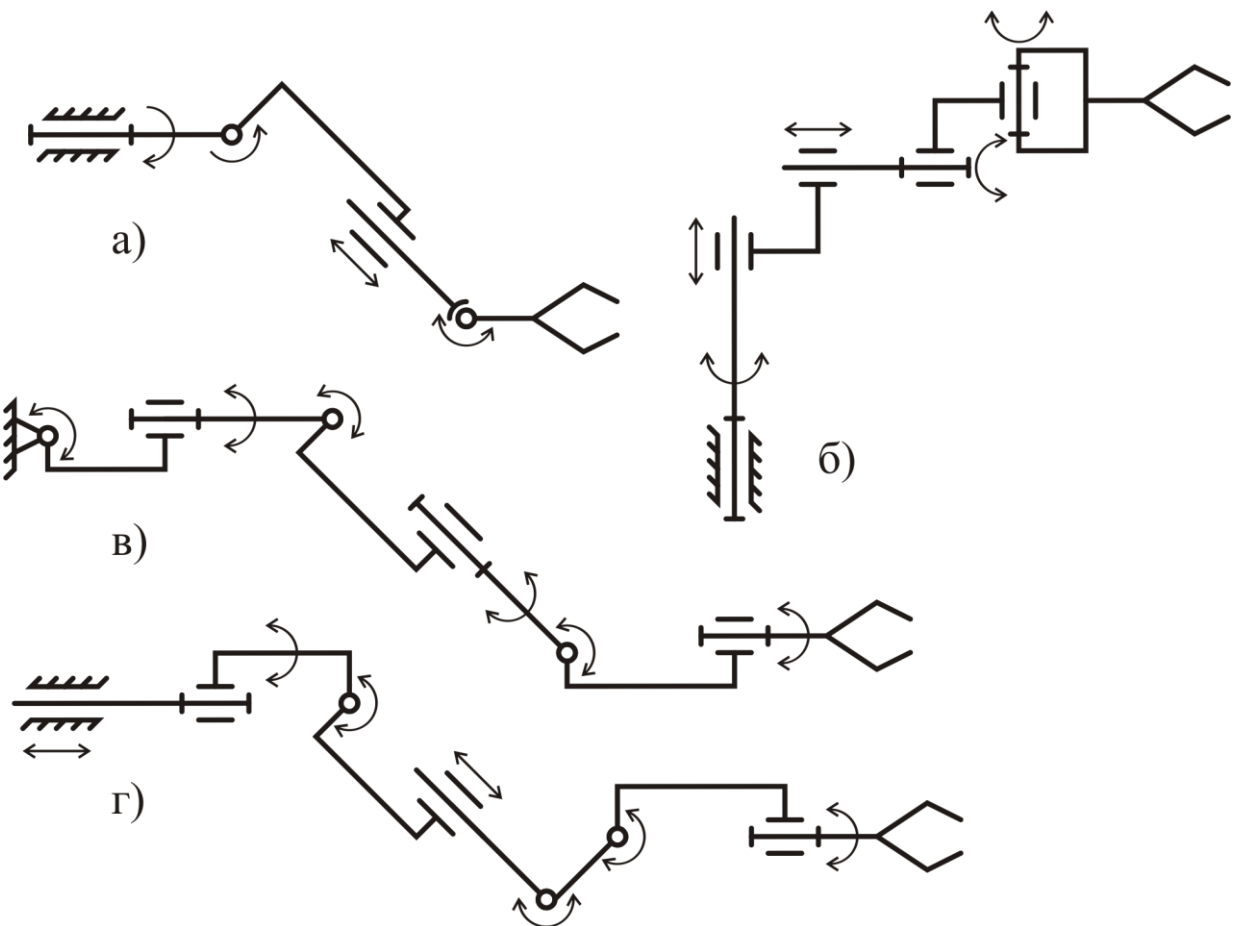


Рис. 2.2. Види кінематичних схем маніпуляторів ПР: чотири (а), п'ять (б), шість (в) і сім (г) ступенів рухомості

## 2.2. Робочі зони та показники якості кінематичних схем ПР

Робочий простір маніпулятора обмежується обгинаючою поверхнею всіх можливих положень захоплювача.

Якісно робочий простір (робоча зона) характеризується формою.

Форму робочої зони ПР визначають кінематична схема і система координат, в якій працює маніпулятор ПР.

Розрізняють такі види систем координат промислових роботів [11]:

- прямокутна;
- полярна;
- ангулярна.

**Прямокутна** система характеризується переміщенням об'єкта маніпулювання у визначену точку простору шляхом прямолінійних рухів ПР по двох (плоска прямокутна) чи трьох (просторова прямокутна) взаємно перпендикулярних осях  $X, Y, Z$  (рис. 2.3, а, б).

**Плоска полярна** система характеризується переміщенням об'єкта маніпулювання в одній координатній площині у напрямках радіуса-вектора  $R$  і кута  $\varphi$  (рис. 2.3, в).

**Циліндрична полярна** система характеризується переміщенням об'єкта в координатній площині у напрямках радіуса-вектора  $R$  і кута  $\varphi$ , а також віссю  $Z$ , що перпендикулярна до цієї площини (рис. 2.3, г).

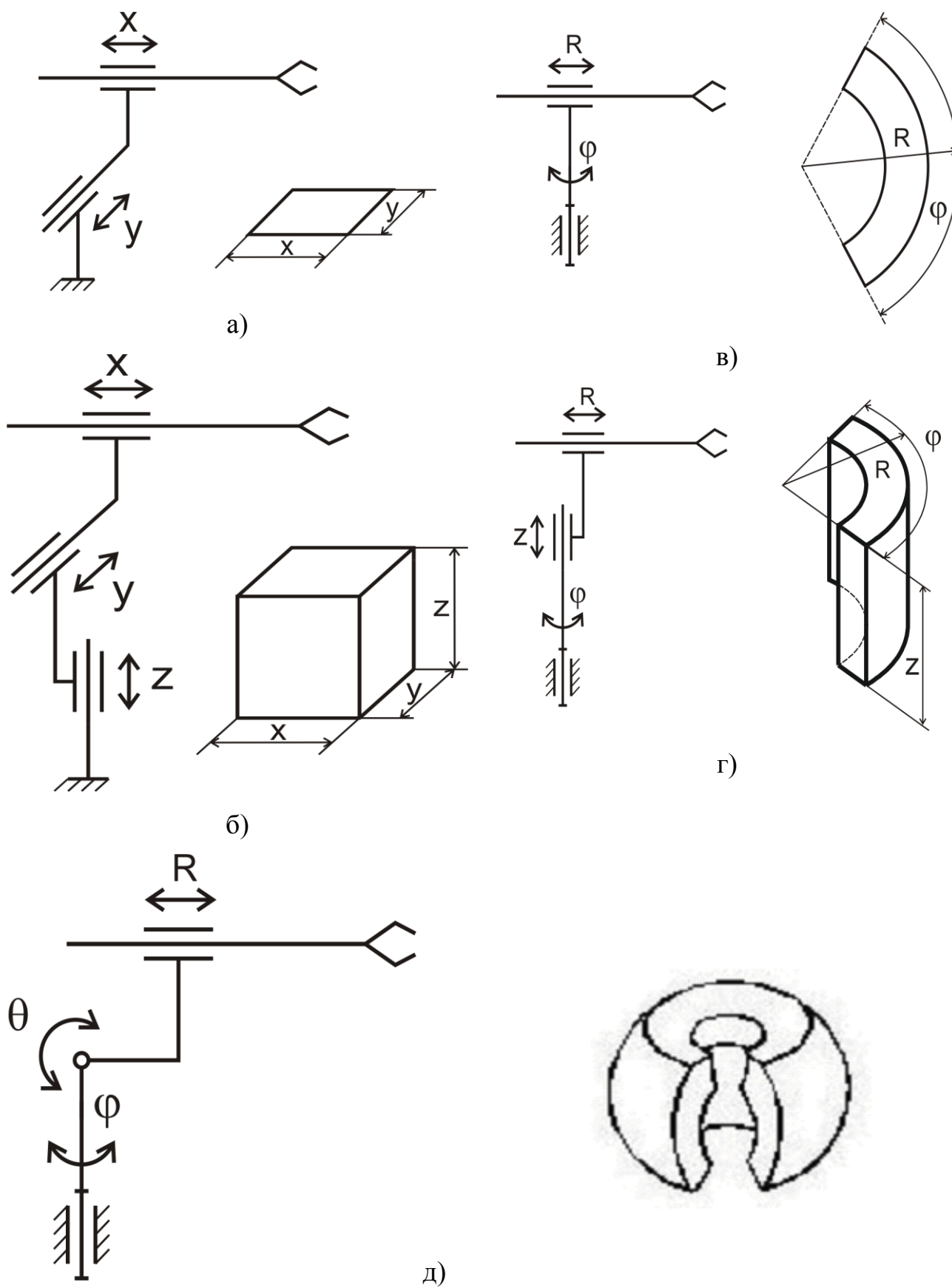


Рис. 2.3. Види робочих зон ПР: а – плоска прямокутна; б – просторова прямокутна ; в – плоска полярна; г – циліндрична полярна; д – сферична полярна

**Сферична полярна система** характеризується переміщенням об'єкта в точку простору в напрямку радіуса-вектора  $R$ , а також кутових поворотів  $\varphi$  і  $\theta$  цього радіуса у двох взаємно перпендикулярних площинах (рис. 2.3, д).

**Ангулярна система** (кутова) характеризується тим, що переміщення об'єкта в напрямку радіуса-вектора здійснюється шляхом відносних кутових поворотів ланок руки ПР, що мають постійну довжину.

**Плоска ангулярна система** – переміщення в одній площині за рахунок кутових  $\theta$  і  $\Omega$  поворотів ланок (рис. 2.4, а).

**Циліндрова ангулярна система** – переміщення в одній площині за рахунок кутових  $\theta$  і  $\Omega$  поворотів ланок і в перпендикулярній до неї площині по осі  $Z$  (рис. 2.4, б).

**Сферична ангулярна система** – переміщення за рахунок кутових  $\theta$ ,  $\Omega_1$  і  $\Omega_2$  поворотів ланок, причому одна з ланок повертається в площині, що перпендикулярна до площини повороту іншої ланки (рис. 2.4, в).

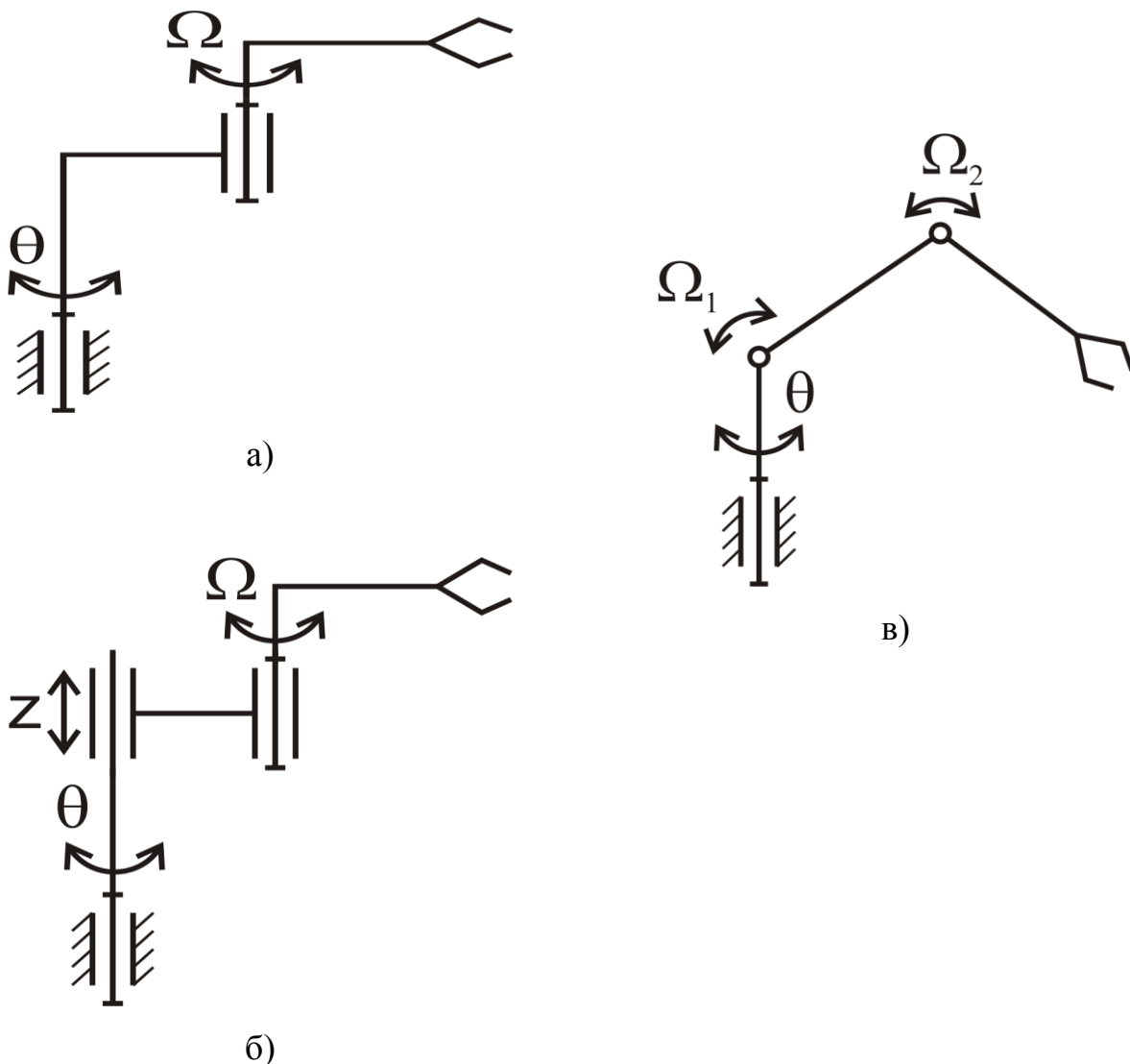


Рис. 2.4. Види ангулярних робочих зон ПР: плоска (а); циліндрична (б); сферична (в)

Геометрична форма та розміри робочої зони ПР МП-9С подані на рис. 2.5. Вони характерні для циліндричної полярної системи координат.

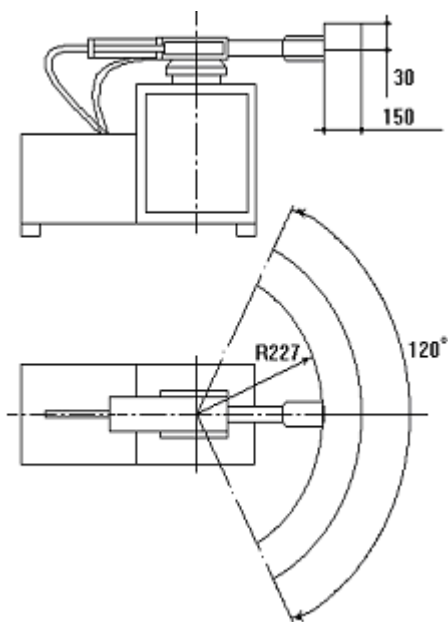


Рис. 2.5. Робочі зони промислового робота МП-9С

Можливості кінематичних схем ПР також характеризуються маневреністю і коефіцієнтом сервісу [11].

**Маневреність** ( $M$ ) – кількість ступенів рухомості механічної системи при фіксованому положенні захоплювача:

$$M = W_m - 6. \quad (2.11)$$

Наявність маневреності ( $M \geq 1$ ) забезпечує можливість обходу захоплювачем різних перешкод у робочій зоні і здатність ПР до виконання складних операцій.

Кут сервісу  $\Psi$  визначається, як сукупність можливих положень осі захоплювача, при якому центр його знаходиться у заданій точці робочого простору (рис. 2.6).

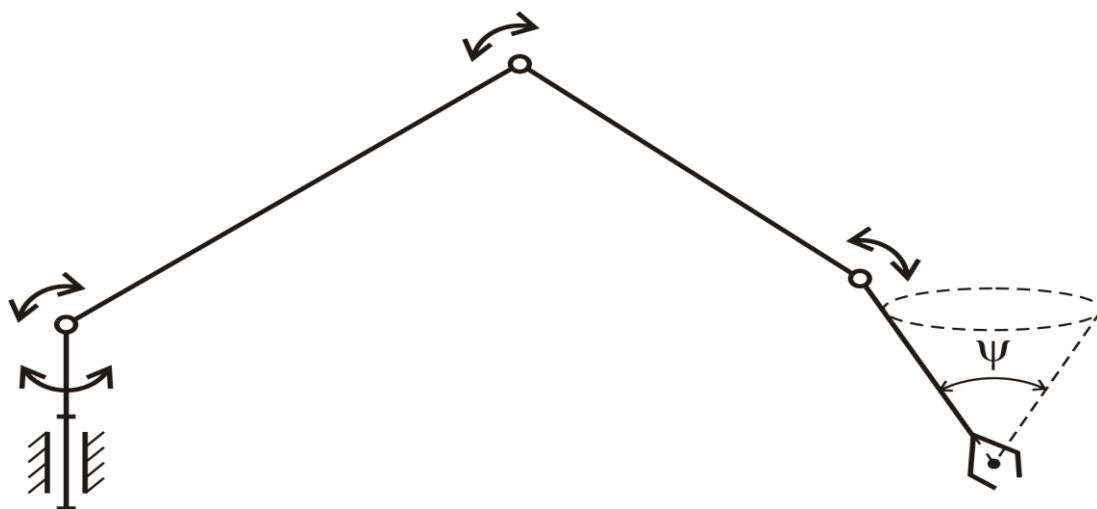


Рис. 2.6. Визначення кута сервісу

**Коефіцієнт сервісу**  $K_\psi$  дає уявлення про можливість підходу захоплювача до заданої точки з різних напрямків і про виконання маніпулятором операцій орієнтування об'єкта у заданій точці робочої зони.



Коефіцієнт сервісу у даній точці робочої зони визначається за формулою:

$$K_{\psi} = \Psi / (4\pi). \quad (2.12)$$

Він може змінюватися від нуля на границі робочої зони (де вісь захоплювача може займати тільки одне положення) до одиниці для точок так званої зони 100%-ного чи повного сервісу (де вісь захоплювача може займати будь-яке положення).

### **2.3. Захоплювачі ПР**

ПР працюють з будь-якими об'єктами маніпулювання. Тому є дуже велика різноманітність захоплювачів.

Усі захоплювачі класифікуються в такий спосіб [4]:

#### **відповідно до способу утримання об'єкта:**

- а) захоплюючі, захоплення та утримування об'єкта робочими елементами (губки, пальці, кліщі) виконується за допомогою сили тертя;
- б) підтримуючі, для утримання об'єкта використовують нижню поверхню, що виступає, або частини об'єкта, що знаходиться у корпусі отвору (гаки, петлі, лопатки);
- в) утримуючі, забезпечують силові впливи на об'єкт (вакуумні, магнітні і т.п.);

#### **відповідно до принципу дії:**

- а) механічні;
- б) з еластичними камерами;
- в) пасивні (без переміщення робочих елементів);
- г) вакуумні;
- д) магнітні;
- е) інші утримуючі;

#### **відповідно до характеру базування об'єкта:**

- а) здатні до перебазування об'єкта, змінює положення деталі завдяки керуючим діям робочих елементів (шарнірні пальці);
- б) центруючі, визначають положення чи осі площини симетрії об'єкта (губки у вигляді призм, еластичні камери);
- в) базуючі, визначають положення базової поверхні, характерні для підтримуючих і захоплюючих;
- г) фіксуючі, зберігають положення об'єкта, що той мав у момент захоплення;

#### **відповідно до ступеня спеціалізації:**

- а) універсальні, об'єкти із широким спектром геометричних і фізичних параметрів;
- б) багатоцільові, обмежена номенклатура поверхонь, що відрізняються формою чи розміром;
- в) цільові, для групи об'єктів з однорідними параметрами;
- г) спеціальні, один вид об'єктів;

**відповідно до кількості робочих позицій:**

- а) однопозиційні;
- б) багатопозиційні;

**відповідно до виду керування:**

- а) некеровані, пружинні, з постійними магнітами чи вакуумні;
- б) командні, із пружинним приводом, що спрацьовує через такт;
- в) жорстко програмувальні, що керуються від системи керування ПР;
- г) адаптивні, програмувальні пристрої, оснащені датчиками зовнішньої інформації;

**відповідно характеру кріплення до руки робота:**

- а) незмінювані, невід'ємна частина ПР;
- б) змінні, самостійні вузли, де кріплення не передбачає швидкої заміни (фланцеве з'єднання);
- в) швидкозмінні (байонетний замок);
- г) придатні для автоматичної зміни.

## **2.4. Технічні вимоги до ПР**

Роботизація виробничих процесів є однією з основних ланок технічного переоснащення промислових підприємств. Проте слід враховувати, що впровадження роботів вимагає перебудови всієї організації та управління виробництвом, розробки і застосування нових елементів технології, а іноді, навпаки, скорочення технологічного циклу, вбудовування додаткового устаткування, уніфікації використовуваних пристосувань та інструменту [12].

Щоб уникнути отримання негативного економічного ефекту, необхідно забезпечити комплексний системний підхід до роботизації виробництва.

У масовому і багатосерійному виробництві особливо перспективно створення гнучких автоматичних ліній, що обслуговуються роботами. Застосування роботів дозволяє вирішувати завдання швидкого переналагодження ліній. Перспективно також використання роботів для обслуговування агрегатних верстатів при комплектації гнучких виробничих модулів, що складаються з двох–трьох агрегатів основного технологічного устаткування. У такому модулі установку деталей, а також їх транспортування між верстатами виконує робот. У дрібносерійному виробництві найдоцільніше поєднання роботів з верстатами з числовим програмним керуванням (ЧПК), що дозволяє автоматизувати виготовлення дрібних серій деталей на основі методу групової технології.

При розробці технічних вимог до впроваджуваних ПР, у першу чергу, впливають такі чинники і показники використання:

- номінальна вантажопідйомність;
- показники захоплюючого пристрою;
- розміри і форма робочої зони;
- показники ланок і маніпулятора ПР;
- кількість ступенів рухомості ПР.

Розглянемо формування технічних вимог до ПР на прикладі механообробних виробництв.

Номинальна вантажопідйомність ПР визначається виходячи з вимог технологічного процесу. Вона може складати до 10 або до 100 Н, рідше – до 2000 Н і більше.

Показники захоплюючого пристрою багато в чому залежать від необхідної номінальної вантажопідйомності. При цьому визначають тип захоплювача, необхідне зусилля захвату (Н), час захоплення (с), час звільнення (с), максимальний і мінімальний розміри об'єкта маніпулювання (мм).

Розміри і форма робочої зони є одними з основних характеристик ПР і визначають його геометричні параметри, тобто розміри ланок робота і їх переміщень. Вони також визначаються відповідно до технологічного процесу.

До геометричних, швидкісних і показників точності ланок і всього маніпулятора ПР відносять: максимальне переміщення (мм, град); час переміщення (с); максимальну швидкість (м/с, град/с); максимальне прискорення (м/с<sup>2</sup>, град/с<sup>2</sup>); максимальну абсолютну похибку позиціонування (мм).

Швидкості лінійних і кутових переміщень ланок визначаються часом обробки деталей на верстатах і розташуванням технологічного і допоміжного устаткування. Ці параметри слід установлювати виходячи з умови отримання максимальної продуктивності створюваного роботизованого виробництва при деяких допустимих значеннях швидкостей переміщень.

Для обслуговування металорізальних верстатів звичайно застосовуються швидкості лінійних переміщень ланок від 0,1 до 1 м/с, кутових – від 30 до 120 град/с. Необхідна точність позиціонування ПР, що використовують для завантаження верстатів, коливається залежно від розмірів робочої зони і вантажопідйомності робота в межах від 0,1 до 2 мм. Разом з тим помилка позиціонування захоплювача залежить від його положення в робочій зоні робота, оскільки є функцією його узагальнених координат і помилки обробки їх значень.

Необхідна кількість ступенів рухомості ПР визначається розташуванням його живильного пристрою (магазина) і накопичувача відносно обслуговуючого верстата, а також геометрією останнього, формою і розташуванням предмета обробки у магазині робота і верстата.

Схеми компоновки роботів з магазином, одним і двома механообробними верстатами, що мають горизонтальну або вертикальну вісь шпинделя, і накопичувачем показані на рис. 2.7.

Для верстатів з горизонтальною віссю шпинделя (токарні, шліфувальні та ін.) характерні компоновки з фронтальною (рис. 2.7, а, б, в) і верхньою (рис. 2.4, г, д) трасами обслуговування (завантаження–розвантаження верстата).

У компоновці з фронтальною трасою обслуговування ПР здійснює завантаження–розвантаження верстата при обробці деталі в патроні (рис. 2.7, а, б) або у центрах (рис. 2.7, в), виконуючи задані переміщення в полярній, циліндровій або сферичній системах координат.

У першому випадку осі заготовки (у магазині), патрона і деталі (у накопичувачі) повинні бути розташовані на одному рівні. Необхідна кількість ступенів рухомості у цьому випадку  $Wp=2$ .

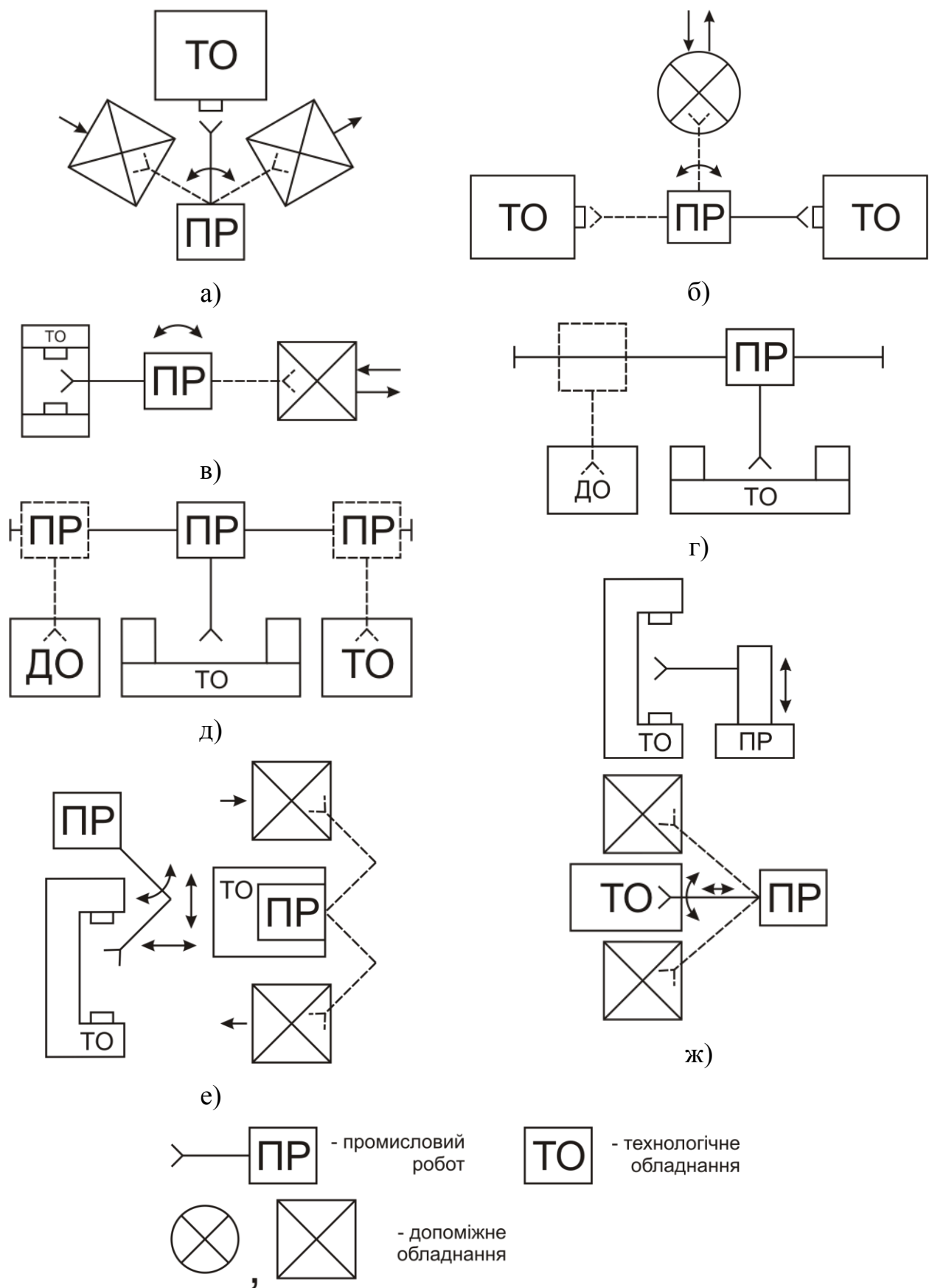


Рис. 2.7. Схеми компоновки РТК у механообробних виробництвах з горизонтальною (а–д) і вертикальною (е, ж) віссю верстатів

У разі розташування осей на різних рівнях переміщення задаються в циліндровій системі координат, при цьому  $W_p=3$ . Якщо ж заготовки й оброблені деталі розміщуються у вертикальному гвинтовому магазині (рис. 2.7, б), використовують сферичну систему координат, і в цьому випадку також  $W_p=3$ .

Компонування з верхньою трасою обслуговування і порталним підвісним роботом (рис. 2.7, г) застосовується для обслуговування верстатів при обробці деталей як у патроні, так і в центрах. Переміщення заготовок і деталей здійснюються у прямокутній на площині системі координат ( $W_m = 1$ ), робот має рухому основу ( $W_0=1$ ), отже, необхідна кількість ступенів рухомості така:  $W_p=W_m+W_0= 2$ .

Рухомий підвісний робот (рис. 2.4, д) використовується для обслуговування ліній токарних верстатів. Робот здійснює рух у сферичній системі координат, забезпечуючи перенесення заготовки з магазину до верстата. Загальна кількість ступенів рухомості  $W_p = 4$ .

Для верстатів з вертикальною віссю шпинделя (вертикально-свердлувальні, багатошпиндельні, агрегатні) застосовують схеми компонувань варіантів рис. 2.4 (е, ж). У варіанті (е) ПР при підвісних компонуваннях здійснює переміщення у циліндровій системі координат, при цьому  $W_m = 3$ ,  $W_0= 1$ ,  $W_p = W_m + W_0= 4$ . У варіанті (ж) він також працює у циліндровій системі координат. При бічному введенні заготовки в зону установки досить мати  $W_p=2$ , а при фронтальному –  $W_p=3$ .

Використання одного ПР для обслуговування групи верстатів викликає необхідність переміщення його стояка по підлогових або підвісних шляхах. При рухомому стояку робот може взаємодіяти зі складом заготовок та інструментів.

Підлогові рухомі маніпулятори займають значну площу, ускладнюють обслуговування і можливість створення безпечних умов. Ці недоліки усуваються при використанні компонувань з підвісним маніпулятором, але в цьому випадку комплекс набуває спеціалізованого характеру, що знижує можливість перенастроювання виробництва.

З аналізу схем компонувань (рис. 2.4) виходить, що найбільша кількість ступенів рухомості ( $W=4$ ) необхідна для виконання переміщень рухомих маніпуляторів у сферичній системі координат. Найменша кількість ступенів рухомості ( $W=2$ ) – при переміщеннях у полярній і прямокутній системах координат на площині. Під час обслуговування декількох верстатів різних типів необхідна кількість ступенів рухомості ПР може досягати  $W = 4...6$ .

Кількість ступенів рухомості ПР залежить також від форми переміщуваних їм предметів і їх розташування у початковому і кінцевому положеннях. У цілому для переміщення предметів складної форми при їх довільному положенні у просторі може виникнути необхідність у додатковій кількості ступенів рухомості.

Проте переміщувані роботом заготовки при обслуговуванні токарних, шліфувальних та інших верстатів мають в основному форму тіл обертання, і кількість ступенів рухомості промислового робота  $W=5$  достатньо, як показав

аналіз, для виконання довільних переміщень подібних предметів при довільному розташуванні ПР відносно устаткування.

В окремих випадках переміщення заготовки (деталі), коли збігаються деякі з її узагальнених координат у початковому і кінцевому положеннях, кількість мінімально необхідних ступенів рухомості робота зменшується. За наявності ж у зоні обслуговування перешкод необхідна кількість ступенів рухомості робота може збільшуватися до  $W=7...8$ . Однак такі ПР застосовуються у механообробному виробництві як виняток, зважаючи на їх високу вартість і низьку надійність.

Остаточну кількість ступенів рухомості ПР, необхідну для організації механообробних виробництв, слід вибирати виходячи з техніко-економічного аналізу всього РТК, його продуктивності, вартості робота і витрат на його переналагодження.

### **Висновки**

У даному розділі розглянуто такі основні питання:

- визначення кінематики ПР;
- робочі зони та показники якості кінематичних схем ПР;
- класифікація захоплювачів ПР;
- технічні вимоги до ПР.

### **Контрольні питання**

1. Сформулюйте визначення кінематичної пари.
2. Як визначається клас кінематичної пари?
3. Наведіть приклади кінематичних пар різного класу.
4. Сформулюйте визначення кінематичної схеми.
5. Наведіть приклади позначення вала і з'єднання кривошипа із шатуном на кінематичних схемах.
6. Дайте приклади умовного позначення напрямів руху.
7. Сформулюйте визначення ступеня рухомості кінематичної схеми.
8. Чому дорівнює ступінь рухомості маніпулятора ПР?
9. Які є основні групи рухів ланок маніпулятора ПР?
10. Наведіть види систем координат, в яких працює маніпулятор ПР.
11. Сформулюйте визначення маневреності маніпулятора ПР.
12. Сформулюйте визначення коефіцієнта сервісу маніпулятора ПР.
13. Сформулюйте визначення маніпулятора ПР.
14. Відповідно до яких ознак класифікуються захоплювачі ПР?
15. Як класифікуються захоплювачі ПР відповідно до способу утримання об'єкта, принципу дії, виду керування?
16. Які чинники і показники використання впливають на розробку технічних вимог до ПР?
17. Що належить до геометричних, швидкісних і показників точності маніпулятора ПР?
18. Від чого залежить необхідна кількість ступенів рухомості ПР?

### 3. РОЗРАХУНОК КІНЕМАТИКИ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

У результаті вивчення даного розділу студенти повинні вміти:

- сформулювати методи опису кінематики і динаміки маніпулятора промислового робота;
- сформулювати пряму задачу кінематики і розв'язати її;
- вибирати спеціальні системи координат ланок маніпулятора;
- описати перехід з одної системи координат в іншу;
- сформулювати обернену задачу кінематики і розв'язати її;
- виконати перевірку розв'язання оберненої задачі кінематики графічним методом.

#### 3.1. Методи розрахунку кінематики промислових роботів

Тверді тіла, що входять у механічну систему маніпулятора, називаються **ланками**. У механіці розрізняють вхідні і вихідні ланки.

**Вхідною** називається ланка, якій передається рух, перетворений механізмом.

**Вихідною** називається ланка, що робить робочий рух.

Таким чином, у маніпуляторі кількість вхідних ланок дорівнює кількості приводів, а вихідна ланка, як правило, одна – захоплювач чи робочий орган.

Маніпулятор – незамкнутий кінематичний ланцюг і тому розглядається в кінематиці і динаміці незамкнутих кінематичних схем.

**Маніпулятор** – це складний просторовий керований механізм з декількома ступенями рухомості (з погляду теоретичної механіки і теорії механізмів), який утримує тверді і пружні ланки, передачу і привід. Він являє собою єдину динамічну систему.

Маніпулятором промислового робота називається технічний пристрій, який призначений для відтворення деяких робочих функцій рук людини.

Здатність відтворювати рухи, подібні до рухів рук людини, досягається доданням маніпулятору декількох ступенів рухомості, за рахунок яких здійснюється керований рух з метою одержання заданого руху робочого органа – захоплювача.

Специфіка ПР полягає в тому, що до них ставляться високі вимоги відносно точності і швидкодії при реалізації програмних рухів. Це вимагає використання засобів та методів теоретичної механіки, теорії механізмів, теорії автоматичного керування, теорії пружності і коливань, теорії приводу.

Для опису кінематики і динаміки ПР використовуються різні методи [7, 8]. Найбільш поширені графічний, векторний і метод матриць. Метод матриць переважає, тому що він більшою мірою орієнтований на застосування ЕОМ. Метод матриць можна використовувати для розрахунку будь-якого маніпулятора з поступальними й обертальними кінематичними парами.

Універсальність методу обумовлюється ціною деякої надмірності обчислень. Цей метод удосконалювався паралельно з розвитком обчислювальної техніки і більше пристосований до розрахунків на ЕОМ, ніж до розрахунків вручну.

### 3.2. Розв'язання прямої задачі кінематики

**Пряму задачу кінематики** можна сформулювати так: задана кінематична схема маніпулятора і відомі значення узагальнених координат, що визначають положення всіх ланок маніпулятора одна відносно одної [7 – 9]. Потрібно знайти положення й орієнтацію захоплювача в системі координат  $O$  (стояка). Геометричні розміри ланок вважаються відомими.

Для розв'язання прямої задачі кінематики із застосуванням метода матриць необхідно визначити правосторонні декартові системи координат ланок маніпулятора спеціальним способом (додаток А).

При цьому віссю обертальної пари  $(i, i + 1)$ , складеної з ланок  $i$  та  $i + 1$ , є вісь циліндричного шарніра, жорстко зв'язана з ланкою  $i$ , навколо якого обертається ланка  $i + 1$  (рис. 3.1, а). Для поступальної пари  $(i, i + 1)$  віссю є будь-яка пряма, паралельна вектору швидкості поступального руху ланки  $i + 1$  відносно ланки  $i$  (рис. 3.1, б).

Пронумеруємо всі ланки маніпулятора від стояка (ланка 0) до захоплювача (ланки  $n$ ) і зв'яжемо з кожною з них свою систему декартових координат, яка обирається спеціальним способом:

- вісь  $Z_i$  направляється по осі кінематичної пари  $(i, i + 1)$ ;
- початок координат  $i$ -ї системи ( $O_i$ ), жорстко зв'язаної з  $i$ -ю ланкою, знаходиться на загальному перпендикулярі до осей  $Z_{i-1}$  і  $Z_i$  (рис. 3.2, а), якщо вони паралельні, або в точці їх перетину (рис. 3.2, б), якщо така є, або у будь-якій точці осі кінематичної пари (рис. 3.2, в), якщо вісь  $Z_i$  збігається з віссю  $Z_{i-1}$ ;
- вісь  $X_i$  направляється відповідно до загального перпендикуляра, проведеного до осей  $Z_{i-1}$  і  $Z_i$ , від точки перетину цього перпендикуляра з віссю  $Z_{i-1}$  до точки його перетину з віссю  $Z_i$  (рис. 3.3, а) або в будь-який бік відповідно нормалі до площини, що містить осі  $Z_{i-1}$  і  $Z_i$  (рис. 3.3, б), якщо вони перетинаються (але так, щоб  $Z_{i-1}$ ,  $Z_i$  і  $X_i$  утворювали правосторонню систему координат), або довільно (рис. 3.3, в), якщо  $Z_{i-1}$  і  $Z_i$  збігаються;
- вісь  $Y_i$  визначається обертанням  $X_i$  проти руху годинникової стрілки на  $90^\circ$ , якщо дивитися назустріч осі обертання  $Z_i$ , тобто за правилом правої трійки векторів;
- вісь  $X_0$  направляється перпендикулярно до осі  $Z_0$  у точці  $O_0$  в будь-який бік;
- початок координат системи  $O_0$ , тобто системи, жорстко зв'язаної зі стояком, може лежати в будь-якій точці осі  $Z_0$ ;
- для вибору системи координат  $n$  (яка випадає із загального правила, тому що ланка  $n + 1$  не існує) пропонується зобразити пару будь-якого типу  $(n, n + 1)$  і після цього вибирати систему за загальними правилами. Початок вибраної у такий спосіб системи координат  $n$  називається центром захоплювача.



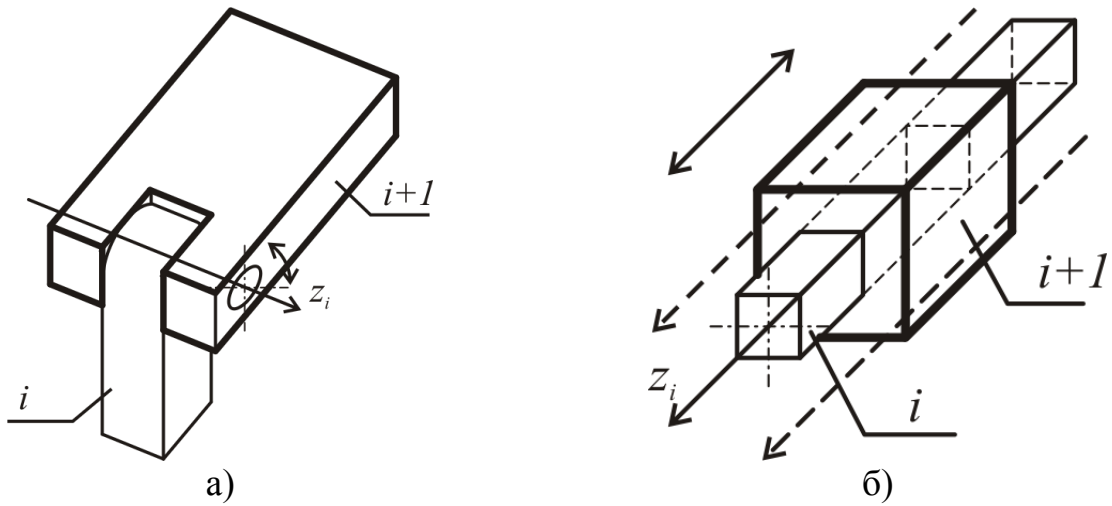


Рис. 3.1. Приклади визначення осі обертальної (а) та поступальної (б) пар

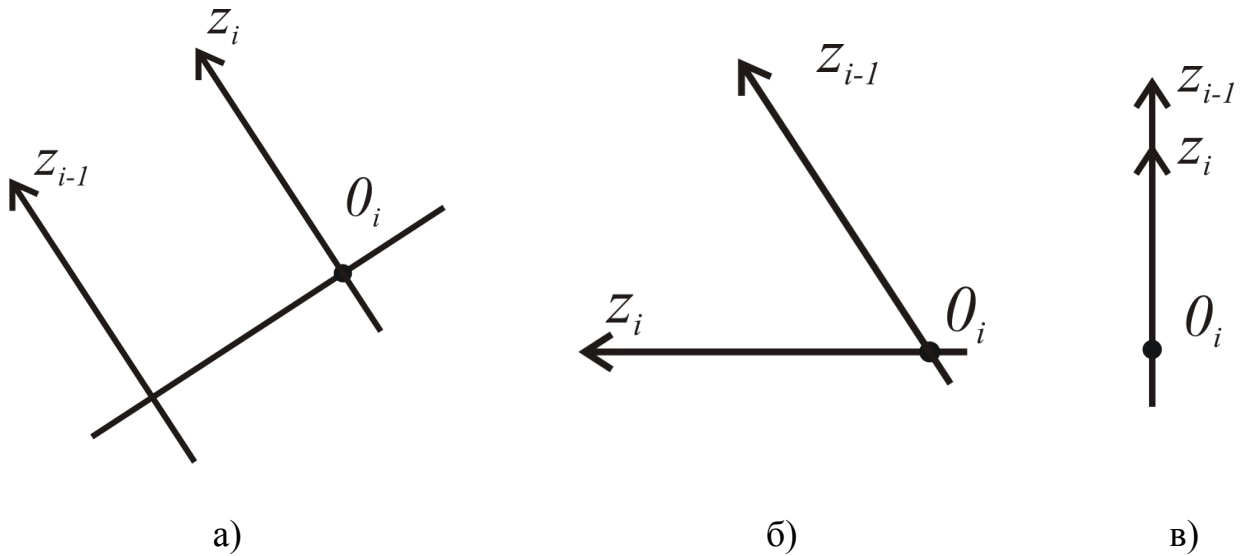


Рис. 3.2. Приклади визначення початку координат  $i$ -ї системи

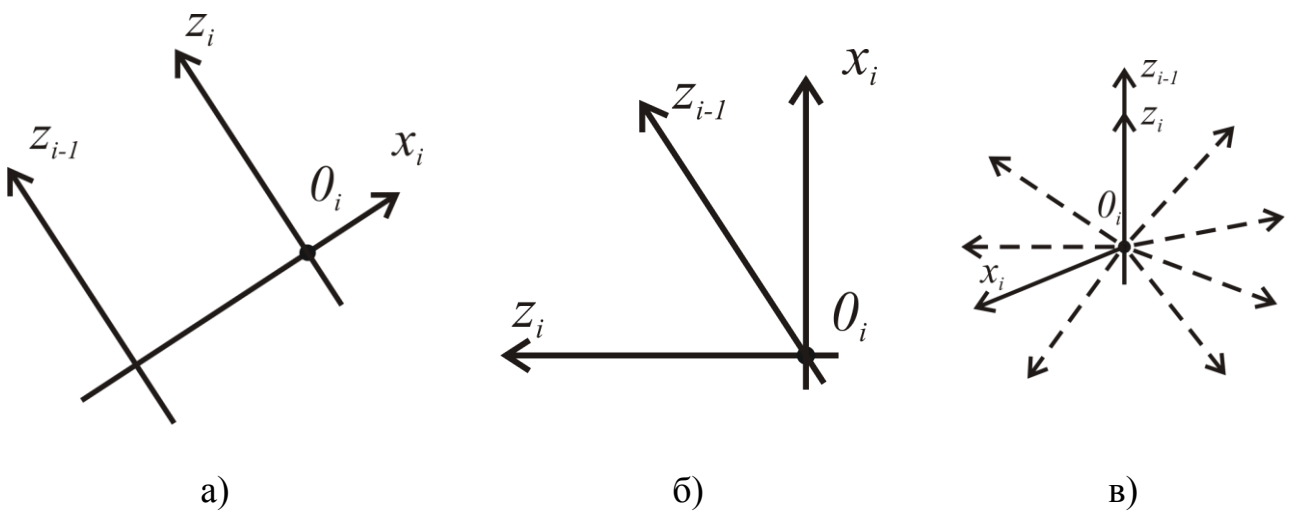


Рис. 3.3. Приклади визначення для  $i$ -ї системи осі  $X_i$

Спеціальний вибір систем координат ланок маніпулятора дозволяє за допомогою лише чотирьох параметрів описати перехід з однієї системи в іншу.

Систему координат  $i-1$  можна перетворити в  $i$ -ту систему шляхом повороту, двох перенесень (зсувів) і ще одного повороту, виконаних у такому порядку [7 – 9]:

- поворот системи координат  $i-1$  навколо осі  $Z_{i-1}$  на кут  $\Theta_i$  доти, поки вісь  $X_{i-1}$  не стане паралельна осі  $X_i$ ;
- перенесення поверненої системи координат уздовж осі  $Z_i$  на величину  $S_i$  доти, поки осі  $X_{i-1}$  і  $X_i$  не виявляться на одній прямій;
- перенесення системи координат уздовж осі  $X_i$  на величину  $d_i$  доти, поки не відбудеться збіг початків систем координат;
- поворот осі  $Z_{i-1}$  навколо осі  $X_i$  на кут  $\alpha_i$  до з'єднання з віссю  $Z_i$ .

До кожного з цих елементарних рухів співвідноситься матриця повороту або матриця перенесення [8].

Матриця  $A_i$  дорівнює множенню цих матриць повороту та перенесення:

$$A_i = B_{нов}(\bar{k}, \theta_i) B_{пер}(\bar{k}, S_i) B_{пер}(\bar{i}, d_i) B_{нов}(\bar{i}, \alpha_i). \quad (3.1)$$

Результуюча матриця переходу  $A_i$  зв'язує системи  $i-1$  та  $i$ .

Якщо підставити значення матриць повороту та перенесення в (3.1), то розширена матриця  $A_i$  буде мати такий вигляд:

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos \Theta_i & -\sin \Theta_i \cdot \cos \alpha_i & \sin \Theta_i \cdot \sin \alpha_i & d_i \cdot \cos \Theta_i \\ \sin \Theta_i & \cos \Theta_i \cdot \cos \alpha_i & -\cos \Theta_i \cdot \sin \alpha_i & d_i \cdot \sin \Theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & S_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.2)$$

У розширену матрицю  $A_i$  входять чотири параметри:  $\Theta_i$ ,  $S_i$ ,  $d_i$ ,  $\alpha_i$ .

Для будь-якої кінематичної пари три з них повинні бути константами і тільки один – змінною величиною (узагальненою координатою). Для обертальної пари змінною величиною є кут  $\Theta_i$ , а для поступальної – перенесення  $S_i$ . Позитивний напрям відліку узагальнених координат: для  $\Theta_i$  – обертанням проти руху годинникової стрілки, якщо дивитись назустріч осі обертання, для  $S_i$  – рухом уздовж позитивного напрямку  $i$ -ї осі.

Значення параметрів маніпулятора для вибраних спеціальних систем координат заносять у таблицю (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Приклад таблиці для занесення параметрів маніпулятора

№ кінематичної пари	Тип пари	Ланки $i-i$ пари	Значення параметрів маніпулятора			
			$\Theta$	$S$	$d$	$\alpha$
...	...	...	...	...	...	...

Таким чином, для розв'язання прямої задачі кінематики (визначення положення й орієнтації захоплювача у системі  $O$ ) слід знайти добуток  $T_n$  розширених матриць  $A_1, A_2, \dots, A_n$ :

$$T_n = A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n. \quad (3.3)$$

Матриця  $T_n$  однозначно встановлює положення й орієнтацію захоплювача у системі координат  $O$  (стояка).

$$T_n = \begin{bmatrix} \cos(\bar{i}_n \wedge \bar{i}_0) & \cos(\bar{j}_n \wedge \bar{i}_0) & \cos(\bar{k}_n \wedge \bar{i}_0) & x_n^0 \\ \cos(\bar{i}_n \wedge \bar{j}_0) & \cos(\bar{j}_n \wedge \bar{j}_0) & \cos(\bar{k}_n \wedge \bar{j}_0) & y_n^0 \\ \cos(\bar{i}_n \wedge \bar{k}_0) & \cos(\bar{j}_n \wedge \bar{k}_0) & \cos(\bar{k}_n \wedge \bar{k}_0) & z_n^0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.4)$$

Стовпці матриці  $T_n$  (3.4) мають геометричне тлумачення: перші три елементи першого, другого і третього стовпців являють собою напрямні косинуси відповідно осей  $X_n, Y_n, Z_n$  у системі  $O$  (стояка); три елементи четвертого стовпця – це координати  $x_n^0, y_n^0, z_n^0$  центра захоплювача у тій же системі координат  $O$  (стояка).

### 3.3. Розв'язання оберненої задачі кінематики

Для вирішення оберненої задачі кінематики спочатку розв'язують пряму задачу кінематики для заданої кінематичної схеми маніпулятора у загальному вигляді.

**Обернену задачу кінематики** можна сформулювати так: задана кінематична схема маніпулятора і відомі положення й орієнтація захоплювача в системі координат стояка. Потрібно розрахувати значення узагальнених координат, що забезпечать задане положення та орієнтацію захоплювача [7, 8].

Геометричні розміри ланок вважаються відомими.

Задати положення захоплювача можна за допомогою шести величин. Звичайно три з них – це координати центра захоплювача, ще дві – напрямні косинуси однієї з координатних осей захоплювача й остання – це один з напрямних косинусів іншої координатної осі захоплювача.

Наприклад, цими шістьма величинами можуть бути шість наддіагональних елементів матриці  $T_n$ .

Прирівнюючи шість заданих величин до відповідних елементів матриці  $T_n$ , одержимо систему шести рівнянь (у загальному випадку трансцендентних), в якій невідомими є узагальнені координати.

Якщо  $n=6$ , тобто кількість невідомих дорівнює кількості рівнянь, то звичайно можна розрахувати значення узагальнених координат.

$$T_n = \begin{bmatrix} * & (t_n)_{12} & (t_n)_{13} & (t_n)_{14} \\ * & * & (t_n)_{23} & (t_n)_{24} \\ * & * & * & (t_n)_{34} \\ * & * & * & * \end{bmatrix}. \quad (3.5)$$

Якщо маніпулятор має більше шести ступенів рухомості, тобто кількість невідомих перевищує число 6 ( $n > 6$ ), то такому ж положенню захоплювача можуть відповідати різні набори значень узагальнених координат.

Якщо  $n < 6$ , то розв'язку не існує, тобто за рахунок числа меншого за шість узагальнених координат неможливо одержати наперед задані довільні положення й орієнтацію захоплювача.

Однак, якщо потрібно лише попадання центра захоплювача у визначену точку простору, а його орієнтація може бути будь-яка, то підійде маніпулятор із трьома ступенями рухомості. У цьому випадку при розв'язанні задачі буде потрібно скласти лише три рівняння для відшукування трьох невідомих.

При розв'язанні оберненої задачі кінематики звичайно вважають, що кількість невідомих дорівнює кількості ступенів рухомості маніпулятора.

Прирівняємо перші три елементи 4-го стовпця матриці  $T_n$  до заданих величин  $x_n^0$ ,  $y_n^0$  та  $z_n^0$  і одержимо систему рівнянь. Розв'язок цієї системи дозволяє знайти узагальнені координати, що забезпечать задане положення й орієнтацію захоплювача.

Для **перевірки вирішення** оберненої задачі кінематики застосовують графічний метод.

Малюють три проєкції маніпулятора (спереду, зверху і зліва) із застосуванням первинних даних (умовна кінематична схема маніпулятора, розміри ланок, значень координат захоплювача в системі координат стояка) і перевіряють, чому дорівнюють значення узагальнених координат на рисунку і чи збігаються вони з тими, що знайдені при розрахунку кінематичної схеми маніпулятора методом матриць.

Одне застереження: коли малюють проєкцію маніпулятора зверху, треба враховувати, у якій чверті системи координат знаходиться проєкція захоплювача маніпулятора: у першій – рис. 3.4 а, у другій – рис. 3.4 б і т.д.

### **3.4. Приклад розрахунку кінематики промислового робота**

#### **Завдання**

За заданою кінематичною схемою маніпулятора і заданим положенням вихідної ланки розрахувати змінні параметри маніпулятора, тобто вирішити обернену задачу кінематики з використанням метода матриць.

Перевірку виконати графічним методом.

Розміри ланок підібрати самостійно, крок зміни розмірів 50 мм.

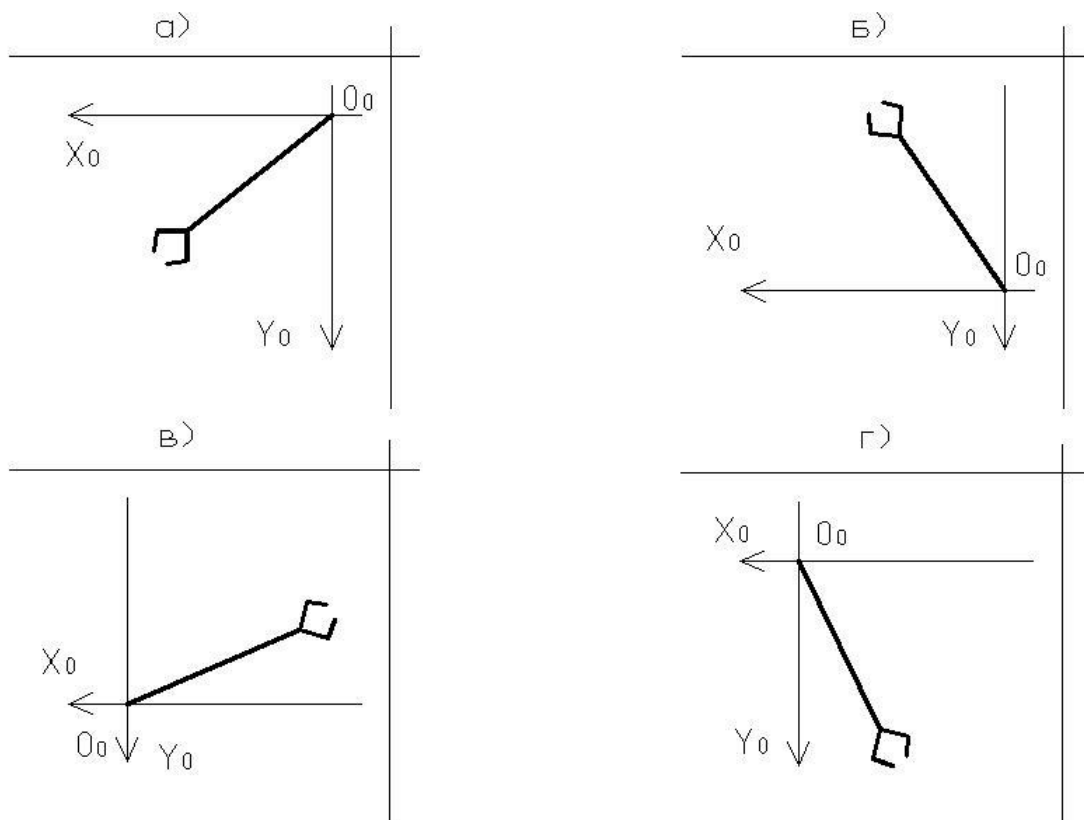


Рис. 3.4. Вигляд маніпулятора зверху у першій (а), другій (б), третій (в) і четвертій (г) чвертях системи координат

Положення вихідної ланки (захоплювача):

$$X = 250; \quad Y = -140; \quad Z = 180.$$

Кінематична схема маніпулятора має чотири кінематичні пари: три поступального типу та одну обертальну.

Кут між осями першої і другої кінематичних пар і третьої та четвертої дорівнює 0 град, між другою і третьою – 90 град.

Умовно це можна записати, як  $\uparrow O P \uparrow \uparrow$ , де:

$\uparrow$  – кінематична пара поступального типу;

$O$  – кінематична пара обертального типу;

$P$  – кут 90 град.

### Вибір спеціальних систем координат

Відповідно до завдання умовна кінематична схема маніпулятора буде мати вигляд, як показано на рис. 3.5.

Намалюємо конструктивну кінематичну схему маніпулятора в аксонометрії (рис. 3.6).

Пронумеруємо всі ланки маніпулятора від стояка (ланка 0) до захоплювача (ланка 4) і зв'яжемо з кожною із них свою систему декартових координат, яка вибрана спеціальним способом відповідно до розділу 3.1.

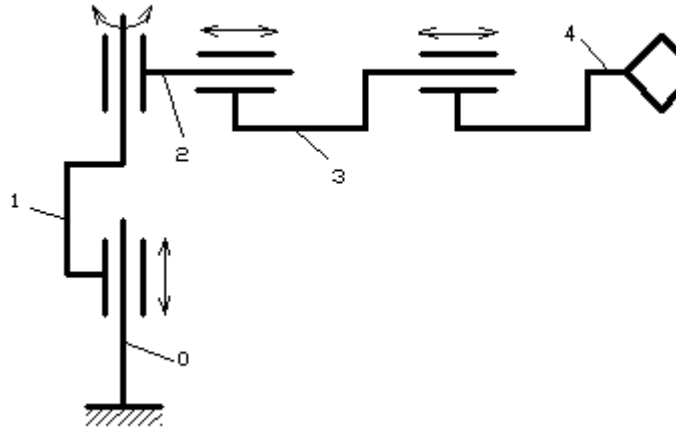


Рис. 3.5. Умовна кінематична схема маніпулятора

Вісь  $Z_0$  вибираємо по осі поступальної пари (0, 1), уздовж якої ланка 1 переміщається відносно ланки 0; вісь  $Z_1$  – по осі обертальної пари (1, 2); вісь  $Z_2$  – по осі поступальної пари (2, 3); вісь  $Z_3$  – по осі поступальної пари (3, 4); вісь  $Z_4$  – по осі віртуальної пари (4, 5) паралельно осі  $Z_3$  (рис. 3.6).

Напрямок осей  $X, Y, Z$  і положення початків координат показані на конструктивній схемі (рис. 3.6).

Визначимо параметри маніпулятора, а результати занесемо в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Параметри маніпулятора

№ кінематичної пари	Тип пари	Ланки $i$ -ї пари	Значення параметрів маніпулятора			
			$\Theta$	$S$	$d$	$\alpha$
1	Поступальна	0,1	0	$S_1$	0	0
2	Обертальна	1,2	$\Theta_2$	$S_2$	0	$\pi/2$
3	Поступальна	2,3	0	$S_3$	0	0
4	Поступальна	3,4	0	$S_4$	0	0

### Вирішення прямої задачі кінематики

Для розв'язання прямої задачі кінематики необхідно скласти матриці  $A_i$ .

Ці матриці визначимо з розширеної матриці  $A_i$  (формула 3.2), що зв'язує системи  $i-1$  та  $i$ -ту.

У нашому випадку це матриці  $A_1, A_3$  і  $A_4$  – матриці перенесення, а  $A_2$  – матриця повороту.

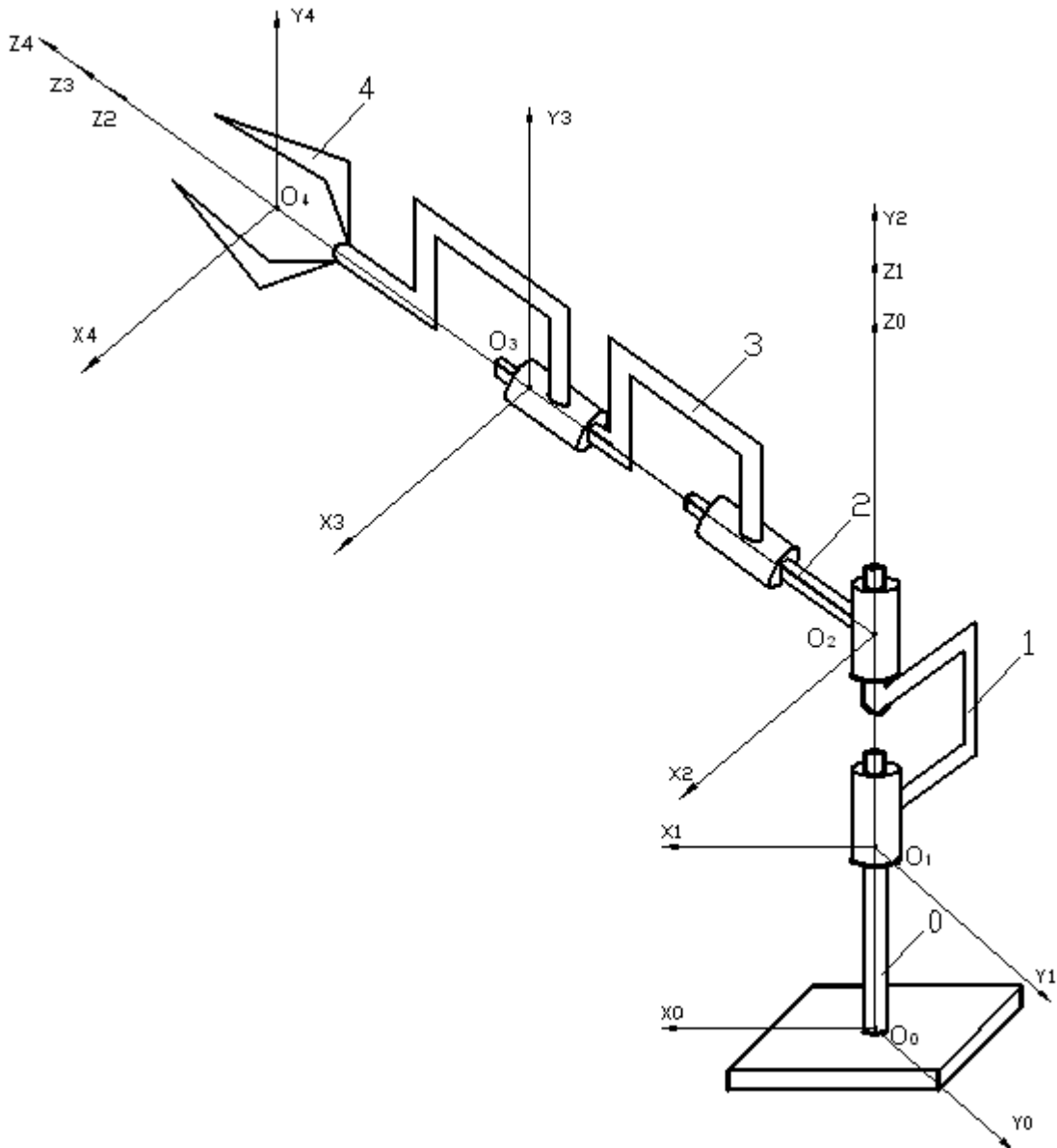


Рис. 3.6. Конструктивна схема маніпулятора

Зробимо розрахунок розширених матриць переходу для заданої кінематичної системи маніпулятора згідно з параметрами табл. 3.2:

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \cdot \cos \alpha & \sin \theta \cdot \sin \alpha & 0 \cdot \cos \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \cdot \cos \alpha & -\cos \theta \cdot \sin \alpha & 0 \cdot \sin \theta \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} \cos \Theta_2 & -\sin \Theta_2 \cdot \cos \pi/2 & \sin \Theta_2 \cdot \sin \pi/2 & 0 \cdot \cos \Theta_2 \\ \sin \Theta_2 & \cos \Theta_2 \cdot \cos \pi/2 & -\cos \Theta_2 \cdot \sin \alpha_2 & 0 \cdot \sin \Theta_2 \\ 0 & \sin \pi/2 & \cos \pi/2 & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Theta_2 & 0 & \sin \Theta_2 & 0 \\ \sin \Theta_2 & 0 & -\cos \Theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} \cos 0 & -\sin 0 \cdot \cos 0 & \sin 0 \cdot \sin 0 & 0 \cdot \cos 0 \\ \sin 0 & \cos 0 \cdot \cos 0 & -\cos 0 \cdot \sin 0 & 0 \cdot \sin 0 \\ 0 & \sin 0 & \cos 0 & S_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} \cos 0 & -\sin 0 \cdot \cos 0 & \sin 0 \cdot \sin 0 & 0 \cdot \cos 0 \\ \sin 0 & \cos 0 \cdot \cos 0 & -\cos 0 \cdot \sin 0 & 0 \cdot \sin 0 \\ 0 & \sin 0 & \cos 0 & S_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Пряма задача кінематики розв'язується за допомогою формули (3.3).  
Тоді знайдемо  $T_4$ :

$$T_4 = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4.$$

Розв'язок прямої задачі кінематики зводиться до такого: маючи значення узагальнених координат, визначаються елементи матриці  $T_4$ , що однозначно встановлює положення та орієнтацію захоплювача у системі координат стояка:

$$A_1 \cdot A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \Theta_2 & 0 & \sin \Theta_2 & 0 \\ \sin \Theta_2 & 0 & -\cos \Theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Theta_2 & 0 & \sin \Theta_2 & 0 \\ \sin \Theta_2 & 0 & -\cos \Theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & S_2 + S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 = \begin{bmatrix} \cos \Theta_2 & 0 & \sin \Theta_2 & 0 \\ \sin \Theta_2 & 0 & -\cos \Theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & S_2 + S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \Theta_2 & 0 & \sin \Theta_2 & S_3 \cdot \sin \Theta_2 \\ \sin \Theta_2 & 0 & -\cos \Theta_2 & -S_3 \cdot \cos \Theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & S_2 + S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 = \begin{bmatrix} \cos \Theta_2 & 0 & \sin \Theta_2 & S_3 \cdot \sin \Theta_2 \\ \sin \Theta_2 & 0 & -\cos \Theta_2 & -S_3 \cdot \cos \Theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & S_2 + S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$



$$= \begin{bmatrix} \cos \Theta_2 & 0 & \sin \Theta_2 & \sin \Theta_2 \cdot S_4 + S_3 \cdot \sin \Theta_2 \\ \sin \Theta_2 & 0 & -\cos \Theta_2 & -\cos \Theta_2 \cdot S_4 - S_3 \cdot \cos \Theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & S_2 + S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \Theta_2 & 0 & \sin \Theta_2 & \sin \Theta_2 \cdot (S_4 + S_3) \\ \sin \Theta_2 & 0 & -\cos \Theta_2 & -\cos \Theta_2 \cdot (S_4 + S_3) \\ 0 & 1 & 0 & S_2 + S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Координати центра захоплювача (ланка 4) у системі, що зв'язана зі стояком (ланка 0) маніпулятора, можна знайти за формулами:

$$x_4^0 = \sin \Theta_2 \cdot (S_4 + S_3);$$

$$y_4^0 = -\cos \Theta_2 \cdot (S_4 + S_3);$$

$$z_4^0 = S_2 + S_1.$$

### Вирішення оберненої задачі кінематики

Розв'яжемо обернену задачу кінематики.

Прирівнюючи перші три елементи 4-го стовпця матриці  $T_4$  до заданих величин  $x_4^0$ ,  $y_4^0$  і  $z_4^0$  координат центра захоплювача (250; -140; 180), одержуємо систему трьох рівнянь:

$$\begin{cases} x_4^0 = \sin \Theta_2 \cdot (S_4 + S_3) \\ y_4^0 = -\cos \Theta_2 \cdot (S_4 + S_3) \\ z_4^0 = S_2 + S_1 \end{cases} \quad \begin{cases} 250 = \sin \Theta_2 \cdot (S_4 + S_3) \\ -140 = -\cos \Theta_2 \cdot (S_4 + S_3) \\ 180 = S_2 + S_1 \end{cases}.$$

Приймаємо  $S_2 = 80$ , тоді  $S_1 = 180 - 80 = 100$ .

За теоремою Піфагора визначимо змінні  $S_3$  та  $S_4$ :

$$(S_3 + S_4)^2 = (250)^2 + (-140)^2$$

$$(S_3 + S_4) = \pm \sqrt{(250)^2 + (-140)^2} = \pm \sqrt{62500 + 19600}$$

$$(S_3 + S_4) = \pm \sqrt{82100}$$

$$(S_3 + S_4) = \pm 286,5.$$

Приймаємо  $(S_3 + S_4) = 286,5$ , тоді  $S_3 = 200$ , а  $S_4 = 286,5 - 200 = 86,5$ .

Визначимо змінну  $\Theta_2$ :

$$-140 = -\cos \Theta_2 \cdot 286,5$$

$$\cos \Theta_2 = 140 / 286,5 = 0,4886$$

$$\Theta_2 = \arccos 0,4886 = 1,06 \text{ рад} = 60^\circ 45'.$$

### Перевірка розв'язку

Для підтвердження правильності виконаних розрахунків зробимо перевірку розв'язку графічним методом (рис. 3.7).

Перевірка показує, що значення узагальнених координат  $S_1$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  і  $\Theta_2$  на рис. 3.7 збігається з тими, які знайдені при розрахунку кінематичної схеми маніпулятора методом матриць.

### Висновки

У даному розділі розглянуто такі основні питання:

- методи розрахунку кінематики маніпуляторів ПР;
- розв'язання прямої задачі кінематики;
- розв'язання оберненої задачі кінематики;
- приклад розрахунку кінематики маніпулятора ПР.

### Контрольні питання

1. Дайте визначення вхідної ланки маніпулятора.
2. Дайте визначення вихідної ланки маніпулятора.
3. Які методи застосовуються для опису кінематики і динаміки ПР?
4. Дайте визначення спеціальних систем координат.
5. Як визначається вісь обертальної пари?
6. Як визначається вісь поступальної пари?
7. Як вибирається вісь  $X_0$  спеціальних систем координат?
8. Як вибирається вісь  $X_i$  спеціальних систем координат?
9. Як вибирається вісь  $Y_i$  спеціальних систем координат?
10. Як вибирається вісь  $Z_i$  спеціальних систем координат?
11. Як вибирається початок координат системи  $O$  спеціальних систем координат?
12. Як вибирається початок координат  $i$ -ї системи спеціальних систем координат?
13. Як визначаються спеціальні системи координат?
14. Що називається центром захоплювача?
15. Як визначаються матриці  $A_i$  для всіх ланок маніпулятора?

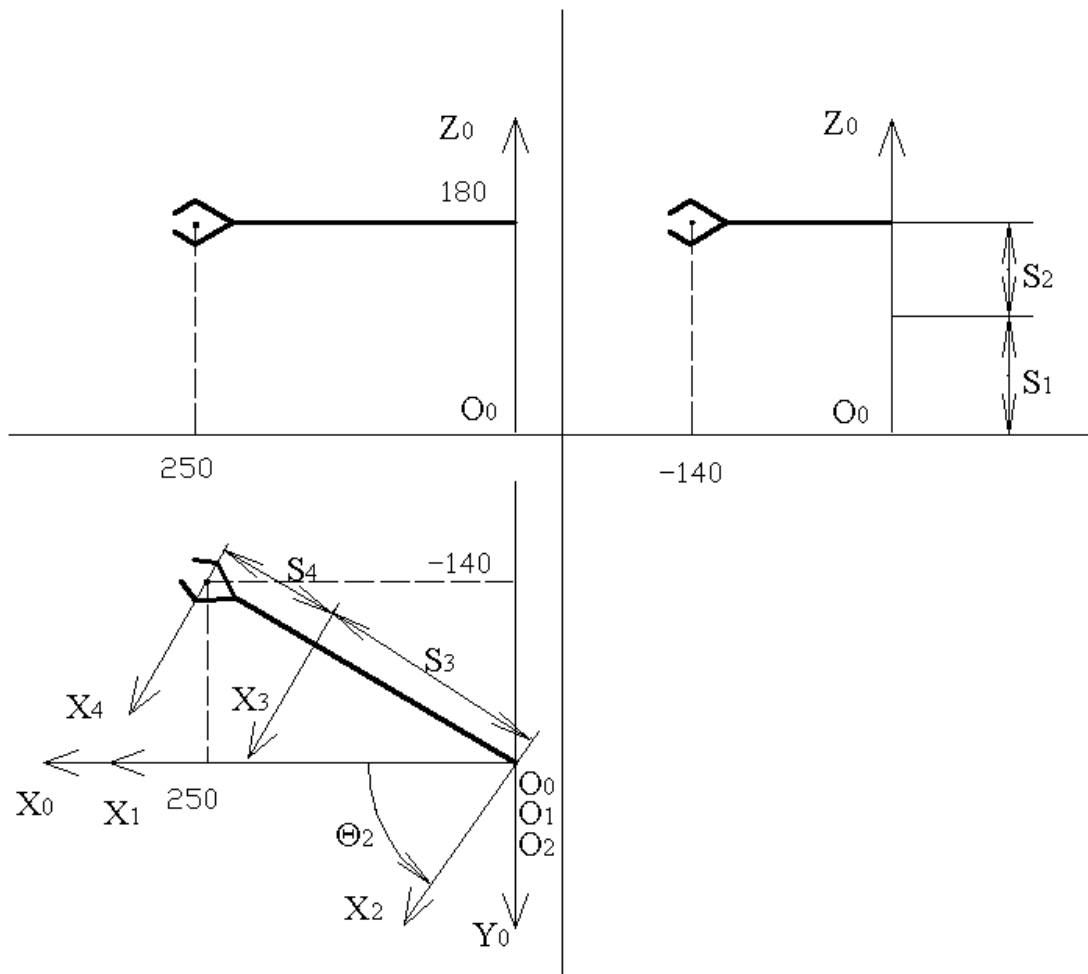


Рис. 3.7. Перевірка розв'язку графічним методом

16. Як можна перетворити  $i - 1$  систему координат в  $i$ -ту?
17. Що таке розширена матриця  $A_i$  ?
18. Який параметр матриці  $A_i$  має бути змінною величиною для обертальної пари?
19. Який параметр матриці  $A_i$  має бути змінною величиною для поступальної пари?
20. Що таке пряма задача кінематики?
21. Як розраховується матриця  $T_i$  ?
22. Яке геометричне тлумачення мають стовпці матриці  $T_i$  ?
23. Що таке обернена задача кінематики?
24. Що таке узагальнені координати?
25. Коли одному положенню захоплювача відповідають різні набори значень узагальнених координат?
26. Скільки величин треба задати для попадання центра захоплювача у визначену точку простору при будь-якій орієнтації захоплювача?
27. Як виконується графічна перевірка розв'язку оберненої задачі кінематики?

## 4. ПРИВІД ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

У результаті вивчення даного розділу студенти повинні вміти:

- сформулювати порівняльні характеристики приводів ПР;
- описати типові елементи пневматичного приводу ПР;
- описати особливості конструкції пневматичного приводу ПР;
- зображувати пневматичні та гідравлічні схеми;
- описати особливості гальмування поршня пневмоциліндра;
- вибирати спосіб гальмування поршня пневмоциліндра у кінці ходу;
- описати принцип роботи пневматичного приводу ПР;
- описати типові схеми гідравлічного приводу ПР;
- описати типові елементи гідравлічного приводу ПР.

### 4.1. Загальні відомості про привід ПР

Приводи ПР мають істотні особливості, пов'язані в першу чергу із сферою застосування і характером навантажень. Тому в конструкціях ПР широко застосовуються пневматичні, гідравлічні та електричні приводи, що розрізняються принципом дії і функціональними можливостями.

На перших етапах розвитку робототехніки більш широке розповсюдження мали пневматичні та гідравлічні приводи. Надалі намітилася тенденція використання електроприводів.

Привід ПР – це сукупність технічних засобів, які призначені для надання руху всім ланкам маніпулятора і захоплюючого пристрою ПР.

Залежно від використовуваного виду енергії для забезпечення руху виконавчих механізмів ПР приводи діляться на пневматичні, гідравлічні, електричні і комбіновані.

При виборі типу приводу враховують:

- необхідні параметри маніпулятора (кутові та лінійні переміщення, швидкості, закони руху);
- характер навантаження на привід;
- умови експлуатації ПР.

Пневматичний привід застосовують у 40–50% всіх ПР, що випускаються. ПР з пневматичним приводом мають у середньому вантажопідйомність до 20 кг [13].

Основні переваги цих приводів:

- простота і надійність конструкції;
- можливість використання стислого повітря заводської пневматичної мережі (тиск 0,5–0,6 МПа) як робочого тіла;
- просте циклове керування з високою точністю позиціонування відповідно до жорстких упор;
- низька вартість приводу і технічного обслуговування;
- можливість роботи в пожежо- і вибухонебезпечному середовищі;
- невелика маса конструкції приводу на одиницю потужності, що розвивається;

- відсутність додаткових кінематичних ланцюгів між вихідною ланкою приводу і робочим органом ПР;
- високий коефіцієнт корисної дії (до 0,8).

До недоліків пневматичного приводу належать:

- невелика кількість точок позиціонування (найчастіше дві);
- нестабільність швидкості вихідної ланки при різному навантаженні;
- необхідність демпфірування вихідної ланки приводу в кінці ходу і відповідно наявність шуму при роботі.

Гідравлічний привід застосовують у 30% всіх ПР, що випускаються [13].

ПР з електрогідравлічним приводом мають велику і надвелику вантажопідйомність.

Основні переваги цих приводів:

- високі точність позиціонування, частота реверсування руху і стабільність швидкості вихідної ланки;
- висока швидкодія;
- великий коефіцієнт посилення потужності (більше 1000);
- невелика відносна маса гідромашин;
- плавне регулювання швидкості вихідної ланки;
- відсутність додаткових кінематичних ланцюгів між вихідною ланкою приводу і робочим органом.

До недоліків електрогідравлічного приводу належать:

- висока вартість елементів приводу та обслуговування;
- робоча рідина на основі масла (у більшості випадків) обмежує можливість застосування ПР з такими приводами в пожежо- і вибухонебезпечному середовищах;
- необхідність створення спеціальних насосних установок для забезпечення робочою рідиною;
- неможливість експлуатації у середовищах з температурою вище за 150°C.

Усе частіше в сучасних ПР використовується електричний привід [13]. Ці приводи випускаються на основі високомоментних, безколекторних двигунів постійного струму і силових крокових двигунів. Їх особливостями є підвищена максимальна частота обертання, розширений діапазон невеликих моментів, зменшена інерція двигунів, можливість умонтування в двигуни електромагнітних гальм і різних датчиків, хвильових і механічних передач.

Основні переваги цих приводів:

- високі швидкодія і точність;
- рівномірність обертання та високий крутильний момент на максимальній швидкості;
- компактна конструкція двигунів і перетворювачів;
- можливість експлуатації без перевірки та обслуговування;
- доступність електричної енергії;
- низькі рівні шуму і вібрації.

До недоліків електричного приводу належать:

- необхідність спеціального виконання для використання у вибухонебезпечних середовищах;
- наявність додаткових передавальних механізмів між електродвигуном і робочим органом ПР;
- велика залежність швидкості вихідної ланки від навантаження.

Порівняльні характеристики приводів ПР наведені у табл. 4.1 [14].

Для уявлення про послідовність взаємодії функціональних частин у приводі ПР використовують графічно побудовані схеми. На принципових схемах подають усі елементи або пристрої, необхідні для здійснення і контролю в приводі заданих процесів, і всі зв'язки між ними.

Елементи та пристрої на схемі зображають у вигляді умовних графічних позначень, накреслюючи їх, як правило, у початковому положенні: пружини – у стані попереднього стиснення, електромагніти – знеструмленими і т.п.

Найбільш споживані умовні графічні позначення в гідравлічних і пневматичних схемах (ГОСТ 2.721–74, ГОСТ 2.780–68, ГОСТ 2.781–68, ГОСТ 2.782–68, ГОСТ 2.739–79) наведені у табл. 4.2.

#### 4.2. Типові елементи пневматичного приводу ПР

Розглянемо типові елементи пневматичного приводу на прикладі ПР МП-9С [10, 13, 15].

##### Технічні характеристики приводу ПР МП-9С


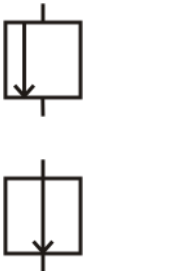
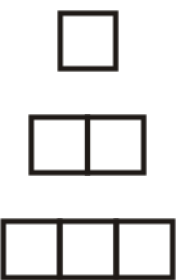



Привід маніпулятора робота	– пневматичний
Максимальна абсолютна похибка позиціювання маніпулятора, мм (не більше)	– 0,1
Час підймання (опускання) руки, с (не більше)	– 0,5
Максимальна швидкість підймання (опускання) руки, м/с (не менше)	– 0,12
Максимальне прискорення підймання (опускання) руки, м/с <sup>2</sup> (не менше)	– 5,5
Час повороту руки, с (не більше)	– 0,8
Максимальна швидкість повороту руки, град/с (не менше)	– 300
Максимальне прискорення повороту руки, град/с <sup>2</sup>	– 600
Час висування (втягування) руки, с (не більше)	– 0.5
Максимальна швидкість висування (втягування) руки, м/с (не менше)	– 0.75
Максимальне прискорення висування (втягування) руки, с (не менше)	– 6.5
Зусилля захоплення контрольного вантажу, Н (кг), (не менше)	– 12 (1,2)
Час захоплення (попущення), с (не більше)	– 0.35
Тиск пневматичної мережі, МПа	– 0.4+0.1
Витрата стисненого повітря, м <sup>3</sup> /с (не більше)	– 0.0017

Порівняльні характеристики приводів *ПР*

Характеристика приводу	Тип приводу		
	Пневматичний	Гідравлічний	Електричний
Потужність	Обмежена	Необмежена	Обмежена
Швидкодія	Висока	Дуже висока	Висока
Можливості регулювання	Конструктивно прості регулятори швидкості та розподільні елементи. Вимагає спеціальних гальмівних пристроїв. Налаштування точних значень швидкостей дуже скрутна	Конструктивно прості регулятори швидкості, розподільні елементи та гальмівні пристрої. Можлива настройка точних значень швидкості	Конструктивно простий, має велику гнучкість керування
Коефіцієнт корисної дії	0,15–0,2	При дросельному регулюванні – 0,3; при об'ємному – 0,6	0,5
Конструктивність	Легко уніфікується, виконавчі двигуни можуть використовуватися для виконання функцій конструкції, конструктивний	Легко уніфікується, виконавчі двигуни можуть використовуватися для виконання функцій конструкції, конструктивний	Легко уніфікується, є складовою частиною привідного механізму, менш конструктивний, ніж інші приводи
Вимоги до монтажу	Витікання не впливають на роботу приводу	Вимоги до монтажу підвищені. На функціонування впливає витікання рідини	Вимоги до монтажу залежать від виконання приводу
Вимоги до обслуговування	Вимагає періодичної профілактики при середній кваліфікації обслуговуючого персоналу	Вимагає періодичної профілактики при високій кваліфікації обслуговуючого персоналу	Вимагає періодичної профілактики при середній кваліфікації обслуговуючого персоналу
Безпека	Вибухонебезпечний при тиску 10 Ат і більше	Вибухобезпечний, певною мірою пожежонебезпечний	Вибухо- і пожежобезпечний

Таблиця 4.2

## Умовні графічні позначення у гідравлічних і пневматичних схемах

Позначення	Найменування	Позначення	Найменування
<b>Загальні елементи</b>		<b>Апаратура розподільна</b>	
	Потік газу (повітря): – в одному напрямку (наприклад управо); – в обох напрямках		Проходи (канали), що показують напрямки потоків робочого середовища у розподільнику
	Потік рідини: – в одному напрямку (наприклад управо); – в обох напрямках	<b>Апаратура регулювальна</b>	
			Регулювальний орган: – нормально закритий; – нормально відкритий
	Бак під атмосферним тиском		Регулятори потоку: – дросель;
	Акумулятор гідравлічний або пневматичний: – загальне позначення; – пневмогідравлічний		– дросель з регулятором тиску
	Фільтр для повного потоку		Клапан зворотний
<b>Апаратура розподільна</b>			
	Робоча позиція елемента: – одна позиція; – дві позиції; – три позиції		Насос з одним напрямком потоку: – з постійною продуктивністю; – з регульованою продуктивністю
	Закритий хід у позиції розподільника		Гідромотор нерегульований з двома напрямками потоку



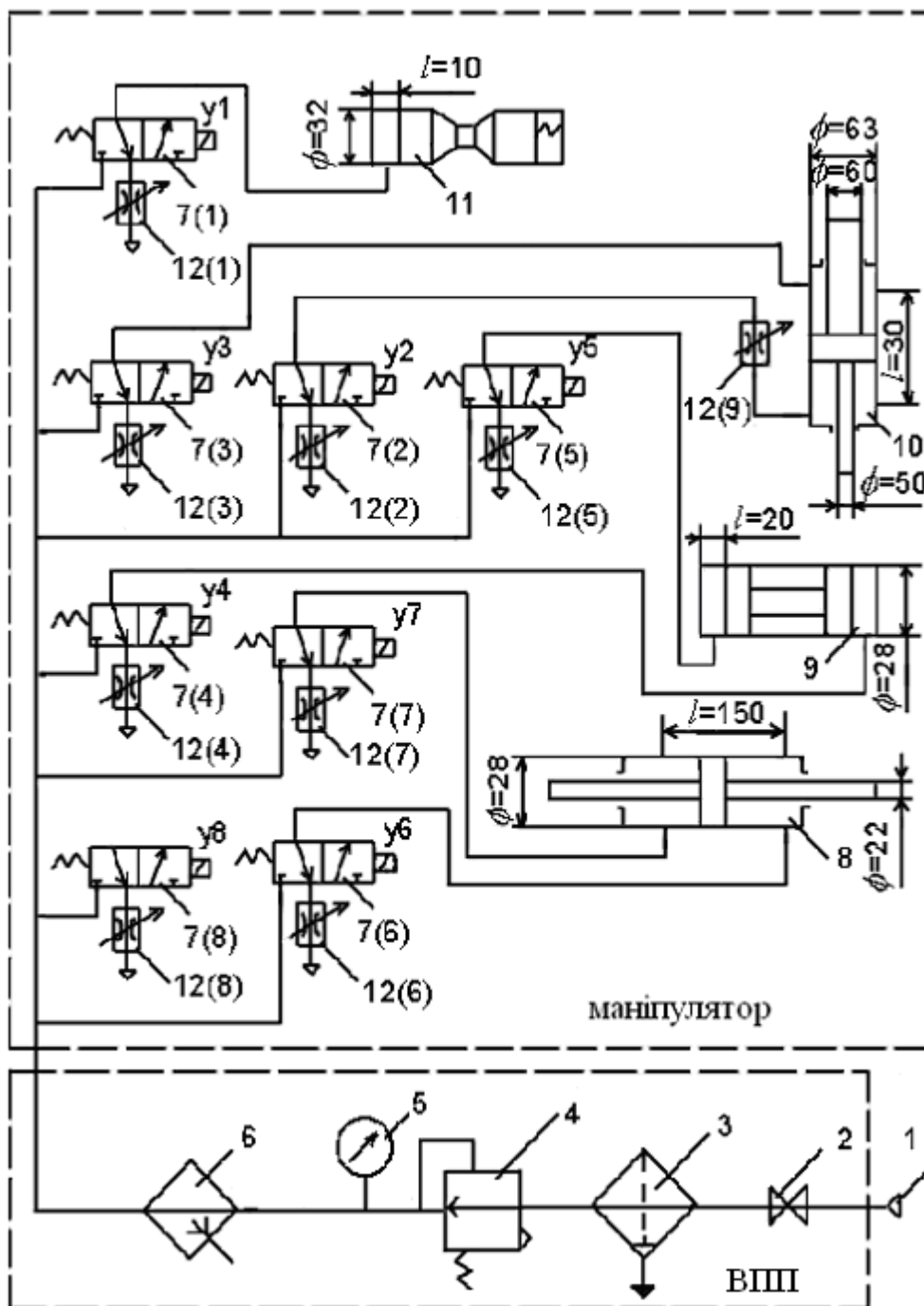


Рис. 4.1. Пневматична схема промислового робота

Функціонально пневматичний привід із цикловим керуванням можна поділити таким чином (рис. 4.1):

- вузол підготовки повітря (ВПП);
- система розподілу стисненого повітря;
- виконавчі двигуни;
- система передачі стисненого повітря між пристроями приводу.

ВПП складається із вхідного штуцера 1, вентиля 2, фільтра-вологовіддільника 3, редукційного пневматичного клапана 4, манометра 5, маслорозпилювача 6.

Використання фільтра-вологовіддільника зумовлено негативним впливом вологи у стисненому повітрі на працездатність пневматичних пристроїв.

Волога спричиняє корозію, конденсуючись на деталях, збільшує тертя на тертьових поверхнях.

При мінусових температурах волога сприяє зменшенню прохідних перерізів за рахунок утворення льоду на внутрішніх поверхнях каналів.

Фільтр-вологовіддільник забезпечує тонкість фільтрації до 80 мкн.

За допомогою редукційного пневматичного клапана виконується регулювання тиску повітря, яке надходить до елементів приводу. Номінальний тиск встановлюється згідно з технічними вимогами на даний ПР.

Маслорозпилювач забезпечує розпилення масла (1–2 краплі за хвилину) у потоці стисненого повітря. Масло необхідне для змазування елементів виконавчого двигуна та розподільників, які переміщуються.

Після редукційного пневматичного клапана встановлено манометр для контролювання тиску повітря.

ВПП є обов'язковим для ПР. В одних конструкціях подана схема передбачається для кожного ПР, в інших – підготовка повітря проводиться централізовано для групи роботів.

Система розподілу стисненого повітря включає у себе пристрої 7(1)–7(8), за допомогою яких відповідно до заданої програми можна відкрити або закрити доступ стисненого повітря в робочі порожнини виконавчих двигунів.

Такими пристроями служать розподільники, запірним елементом яких є клапани. Звичайно використовують пневматичні розподільники з приводом у вигляді електромагніту.

Для циклових ПР керування пневматичним розподільником здійснюється за двопозиційним принципом “увімкнути–вимкнути”.

Згідно з прийнятими умовними позначеннями на схемі розподільника зазначаються (рис. 4.1):

- позиції запірно-регулюючого елемента (кількість квадратів);
- зовнішні лінії зв'язку, які підводяться до розподільника;
- проходи (канали);
- елементи керування.

Зовнішні лінії зв'язку підводяться на схемі до вихідної (початкової) позиції запірно-регулюючого елемента. Справжній напрямок потоку газів або рідини зазначають канали.

Канал зв'язку зображується стрілкою, яка показує напрямок потоку в кожній позиції. Місця з'єднань каналів виділяються крапками, а закритий хід зображується тупиковою лінією з поперечним відрізком.

Для того щоб уявити робочий стан розподільника, необхідно думкою на схемі перемістити відповідний квадрат позначення позиції на місце вихідної. Лінії зв'язку при цьому залишають у колишньому положенні.

Як блок виконавчих двигунів приводу в поданій схемі використовуються циліндри 8–10.

На кожному ступінь рухомості передбачається пневматичний циліндр, конструкція якого забезпечує задані лінійні переміщення, швидкості та зусилля.

Захоплюючий пристрій 11 також має двигун, який забезпечує захоплення деталі, утримання при переміщенні та звільнення її після установалення у заданій точці.

Регулювання швидкості вихідної ланки двигуна у пневматичному приводі виконується зміною витрати стисненого повітря на вході або виході двигуна. Конструктивно це виконується установаленням пневматичних дроселів 12(1) – 12(9), прохідний переріз яких можна регулювати залежно від потрібної швидкості.

При розгляданні конструкції та процесів пневматичного приводу використовуються такі поняття [13]:

- робочою порожниною (порожниною наповнення) називається простір, у який надходить стиснений газ із магістралі для переміщення поршня;
- вихлопною порожниною (порожниною спорожнення) називається камера приводу, з'єднана із середовищем, куди викидається газ. У процесі роботи приводу одна й та ж порожнина може виконувати або функції робочої порожнини, або вихлопної;
- робочим циклом називається період роботи приводу ПР, по закінченні якого усі виконавчі елементи займають початкові позиції. Час робочого циклу приводу складається із суми затрат часу на прямий та зворотній ходи працюючих органів.

Подача стисненого повітря у робочу порожнину циліндра здійснюється через відкритий відповідний розподільний пристрій, а вихід повітря з вихлопної порожнини циліндра в атмосферу – через другий відкритий розподільувач.

Робочий цикл виконується кожним двигуном ПР у послідовності, яка визначається вимогами технологічного процесу.

Зміна стану необхідного розподільувача здійснюється за програмою, яка виконується пристроєм керування ПР.

Подана схема приводу є найпростішою. Залежно від умов і вимог експлуатації вона може розширятися за рахунок нових функціональних елементів та вузлів.

### **4.3. Особливості конструкції пневматичних приводів**

#### **4.3.1. Загальні відомості про гальмування поршня**

Використання енергії стиснутого повітря забезпечує вихідній ланці пневмоприводу високу швидкість. У приводах з цикловим позиційним керуванням поршень підходить до заданої точки зупинки з максимальною швидкістю. Якщо не передбачати спеціальних засобів гальмування, то зупинка поршня відбувається за рахунок механічного упора, що викликає механічні

вібрації вантажу, підвищений рівень шуму і різкі динамічні навантаження на конструкцію двигуна.

Гальмування поршня у кінці ходу може виконуватися різними способами:

- спеціальним дроселюванням робочого тіла на виході вихлопної порожнини циліндра у кінці ходу поршня;
- гальмуванням протитиском;
- гальмуванням (демпфіруванням) поршня пристроями гідравлічного чи пружинного типу.

#### 4.3.2. Гальмування поршня спеціальним дроселюванням

Гальмування поршня при цьому способі виконується конструктивно установкою спеціального дроселя на виході з циліндра [13, 14].

Пневматичний привід у цьому випадку складається з вхідного штуцера 1, вентиля 2, розподільників 3(1)–3(4), дроселів 4(1)–4(4), зворотних клапанів 5(1), 5(2), пневмоциліндра 6 (рис. 4.2).

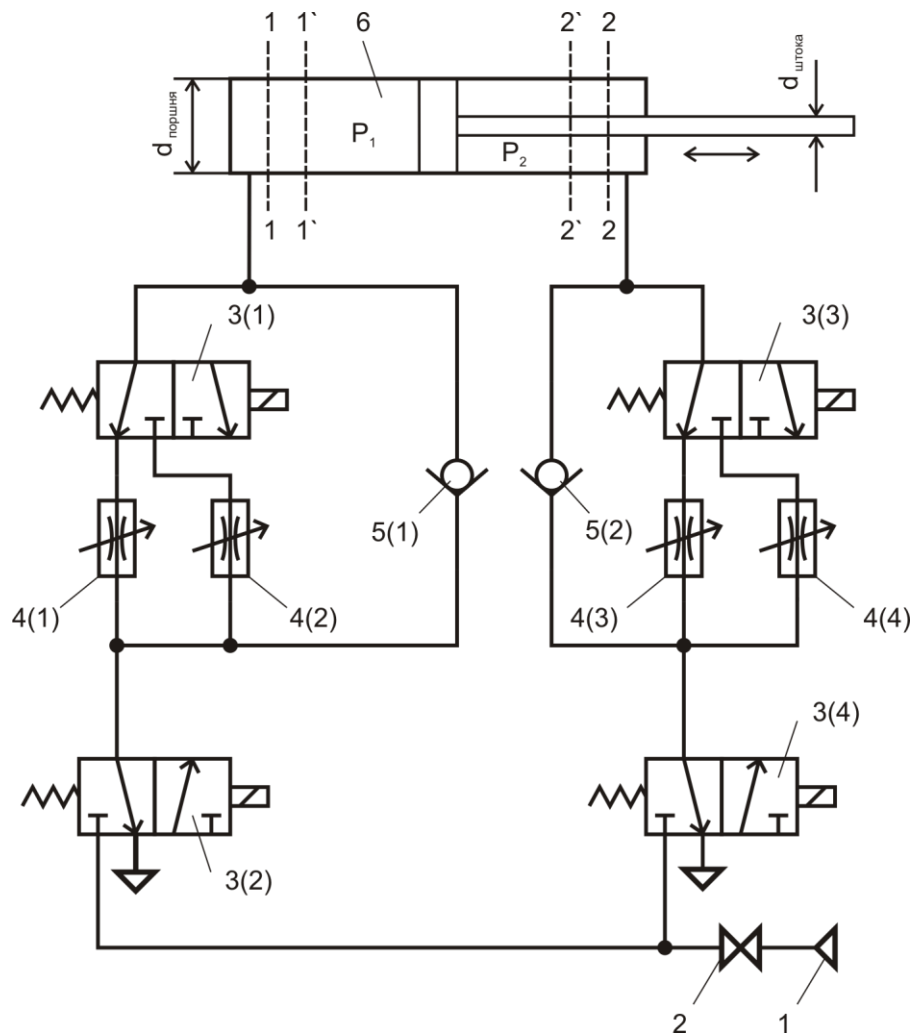


Рис. 4.2. Схема гальмування поршня спеціальним дроселюванням

Для переміщення поршня циліндра, наприклад, з лівого положення у праве крайнє необхідно змінити стан пневморозподільника 3(2).

При цьому стиснене повітря з тиском живлення  $P_{жив}$  і витратою  $Q_{жив}$  з магістралі через штуцер 1, вентиль 2, пневморозподільник 3(2) і зворотний клапан 5(1) буде надходити у ліву порожнину робочого циліндра. Поршень рухається з лівого положення у праве. Повітря з правої порожнини через пневморозподільники 3(3), 3(4) і дросель 4(3) скидається в атмосферу.

При досягненні положення 2'–2' змінюють стан пневморозподільника 3(3) і повітря з правої порожнини циліндра починає скидатись в атмосферу через дросель 4(4), що має підвищений опір потоку. У правій порожнині циліндра тиск  $P_2$  збільшується, перепад тиску  $\Delta P = P_1 - P_2$  зменшується і відбувається зменшення швидкості поршня. Для повного гальмування поршня в заданому положенні 2–2 необхідна рівність сил, що діють на ліву і праву площі поршня. Це забезпечується у положенні 2–2 зміною стану пневморозподільників 3(2), 3(3) і за рахунок установаження механічного упора.

Для переміщення поршня циліндра з правого положення у ліве крайне необхідно змінити стан пневморозподільника 3(4), а потім відповідно у положенні 1'–1' та 1–1 змінити стан пневморозподільника 3(1).

Настроювання дроселів 4(1)–4(4) виконується перед початком роботи на відповідне навантаження, при цьому дроселі 4(1), 4(3) налаштовуються на забезпечення заданої швидкості, а дроселі 4(2), 4(4) – на демпфірування руху у кінці ходу поршня.

Недоліки цього способу:

- потрібно настроювання дроселів;
- гальмівний шлях досить великий;
- може використовуватись для робіт з навантаженням до 50 Н.

#### **4.3.3. Гальмування поршня за допомогою протитиску**

Гальмування поршня у заданому положенні при цьому способі здійснюється подачею основного тиску магістралі у вихлопну порожнину циліндра [13].

Пневматичний привід у цьому випадку складається з вхідного штуцера 1, вентиля 2, розподільників 3(1), 3(2), дроселів 4(1), 4(2), зворотних клапанів 5(1), 5(2), пневмоциліндра 6 (рис. 4.3).

Для переміщення поршня циліндра, наприклад, з лівого положення у праве необхідно змінити стан пневморозподільників 3(1) і 3(2).

Стиснене повітря з магістралі живлення буде надходить через штуцер 1, вентиль 2, пневморозподільник 3(2) і зворотний клапан 5(1) у ліву порожнину робочого циліндра. Права порожнина через пневморозподільник 3(3), дросель 4(2) і пневморозподільник 3(4) зв'язана з атмосферою.

Поршень рухається з лівого положення в праве, при цьому перепад тиску на поршень такий:  $\Delta P = P_1 - P_2$ .

При досягненні поршнем положення 2'–2' змінюють стан пневморозподільника 3(4) і стиснене повітря з магістралі надходить у праву порожнину циліндра 6.

Тиск у порожнинах зрівнюється:  $P_1 = P_2$ .

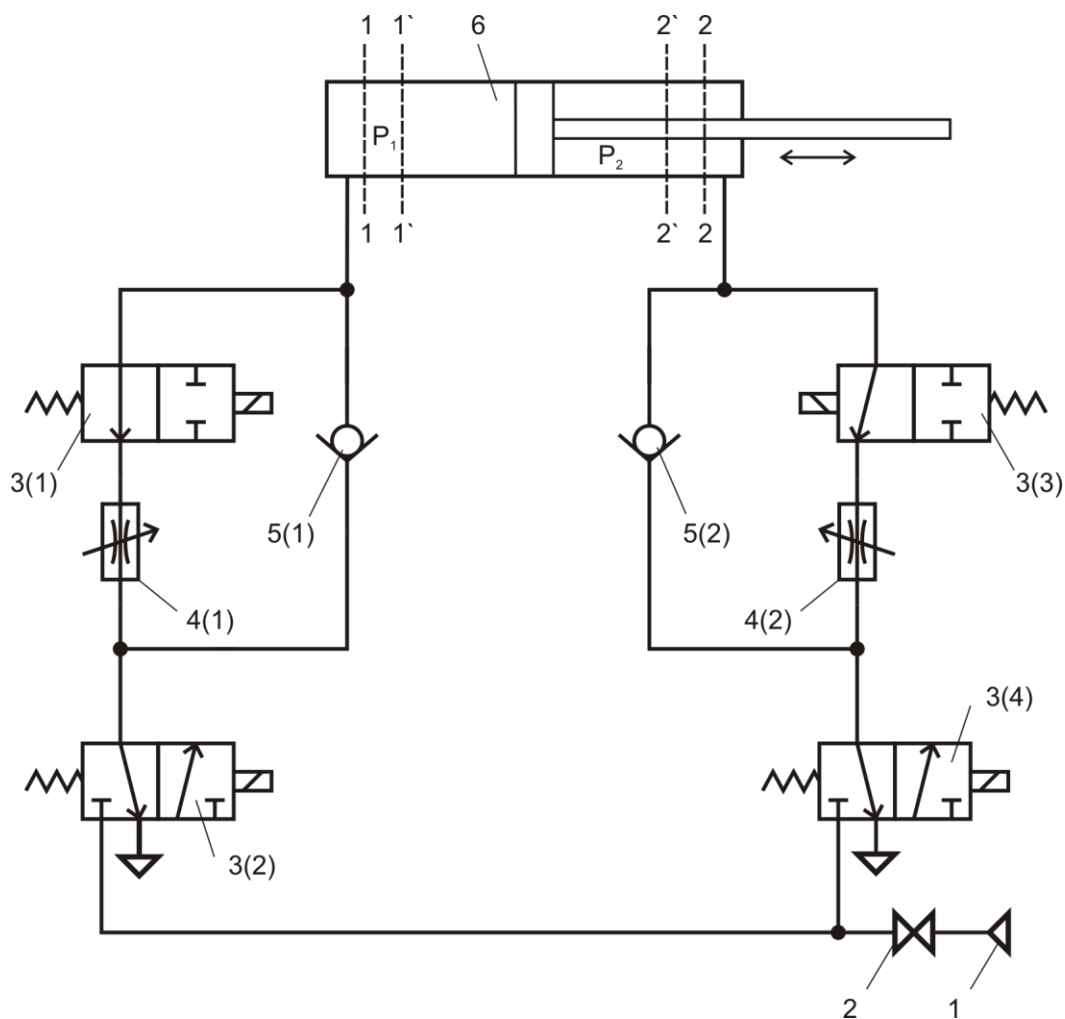


Рис. 4.3. Схема гальмування поршня за допомогою протитиску

Однак через наявність зовнішньої сили, обумовленої дією інерції маси переміщуваного вантажу і поршня, він продовжує рухатися, але з меншою швидкістю. Для створення рівноваги сил на поршні одночасно змінюють стан пневморозподільників 3(4), 3(2) і припиняють доступ стиснутого повітря в ліву порожнину. Далі, при досягненні поршнем положення 2–2, змінюють стан пневморозподільників 3(4) і 3(1).

Повне гальмування поршня забезпечується за рахунок установки механічного упору.

Для переміщення поршня циліндра з правого у ліве крайнє положення необхідно змінити спочатку стан пневморозподільників 3(3) і 3(4), далі відповідно у положенні 1'–1' та 1–1 – стан пневморозподільників 3(2) і 3(4), а потім – стан 3(2) і 3(3).

Розглянута схема не є єдиною і ще багато схем можуть реалізувати даний спосіб.

Недоліки цього способу:

- необхідність та складність перенастроювання схеми при зміні навантаження;
- може застосовуватись для робіт при навантаженнях до 10 Н.

#### 4.3.4. Гальмування поршня зовнішніми амортизаторами

Найбільш простим способом демпфірування руху поршня виконавчого двигуна є встановлення зовнішніх амортизаторів (демпферів) – механічних або гідравлічних [16].

У механічних демпферах енергія рухомих елементів приводу і вантажу перетворюється в енергію стиску пружини. При великих швидкостях і масах вантажу розміри пружини збільшуються, тому ці демпфери застосовуються при навантаженнях до 10 Н.

Гідравлічні амортизатори – універсальний засіб гальмування виконавчого органу двигуна. При цьому енергія руху механічних елементів перетворюється в енергію дроселювання потоку рідини через канал із змінним перерізом.

Будову їх роздивимось на прикладі гідравлічного амортизатора руки ПР МП-9С, схема якого подана на рис. 4.4.

Амортизатор руки призначений для забезпечення повільного гальмування рухомих елементів руки при виході на упор.

Амортизатор складається з корпусу 1, в якому установлені штоки 2 і 3, регулюючої голки 4, притертого циліндра 5, кришки 6, ущільнювальної прокладки 7, фланців 8 і 9.

Під кришкою 6 знаходиться заповнений маслом підживлювальний резервуар А. При переміщенні штока 2 спочатку відбувається перекриття отвору, який з'єднує резервуар А зі штоковою порожниною В.

Потім відокремлений об'єм масла по каналу С, переріз якого регулюється голкою 4, передавлюється у протилежну штокову порожнину D, що утворюється при висуненні протилежного штока 3.

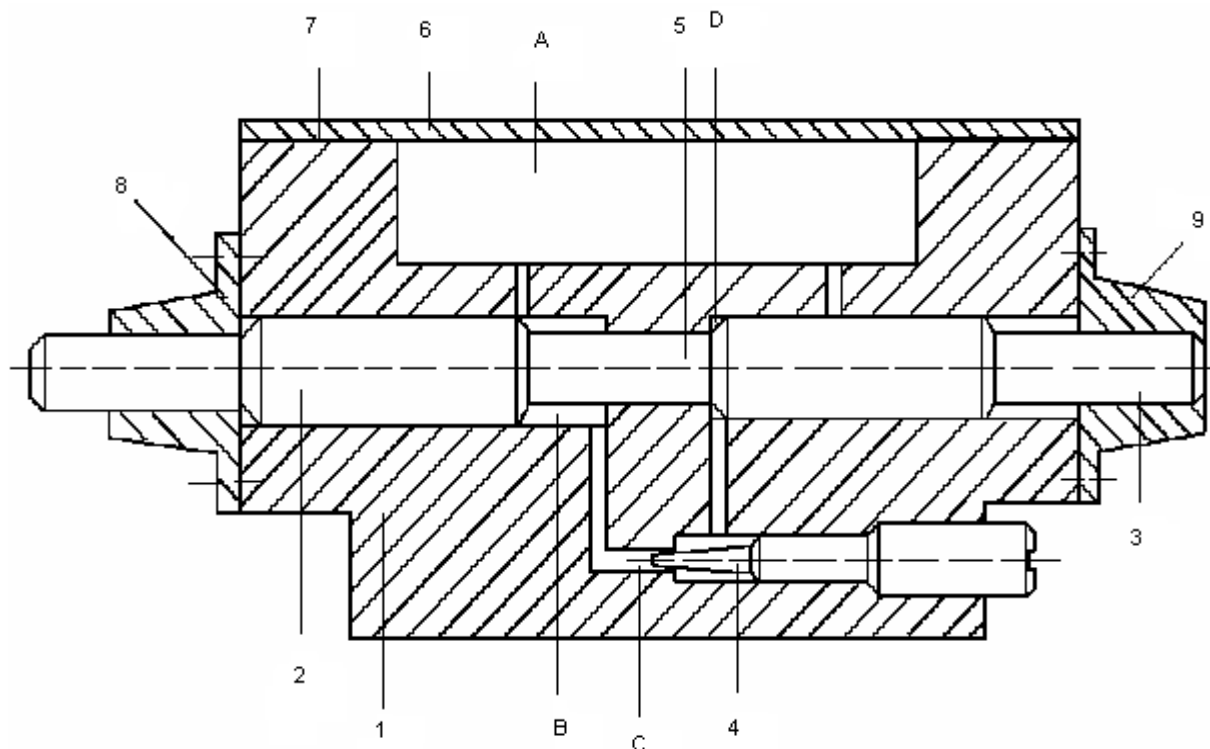


Рис. 4.4. Схема гідравлічного амортизатора

При повному вдавлюванні штока 2 відбувається перекачування масла у протилежну порожнину D, повне висунення протилежного штока 3 і з'єднання утвореної штокової порожноти D із резервуаром А. Цей резервуар необхідний для підживлення порожнин В і D маслом.

Наявність підживлювального резервуара дозволяє компенсувати можливе витікання масла і забезпечити надійну роботу амортизатора.

Регулювання амортизатора здійснюється зміною прохідного перерізу каналу 3 голкою 4. При цьому домагаються повільного гальмування руки ПР.

Недоліки цього способу:

- необхідність та складність перенастроювання схеми при зміні навантаження;
- може застосовуватись для робіт при навантаженнях до 10 Н.

Достоїнства цього способу:

- зручний в експлуатації;
- не вимагає частого перенастроювання;
- може використовуватися для робіт при зміні вантажопідйомності і швидкості захоплювача в широкому діапазоні.

#### **4.4. Принцип роботи ПР з пневматичним приводом**

Принцип роботи ПР з пневматичним приводом розглянемо на прикладі робота МП-9С [16].

На цьому ПР у маніпуляторі на кожний ступінь рухомості, крім захоплювача, встановлено по два пневматичних розподільники (рис. 4.1). У наявності також один запасний 12(8) для заміни розподільників, які вийшли з ладу, або для включення додаткових виконавчих пристроїв.

Кожний пневматичний розподільник має дросель, регулювання якого дозволяє проводити зміну швидкості руху кожного ступеня рухомості.

Для виконання повороту, горизонтального та вертикального переміщень руки, а також затиску або розтиску захоплювача ПР необхідно подавати напругу на електромагніти пневматичних розподільників відповідно до табл. 4.3.

Обмеження переміщення відповідно до кожного ступеня рухомості маніпулятора виконується кінцевими упорами, положення яких регулюються.

Послідовність і кількість рухів маніпулятора визначається програмою, уведеною у пристрій керування. Сигнал про виконання кожного руху маніпулятора надходить із датчиків при підході до них постійних магнітів, які встановлені на рухомих частинах. Спрацьовування датчиків відображається світлодіодами на ПрК.

Демпфірування ударів у кінці ходу при витягуванні–втягуванні та поворотах руки проводиться амортизаторами, а при підйманні–опусканні руки – дроселюванням повітря на вході–виході пневматичного циліндра механізму підймання.



Таблиця 4.3

## Підключення електромагнітів ПР

Ступінь рухомості	Механізм	Режим роботи	Задіяний електромагніт								
			У <sub>1</sub>	У <sub>2</sub>	У <sub>3</sub>	У <sub>4</sub>	У <sub>5</sub>	У <sub>6</sub>	У <sub>7</sub>	У <sub>8</sub>	
–	Захоплювач	Розтиск	+								
		Затиск									
1	Вертикальне переміщення	Підіймання		+							
		Опускання			+						
2	Поворот	Поворот вліво				+					
		Поворот вправо					+				
3	Горизонтальне переміщення	Витягування						+			
		Втягування							+		

**4.5. Гідравлічний привід ПР**

Гідравлічні приводи широко використовуються у ПР великої і надвеликої вантажопідйомності. Особливість цих робіт – перевага інерційного навантаження на рухомі ланки ПР, тобто забезпечення високих значень динамічних та енергетичних характеристик гідропроводу.

Від виконавчих механізмів гідравлічного приводу здебільшого залежать основні показники ПР: точність позиціонування, швидкодія, надійність і т.п. Основними рухами виконавчих механізмів гідравлічного приводу є зворотно-поступальні та обертальні (поворотні) з кутом повороту менше ніж 360°. До першої групи рухів належать витягування і підйом захоплювача, до другої – розворот, ротація і нахил захоплювача.

Виконавчими механізмами гідравлічного приводу служать гідроциліндри, гідромотори і поворотні двигуни. Завдяки простому принципу дії і конструкції ці виконавчі механізми дозволяють одержувати значні потужності на виході і мають невелику інерційність, високу надійність і довговічність.

Гідроциліндри застосовуються для прямолінійного та обертального руху в поєднанні із зубчатою або ланцюговою передачею.

Гідромотори здійснюють обертальний або прямолінійний рух у поєднанні з передачею шестерня–рейка.

Поворотні гідродвигуни виконують звичайно обертальний рух з кутом повороту до 210°.

Гідроциліндри забезпечують максимально просту кінематику ПР при прямолінійному русі, а поворотні двигуни – при поворотному.

Вибір параметрів цих виконавчих механізмів проводиться відповідно до прийнятих тиску в гідросистемі, маси вантажу і захоплювача, сталої швидкості руху умов розгону.

Гідравлічний привід можна реалізувати трьома схемами [13]:

- з постійними тиском робочої рідини і продуктивністю гідравлічного насоса в системі;
- з постійним тиском робочої рідини і змінною продуктивністю гідравлічного насоса в системі;
- із змінними тиском робочої рідини і продуктивністю гідравлічного насоса в системі.

Перші дві схеми називаються гідроприводами дросельного керування з гідравлічним насосом постійної і змінної продуктивності, а третю – гідроприводом об'ємного керування. У ПР, що випускаються, переважно застосовують перші дві схеми і практично не застосовують третю.

Найбільше поширення в промисловій робототехніці одержала схема гідроприводів дросельного керування з гідронасосом постійної продуктивності і постійним тиском у системі [13, 14].

Функціональна схема такого гідроприводу (рис. 4.5) складається з бака 1, температурного реле 2, забірної 3 та тонкої очистки 8 фільтрів, гідронасоса постійної продуктивності 4, електродвигуна 5, електромагнітної муфти 6, вентилятора 7, пневмогідравлічного акумулятора 9, переливного клапана 10, гідророзподільників 11, гідроциліндра 12, гідромотора 13, теплообмінника 14.

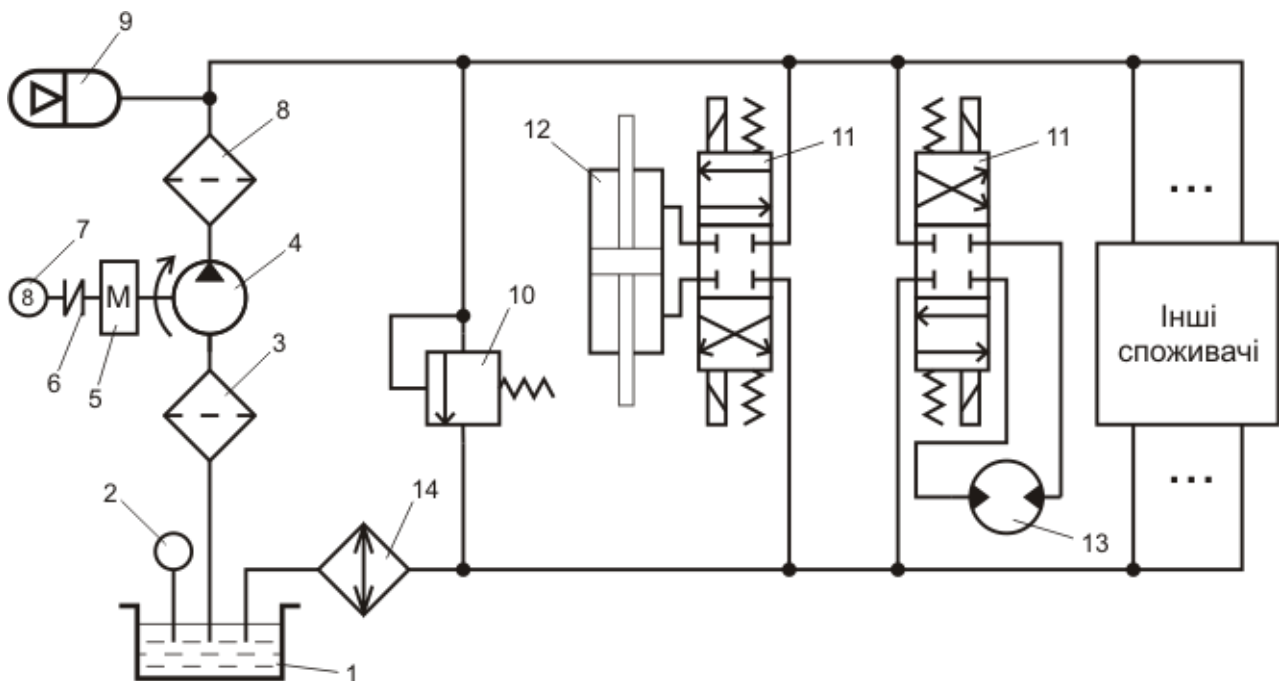


Рис. 4.5. Функціональна схема гідроприводу дросельного керування з гідронасосом постійної продуктивності

Особливості схеми такі:

$$Q_i > Q_{\bar{m}i\alpha 1} + Q_{\bar{m}i\alpha 2} + Q_{\bar{m}i\alpha 3} + \dots + Q_{\bar{m}i\alpha n}, \quad (4.1)$$

де  $Q_i$  – продуктивність насоса;  $Q_{\bar{m}i\alpha 1} - Q_{\bar{m}i\alpha n}$  – максимальні витрати споживачів 1, 2, ... n.

Якщо один чи кілька споживачів не витрачають робочу рідину, її пускають у зливну магістраль через переливний клапан. При цьому потенційна енергія робочої рідини високого тиску переходить у теплову, нагріваючи рідину. Гідравлічні розподільники, що керують гідроциліндрами і гідромоторами, також перетворюють частину потенційної енергії робочої рідини високого тиску в теплову.

Для підтримки температури робочої рідини і всієї конструкції менше ніж  $+80^\circ\text{C}$  використовують теплообмінник 15 і вентилятор 7. Вмикання вентилятора 7 забезпечується за допомогою електромагнітної муфти 6 температурним реле 2, що настроєно на відповідну температуру.

Енергетичні характеристики розглянутої схеми низькі, значна кількість потенційної енергії робочої рідини високого тиску перетворюється в теплову, а електродвигун та гідронасос мають підвищену потужність і масу.

Для деякого скорочення дроселювання робочої рідини через переливний клапан знижується продуктивність гідронасоса, а короткочасна витрата забезпечується пневмогідравлічним акумулятором.

Однак такі міри знижують тиск у нагнітальній магістралі, обмежують тривалість спільної роботи гідродвигунів, ускладнюють розрахунок системи й обмежують можливі варіанти її використання. Крім того, помітного покращення енергетичних характеристик не виходить.

Енергетичні характеристики гідроприводу дросельного керування з гідронасосом постійної продуктивності показані на рис. 4.6.

Енергетичні характеристики гідроприводів, крім коефіцієнта корисної дії (ККД), визначаються:

- балансом потужності, що подається, і корисної (при різних значеннях навантаження);
- функціональною залежністю від корисного навантаження;
- структурою витрат підводжуваної енергії.

Енергетичний аналіз проводять відповідно характеристики навантаження гідроприводу. При відомих допущеннях [13] характеристика навантаження визначається за формулою:

$$V = V_{\max} \sqrt{1 - P/P_2}, \quad (4.2)$$

де  $V$ ,  $V_{\max}$  – поточне та без навантаження значення швидкості рухомого елемента приводу відповідно;  $P$ ,  $P_2$  – поточне та гальмівне значення зусиль, що розвиваються на рухомому елементі приводу.

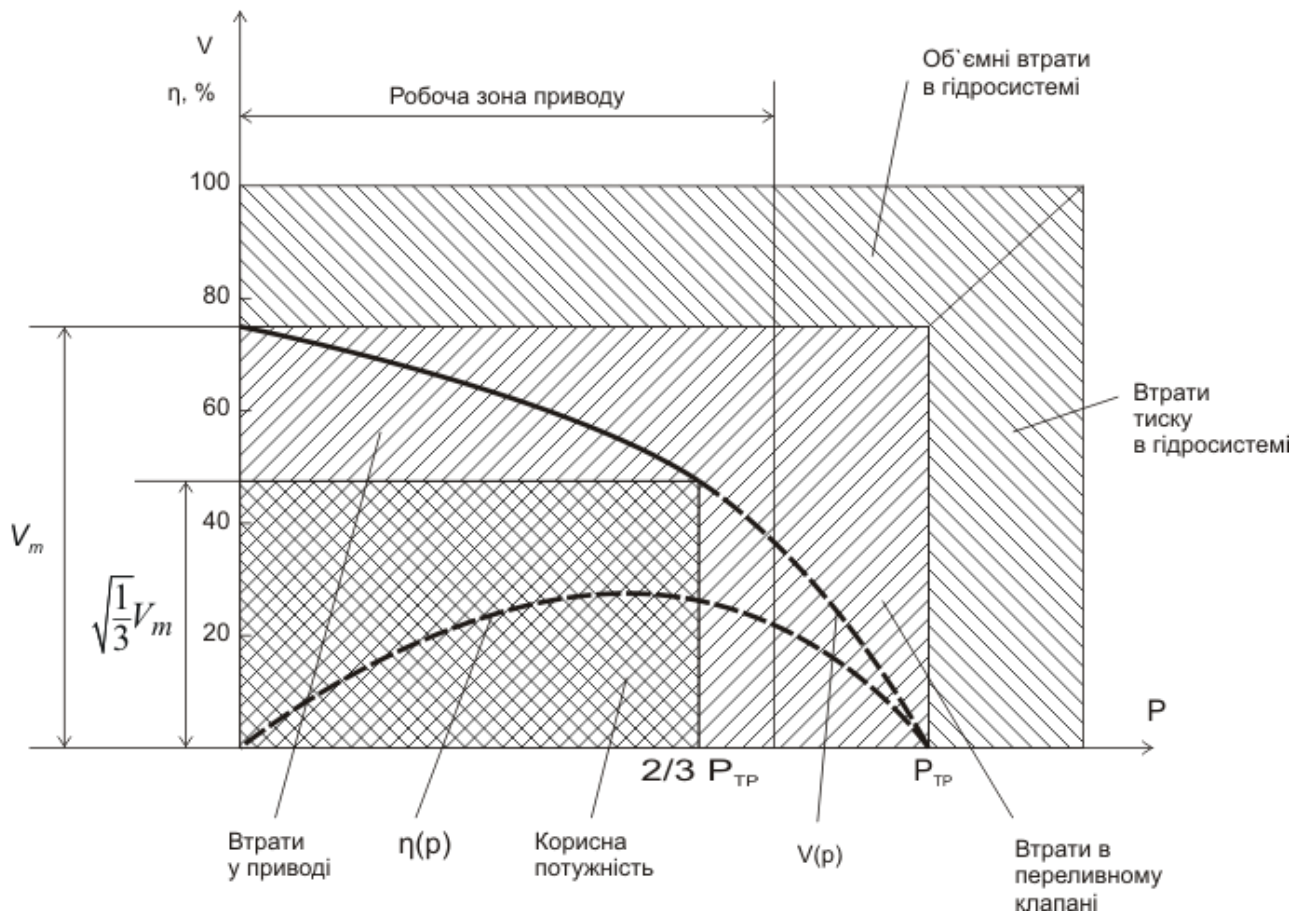


Рис. 4.6. Енергетичні характеристики гідроприводу дросельного керування з гідронасосом постійної продуктивності

Максимальне значення корисної потужності  $N_{\hat{a}\hat{o}\hat{\delta}.max}$  гідроприводу дросельного керування визначається як добуток поточних значень  $P$  і  $V$  :

$$N_{\hat{a}\hat{o}\hat{\delta}.max} = \frac{2}{3} P_{\bar{a}} \sqrt{\frac{1}{3}} V_{max} \cdot \quad (4.3)$$

Потужність, яка споживається гідронасосом постійної продуктивності  $N_{ex}$ , визначається:

$$N_{\hat{a}\hat{o}} = P_{\bar{a}} V_{max} / \eta_{ob} \eta_{max}. \quad (4.4)$$

Тоді теоретичний ККД гідроприводу дросельного керування з гідронасосом постійної продуктивності:

$$\eta_m = N_{\hat{a}\hat{o}\hat{\delta}.max} / N_{\hat{a}\hat{o}} = \frac{2}{3} P_{\bar{a}} \sqrt{\frac{1}{3}} V_{max} / P_{\bar{a}} V_{max} / \eta_{ob} \eta_{max} \approx 26\%. \quad (4.5)$$

Набуте значення ККД можливо тільки в тому випадку, якщо навантаження на кожному приводі системи буде дорівнювати  $\frac{2}{3} P_{\bar{a}}$ , а команди керування будуть поступати одночасно на всі виконавчі двигуни системи.

Практично реальний ККД системи у динаміці значно нижче і його значення має імовірнісний характер, який залежить від багатьох чинників.

Для промислових робіт великої вантажопідйомності застосовують схему гідроприводів дросельного керування з гідронасосом змінної продуктивності (рис. 4.7).

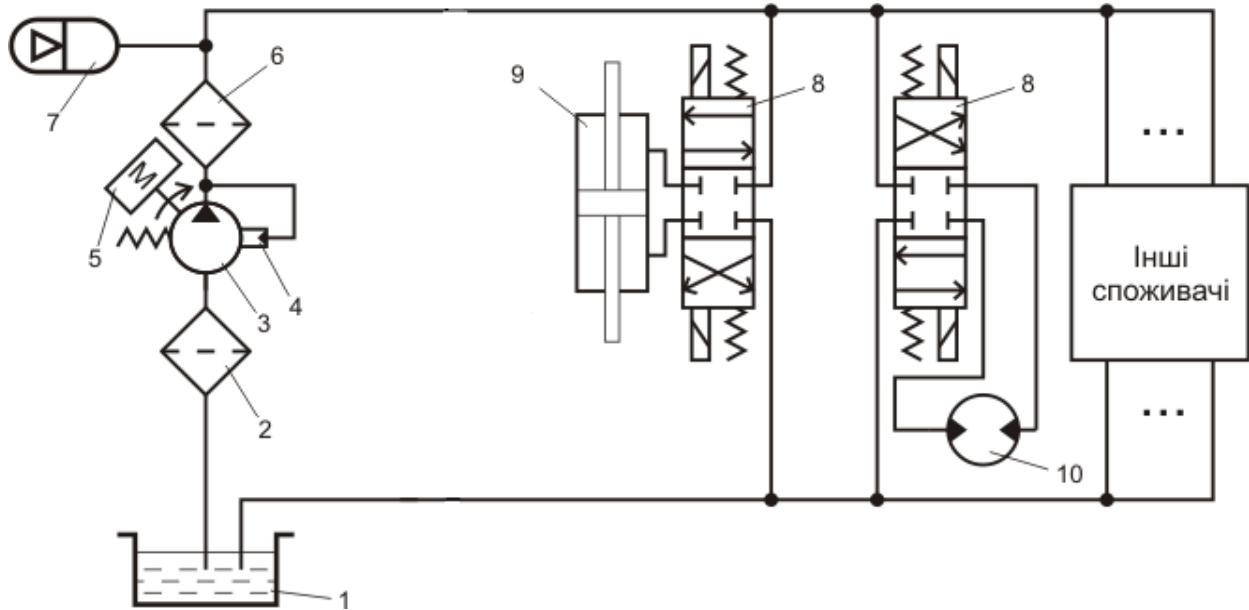


Рис. 4.7. Функціональна схема гідроприводу дросельного керування з гідронасосом змінної продуктивності

Схема складається з бака 1, заборного 2 та тонкої очистки 6 фільтрів, гідронасоса змінної продуктивності 3, регулятора продуктивності насоса 4, електродвигуна 5, пневмогідравлічного акумулятора 7, гідророзподільників 8, гідроциліндра 9, гідромотора 10.

Особливістю цієї схеми є наявність гідронасоса, який змінює свою продуктивність при зміні тиску робочої рідини в магістралі.

При підключенні нового споживача тиск у нагнітальній магістралі падає, далі спрацьовує регулятор продуктивності 4, гідронасос 3 збільшує продуктивність, що підвищує тиск у системі і забезпечує нового споживача необхідною кількістю робочої рідини.

Якщо вимикаються один або декілька споживачів гідророзподільниками 8 і в нагнітальній магістралі підвищується тиск, то регулятор продуктивності 4 зменшує продуктивність насоса 3 і тиск у магістралі знижується до номінального. Цим забезпечується баланс сумарних витрат споживачів і продуктивності гідронасоса.

Енергетичні характеристики такої схеми кращі. Але конструктивно ця схема трохи складніша, хоча складність гідронасоса компенсується відсутністю переливного клапана і пристроїв охолодження. Разом з тим вартість гідроприводів дросельного керування з гідронасосом змінної продуктивності вища, ніж з гідронасосом постійної продуктивності (наприклад, плунжерні насоси змінної продуктивності замість дешевих шестерінчастих).

Енергетичні характеристики гідроприводу дросельного керування з гідронасосом змінної продуктивності показані на рис. 4.8.

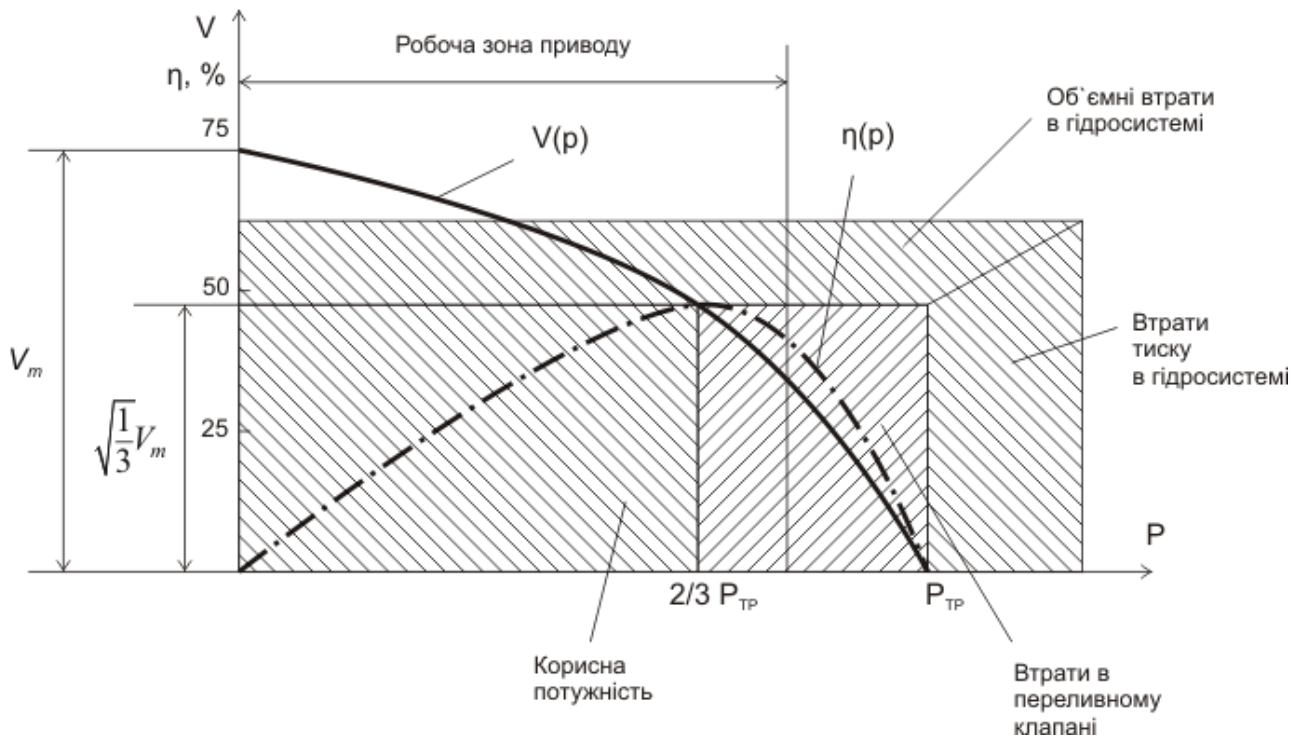


Рис. 4.8. Енергетичні характеристики гідроприводу дросельного керування з гідронасосом змінної продуктивності

У цій схемі значно скорочені втрати потенційної енергії робочої рідини в переливному клапані за рахунок підстроювання продуктивності гідронасоса в динаміці на необхідну витрату всіх приводів.

Теоретичний ККД гідроприводу дросельного керування з гідронасосом змінної продуктивності дорівнює 40%. Його динамічне значення змінюється залежно від корисного навантаження.

Співвідношення динамічного значення ККД для систем гідроприводів дросельного керування з гідронасосом постійної і змінної продуктивності теоретично дорівнює кількості приводів у системі. Практично воно менше через використання пневогідравлічних акумуляторів для компенсації пікових витрат у системі з гідронасосом постійної продуктивності.

Тому при порівняльній оцінці енергетичних характеристик систем гідроприводів дросельного керування з гідронасосом постійної і змінної продуктивності останні мають приблизно у 5 разів кращі характеристики.

## Висновки

У даному розділі розглянуті наведені нижче основні питання:

- загальні відомості про привід ПР;
- типові елементи та особливості конструкції пневматичного приводу ПР;
- принцип роботи ПР з пневматичним приводом;
- гідравлічний привід ПР.

### Контрольні питання

1. Що враховують при виборі приводу ПР?
2. Які переваги має пневматичний привід?
3. Які переваги має гідравлічний привід?
4. Які переваги має електричний привід?
5. Які відомі основні технічні характеристики ПР МП-9С?
6. Назвіть основні елементи пневматичного приводу?
7. Які умовні позначення використовуються на схемі розподільника?
8. Як працює пневматичний розподільник?
9. Поясніть принцип дії пневматичного приводу ПР.
10. Якими способами може виконуватися гальмування поршня у кінці ходу?
11. Які відомі негативні фактори недостатнього демпфірування руху ступенів рухомості ПР?
12. Поясніть фізичні основи регулювання швидкості пневматичних двигунів.
13. Укажіть способи демпфірування кожного ступеня рухомості ПР МП-9С.
14. Які способи регулювання швидкості вихідної ланки пневматичного двигуна ПР МП-9С використовуються?
15. За рахунок чого рухається в пневматичних двигунах вихідна ланка (поршень із штоком)?
16. Що називається робочим циклом ПР?
17. Якою залежністю пов'язані швидкість поршня двигуна і витрати повітря?
18. Який спосіб регулювання швидкості поршня дозволяє одержати кращі динамічні характеристики приводу?
19. Які конструктивні особливості мають окремі вузли пневматичного приводу ПР МП-9С?
20. Якими видами схем можна реалізувати гідравлічний привід ПР?
21. Яка схема гідроприводу дросельного керування найбільш поширена в промисловій робототехніці?
22. Які енергетичні характеристики має гідропривід дросельного керування з гідронасосом постійної продуктивності?
23. Які особливості схеми гідроприводу дросельного керування з гідронасосом змінної продуктивності?
24. Які енергетичні характеристики має гідропривід дросельного керування з гідронасосом змінної продуктивності?

## 5. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

У результаті вивчення даного розділу студенти повинні вміти:

- описати принципи класифікації систем керування ПР;
- сформулювати групи, на які можна розбити швидкодію ПР;
- сформулювати групи, на які можна розбити точність ПР;
- описати параметри, які визначають експлуатаційні можливості ПР;
- описати принципи класифікації систем програмного керування ПР;
- описати відмінності систем програмного керування ПР від верстатних;
- описати особливості циклової системи керування ПР на прикладі системи мікропроцесорного циклового пристрою (МПЦП);
- зображувати конфігурацію внутрішньої структури МПЦП для різних режимів.

### 5.1. Класифікація систем керування

ПР можуть класифікуватися відповідно до швидкодії і точності руху. Ці параметри характеризують систему керування ПР, динамічні властивості роботів – взаємозалежні. Швидкодія і точність ПР складається з їхніх значень для маніпуляторів і пристрою пересування. Головними і специфічними для робототехніки є швидкодія, точність та надійність маніпуляторів.

Швидкодію ПР загального застосування можна розбити на такі три групи [4]:

- низька, при лінійних швидкостях відповідно до окремих ступенів рухомості до 0,5 м/с;
- середня, при лінійних швидкостях понад 0,5 до 1 м/с;
- висока, при лінійних швидкостях понад 1 м/с.

Більшість сучасних роботів мають середню швидкодію і тільки 20% від їхньої загальної кількості – високу.

Цей параметр для більшості роботів визначає їхню продуктивність. Зазначена швидкодія сучасних роботів є недостатньою і потрібно її збільшити принаймні вдвічі.

Основні труднощі зв'язані при цьому з протиріччям відповідно до швидкодії та не менш важливого параметра – точності.

Найчастіше точність ПР характеризується абсолютною похибкою. Точність ПР загального застосування можна розбити на такі три групи [4]:

- низька, при лінійній похибці від 1 мм і вище;
- середня, від 0,1 до 1 мм;
- висока, менше за 0,1 мм.

Більшість ПР у світі мають середню точність. Однак існують ПР із точністю до одиниць мкн.

Розглянуті далі класифікаційні параметри характеризують технічний рівень ПР.



До них належать і розглянуті раніше параметри, що можуть мати кількісне визначення: швидкодія, точність, об'єм пам'яті, кількість каналів зв'язку із зовнішнім обладнанням. Однак якщо при використанні цих параметрів для класифікації ПР їх розбивають на класифікаційні групи (5 – відповідно до вантажопідйомності, 3 – точності і швидкості і т.п.), то порівняльну оцінку технічного рівня робота виконують виходячи з конкретних числових значень параметрів.

Іншими параметрами, якими характеризується технічний рівень роботів є надійність, кількість одночасно працюючих ступенів рухомості, час програмування, а також похідні від цих параметрів. Керування руху роботів відповідно до окремих ступенів рухомості може бути контурним і дискретним. Найпростішим варіантом дискретного керування є циклове, при якому кількість точок позиціонування відповідно до кожного ступеня рухомості мінімальна, тобто найчастіше обмежена двома (початковим і кінцевим) координатами.

До важливих параметрів систем керування роботів, що визначають їх експлуатаційні можливості, належать об'єм пам'яті пристроїв керування (ПрКР), типи і кількість каналів зв'язку із зовнішнім устаткуванням і з людиною-оператором, а також призначення і способи взаємодії з оператором.

Об'єм пам'яті ПрКР поряд із загальною оцінкою в Кбітах визначається ще найбільшою кількістю програм, що заносяться у пам'ять.

## **5.2. Системи програмного керування**

Системи програмного керування (СПК) призначені для програмування роботи ПР, запам'ятовування програми керування, її збереження, відтворення, видачі керуючих команд, а також для контролю їхнього виконання. Під програмним керуванням розуміється зашифрована тим чи іншим способом інформація про послідовність і час виконання окремих керуючих команд робочого циклу, про просторове положення робочих органів ПР.

Системи програмного керування можна класифікувати [17]:

- за способом позиціонування.
- за способом керування:
  - а) розімкнуті;
  - б) зімкнені;
- за структурою:
  - а) з постійною структурою на базі спеціальних обчислень;
  - б) із змінною структурою на основі мікроконтролера;
  - в) із прямим керуванням від зовнішньої ЕОМ;
- за способами програмування.

У позиційних системах керування (СКР) задаються початкове і кінцеве положення робочих органів ПР. Розрізняють малоточкові та багато точкові позиційні СКР.

Малоточкові мають не більш 8–10 точок позиціонування.

Багатоточкові – до декількох сотень точок.

У СКР положення робочого органа ПР визначено в кожен момент часу. В електромеханічних контурних СКР геометрична інформація подана у вигляді фізичного аналога (положення упорів, настроювання часу). Інформація про час і послідовність виконання кроків програми (цикл роботи) може задаватися переналаджуваними схемами релейної автоматики.

У циклових СКР команди циклу задаються у вигляді чисел, а геометрична інформація – упорами і підключенням відповідних вимикачів. Перебудова циклу при використанні внутрішніх комутаторів зводиться до установки перемикачів і т.п. у відповідні гнізда.

Системи програмного керування ПР мають такі відмінності від верстатних:

- програмування методом навчання;
- значна кількість входів–виходів для зв'язку з основним і допоміжним устаткуванням;
- додаткові модулі виміру показників стану механізмів ПР і параметрів зовнішнього середовища;
- модулі діагностики для реалізації функцій диспетчеризації і контролю роботи устаткування і пристроїв, приєднані до ПР;
- спеціальне математичне забезпечення;
- підвищені швидкості та значні переміщення робочих органів;
- величини дискретизації;
- наявність спеціалізованих циклів (завантаження–розвантаження устаткування);
- пізнавання і вимір зовнішніх об'єктів;
- адаптивне керування.

Для керування простими низькофункціональними ПР використовуються малоточкові циклові системи позиційного керування типу УЦМ.

Основний принцип циклового позиційного керування ПР полягає в позиціюванні маніпулятора ПР відповідно до упорів або дискретних датчиків.

Це визначає ряд характерних рис ПрКР, головні з яких такі:

- інформація про переміщення стосовно окремих ступенів рухомості задається за допомогою регульованих чи упорів датчиків положення;
- задане і фактичне положення ланок маніпулятора порівнюються у природному коді;
- при програмуванні технічна і технологічна інформація задаються в дискретному вигляді, вони визначають послідовність руху ланок маніпулятора, тривалість позиціювання і т.д.;
- керування ведеться за розімкнутим типом.

### 5.3. Циклові системи керування

Розглянемо циклову систему керування на прикладі системи МПЦП [18].

МПЦП призначений для циклового двопозиційного керування маніпуляторами та технологічним обладнанням. Дозволяє здійснювати циклове (за часовим, шляховим або сполучними принципами) та програмно-логічне керування.

МПЦП володіє такими функціями:

1) програмувальні:

- керування виходами на виконавчий пристрій;
- прийняття інформації, яка надходить від датчиків стану обладнання;
- формування витримки часу;
- керування лічильниками;
- звернення до підпрограм;
- організація умовних та безумовних переходів за програмою;
- зв'язок відповідно до інтерфейсу послідовної передачі інформації;

2) сервісні:

- редагування програм;
- тестовий контроль модулів;
- контроль робочих програм.

При введенні інформації з клавіатури пульта керування та виводу її на дисплей застосовується шістнадцятирічна система обчислення.

Дискретність завдання витримки часу – 0,1 с. МПЦП забезпечує світлову індикацію стану кожного входу та виходу.

Споживана потужність МПЦП – не більше 200 Вт.

Маса – не більше 18 кг.

Залежно від об'єму пам'яті робочих програм, кількості входів–виходів, наявності модуля послідовного інтерфейсу (МПІ) і типу корпусу випускаються різноманітні МПЦП (табл. 5.1).

Параметри сигналів зв'язку МПЦП із зовнішніми пристроями подані в табл. 5.2.

Структурна схема МПЦП наведена на рис. 5.1 [18].

Таблиця 5.1

Види МПЦП, що випускаються

Скорочене позначення	Тип корпусу	Об'єм пам'яті, Кбайт	Кількість входів	Кількість виходів	Наявність МПІ
МПЦП-1-32-1	Убудований	1	32	32	Нема
МПЦП-2-32-1	Приладовий	1	32	32	Нема
МПЦП-1-48-2	Убудований	2	48	48	Є
МПЦП-2-48-2	Приладовий	2	48	48	Є

## Параметри сигналів зв'язку МПЦП

Параметр	Величина
Напруга вихідного комутуючого сигналу, В	20-30
Максимальний комутуючий струм, А	0,5
Високий рівень вхідного сигналу, В	20-30
Низький рівень вхідного сигналу, В	Не більше 5
Вхідний струм при напрузі 24 В, мА	13
Час реакції МПЦП на вхідний сигнал, мс	4
Довжина лінії зв'язку модуля МП, м	До 300

У склад МПЦП входять:

- система пам'яті, яка включає модуль пам'яті (МПМ) та модуль енергонезалежного запам'ятовуючого пристрою (МЕНЗП) – 512 байт;
- модуль процесора (МПР);
- система вводу–виводу, яка забезпечує за допомогою відповідних модулів зв'язок МПР з ПКР, що управляється ЕОМ вищого рангу та зовнішнім технологічним обладнанням;
- система електропостачання.

Модуль процесора здійснює збір, цифрову обробку та виведення інформації відповідно до виконавчої програми, що записана у перепрограмний постійно запам'ятовуючий пристрій (ППЗП) модуля пам'яті.

Виконавча програма (ВКП) є невід'ємною частиною МПЦП, недоступною для користувача. Її призначення – перетворення команд, які вводяться оператором з ПКР або надходять від керуючої програми (КрП) відповідно до послідовності кодів машинної мови мікропроцесора для реалізації цих команд.

КрП – програма, написана користувачем у кодах команд вхідної мови МПЦП, вона забезпечує поданий алгоритм роботи ПР і технологічного обладнання (ТО). Ця програма розміщується в МЕНЗП та зберігається при відключенні напруги завдяки використанню батарей елементів живлення.

Пульт керування спільно з модулем керування (МКР) складають технічні засоби спілкування оператора з МПЦП.

До пульта керування входять (рис. 5.2) клавіатура для введення команд і керування режимами роботи МПЦП, однорядковий дисплей, призначений для відображення інформації, що контролюється оператором, та індикатори режимів роботи.

Модуль керування забезпечує з'єднання клавіатури, індикації та пульта керування з внутрішньою магистраллю обміну інформацією МПЦП. Модулі вводу (МУВ) і виводу (МВІВ) дискретних сигналів призначені для зв'язку МПЦП із зовнішнім технологічним обладнанням (реле, датчиками стану обладнання, елементами сигналізації, виконавчими пристроями).

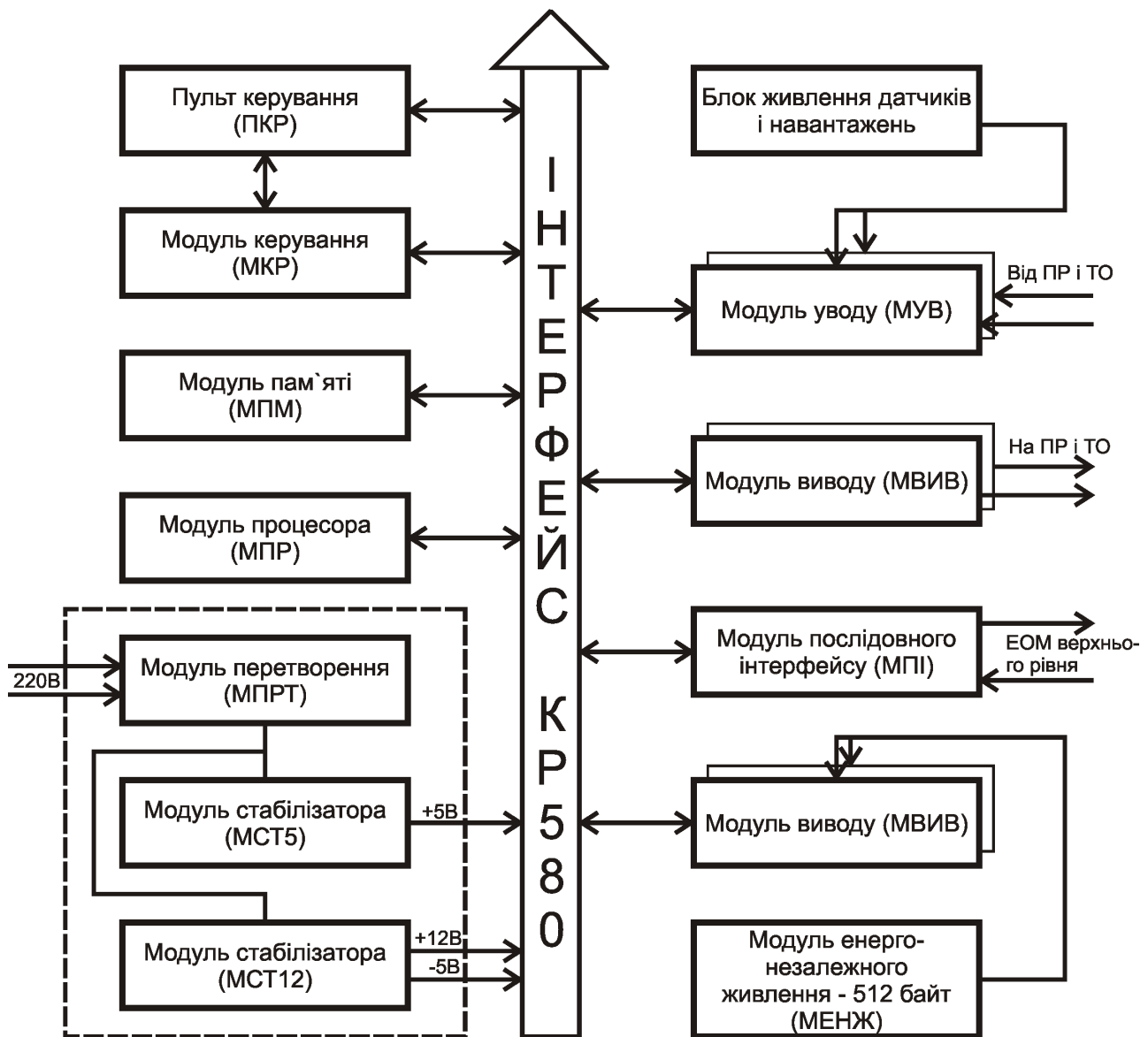


Рис. 5.1. Структурна схема МПЦП

#### 5.4. Режими роботи циклової системи керування

У кожний поточний момент часу МПЦП може знаходитися в одному з таких режимів роботи: автоматичному (А), ручному (Р), кроковому (К), уводу програми (УП), перегляду програми (ПП), функціональної клавіатури [18].

Узагальнена конфігурація внутрішньої структури МПЦП для цих режимів подана на рис. 5.3.

Для зміни режимів роботи необхідно на ПУ натиснути клавішу Р та, не відпускаючи її, натиснути на ще одну клавішу відповідно до табл. 5.3. При цьому засвітиться один з п'яти індикаторів режиму роботи (рис. 5.2).

Режим роботи "Автоматичний" – основний і призначений для керування ПР та ТО відповідно до КрП, уведеної у МЕНЗП (рис. 5.4, а).

Для підвищення ефективності відлагодження КрП використовується режим роботи "Кроковий", у якому процесор здійснює вибірку із МЕНЗП та виконання чергової команди (рис. 5.4, б).

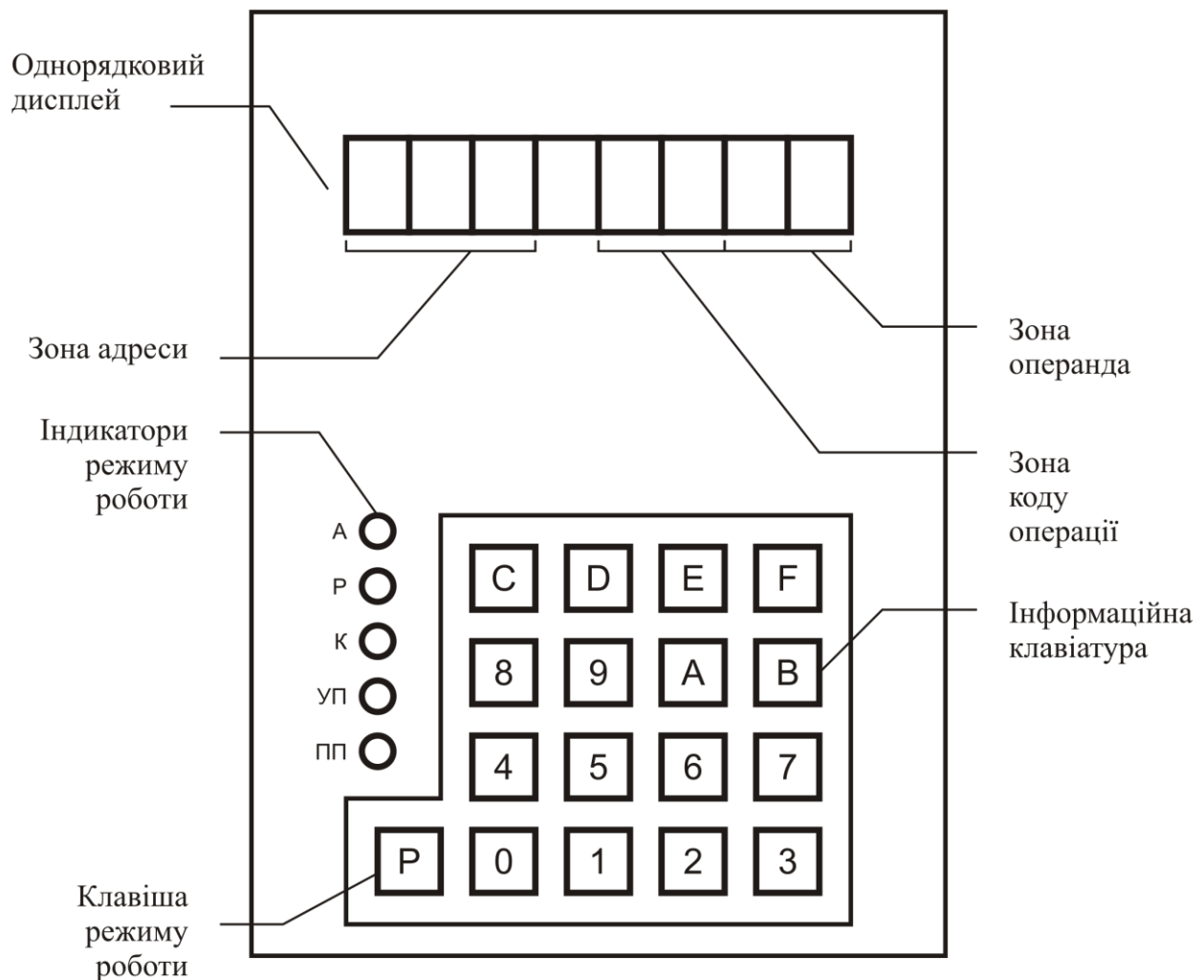


Рис. 5.2. Зовнішній вигляд пульта керування

У цьому режимі оператор має можливість здійснити виконання КрП у необхідному йому темпі. У паузах між виконанням команд процесор виводить на індикацію адресу (вміст лічильника команд) та вміст чарунки МЕНЗП, яка зберігає команду, що буде виконуватися на наступному кроці.

Режим “Увод програми” використовується для запису кодів команд керуючої програми в МЕНЗП (рис. 5.4, в). Необхідна команда набирається оператором на клавіатурі пульта керування.

При цьому процесор під дією ВКП зчитує коди натиснутих клавіш, формує з них код команди і пересилає його в МЕНЗП за адресою, визначеною лічильником команд.

По закінченні пересилки кожної команди вміст лічильника команд автоматично збільшується на одиницю. Інформація, яка вводиться спільно з поточним значенням лічильника команд, відображається на дисплеї пульта керування.

Режим “Перегляд програми” аналогічний режиму “Увод програми”, проте напрямок проходження інформації – протилежний (рис. 5.4, г).

Відповідно до адреси чарунки МЕНЗП, записаної у лічильнику команд, процесор зчитує інформацію з чарунки та виводить її на індикацію спільно з поточним значенням лічильника команд.

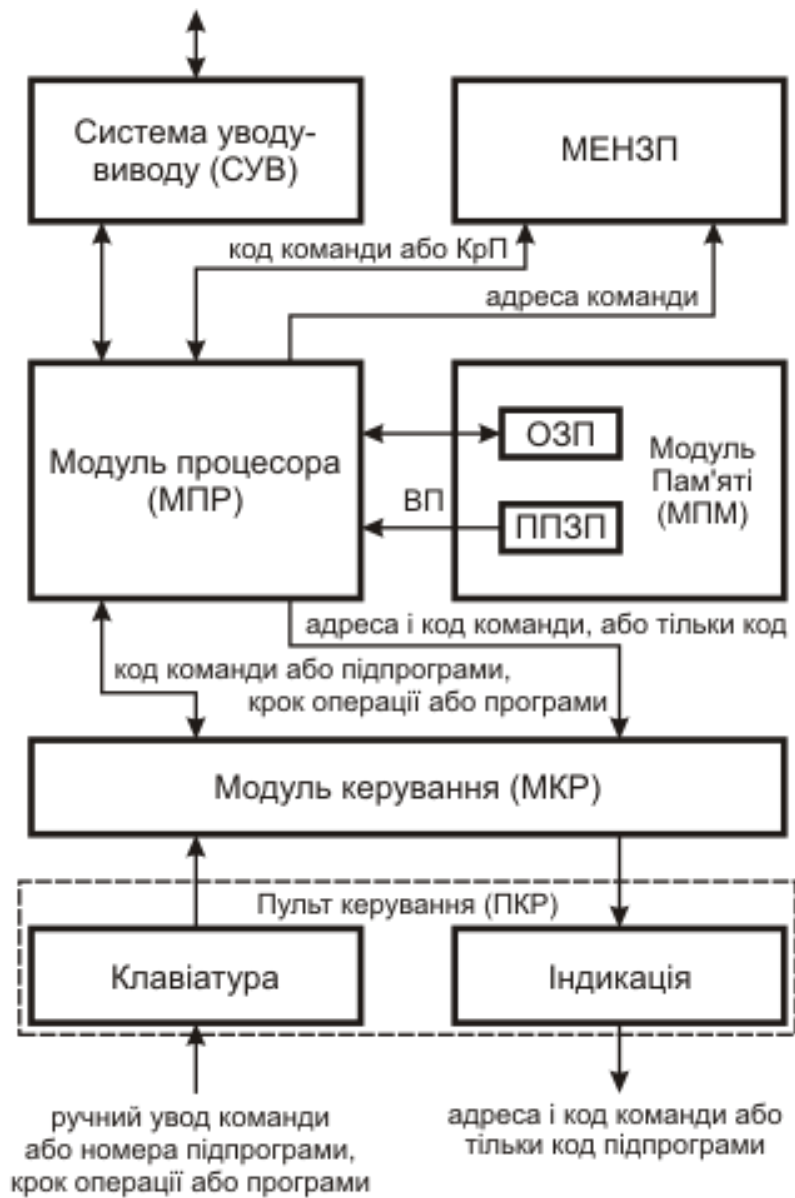


Рис. 5.3. Узагальнена конфігурація внутрішньої структури МПЦП

Таким чином, МЕНЗП є джерелом команд для процесора, вибірку яких він здійснює за адресою, що визначається лічильником команд. Цей режим використовується для контролю оператора над керуючою програмою, яка зберігається у пам'яті мікроконтролера.

У режимі "Ручний" процесор взаємодіє з пультом керування аналогічно тому, як у режимі "Увід програми" (рис. 5.5, а). Сформований код команди у цьому випадку не запам'ятовується в МЕНЗП, а виконується.

Режим керування "Функціональна клавіатура" є модифікацією режиму "Ручний" і спрощує керування маніпулятором при налагодженні РТК (рис. 5.5, б).

Режим "Функціональна клавіатура" дозволяє керувати маніпулятором, електромагніти пневморозподільників якого підключені до виходів 00–09.

Контроль за виконанням руху здійснюється датчиками, приєднаними до виходів 00–09.

## Приклади перемикання режимів роботи МПЦП

Натискна клавiша	Індикація режиму роботи					Установлений режим роботи
	А	Р	К	УП	ПП	
“Скидання”	○	●	○	○	○	Ручний
P0	●	○	○	○	○	Автоматичний
P1	○	●	○	○	○	Ручний
P2	○	○	●	○	○	Кроковий
P3	○	○	○	●	○	Увід програми
P4	○	○	○	○	●	Перегляд програми вперед
P5	○	○	○	○	●	Перегляд програми назад
P6	○	○	●	○	○	Функціональна клавіатура маніпулятора 1
P7	○	○	●	○	○	Функціональна клавіатура маніпулятора 2
P8	○	○	○	○	●	Перегляд програми вперед

● – світлодіод увімкнений

○ – світлодіод вимкнений

Для роботи достатньо перейти у режим “Функціональна клавіатура” (табл. 5.3) і натискати клавiші відповідно табл. 5.4 (команди режиму “Функціональна клавіатура” 6, 7, 8, 9 у поданому маніпуляторі МП-9С не використовується у зв’язку з відсутністю 4-го та 5-го ступенів рухомості).

У цьому режимі інформаційні клавiші 0-В викликають з ППЗП підпрограми керування рухом маніпулятора.

Під час переходу в режим “Функціональна клавіатура” на однорядковому дисплеї ПУ з’явиться зображення „— — — — F – 0 0”, де “—” позначає, що елемент погашений.

При натисненні кожної клавiші відповідно до табл. 5.4 на місці 2-го елемента коду операції з’явиться її значення.

Наприклад, при натисненні клавiші 2:

„— — — — F 2 0 0”.

Після закінчення виконання відповідного руху цей елемент гасне, тобто з’являється початкове зображення.



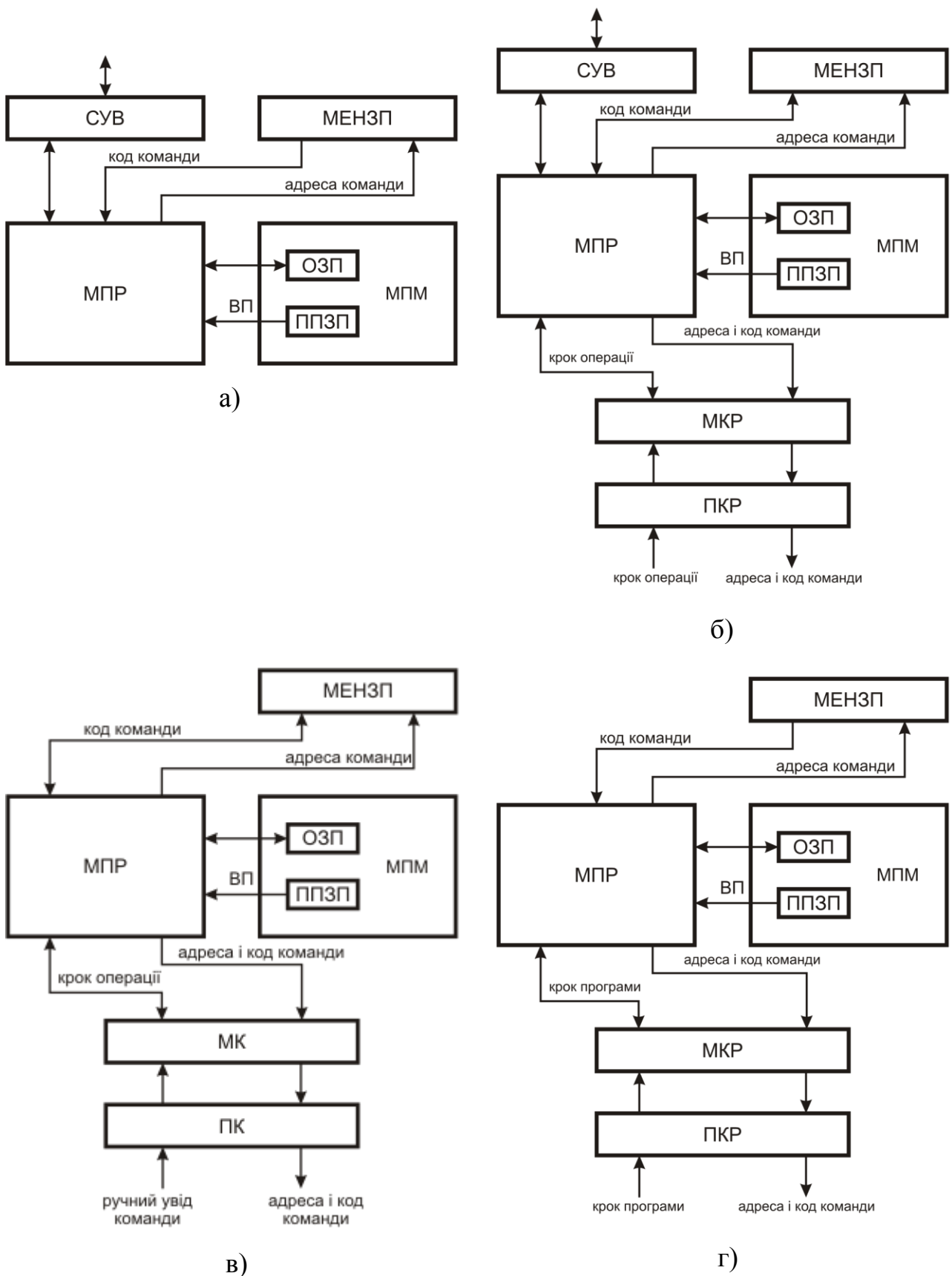


Рис. 5.4. Конфігурації внутрішньої структури МПЦП для різних режимів роботи (а – автоматичний; б – кроковий; в – увід програми; г – перегляд програми)

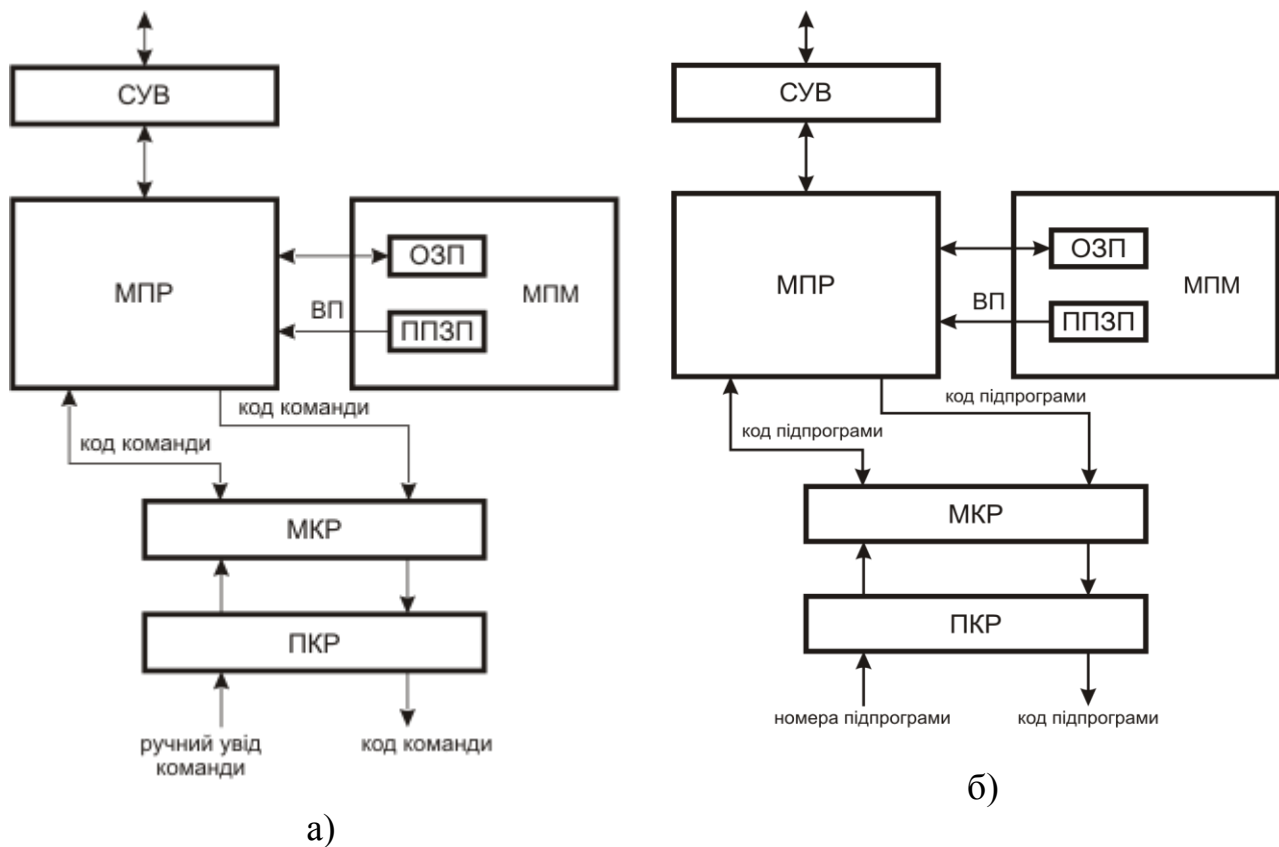


Рис. 5.5. Конфігурації внутрішньої структури МПЦП для режимів роботи „Ручний” (а) і „Функціональна клавіатура” (б)

Таблиця 5.4

Підключення датчиків та електромагнітів

Натискна клавіша	Умовне найменування руху	Дія	Датчик (№ входу)	Електромагніт (№ виходу)
0	1-1	Переведення ступеня рухомості 1 у положення 1	x1(00)	y1(00)
1	1-2	Переведення ступеня рухомості 1 у положення 2	x2(01)	y2(01)
2	2-1	Переведення ступеня рухомості 2 у положення 1	x3(02)	y3(02)
3	2-2	Переведення ступеня рухомості 2 у положення 2	x4(03)	y4(03)
4	3-1	Переведення ступеня рухомості 3 у положення 1	x5(04)	y5(04)
5	3-2	Переведення ступеня рухомості 3 у положення 2	x6(05)	y6(05)
A	6-1	Розтиснення захоплювача	–	y7(06)
B	6-2	Стискування захоплювача	–	y7(06)

## **Висновки**

У даному розділі розглянуті наведені нижче основні питання:

- класифікація систем керування ПР;
- системи програмного керування ПР;
- циклові системи керування ПР;
- режими роботи циклової системи керування.

## **Контрольні питання**

1. На які групи відповідно до швидкодії можна розбити ПР?
2. На які групи відповідно до точності можна розбити ПР?
3. Які параметри системи керування визначають експлуатаційні можливості ПР?
4. Як класифікуються системи програмного керування ПР?
5. Які функції має система циклового керування МПЦП?
6. Які можна назвати основні характеристики МПЦП?
7. Які відомі виконання МПЦП?
8. Які вузли входять у склад МПЦП?
9. Який об'єм пам'яті МЕНЗП МПЦП?
10. Який об'єм пам'яті ППЗП МПЦП?
11. Який об'єм пам'яті ОЗП МПЦП?
12. Яка програма називається виконавчою?
13. Яка програма називається керуючою?
14. З яких елементів складається ПУ?
15. У яких режимах працює МПЦП?
16. Який вигляд має внутрішня структура МПЦП у кожному з режимів роботи?
17. Як змінити режим роботи МПЦП?
18. Чим характерний кожний з режимів роботи МПЦП?
19. Як працює МПЦП у режимі „Функціональна клавіатура”?
20. Які ступені рухомості будуть приведені в рух при натисканні клавіш 6–9 у режимі „Функціональна клавіатура”?

## 6. КОМАНДИ ЦИКЛОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

У результаті вивчення даного розділу студенти повинні вміти:

- описати програмну модель системи керування ПР на прикладі системи МПЦП;
- вибирати команди тестового контролю для перевірки визначених блоків МПЦП;
- застосовувати команди редагування та контролю програми МПЦП;
- застосовувати команди вводу–виводу.

### 6.1. Програмна модель системи керування

Розглянемо програмну модель системи керування МПЦП (рис. 6.1). У цій моделі показані тільки ті вузли МПЦП, які є програмно доступні [18].

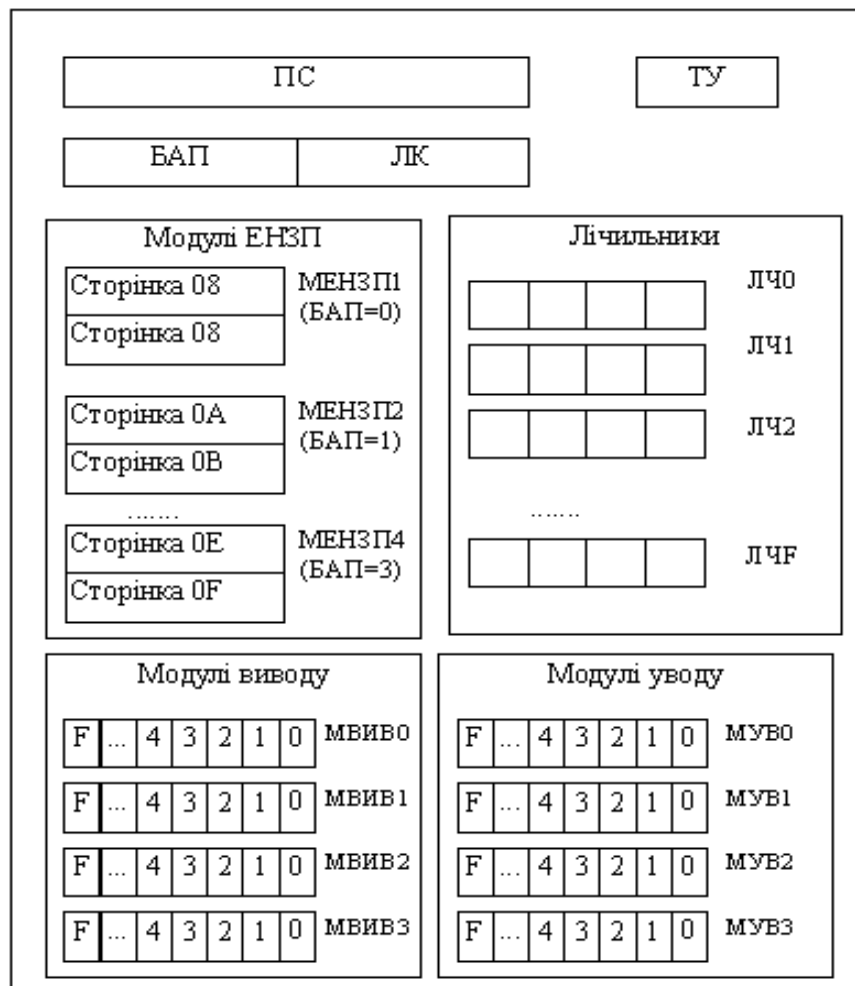


Рис. 6.1. Програмна модель МПЦП

Це регістр-показчик стеку (ПС), регістр базової адреси пам'яті (БАП), лічильник команд (ЛК), тригер умови (ТУ), лічильники (ЛЧ0–ЛЧF), модулі енергонезалежної пам'яті (МЕНЗП1–МЕНЗП4), модулі вводу (МУВ0–МУВ3) та модулі виводу (МВІВ0–МВІВ3).

Залежно від варіанта виконання у склад МПЦП можуть входити від 1 до 4 модулів МЕНЗП. Об'єм модуля дозволяє записати 256 команд УП (512 байт). Це складає одну зону пам'яті (рис. 6.1).

Кожна зона пам'яті, у свою чергу, ділиться на дві сторінки об'ємом по 128 команд. Номер зони є базовою адресою пам'яті (БАП), він зберігається в службовому реєстрі БАП. Крім реєстру БАП, в ОЗП організовані такі пристрої:

- ЛК (лічильник команд), вміст якого визначає адресу команди у межах зони пам'яті;
- ТУ (тригер умови), стан якого змінюється залежно від результатів виконання операцій. Аналіз ТУ використовується для керування ходом виконання УП;
- ПС (показчик стеку), визначає адресу чарунок стекової пам'яті, у яких запам'ятовується значення БАП і ЛК при зверненні до підпрограми та звідки вони вибираються під час виконання команди "ПВ".

Крім того, в ОЗП є 16 лічильників, зміст яких може змінюватися від 0 до F. При необхідності лічильник може бути використаний як однібітна пам'ять. ТУ можливо установити у визначений стан, застосовуючи команди "УТП АВХ" і "УТІ АВХ".

При використанні ТУ необхідно мати на увазі, що він набуває початкового стану, що відповідає логічній "1", у таких випадках:

- під час включення живлення МПЦП;
- під час натиснення кнопки "Скидання";
- після виконання команд умовного переходу.

МПЦП оснащений системою команд, призначений для розв'язання задач циклового керування ПР і ТО. Початкова інформація для складання програм може бути подана циклограмою роботи РТК або схемою алгоритму керування.

Команди МПЦП можна розділити відповідно до функціонального призначенням на такі групи:

- команди вводу–виводу;
- команди керування програмою;
- команди керування лічильником;
- команди контролю та редагування програми;
- тестового контролю функціональних блоків;
- команди керування виконавчими пристроями відповідно до шляхової ознаки.

Стислий опис команд вводу–виводу та керування програмою наведений у табл. 6.1, команд контролю та редагування програми і контролю функціональних блоків – у табл. 6.2.

Слово команди МПЦП складається з двох байт, де 1-й байт – код команди, 2-й – операнда.

Сукупність команд МПЦП утворює КрП, яка зберігається в модулі МЕНЗП.

Список команд МПЦП, упорядкований за мнемосодами, наведений у табл. 6.3, а за кодами – у табл. 6.4.

Таблиця 6.1

Стислий опис команд уводу–виводу та керування програмою МПЦП

Мнемосокод	Опис команди
<b>Група команд уводу–виводу</b>	
ВИМ АВД	Вимкнути пристрій на виході із заданою адресою АВД
ВВМ АВД	Ввiмкнути пристрій на виході із заданою адресою АВД
ВТІ АВД	Вивід стану ТУ – iнверсний. Вихід із заданою адресою АВД установлюється вiдповiдно до значення протилежного вiмiсту ТУ
ВТП АВД	Вивід стану ТУ – прямиий. Вихід із заданою адресою АВД установлюється вiдповiдно до вiмiсту ТУ
ЗАТ ЧИС	Команда затримки часу перед продовженням виконання КрП на (ЧИС x 0,1) с: ЧИС може змiнюватися вiд 01 до 99
ЧКН АВХ	Чекання вхiдного сигналу, що дорiвнює “N” (N=0 або 1). Перехiд до виконання наступної команди програми здiйснюється тiльки при сигналі, що дорiвнює ”N” на вхiдi із заданою адресою АВХ
ПВН АВХ	Перевiрка вхiду АВХ на наявнiсть сигналу, що дорiвнює “N” (N=0 або 1). Якщо дорiвнює – ТУ зберiгає попереднє значення, у протилежному випадку – скидається
УТІ АВХ	ТУ перемикається у стан, iнверсний вiдносно сигналу на вхiдi із заданою адресою АВХ
УТП АВХ	ТУ перемикається у стан, вiдповiдний сигналу на вхiдi із заданою адресою АВХ
<b>Група команд керування програмою</b>	
ПЕР АКМ	Перехiд до виконання команди, яка мiститься за вказаною адресою АКМ
ЗБА БАП	Змiна базової адреси програми на нову, що дорiвнює БАП (БАП=00, 01, 02 або 03)
ЗП	Зупинка програми
НО	Нема операції. Перехiд до виконання наступної команди програми
ПВ	Повернення з пiдпрограми
ППП АКМ	Перехiд до пiдпрограми, яка мiститься за вказаною адресою АКМ із запам`ятовуванням адреси повернення
ПТН АКМ	Перехiд до виконання команди, яка мiститься за вказаною адресою АКМ, якщо стан ТУ дорiвнює N (N=0 або 1). У протилежному випадку вiдбувається виконання наступної команди програми

Стислий опис команд контролю та редагування програми і контролю функціональних блоків МПЦП

Мнемокод	Опис команди
<b>Група команд керування лічильниками</b>	
ЗБЛ НОМ	Збільшення вмісту лічильника вказаного номера НОМ на 1 (НОМ=00...0F)
СЛЧ НОМ	Скидання лічильника, тобто обнулення лічильника із заданим номером (НОМ=00...0F)
ПЛЧ Ч/Н	Порівняння вмісту лічильника вказаного номера Н з числом Ч. Якщо вони рівні, то ТУ зберігає своє попереднє значення. У протилежному випадку ТУ обнулюється (Ч=0...F, Н=0...F)
<b>Група команд контролю та редагування програми</b>	
КСП СТР	Обчислення контрольної суми кодів команд, які містяться у сторінці пам'яті з указаним номером СТР
РЕД АКМ	Команди КрП зрушуються у бік збільшення адрес на один крок, починаючи з вказаної адреси АКМ, до першої адреси, яка містить команду НО. За вказаною адресою АКМ записується код 0000 команди НО. Команда РЕД АКМ використовується для вставки команд в КрП
<b>Група команд тестового контролю функціональних блоків</b>	
ТЗП КІЛ	Перевірка модуля МЕНЗП (КІЛ=02 або 04)
ТКМ К/К	Комплексна перевірка функціональних блоків МПЦП уводу–виводу і МЕНЗП (К/К=2/2 або 3/4)
ТП	Перевірка модуля МП
ТУВ КІЛ	Перевірка системи дискретного вводу–виводу (КІЛ=02 або 04)

## 6.2. Команди тестового контролю функціональних блоків системи керування

Для однократного виконання тестів, а також контролю програми необхідно перейти до режиму роботи МПЦП “Ручний” і ввести відповідний код команди. У випадку перебоїв виконання тестів зупиняється і на дисплеї висвічується інформація, характерна для кожного з тестів. Для продовження виконання тестів натиснути будь-яку інформаційну клавішу. Для зупинки виконання тесту ввімкнути будь-який інший режим роботи.

Перед виконанням тестів уводу–виводу, послідовного інтерфейсу та комплексної перевірки входи і виходи МПЦП з'єднати за схемою, наведеною в інструкції з експлуатації [18].

За командою “ТЗП КІЛ” проводиться перевірка працездатності МЕНЗП. Ця команда забезпечує контроль функціонування кожного біта пам'яті під час запису та зчитування у різних комбінаціях “1” і “0”.

Таблиця 6.3

## Список команд МПЦП, упорядкованих за мнемокодами

№ з/п	Мнемокод	Код	№ з/п	Мнемокод	Код
1.	АКТ ЛЧТ	26**	28.	ПТ0 АКМ	0В
2.	ВВМ АВД	05	29.	ПТ1 АКМ	0А
3.	ВИМ АВД	06	30.	РЕД АКМ	14
4.	ВТІ АВД	13	31.	СЛЧ НОМ	0D
5.	ВТП АВД	12	32.	ТЗП КІЛ	18
6.	ЗАТ ЧИС	07	33.	ТКМ К/К	17
7.	ЗБА БАП	0F	34.	ТП	2С
8.	ЗБЛ НОМ	0С	35.	ТУВ КІЛ	19
9.	ЗКБ ЧИС	2F**	36.	УБ0 АБТ	21**
10.	ЗЛЧ ДІА	27**	37.	УБ1 АБТ	20**
11.	ЗМБ МБА	2E**	38.	УБУ АБТ	24**
12.	ЗП	08	39.	УТІ АВХ	1F
13.	ЗПЛ ЧИС	28**	40.	УТП АВХ	1E
14.	ЗРГ НОМ	25**	41.	Ф11 МАН	F0*
15.	ЗСВ РЕГ	2D**	42.	Ф12 МАН	F1*
16.	ІНД МБА	2A**	43.	Ф21 МАН	F2*
17.	КСП СТР	15	44.	Ф22 МАН	F3*
18.	Н0	00	45.	Ф31 МАН	F4*
19.	ПАЛ ЧИС	29**	46.	Ф32 МАН	F5*
20.	ПБ0 АБТ	23**	47.	Ф41 МАН	F6*
21.	ПБ1 АБТ	22**	48.	Ф42 МАН	F7*
22.	ПВ	11	49.	Ф51 МАН	F8*
23.	ПВ0 АВХ	03	50.	Ф52 МАН	F9*
24.	ПВ1 АВХ	04	51.	Ф61 МАН	FA*
25.	ПЕР АКМ	09	52.	Ф62 МАН	FB*
26.	ПЛЧ Ч/Н	0E	53.	ЧК0 АВХ	01
27.	ППП АКМ	10	54.	ЧК1 АВХ	02

\* – команди реалізовані в МПЦП усіх виконань;

\*\* – команди реалізовані тільки в МПЦП виконань МПЦП-1-48-2, МПЦП-2-48-2.

Код операнда “КІЛ” може приймати різне значення залежно від кількості модулів МЕНЗП. Для виконань МПЦП, що випускаються, код операнда дорівнює 02 або 04. Правильне виконання тесту закінчується висвітленням “1” у всіх розрядах дисплея протягом 2 с. Після цього дисплей гасне.

У випадку перебою на дисплеї відображуються: у зоні адреси – фізична адреса МЕНЗП, у зоні коду операції – інформація, яка записується за цією адресою, у зоні операнда – зчитана операція.



Таблиця 6.4

## Список команд МПЦП, упорядкованих за кодами

№ з/п	Код	Мнемокод	№ з/п	Код	Мнемокод
1.	00	НО	29.	20	УБ1 АБТ**
2.	01	ЧК0 АВХ	30.	21	УБ0 АБТ**
3.	02	ЧК1 АВХ	31.	22	ПБ1 АБТ**
4.	03	ПВ0 АВХ	32.	23	ПБ0 АБТ**
5.	04	ПВ1 АВХ	33.	24	УБУ АБТ**
6.	05	ВВМ АВД	34.	25	ЗСВ РЕГ**
7.	06	ВИМ АВД	35.	26	АКТ ЛЧТ**
8.	07	ЗАТ ЧИС	36.	27	ЗЛЧ ДІЯ**
9.	08	ЗП	37.	28	ЗПЛ ЧИС**
10.	09	ПЕР АКМ	38.	29	ПАЛ ЧИС**
11.	0A	ПТ1 АКМ	39.	2A	ІНД МБА**
12.	0B	ПТ0 АКМ	40.	2B	-
13.	0C	ЗБЛ НОМ	41.	2C	ТП
14.	0D	ОЛЧ НОМ	42.	2D	ЗСБ СБА**
15.	0E	ПЛЧ Ч/Н	43.	2E	ЗМБ МБА**
16.	0F	ЗБА БАП	44.	2F	ЗКБ ЧИС**
17.	10	ППП АКМ	45.	F0*	Ф11 МАН*
18.	11	ПВ	46.	F1*	Ф12 МАН*
19.	12	ВТП АВД	47.	F2*	Ф21 МАН*
20.	13	ВТІ АВД	48.	F3*	Ф22 МАН*
21.	14	РЕД АКМ	49.	F4*	Ф31 МАН*
22.	15	КСП СТР	50.	F5*	Ф32 МАН*
23.	16	-	51.	F6*	Ф41 МАН*
24.	17	ТКМ К/К	52.	F7*	Ф42 МАН*
25.	18	ТЗП КІЛ	53.	F8*	Ф51 МАН*
26.	19	ТУВ КІЛ	54.	F9*	Ф52 МАН*
27.	1E	УТП АВХ	55.	FA*	Ф61 МАН*
28.	1F	УТІ АВХ	56.	FB*	Ф62 МАН*

\* – команди реалізовані в МПЦП усіх виконань;

\*\* – команди реалізовані тільки в МПЦП виконань МПЦП-1-48-2, МПЦП-2-48-2.

За командою “ТУВ КІЛ” проводиться перевірка працездатності модулів вводу-виводу. При цьому виконується послідовне включення виходів модулів МВІВ, опитування відповідних входів модулів МУВ і порівняння приймальної інформації.

Код операнда “КІЛ” може приймати різні значення залежно від кількості модулів вводу–виводу. Для виконань МПЦП, які випускаються, код операнда дорівнює 02 або 03.

Правильне виконання тесту супроводжується почерговим включенням–виключенням індикаторів у стан входів–виходів і закінчується висвічуванням цифри 2 в усіх розрядах дисплея протягом 2 с.

У випадку перебою на елементах дисплея відображаються:

- 1 – номер модуля;
- 2 – номер каналу;
- 3 – нічого (погашений);
- 4, 5 – стан виходів;
- 6 – нічого (погашений);
- 7, 8 – стан входів.

За командою “ТКМ К/К” виконується комплексний тест, призначений для повної функціональної перевірки МПЦП.

Він складається з таких блоків:

- тест перевірки модуля МЕНЗП;
- тест перевірки модуля вводу–виводу;
- тест системи команд МПЦП;
- тест модуля МП.

Правильне виконання тесту супроводжується почерговим вивченням в усіх розрядах дисплея протягом 2 с цифр 1, 2, 3, які інформують про проходження окремих блоків тесту (для МПЦП–1–48–2, МПЦП–2–48–2 – цифр 1, 2, 4, 3).

Код операнда К/К може приймати різні значення залежно від кількості модулів вводу–виводу і МЕНЗП. Для виконань МПЦП, які випускаються, код операнда дорівнює 22 або 34.

За командою ТП виконується перевірка працездатності модуля МП. При цьому здійснюється передача у лінію зв’язку, приймання та контроль кодів 00Н...FFН. Правильне виконання тесту закінчується висвітленням цифри 4 в усіх розрядах дисплея протягом 2 с. Після цього дисплей гасне.

### **6.3. Команди редагування та контролю програми**

За командою “КСП СТР” вираховується сума кодів команд програми (у двійковій системі числення), записаної на сторінці пам’яті з указаним номером “СТР” [18].

Код операнда “СТР” може приймати різне значення залежно від кількості модулів МЕНЗП. Для виконань МПЦП, які випускаються, код операнда під час контролю керуючої програми дорівнює 08Н...0FH.

При виконанні команди на дисплеї у полі адреси відобразиться номер сторінки, а у полі коду операції – контрольна сума.

При натисненні на дисплеї будь-якої інформаційної клавіші, він гасне і МПЦП буде готовий до виконання нової команди. Найбільш часто при редагуванні програм зустрічаються операції з включення або виключення з програм однієї або кількох команд.

Для цього використовується команда “РЕД АКМ”. “АКМ” задає адресу, за якою необхідно розмістити команду, яка вводиться.

Необхідність у команді “РЕД АКМ” може виникнути під час виправлення помилок, допущених під час уводу КрП або при налагодженні.

За командою “РЕД АКМ” виконується зсув частини КрП на одну адресу у бік збільшення ЛЧ. На задану у команді “РЕД АКМ” адресу автоматично записується команда “НО”. Ця ж команда, яка обмежує зверху зону частини зрушеної КрП, вилучається. Якщо необхідно установити кілька команд, то команда “РЕД АКМ” повторюється відповідну кількість разів.

Для вилучення команди з програми, що редагується, її замінюють командою “НО”.

Під час користування командою редагування адреси “РЕД АКМ” операнди команд “ПЕР”, “ПТ1”, “ПТ0” та “ППП” не змінюються. Тому після редагування програми необхідно продивитися всю зрушену частину ВКП та скоригувати ці операнди.

#### 6.4. Команди вводу–виводу

Команди вводу–виводу забезпечують увід інформації з датчиків ТО та видачу керуючих дій на виконавчі пристрої [18].

У командах виводу інформації адреса виходу, яка визначається величиною поля операнда, кодується двома цифрами шістнадцятиричної системи числення, перша з яких може змінюватися від 0 до 2 та визначити один з трьох модулів виводу дискретних сигналів, що можуть бути встановлені у МПЦП.

Друга цифра визначає один з шістнадцяти конкретних виходів 0, 1, 2,...F вибраного модуля (рис. 5.1).

Стан кожного виходу відображається відповідним індикатором, виведеним на передню панель модуля виводу дискретних сигналів. Наприклад, для включення–виключення відповідно виконавчих пристроїв, підключених до першого виходу першого модуля виводу і до одинадцятого виходу другого модуля виводу, необхідно в програму записати команди, подані у табл. 6.5.

Таблиця 6.5

Приклади команд уводу

Адреса команди	Код	Мітка	Мнемокод	Операнд	Коментар
000	0500		ВВМ	00	Ввімкнути навантаження, що підключене до першого виходу першого модуля виводу
001	061A		ВИМ	1A	Вимкнути навантаження, що підключене до одинадцятого виходу другого модуля виводу

У командах опитування датчиків технологічного обладнання адреси датчиків визначаються аналогічно адресам виходів.

Стан кожного входу відображається на індикаторах, виведених на передню панель модулів вводу дискретних сигналів.

Приклади команд опитування датчиків подані у табл. 6.6.

Таблиця 6.6

Приклади команд опитування датчиків

Адреса команди	Код	Мітка	Мнемокод	Операнд	Коментар
010	0100		ЧК0	00	Чекання розмикання контактів датчика, підключеного до першого входу першого модуля вводу. Перехід до виконання наступної команди програми здійснюється лише тоді, коли сигнал з датчика на першому вході дорівнює "0".
011	020A		ЧК1	0A	Чекання замикання контактів датчика, підключеного до одинадцятого входу першого модуля вводу. Перехід до виконання наступної команди програми здійснюється лише тоді, коли сигнал з датчика на першому вході дорівнює "1".
012	030F		ПВ0	0F	Перевірка шістнадцятого входу першого модуля вводу на наявність сигналу, що дорівнює "0". При рівності ТУ зберігає своє попереднє значення, у протилежному випадку – обнулюється.

Команда "ЗАТ ЧИС" призначена для реалізації алгоритмів задач цифрового керування, побудованих за часовим принципом.

Мінімальна затримка часу 0,1 с задається командою "ЗАТ 01". Затримка часу 1 с задається командою "ЗАТ 10", а максимальне значення 9,9 с – командою "ЗАТ 99".

Якщо необхідно отримати тимчасову затримку більш ніж 9,9 с, то в керуючу програму послідовно включають дві або кілька команд затримки часу, що забезпечують потрібну сумарну затримку. Заздалегідь передбачене зупинення програм можна реалізовувати командою "ЗП". Програма зупиняється зі значенням лічильника команд, що вказують на адресу, яка йде слідом за адресою команди "ЗП". Значення ЛК і код команди, записаний за

цією адресою, виводиться на дисплей ПКР. Для подальшого запуску програми необхідно натиснути будь-яку інформаційну клавішу ПКР.

Виконання програми починається з команди, адреса і код якої виводяться на дисплей при зупинці програм. Під час запуску програми дисплей гасне.

Команда "НО" може стояти у будь-якому місці програми. При її виконанні вміст лічильника команд збільшується на одиницю, тобто відбувається перехід до виконання наступної команди програми.

Розгалуження програми здійснюється за допомогою команд умовного переходу, а перехід – тільки при виконанні певної умови. У протилежному випадку лічильник вибирає наступну команду.

Умовою, яка аналізується при виконанні команд умовного переходу "ПТН АКМ", є вміст ТУ.

Умовний перехід здійснюється, якщо  $TU=1$  при виконанні команди "ПТ1 АКМ" та  $TU=0$  при виконанні команди "ПТ0 АКМ". У полі операнда цих команд задається адреса, з якої починається робота програми при виконанні умов, що аналізуються. По закінченні виконання команди "ПТН АКМ" умова ТУ встановлюється у початковий стан, відповідний логічній одиниці.

Команда безумовного переходу використовується, коли необхідно змінити нормальну послідовність виконання команд програми без аналізу ТУ. Адреса переходу у межах зони пам'яті задається операндом команди переходу "ПЕР АКМ".

Наприклад, за командою "ПЕР FF" значення лічильника команд стає рівним FF і наступною буде виконуватися команда, записана за цією адресою.

Команда звернення до підпрограми "ППП АКМ" є ефективним засобом економії пам'яті, якщо у процесі виконання програми необхідно багаторазове звернення до незмінної її частини.

Ця частина записується у запам'ятовуючий пристій і закінчується командою "ПВ". Звернення до неї здійснюється командою "ППП АКМ", у поле операнда якої заноситься її початкова адреса.

При виконанні команди "ППП АКМ", записаної на адресі "N", вміст лічильника команд збільшується на одиницю, тобто приймає значення  $N + 1$  та завантажується у стек разом із значенням регістра БАП.

У лічильник команд буде заслана адреса, що знаходиться у полі операнда команди "ППП АКМ". Починаючи з цієї адреси, відбувається послідовне виконання команд програми до самої адреси, на якій стоїть команда "ПВ". При виконанні цієї команди вміст стеку  $N + 1$  переміщується у лічильник команд.

Значення регістра БАП відновлюється і продовжується виконання основної програми, записаної за адресою  $N + 1$ . Стек, організований в МПЦП, дозволяє реалізувати вісім рівнів програми.

Для того, щоб перейти до виконання програми, розташованої в іншій зоні пам'яті, необхідно виконати послідовність команд, наведену в табл. 6.7.

При включенні живлення МПЦП значення БАП встановлюється рівним нулю (нульова зона пам'яті).

Якщо об'єм КрП займає кілька зон пам'яті, то при її розробці необхідно своєчасно здійснювати зміну БАП.

## Програма зміни номера БАП

Адреса команди	Код	Мітка	Мнемо-код	Операнд	Коментар
0FE	0F01		ЗБА	01	БАП приймає значення 01
0FF	0900		ПЕР	00	Перехід на адресу 00 першої зони пам'яті

Команди керування лічильниками здійснюють операції скидання, збільшення та порівняння вмісту шістнадцяти лічильників. Цей вміст може змінюватися від 0 до F.

Наприклад, команда “ЗБЛ 0A” здійснює збільшення вмісту одинадцятого лічильника на одиницю, а команда “ОЛЧ 02” – обнуління 3-го лічильника.

Величиною Ч у полі операнда команди “ПЛЧ Ч/Н” задається величина числа від 0 до F, з якою порівнюється вміст лічильника команд з номером, і заданою величиною Н у полі операнда команди. У випадку збігу заданого та дійсного значень лічильника ТУ зберігає попереднє значення, у протилежному випадку – скидається. Наприклад, команда “ПЛЧ 3F” здійснює порівняння вмісту лічильника F з числом 3.

Використовуючи команди порівняння, можна також легко організувати лічильники ємністю більше ніж 15 біт або накопичувачі реєстрової пам'яті об'ємом у 16 біт.

### Висновки

У даному розділі розглянуті наведені нижче основні питання:

- програмна модель циклової системи керування ПР;
- команди тестового контролю;
- команди редагування та контролю програми системи керування ПР;
- команди вводу–виводу.

### Контрольні питання

1. Які вузли входять у склад програмної моделі МПЦП?
2. Скільки команд можна записати в один модуль МЕНЗП?
3. Що таке зона пам'яті?
4. Для чого служить ЛЧ МПЦП?
5. Для чого служить ТУ МПЦП?
6. Для чого служить ПС МПЦП?
7. У яких межах може змінюватися вміст лічильників МПЦП?
8. У яких випадках ТУ приймає початковий стан?
9. Які команди дозволяють змінити стан ТУ МПЦП?
10. Які групи команд входять у склад системи команд МПЦП?

11. Як одноразово виконати одну з команд тестового контролю МПЦП?
12. Чим закінчується виконання команди “ТЗП КІЛ”?
13. Чим закінчується виконання команди “ТУВ КІЛ”?
14. Чим закінчується виконання команди “КСП СТР”?
15. Чим закінчується виконання команди “РЕД АКМ”?
16. Чому дорівнює код операнда у командах “ТЗП КІЛ” та “ТУВ КІЛ” для моделі МПЦП, що використовується ?
17. З яких блоків складається комплексний тест МПЦП?
18. Чому дорівнює код операнда “ТКМ К/К”?
19. Які відомі команди вводу МПЦП?
20. Які відомі команди виводу МПЦП?
21. Скільки зовнішніх пристроїв можна включити однією командою “ВВМ АВД”?
22. У яких командах використовується стан ТУ?
23. Як визначається операнд “АВХ”?
24. Як визначається операнд “АВД”?
25. Як обчислити операнд “АКМ”?
26. Як обчислити операнд “БАП”?
27. У яких випадках використовується команда “ЗБА БАП”?
28. Як змінюється операнд “БАП” залежно від виконання МПЦП?
29. Яка команда доповнює команду “ППП АКМ”?
30. Скільки лічильників організовано в МПЦП?
31. Яке максимальне значення може приймати вміст лічильника?
32. Які відомі команди у роботі з лічильниками в МПЦП?
33. Які графи мають таблиці з КрП і який порядок її заповнення?

## 7. ПРОГРАМНИЙ ЕМУЛЯТОР РТК

У результаті вивчення даного розділу студенти повинні вміти:

- сформулювати необхідність створення програмного емулятора;
- описати зовнішній вигляд програмного емулятора на екрані дисплея;
- описати етапи роботи РТК;
- описати інтерфейс програмного емулятора;
- описати структуру програми емулятора;
- описати класи, які були розроблені для реалізації програмного емулятора;
- описати ситуації, при яких на екрані дисплея з'являється попередження про неправильну послідовність дій.

### 7.1. Структура програмного емулятора

На сьогодні багато закладів для навчання студентів технічних спеціальностей використовують комп'ютерні емулятори технологічного устаткування, пристроїв керування і т.п. Можна констатувати, що комп'ютерні навчальні програми завойовують велику популярність не тільки у людей, охочих одержати знання, але й у викладачів, які з їх допомогою можуть більш просто і наочно донести знання до студентів [10].

На кафедрі автоматизації і комп'ютерних систем Національного гірничого університету створений програмний емулятор системи керування робототехнічного комплексу (РТК) з метою навчання студентів у рамках лабораторних робіт керування і програмування промислового робота з цикловою системою керування як у складі РТК, так і самостійно [19].

Зовнішній вигляд емулятора наведений на рис. 7.1.

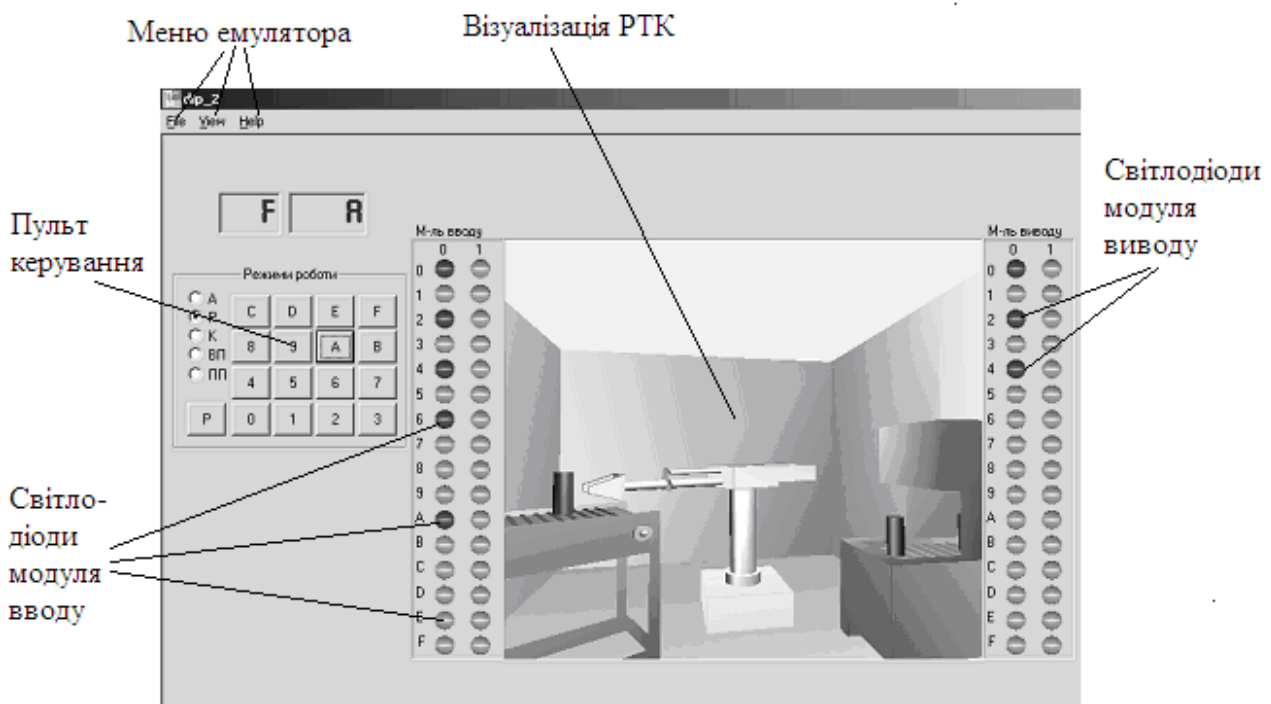


Рис. 7.1. Зовнішній вигляд інтерфейсу емулятора РТК



Даний робототехнічний комплекс включає одиницю технологічного устаткування з ЧПКР, яка оснащена транспортером заготовок, промисловий робот для автоматичного завантаження–розвантаження виробів і автоматизовану транспортну систему.

Розроблена програма емулює роботу як МПЦП, так і устаткування.

Заготовки обробляються на технологічному устаткуванні з ЧПКР. Після цього транспортером вони переміщуються до вікна видачі оброблених заготовок. У цьому положенні ПР може захопити заготовку (рис. 7.2, а), підняти (рис. 7.2, б), перенести на транспортну систему (рис. 7.2, в) і відпустити для подальшого транспортування (рис. 7.2, г).

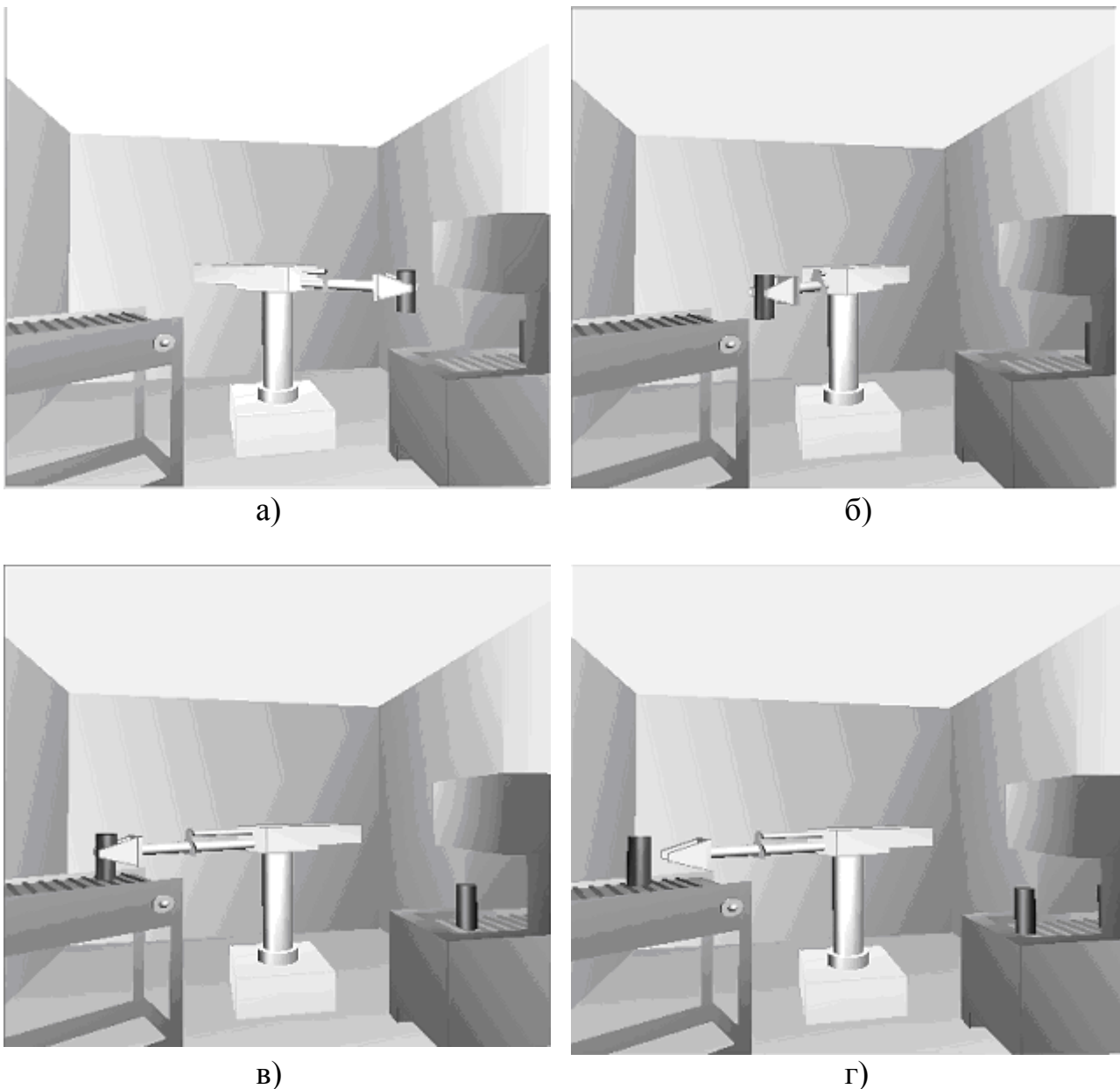


Рис. 7.2. Етапи роботи РТК  
(а – захоплення заготовки; б – поворот ПР; в, г – перенесення і транспортування відповідно)

Програмний емулятор системи керування РТК забезпечує такі режими роботи:

- автоматичний, під керуванням програми, записаної у пам'ять робочих програм;
- ручний, під керуванням команд, поданих з пульта керування;
- кроковий, покрокове виконання програми керування за командами з пульта керування;
- запис команд у пам'ять робочих програм;
- перегляд програми (вивід на індикацію змісту пам'яті робочих програм).

Система керування програмного емулятора дозволяє здійснювати введення і налагодження програм, керування режимами роботи з клавіатури вбудованого пульта керування, відображати інформацію на однорядковому дисплеї і світлодіодних індикаторах пульта керування.

Для керування роботою РТК використовується мікропроцесорний програмований цикловий пристрій (МПЦП), який призначений для циклового (за часовим, шляховим або суміщеним принципом) двопозиційного і програмно-логічного керування маніпуляторами і технологічним устаткуванням.

МПЦП володіє такими функціями:

- програмовані;
- сервісні.

Система числення при введенні інформації з клавіатури пульта керування і виведення її на дисплей вбудованого пульта керування МПЦП – шістнадцятирічна.

Сигнал про виконання кожного руху маніпулятора поступає з датчиків при підході до них постійних магнітів, установлених на рухомих частинах.

Спрацьовування датчиків відображається світлодіодами на блоках вводу–виводу (рис. 7.1).

Використання розробленого емулятора системи керування РТК дає можливість полегшити навчальний процес і збільшити ефективність навчання студентів. Завдяки застосуванню у розробленому програмному забезпеченні візуалізації роботи технологічного процесу у вигляді тривимірної графіки полегшується розуміння студентами роботи робототехнічного комплексу і суті виконуваних ними лабораторних робіт.

## **7.2. Інтерфейс програмного емулятора**

У даній версії програми виконана візуалізація пульта керування МПЦП і візуалізація роботи ПР (рис. 7.3) або РТК (рис. 7.4) за допомогою тривимірної графіки.

Залежно від мети використання програма може працювати у двох варіантах (з ПР або РТК), які вибираються за допомогою меню: View – Variants – MP-9S або View – Variants – RTK.

При вивченні принципів роботи ПР використовується перший варіант програми, а при вивченні всього робототехнічного комплексу – другий.

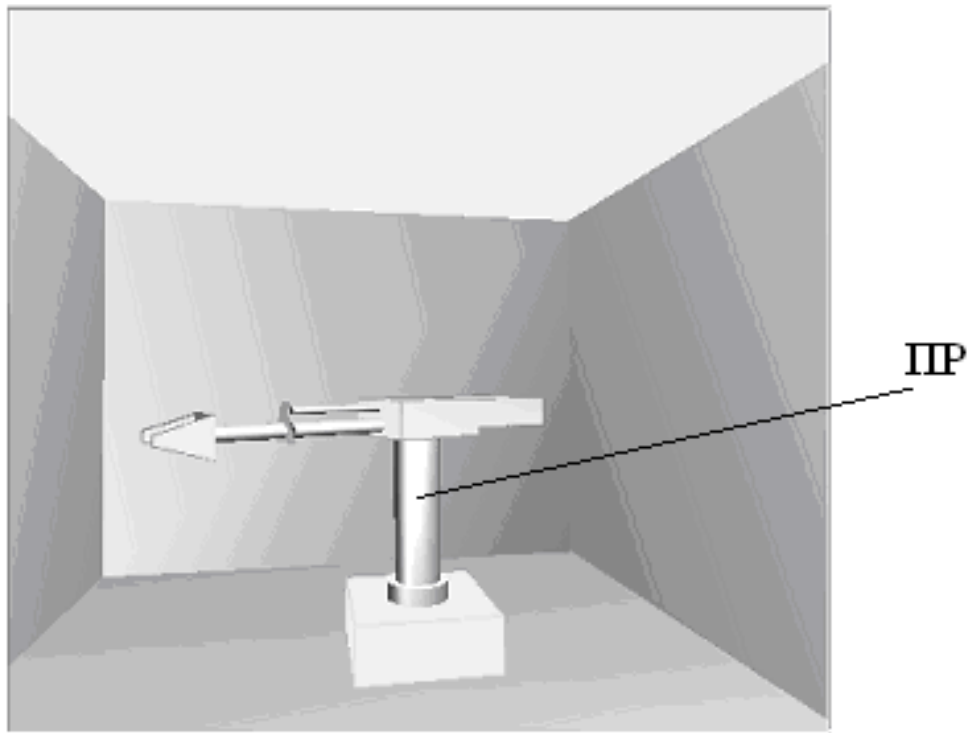


Рис. 7.3. Візуалізація вигляду ПР

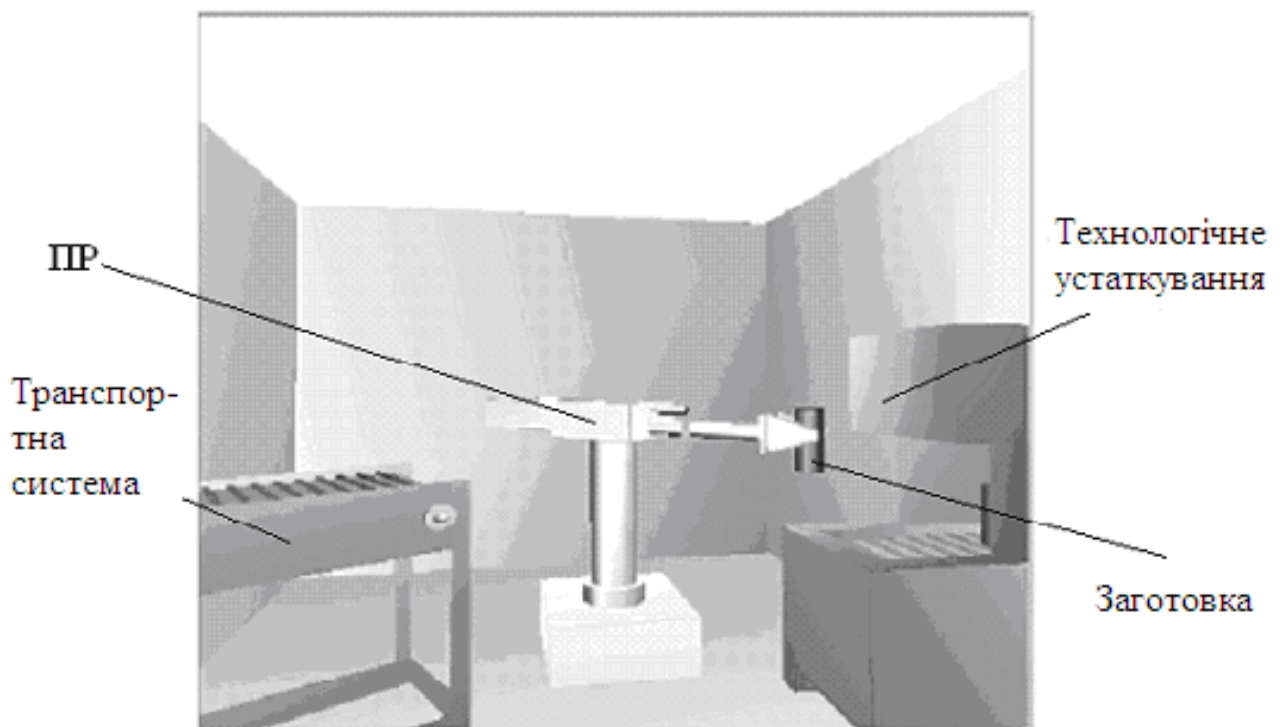


Рис. 7.4. Візуалізація вигляду РТК

Пульт керування включає клавіатуру для введення команд і керування режимами роботи МПЦП, однорядковий дисплей, призначений для

відображення контрольованої оператором інформації, та індикатори режиму роботи (рис. 7.5).

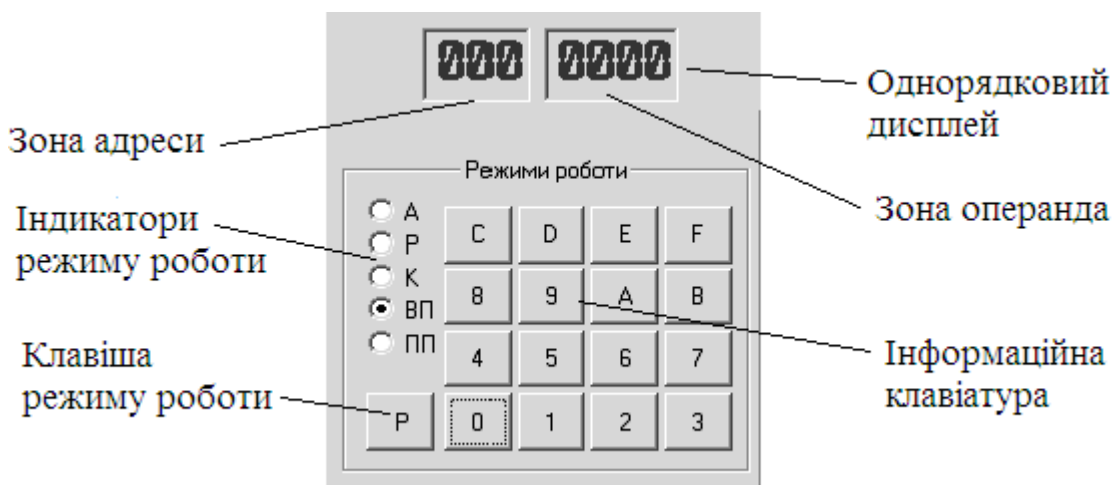


Рис. 7.5. Пульт керування

До програмного емулятора системи керування РТК розроблений Help (рис. 7.6), який активізується за допомогою пункту меню *Help*. Він містить інструкції з вибору необхідного режиму функціонування МПЦП, а також описує можливості та особливості роботи даного емулятора.

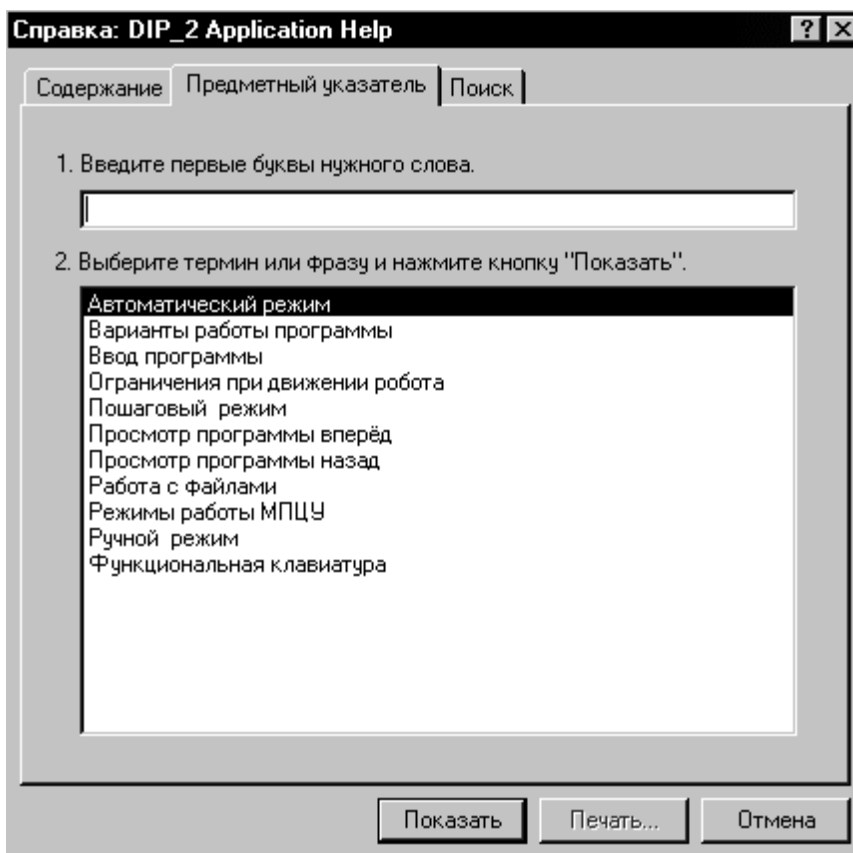


Рис. 7.6. Вікно Help

Розроблена програма емулятора забезпечує:

- роботу програми емулятора у двох варіантах (ПР або РТК);
- реалізацію режимів роботи МПЦП: автоматичного, ручного, крокового, уведення програми, перегляду програми вперед, перегляду програми назад, функціональної клавіатури;
- візуалізацію за допомогою тривимірної графіки роботи ПР або робототехнічного комплексу;
- візуалізацію світлодіодами на модулі введення (МУВ) і виведення (МВИВ) включення–вимкнення дискретних сигналів, призначених для зв'язку МПЦП із зовнішнім технологічним устаткуванням (реле, датчики стану устаткування, елементи сигналізації, виконавчі пристрої);
- можливість збереження на жорсткому диску керуючої програми у вигляді файлу, завантаження файлу керуючої програми з жорсткого диска, відкриття нового файлу. Робота з файлами здійснюється за допомогою меню;
- видачу відповідних попереджень при неправильному завданні послідовності дій маніпулятора;
- допомогу користувачу при використанні розробленого *Help*.

### **7.3. Особливості роботи програмного емулятора**

Програмний емулятор системи керування РТК розроблявся у середовищі Visual C++ 6.0 із застосуванням бібліотеки Microsoft MFC (Microsoft Foundation Classes), призначеної для побудови 32-розрядних застосувань для операційних систем Windows 95/98, Windows 2000/XP і бібліотеки OpenGL [20, 21].

Особливістю використання програмного забезпечення, розробленого в середовищі Visual C++ 6.0 із застосуванням бібліотеки Microsoft MFC, є те, що воно працює під операційною системою Windows, заснованою на повідомленнях. Повідомлення, що посилаються операційною системою програмі, служать для реалізації інтерфейсу між користувачем і застосуванням.

В основі програми лежить концепція об'єктно-орієнтованого програмування, тому програма є набором класів, кожний з яких виконує відведену йому функцію.

Для реалізації програми емулятора роботи робототехнічного комплексу були розроблені такі класи:

- клас, що відповідає за візуалізацію та анімацію функціонування РТК;
- клас, що імітує роботу процесора МПЦП з модулем запам'ятовуючого пристрою (МЕНЗП), шифратор системи команд МПЦП і кодів натиснутих клавіш на пульті керування в машинні коди команд мікропроцесора для реалізації цих команд;
- клас реалізації режимів роботи МПЦП;
- клас, що реалізовує сервісні функції МПЦП: редагування програм, тестовий контроль модулів, контроль робочих програм і відображення даних на однорядковому дисплеї пульта керування;
- клас відображення головного вікна програми.

В основі програми лежить концепція Документ/Уявлення, по якій дане застосування включає опис класу *CRtk\_Doc*, похідного від класу *CDocument*, на який покладаються завдання зберігання обробленої інформації в оперативній пам'яті, надання цієї інформації відповідно до зовнішніх запитів, запис і читання цієї інформації з жорсткого диска.

Клас документа *CRtk\_Doc* здійснює зберігання об'єктів, що відповідають за індикацію світлодіодів модулів уводу–виводу.

Клас уявлення *CRtk\_View* є похідним від класу *CView* і підключає класи, створені розробниками. Він відповідає за виведення на екран даних, що зберігаються в об'єкті класу документа *CRtk\_Doc*, і дозволяє працювати користувачу з пультом керування МПЦП, здійснює візуалізацію та анімацію за допомогою тривимірної графіки роботи РТК, а також візуалізацію світлодіодами спрацьовування датчиків на пристрої керування і реалізує інтерфейс програми.

У робочій частині вікна відбувається візуалізація пульта керування МПЦП (рис. 7.5), де перехоплюється повідомлення від миші з метою реалізації змін режимів роботи МПЦП і введення команд керування.

При неправильній послідовності дій ПР на екрані з'являється попередження “Неправильна послідовність дій”.

Воно з'являється в таких випадках:

- маніпулятор опускається на подану заготовку із затисненим захоплювачем;
- заготовка знаходиться у не затиснутому захоплювачі і ПР, не затиснувши її, повертається;
- заготовка знаходиться у захоплювачі і маніпулятор втягується, не виконавши підйом;
- заготовки не має в захоплювачі і ПР повертається, не виконавши підняття;
- заготовка затиснута в захоплювачі і ПР повертається, не виконавши підняття.

У допомогу користувачу до програмного емулятора системи керування РТК розроблений *Help*.

Таким чином, розроблений алгоритм програми надає емуляцію всіх функцій системи керування РТК, необхідних для придбання користувачами навиків складання і налагодження керуючих програм у режимах роботи для реальних МПЦП.

КрП – це програма, що написана користувачем у кодах команд вхідної мови МПЦП і що забезпечує заданий алгоритм роботи промислового робота і технологічного устаткування. У МПЦП ця програма розміщується і зберігається в МЕНЗП. У розробленому програмному емуляторі системи керування РТК ця функція МПЦП реалізована у вигляді можливості створення файлу, в якому керуюча програма буде збережена на жорсткому диску.

КрП розміщується в МЕНЗП і автоматично зберігається на жорсткому диску у вигляді файлу. Ім'я файлу можна задати, використовуючи команду *Save As*.

На початку роботи програми створюється файл *test.mpc*, ім'я якого може бути змінено при відкритті іншого файлу (команда *File–Open*) або при створенні нового файлу (команда *File–New*).

КрП складається з використанням системи команд, розробленої під реальний пристрій. Система команд призначена для вирішення завдань циклового керування промисловим роботом і технологічним устаткуванням. Команди МПЦП відповідно до функціонального призначення діляться на такі групи:

- вводу–виводу;
- керування програмою;
- керування лічильниками;
- контролю і редагування програм;
- тестового контролю функціональних блоків;
- керування виконавчими пристроями за шляховою ознакою.

МПЦП може знаходитися в одному з таких режимів роботи: автоматичному, ручному, кроковому, введення програми, перегляду програми, функціональної клавіатури.

Режим «Введення програми» використовується для запису кодів команд КрП у модуль МЕНЗП. Необхідна команда набирається користувачем на клавіатурі пульта керування.

При цьому емулюється робота процесора МПЦП, який під дією виконавчої програми прочитує коди натиснутих клавіш, формує з них коди і пересилає їх у МЕНЗП за адресою, визначеною лічильником команд.

Після закінчення пересилання кожної команди вміст лічильника команд автоматично збільшується на одиницю. Інформація, що вводиться, спільно з поточним значенням лічильника команд відображається на дисплеї пульта керування.

Режим «Перегляд програми» використовується для читання кодів КрП з МЕНЗП. При цьому навчальною програмою емулюється дія МПЦП, коли відповідно до адреси чарунки МЕНЗП, записаної у лічильнику команд, процесор читає інформацію, що міститься у цій чарунці, і виводить її на індикацію спільно з поточним значенням лічильника команд.

Цей режим використовується для контролю користувачем КрП та зберігається у пам'яті мікроконтролера.

У режимі «Ручне керування» навчальною програмою емулюється взаємодія процесора з пультом керування аналогічно режиму «Введення програми». Сформований код команди в цьому випадку не запам'ятовується в МЕНЗП, а виконується.

Режим роботи «Автоматичний» – основний і призначений для керування промисловим роботом і технологічним устаткуванням КрП, уведеної у МЕНЗП користувачем.

Таким чином, МЕНЗП є джерелом команд для процесора, вибірку яких він здійснює за адресою та визначається лічильником команд.

Для підвищення ефективності налагодження керуючої програми використовується режим роботи «Кроковий», в якому процесор здійснює

вибірку з МЕНЗП і виконання чергової команди. У цьому режимі користувач має можливість здійснювати виконання керуючої програми в необхідному йому темпі.

У паузах між виконанням команд процесор виводить на індикацію вміст лічильника команд і вміст чарунки МЕНЗП, що зберігає команду, яка виконуватиметься на наступному кроці.

Режим керування «Функціональна клавіатура» призначений для спрощення керування маніпулятором при налагодженні керуючої програми для ПР або РТК.

### **Висновки**

У даному розділі розглянуті наведені нижче основні питання:

- особливості роботи програмного емулятора РТК;
- інтерфейс програми-емюлятора;
- структура програми-емюлятора.

### **Контрольні питання**

1. Сформулюйте необхідність створення програмного емулятора.
2. Який зовнішній вигляд має емулятор на екрані дисплея?
3. Який інтерфейс має програмний емулятор?
4. Опишіть структуру програми емулятора.
5. Які класи були розроблені для реалізації програмного емулятора?
6. Яке обладнання включає РТК емулятора?
7. Опишіть етапи роботи РТК.
8. Вивчення яких режимів роботи забезпечує програмний емулятор?
9. До якого виходу МПЦП підключений привід шибера накопичувача?
10. Скільки лічильників має МПЦП?
11. Які відомі команди у роботі з лічильниками?
12. Яке максимальне значення може приймати вміст лічильника?
13. Які відомі команди затримки часу?
14. Яке значення може приймати операнд ЧИС у команді затримки часу?
15. Яку максимальну затримку часу забезпечує одна команда затримки часу?
16. В яких ситуаціях програма-емюлятор при керуванні РТК зупиняється та виводить на екран повідомлення?
17. Який текст повідомлення виводиться на екран при похибках у програмі керування РТК?



## ЧАСТИНА 2. МЕХАТРОНІКА

### 8. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ МЕХАТРОНІКИ

У результаті вивчення даного розділу студенти повинні вміти:

- сформулювати визначення термінів:  
„мехатроніка”, „мехатронний модуль”, „мехатронний агрегат”,  
„мехатронний комплекс”, „мехатронна система”;
- називати ознаки, за якими класифікуються об’єкти мехатроніки;
- навести приклади стандартних задач мехатроніки.

#### 8.1. З історії розвитку мехатроніки

Мехатроніка – це новий напрям сучасної науки і техніки, який стрімко розвивається останнім часом у всьому світі. Мета мехатроніки полягає у створенні інтелектуальних машин і рухомих систем, які володіють якісно новими функціями і властивостями. Саме принципова новизна мехатронних систем викликає швидко зростаючий інтерес до мехатроніки в усьому світі і стимулює високу активність фахівців у науково-дослідній, освітній і виробничій сферах.

Термін «мехатроніка» вперше з’явився у 1969 р. в Японії. Його ввів Тецуро Морі, співробітник компанії Yaskawa Electric [22]. Спочатку даний термін був торговою маркою (зареєстрована у 1972 році), але після його широкого розповсюдження компанія відмовилася від використання його як зареєстрований торговий знак.

Термін „мехатроніка” складається з двох частин – «меха», перша частина слова механіка, і «троніка», друга частина слова електроніка (рис. 8.1).

Механіка (від грецького *mēchanikē*) – наука, що вивчає переміщення у просторі (механічний рух) і рівновагу матеріальних тіл (середовищ) під дією сил. Електроніка (від грецького *ēlektron*) – галузь науки і техніки, яка охоплює вивчення і використання електронних та іонних явищ, що протікають у вакуумі, газах, рідинах, твердих тілах і плазмі, а також на їх межах [23]. Електроніка є основою кібернетики, автоматики, телемеханіки, радіотехніки і т.д., а зараз і мехатроніки.

У Російській федерації в 1995 р. з’явилося таке визначення: «Мехатроніка – це нова галузь науки і техніки, присвячена створенню та експлуатації машин і систем з комп’ютерним керуванням рухом, яка базується на знаннях механіки, електроніки й мікропроцесорної техніки, інформатики і комп’ютерного керування рухом машин та агрегатів».

З 2000 р. визначення мехатроніки, яке використовується в діючому Державному освітньому стандарті Російської федерації за напрямом «Мехатроніка і робототехніка» (рис. 8.2), звучить так: "Мехатроніка – це галузь науки і техніки, заснована на синергетичному об’єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними та комп’ютерними компонентами, яка забезпечує проектування й виробництво якісно нових модулів, систем і машин з інтелектуальним керуванням їх функціональними рухами" (<http://www.rim.stankin.ru>).



Рис. 8.1. Символічне зображення терміна „мехатроніка”

Синергія (грецьк.) – це сумісна дія, направлена на досягнення загальної мети.

Мехатроніка – науково-технічна дисципліна, яка вивчає побудову електромеханічних систем нового покоління, що володіють принципово новими якостями і часто рекордними параметрами.

Звичайно мехатронна система є об'єднанням власне електромеханічних компонентів з новітньою силовою електронікою, які керуються за допомогою різних мікроконтролерів, ПК або інших обчислювальних пристроїв.

При цьому система в істинно мехатронному підході, не дивлячись на використання стандартних компонентів, будується якомога монолітніше, конструктори прагнуть об'єднати всі частини системи воедино без використання зайвих інтерфейсів між модулями [24]. Зокрема, застосовуючи вбудовані безпосередньо в мікроконтролери аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), інтерфейси, інтелектуальні силові перетворювачі і т.п.

Це дає скорочення вагових та габаритних показників, підвищення надійності системи та інші переваги.

Мехатронні технології – інформаційні технології керування рухом, тобто реалізація за допомогою інформаційних технологій складних законів виконавчих рухів, які з тих або інших причин не могли бути реалізовані раніше [25]. Наприклад, інтелектуалізація металорізальних верстатів і досягнення у сфері динаміки різання дозволяють названим технологіям керувати різними

видами коливань, динамічною характеристикою технологічної системи, коректувати недоліки цієї системи і т.д.



Рис. 8.2. Зображення уточненого поняття мехатроніки  
(1 – електромеханіка; 2 – мікроелектроніка; 3 – дискретне керування;  
4 – системи автоматизованого проектування)

У нашій країні до виникнення терміну «мехатроніка» застосовувалися прилади з назвою «механотрони».

Термін механотрон, утворений з частин слів механ(ічний) + (елек)трон (від грецьких *mēchanikōs* + *ēlektron*), позначає електровакуумний прилад, в якому керування електронним або іонним струмом здійснюється переміщенням одного або декількох електродів відносно один одного [23]. Або за уточненим визначенням – це електровакуумний прилад (діод, тріод або тетрод), в якому зміна сили анодного струму здійснюється механічним переміщенням (при зовнішній дії) одного або декількох електродів [26, 27].

Механотрони використовуються як перетворювачі механічних величин в електричні; широко застосовуються для вимірювання малих деформацій (від 0,01 до 100 мкм), тиску (від 0,1 Па до 1 МПа), прискорень (від 0,001 до 100 м/с<sup>2</sup>), вібрацій (з частотами до 10 кГц) і т.д. Основні достоїнства таких перетворювачів – висока чутливість відповідно до струму (до 7 А/см у діодних механотронів) і напруги (до 25 кВ/см у тріодних механотронів), високої стабільності показань, простоти конструкцій і схем включення, невеликих габаритних розмірів і маси.

Діючими стандартами в Україні, а також у словниках іноземних слів і енциклопедіях термін мехатроніка ще не визначений [28 – 30]. Це пов'язано з тим, що не тільки в Україні, але й в усьому світі мехатроніка і її термінологія як нова галузь науки і техніки знаходиться у стадії свого становлення.

Термін механотроніка, що зустрічається в публікаціях [31, 32], утворений від частин слів механ(ічний) + (елек)троніка, очевидно, може вважатися українським (а також російським) синонімом терміну мехатроніка до встановлення відповідних державних стандартів.

## **8.2. Класифікація мехатронних об'єктів**

Узагальнювальним поняттям мехатроніки є **мехатронний об'єкт (МО)**. За визначенням мехатроніки МО являє собою інтеграцію механічних, електротехнічних, мікроелектронних і комп'ютерних компонентів.

Мехатронні об'єкти залежно від рівня інтеграції компонентів і ступеня складності та з урахуванням термінів, що виникли у сфері промислової робототехніки і гнучких виробничих систем, можна класифікувати як: мехатронні модулі (вузли), агрегати (машини), комплекси і системи [12].

**Мехатронний модуль (ММ)** – МО, призначений, як правило, для реалізації рухів по одній координаті.

**Мехатронний агрегат (МА)** включає декілька ММ і призначений для реалізації заданих законів руху за декількома координатами в умовах взаємодії із зовнішнім середовищем.

**Мехатронний комплекс** складається з декількох агрегатів або агрегату і ряду окремих модулів, зв'язаних між собою і діючих як одне ціле.

**Мехатронна система (МС)** – це об'єднання декількох комплексів або комплексу та інших МО на базі єдиної інтеграційної платформи.

Якщо розглядати появу МО на ринку наукоємної продукції історично, то їх можна розділяти за поколіннями, що наведені нижче [25].

МО першого покоління об'єднували тільки два початкових компоненти і були практично ММ (хоча ще не повністю відповідали за визначенням МО). Типовим прикладом МО першого покоління може служити "мотор-редуктор", де механічний редуктор і керований двигун випускаються як єдиний функціональний елемент, тобто ММ. Мехатронні агрегати на основі цих модулів знайшли широке застосування при створенні різних засобів комплексної автоматизації виробництва (конвеєрів, транспортерів, поворотних столів, допоміжних маніпуляторів).

МО другого покоління з'явилися у 80-х роках ХХ ст. у зв'язку з розвитком нових електронних технологій, які дозволили створити мініатюрні датчики й електронні блоки для обробки їх сигналів. Об'єднання привідних модулів із вказаними елементами привело до появи мехатронних модулів руху, склад яких повністю відповідає введеному вище визначенню, коли досягнута інтеграція трьох пристроїв різної фізичної природи: механічних, електротехнічних та електронних. На базі мехатронних модулів даного класу створені керовані енергетичні агрегати

(турбіни й генератори), верстати і промислові роботи з числовим програмним керуванням.

Розвиток третього покоління МО обумовлений появою на ринку порівняно недорогих мікропроцесорів і контролерів на їх базі та направлений на інтелектуалізацію всіх процесів, що протікають в мехатронній системі, у першу чергу – процесу керування функціональними рухами агрегатів і комплексів. Одночасно йде розробка нових принципів та технологій виготовлення високоточних і компактних механічних вузлів, а також нових типів електродвигунів (у першу чергу високомоментних, безколекторних та лінійних), датчиків й інформаційних технологій. Синтез нових прецизійних, інформаційних і вимірювальних наукоємних технологій дає основу для проектування та виготовлення інтелектуальних мехатронних агрегатів і комплексів.

Надалі у четвертому поколінні мехатронні агрегати і комплекси об'єднуюватимуться в мехатронні системи на базі єдиних інтеграційних платформ. Мета створення таких систем – добитися поєднання високої продуктивності та одночасно гнучкості техніко-технологічного середовища за рахунок можливості їх реконфігурації. Це дозволить забезпечити конкурентоспроможність і високу якість продукції, що випускається, на ринках ХХІ століття.

Інтелектуальні системи керування МО мають такі шари обробки невизначеної інформації:

- інтерактивний людино-машинний діалог;
- прогноз подій;
- самонавчання й адаптація;
- робота з базами подій, знань і формування рішень;
- старанний.

Ступінь інтелектуальності системи керування МО залежить від того, скільки шарів має та або інша система. Відповідно до ступеня інтелектуальності системи керування МО підрозділяються на такі: інтелектуальні в малому, інтелектуальні у великому та інтелектуальні в цілому [25]. У першому випадку функціонування обмежене двома, у другому – трьома, а у третьому – всіма шарами інтелектуальності. При цьому під інтелектуальними системами керування МО розуміється клас систем, що будуються із застосуванням нових інформаційних технологій обробки і використання знань.

Такий підхід до синтезу систем керування дозволяє підвищити динамічні характеристики створюваної системи. Це реалізується шляхом лінгвістичної апроксимації поведінкових характеристик керованого об'єкта і відмовою від традиційного зворотного зв'язку в системі керування (за умови можливості адекватно подати роботу системи за допомогою знань на основі певних правил).

Проте якщо апроксимація не вдалася, то інтелектуальний регулятор може мати гірші динамічні характеристики порівняно із звичайними (наприклад з ПД-регулятором).

МО можуть мати постійну структуру, тобто бути детермінованими або бути недетермінованими, отже, такими, що адаптуються до зовнішніх умов [25]. При цьому можуть змінюватися не лише параметри, але і структура об'єкта. Для цього у структурі передбачаються ланки, які за певних умов включаються в роботу. Недетерміновані МО – це інтелектуально керовані об'єкти, оскільки прийняття рішення щодо зміни структури проводиться лише при аналізі ситуації.

Відповідно до типу зв'язку з ЕОМ верхнього рівня або інформаційної підтримки МО класифікують:

- з провідним зв'язком;
- з безпроводним зв'язком (радіоканал, інфрачервоний канал, ультразвуковий канал).

МО (аналогічно з ПР) можна класифікувати так:

- відповідно до характеру виконуваних операцій:
  - а) технологічні (виробничі);
  - б) допоміжні (підйомно-транспортні);
  - в) універсальні;
- відповідно до сфери застосування:
  - а) автомобілебудування, верстатобудування;
  - б) залізничний транспорт;
  - в) устаткування для автоматизації технологічних процесів;
  - г) медичне устаткування;
  - д) устаткування шоу-індустрії;
  - е) авіаційна, космічна і військова техніка;
  - ж) робототехніка;
  - и) обчислювальна й офісна техніка, фото- та відеотехніка;
  - к) побутова техніка;
  - л) тренажери для підготовки операторів складних технічних систем, водіїв і пілотів;
  - м) нетрадиційні транспортні засоби;
  - н) контрольно-вимірювальні пристрої і машини;
  - п) поліграфічні машини;
- відповідно до мобільності:
  - а) стаціонарні (убудовані в обладнання, підлогові та підвісні);
  - б) пересувні (наземні, підлогові й підвісні).

### **8.3. Стандартні завдання мехатроніки**

Мехатроніка використовується у багатьох сучасних пристроях, агрегатах і машинах. Наприклад, ПК містить масу мехатронних агрегатів: накопичувачі на гнучких дисках, жорсткі диски, CD-drives, сучасні накопичувачі на магнітних стрічках.

Мехатронні системи також присутні у сучасних пральних машинах-автоматах, пілососах, автомобілях і т.п. Типова мехатронна система – гальмівна система автомобіля з АБС (антиблокувальною системою), що складається з десятків ММ і мехатронних агрегатів.

У промисловості мехатронними системами є всі сучасні роботи, верстати, вимірвальні комплекси. Такі системи складаються з декількох приводів, кожний з яких, у свою чергу, – мехатронний модуль.

Зокрема, мехатронна система типу «мотор-шпindel» є частиною мехатронного верстата. Дана система дозволяє підвищити надійність системи і зменшити її вагові та габаритні показники, оскільки виключає знищуючі передачі та сполучні муфти з конструкції (маса й габарити можуть навіть збільшитися за рахунок значного збільшення необхідного моменту двигуна, проте переваги таких систем все одно перебивають недоліки).

Об'єми світового виробництва МО щорічно збільшуються, охоплюючи все нові сфери. Сьогодні мехатронні модулі і системи знаходять широке застосування у таких пристроях:

- антиблокувальних системах гальм, системах стабілізації руху автомобіля й автоматичної парковки;
- системи контролю і стабілізації руху потягів;
- реабілітаційному, клінічному та сервісному медичному устаткуванні (апарати типу "штучне серце", "штучна нирка", керовані біоелектричні й екзоскелетні протези для інвалідів);
- електровелосипедах, вантажних візках, електроролерах, інвалідних колясках;
- принтерах, плотерах, дисководах;
- копіювальних і факсимільних апаратах;
- пральних, посудомийних, швейних та інших побутових машинах.

Стрімкий розвиток мехатроніки як нового науково-технічного напрямку обумовлений такими основними чинниками:

- розвитком фундаментальних основ і методології мехатроніки (базові наукові ідеї, принципово нові технічні та технологічні рішення);
- новими тенденціями світового індустріального розвитку;
- активністю фахівців у науково-дослідній і освітній сферах.

Можна виділити такі тенденції зміни й ключові вимоги світового ринку в даній галузі:

- інтернаціоналізація ринку науково-технічної продукції і, як слідство, необхідність активного впровадження у практику форм і методів міжнародного інжинірингу і трансферу технологій;
- бурхливий розвиток комп'ютерних систем і технологій, засобів телекомунікації (прямим слідством цієї загальної тенденції є інтелектуалізація систем керування механічним рухом і технологічними функціями сучасних машин);
- необхідність випуску та обслуговування устаткування відповідно до міжнародної системи стандартів якості;
- підвищення ролі малих і середніх виробничих підприємств в економіці завдяки їх здібності до швидкого та гнучкого реагування на змінні вимоги ринку.

Аналіз наведених тенденцій показує, що досягти якісно нового рівня основного технологічного устаткування на основі традиційних підходів уже практично нереально.

Розвиток мехатроніки ставить цілий ряд нових організаційно-економічних проблем. Сучасні підприємства, що розпочинають розробку і випуск мехатронних виробів, повинні вирішити в цьому плані чимало основних завдань, а саме:

- структурну інтеграцію підрозділів механічного, електронного та інформаційного профілів (які, як правило, функціонували автономно) в єдині проектні й виробничі колективи;
- підготовку "мехатронно-орієнтованих" інженерів і менеджерів, здатних до системної інтеграції та керування роботою вузько профільних фахівців різної кваліфікації;
- інтеграцію інформаційних технологій з різних науково-технічних галузей (механіка, електроніка, комп'ютерне керування) в єдиний інструментарій для комп'ютерної підтримки мехатронних завдань;
- стандартизацію та уніфікацію всіх використовуваних елементів і процесів при проектуванні й виробництві мехатронних систем.

### **Висновки**

У даному розділі розглянуті наведені нижче основні питання:

- історія розвитку мехатроніки;
- класифікація мехатронних об'єктів;
- стандартні завдання мехатроніки.

### **Контрольні питання**

1. Що відомо з історії розвитку мехатроніки?
2. Дайте визначення поняття „мехатроніка”?
3. Дайте визначення поняття „синергія”?
4. Коли вперше з'явився термін мехатроніка?
5. Що таке механотроніка?
6. Що є узагальненим поняття мехатроніки?
7. Дайте визначення поняття „мехатронний модуль”.
8. Дайте визначення поняття „мехатронний агрегат”.
9. Дайте визначення поняття „мехатронний комплекс”.
10. Дайте визначення поняття „мехатронна система”.
11. Які покоління мехатронних об'єктів відомі?
12. Що таке детерміновані мехатронні об'єкти?
13. Дайте визначення недетермінованого мехатронного об'єкта.
14. За якими ознакам класифікуються об'єкти мехатроніки?
15. Як класифікуються мехатронні об'єкти відповідно до сфери застосування?
16. Наведіть приклади стандартних завдань мехатроніки.



## 9. МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ

У результаті вивчення даного розділу студенти повинні вміти:

- сформулювати концепцію проектування мехатронних систем;
- сформулювати переваги застосування мехатронного підходу при створенні машин з комп'ютерним керуванням;
- навести приклади застосування нових технологій керування в мехатронних системах;
- сформулювати напрями розвитку мехатроніки.

### 9.1. Концепція проектування мехатронних систем

Розглянемо узагальнену структуру машини з комп'ютерним керуванням (рис. 9.1). В основу побудови даної схеми покладена структура промислових роботів [2, 4].

Зовнішнім середовищем для машин даного класу є технологічне середовище, яке містить різне основне і допоміжне устаткування, технологічне оснащення та об'єкти робіт. При виконанні мехатронною системою заданого функціонального руху об'єкти робіт надають збурного діяння робочому органу. Прикладами таких дій можуть служити сили різання для операцій механообробки, контактні сили і моменти сил при збиранні, сила реакції струменя рідини при операції гідравлічного різання.

Зовнішні середовища можна розділити на два основні класи: детерміновані та недетерміновані. Детерміновані – це середовища, для яких параметри збурних діянь і характеристики робіт можуть бути наперед визначені з необхідної для проектування мехатронної системи ступенем точності. Деякі середовища є недетермінованими за своєю природою. Це середовища з екстремальними характеристиками: космічні, підводні, підземні і т.п.

Характеристики технологічних середовищ, як правило, можуть бути визначені за допомогою аналітико-експериментальних досліджень і методів комп'ютерного моделювання. Наприклад, для оцінки сил різання при механообробці проводять серії експериментів на спеціальних дослідницьких установах, параметри вібраційних дій вимірюють на вібростендах з подальшим формуванням математичних та імітаційних моделей збурних діянь на основі експериментальних даних.

Проте для організації і проведення подібних досліджень потрібні дуже складні й дорогі апаратура та вимірювальні технології. Так, для попередньої оцінки силових дій на робочий орган при операції роботизованого видалення облою з литих заготовок необхідно вимірювати фактичні форму і розміри кожної. У цих випадках доцільно застосовувати методи адаптивного керування, які дозволяють автоматично коректувати закон руху мехатронною системою безпосередньо в ході виконання операції.

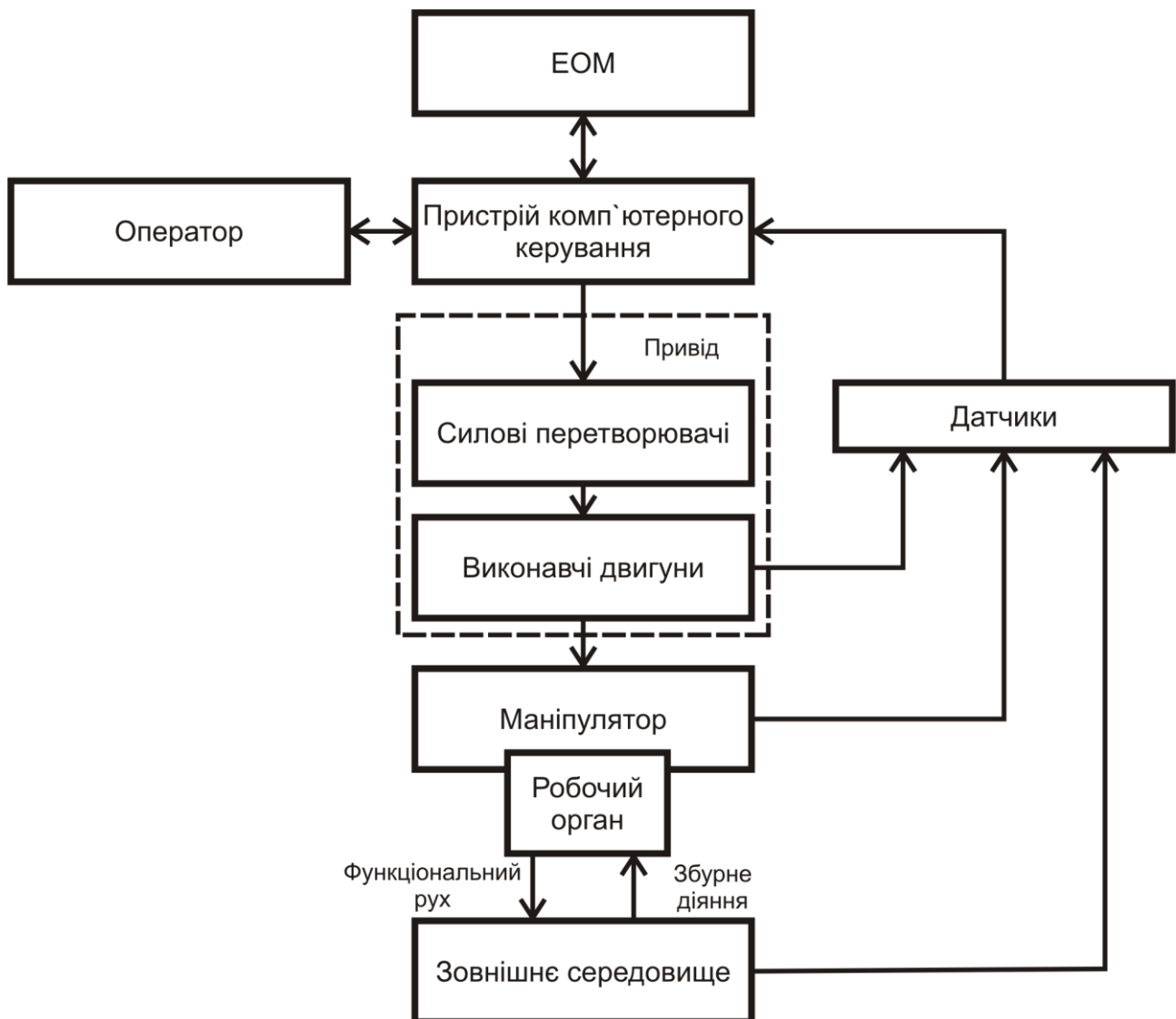


Рис. 9.1. Узагальнена структура машини з комп'ютерним керуванням

До складу традиційної машини входять такі основні компоненти:

- механічний пристрій (маніпулятор), кінцевою ланкою якого є робочий орган;
- привід, що включає силкові перетворювачі та виконавчі двигуни;
- пристрій комп'ютерного керування, верхнім рівнем для якого є людина-оператор, або інша ЕОМ, підключена через локальну мережу;
- датчики, призначені для передачі у пристрій керування інформації про фактичний стан блоків машини і стан зовнішнього середовища.

Таким чином, є наявність трьох обов'язкових компонентів: механічного (точніше за електромеханічне), електронного і комп'ютерного. Вони зв'язані енергетичними та інформаційними потоками, що також є необхідною ознакою мехатронної системи.

Електромеханічна частина включає механічні ланки і передачі, робочий орган, електродвигуни, датчики й додаткові електротехнічні елементи (гальма, муфти).

Механічний пристрій призначений для перетворення рухів ланок у необхідний рух робочого органу. Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів і електроніки вимірювальних ланцюгів. Датчики призначені для збору даних про фактичний стан зовнішнього середовища та об'єктів робіт, механічного пристрою і блоку приводів з подальшою первинною обробкою й передачею цієї інформації у пристрій комп'ютерного керування. До складу пристрою комп'ютерного керування мехатронної системи звичайно входять комп'ютер верхнього рівня і мікроконтролери керування рухом.

Пристрій комп'ютерного керування виконує такі основні функції:

1. Керування процесом механічного руху ММ або МС у реальному часі з обробкою інформації від датчиків.

2. Організація керування функціональними рухами, яка припускає координацію керування механічним рухом мехатронної системи і супутніми зовнішніми процесами. Як правило, для реалізації функції керування зовнішніми процесами використовуються дискретні входи/виходи пристрою.

3. Взаємодія з людиною-оператором через людино-машинний інтерфейс у режимах автономного програмування і безпосередньо в процесі руху мехатронної системи.

4. Організація обміну даними з периферійними пристроями, датчиками та іншими пристроями системи.

Завданням мехатронної системи є перетворення вхідної інформації, що поступає з верхнього рівня керування, в цілеспрямований механічний рух. Характерно, що електрична енергія (рідше гідравлічна або пневматична) використовується в сучасних системах як проміжна енергетична форма.

Суть мехатронного підходу до проектування [33] полягає в інтеграції в єдиний функціональний модуль двох або більше компонентів незалежно від їх фізичної природи.

Крім цього, інтегровані мехатронні компоненти вибираються розробником і об'єднуються в єдиний МО вже на стадії проектування машини. У цьому основна відмінність МО від традиційних, в яких проектувальник об'єднує в систему різнорідні механічні, електронні та інформаційні пристрої різних виробників, спроектовані роздільно. Саме тому багато комплексів (наприклад, деякі гнучкі виробничі системи в машинобудуванні) показали на практиці низькі надійність і техніко-економічну ефективність.

Методологічною основою розробки мехатронних систем служать методи паралельного проектування. При традиційному проектуванні машин з комп'ютерним керуванням проводиться розробка механічної, електронної і комп'ютерної частин системи, а потім вибір інтерфейсних блоків. Тому на стадії проектування МО з традиційної структури машини виключається принаймні один інтерфейс при збереженні фізичної суті даного модуля. Мета паралельного проектування полягає в одночасному і взаємозв'язаному синтезі всіх компонентів системи.

В ідеальному для користувача варіанті ММ, одержавши на вхід інформацію про мету керування, виконуватиме з бажаними показниками якості

заданий функціональний рух. Апаратне об'єднання елементів в єдині конструктивні модулі повинне обов'язково супроводжуватися розробкою інтегрованого програмного забезпечення. Програмні засоби МС повинні забезпечувати безпосередній перехід від задуму системи через її математичне моделювання до керування функціональним рухом у реальному часі.

Базовими об'єктами проектування мехатроніки є ММ, які виконують рухи, як правило, по одній керованій координаті. З таких модулів компонуються мехатронні системи модульної архітектури.

Застосування мехатронного підходу при створенні машин з комп'ютерним керуванням визначає їх основні переваги порівняно з традиційними засобами автоматизації:

- висока якість реалізації складних і точних рухів унаслідок застосування методів інтелектуального керування;
- висока надійність, довговічність і перешкодозахищеність;
- відносно низька вартість завдяки високому ступеню інтеграції, уніфікації і стандартизації всіх елементів та інтерфейсів;
- конструктивна компактність модулів (аж до мініатюризації в мікромашинах);
- покращені вагогабаритні й динамічні характеристики машин унаслідок спрощення або усунення кінематичних ланцюгів;
- можливість комплексування функціональних модулів у складні системи і комплекси під конкретні завдання замовника.

## **9.2. Сучасні методи керування мехатронними системами**

Однією з цілей мехатроніки є реалізація заданого керованого руху, тому проблеми керування вважаються одними з ключових проблем мехатроніки [31]. Створення якісно нового покоління об'єктів мехатроніки вимагає вирішення широкого спектра складних завдань (забезпечення динамічної розв'язки швидкодіючих приводів з урахуванням компенсації взаємного впливу окремих ступенів рухомості, створення швидкодіючих алгоритмів керування, інваріантних до типу кінематичної схеми багатоланкового МО, вирішення некоректних завдань, облік чинників невизначеності і т.д.).

Класичні принципи теорії керування не забезпечують вирішення цих завдань з таких причин [33]:

- чимало джерел інформації про різномірні фізичні величини (при цьому датчики розподілені у просторі);
- великий об'єм обчислень, що не дозволяє багатоканальній системі працювати у режимі реального часу;
- брак інформації для ухвалення аналітичного рішення;
- вхідна інформація містить перешкоди і невизначеності.

У зв'язку з цим на перший план виходять нові технології керування. Вони засновані на обробці постійно змінних знань про об'єкт і називаються інтелектуальними. Останні є базою самонавчання, що важливо як для автономних об'єктів, так і для об'єктів, що функціонують в умовах безлюдних технологій [25].

До розряду інтелектуальних технологій можуть бути віднесені такі інформаційні технології, як експертні системи, системи нечіткої логіки, нейромережні структури, системи з асоціативною пам'яттю [34, 35]. Їх можна доповнити еволюційними (генетичними) алгоритмами самоорганізації.

У даний час серед робіт із створення високоякісних електроприводів найбільший розвиток одержали технології експертних систем і нейромережних структур. У такій системі експертна оцінка виконує функції інтелектуальної надбудови над відомим ПД-регулятором і періодично підстроює його коефіцієнти залежно від зміни параметрів слідкувального приводу [25]. Експертний регулятор, займаючи об'єм пам'яті близько 350 Кб, забезпечує адаптивне керування в широкому діапазоні збурень, але не володіє швидкодією, необхідною для керування в реальному масштабі часу. Нейромережний регулятор, побудований на базі 80 статичних нейронів і настроєний на оптимальний відповідно до швидкодії принцип функціонування, включається у контур системи керування послідовно з об'єктом. Він забезпечує дуже високу швидкодію при стеженні за різними вхідними діями і, що особливо цікаво, інваріантність до певного роду зовнішнім збуренням. Перспективним уявляється застосування технології асоціативної пам'яті, оскільки реалізований на ній інтелектуальний регулятор приводу вимагає менше 20 Кб пам'яті.

Відомі приклади [25] побудови гібридних регуляторів, наприклад, на базі як нечіткої логіки, так і асоціативної пам'яті, причому застосування останньої технології дозволяє використовувати реальний масштаб часу. Інший гібридний регулятор – нейромережний, початкова модель його модернізована введенням механізму, що попереджує перемикання для компенсації запізнювання при реалізації регулятора на ПВМ і областях лінійного керування в околі нуля фазових координат помилки. Ця модель використовує технологію асоціативної пам'яті і також призначена для застосування у реальному часі.

Усе викладене має велику актуальність для вирішення завдань проектування систем інтелектуального керування з урахуванням суперечності вимог, що постають перед ними.

Зараз застосування методів і технологій обробки знань у завданнях керування на стику штучного інтелекту і теорії керування формуються в самостійний новий науковий напрям інтелектуального керування. Саме на базі інтелектуального керування з'являється можливість створення принципово нового покоління техніки – інтелектуальних мехатронних систем, призначених не тільки для автономного функціонування в умовах невизначеної інформації та організації нових технологічних процесів і виробництв, але й для створення зразків техніки, можливості якої важко передбачити.

Використання перерахованих компонентів штучного інтелекту в мехатроніці дозволяє розширити застосування традиційних методів теорії керування. Механічні рухи МО, як правило, істотно нелінійні, а досягнення необхідної точності здійснюється використанням високоєфективних мікропроцесорних систем керування, зокрема адаптивних [25].

Надзвичайно важливий і найбільш поширений у даний час підклас інтелектуальних систем – нечіткі системи керування (без самонавчання, прогнозування та інтерактивного діалогу).

Використання методів побудови адаптивних структур керування механічними багатоступеневими об'єктами дозволяє не вимагати точного знання всіх подробиць нелінійного опису об'єкта керування, а самі структури при цьому приймають більш універсальний характер і відрізняються меншим об'ємом обчислень і, як наслідок, простотою реалізації на базі сучасних обчислювальних засобів [33].

### **9.3. Напрямки розвитку мехатроніки**

Сучасний етап можна охарактеризувати як перехід від мехатронних модулів до мехатронних агрегатів і систем, а чинники, стримуючи процес розширення сфери застосування мехатронних об'єктів, можна розділити на суб'єктивні та об'єктивні [25, 36].

Перші обумовлені обмеженням розповсюдженням ідей мехатроніки. Сьогодні мехатроніка є поки що недостатньо доступною для більшості суспільства галузь техніки. Безліч ідей, цікавих рішень і оригінальних розробок мехатроніки у різних сферах сучасної науки і техніки, особливо в оборонній промисловості, дотепер не упроваджені в інших сферах, оскільки про ці розробки інформовано лише вузьке коло фахівців. Звідси витікає завдання, що вимагає першочергового вирішення, з підготовки наукових та інженерних кадрів, здатних створювати мехатронні системи, що відповідають перспективним вимогам, з урахуванням теоретичних положень мехатроніки і тенденцій розвитку її компонентів.

Інші є наслідком природного процесу диференціації мехатронного знання [25]. Мехатронні ідеї та образ мислення, зв'язані із застосуванням мікроелектроніки й компонентів комп'ютерної техніки для керування рухом механізмів і машин, почали проникати у різні галузі техніки ще задовго до появи терміну мехатроніки. При цьому постійне зростання потреби у пристроях, які сьогодні класифікуються як МО, і безперервне розширення їх сфери застосування стимулювали розвиток конкретних галузей техніки. У результаті мехатронні методи і технології спочатку розвивалися самостійно в багатьох достатньо різнорідних науково-технічних напрямках, пов'язаних з тією або іншою наочною галуззю. Такими напрямками сучасної мехатроніки є керування автомобілями, роботами, верстатами, літальними апаратами, окремими приводами і т.п. У кожному з цих напрямів накопичений багатий досвід вирішення специфічних завдань дослідження і проектування мехатронних об'єктів. Проте, на жаль, різні напрями мехатроніки розвиваються ізольовано, обмін інформацією між ними мінімальний.

Сучасний етап розвитку мехатроніки характеризується посиленням інтегральної тенденції, покликаної возз'єднувати окремі її напрями. Річ у тому, що багато принципів побудови мехатронних об'єктів, методи їх дослідження і проектування і, особливо, їх алгоритмічне і програмне забезпечення є інваріантними до наочної сфери різних напрямів мехатроніки. Саме в місцях

зіткнення даних науково-технічних напрямів унаслідок їх взаємопроникнення слід чекати найбільших результатів подальшого розвитку мехатроніки. Таким чином, об'єктивні та суб'єктивні чинники, стримуючи розвиток мехатроніки, починають з'єднуватися [25].

Мехатроніка – наука майбутнього, що включає комплекс ідей, методів і засобів для створення комп'ютерно-контрольованих та програмованих механічних систем із заданими функціями, що має енергетичні (зокрема інформаційні) й силові взаємодії з навколишнім середовищем.

Мехатроніка – системна світоглядна наукова дисципліна, що дозволяє оцінити будь-який МО з погляду керування, основа автоматизації будь-яких об'єктів життєдіяльності людини, і у зв'язку з цим вона повинна бути предметом вивчення практично всіх інженерних, і не тільки інженерних, спеціальностей.

Мехатронні технології впливають і ще більше будуть впливати на соціальні умови життя населення, що зв'язано як з інтелектуалізацією умов праці та побуту, підвищенням якості й комфортності транспортних засобів, підвищенням якості медичного обслуговування, так і зі скороченням робочих місць. Звідси прийдуть і структурні зміни в економіці.

Сучасний рівень розвитку мехатроніки – складність усвідомлення її необхідності споживачами та розробниками. І цей етап треба успішно подолати.

### **Висновки**

У даному розділі розглянуті наведені нижче основні питання:

- історія розвитку мехатроніки;
- класифікація мехатронних об'єктів;
- стандартні завдання мехатроніки.

### **Контрольні питання**

1. Які компоненти включає узагальнена структура машини з комп'ютерним керуванням?
2. Яка концепція проектування мехатронних систем?
3. Які переваги має застосування мехатронного підходу при створенні машин з комп'ютерним керуванням?
4. Які нові технології керування використовуються у мехатронних системах?
5. Які подальші напрями розвитку мехатроніки?
6. Чому класичні принципи не забезпечують повноцінного вирішення завдань керування у мехатронних системах?

## 10. РЕАЛІЗАЦІЯ ЛАБОРАТОРІЙ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ МЕХАТРОННИХ ОБ'ЄКТІВ ЧЕРЕЗ ІНТЕРНЕТ

У результаті вивчення даного розділу студенти повинні вміти:

- описати технічні характеристики дослідів через Інтернет;
- визначати особливості зв'язку приладів і пристроїв з веб-сервером;
- описати типи експериментів на базі Інтернет;
- визначати особливості віддалених експериментів з експертом;
- визначати особливості віддалених дослідів користувачів під доглядом;
- визначати особливості віддалених дослідів з користувачами;
- визначати особливості експериментів у вигляді віддаленого спостереження;
- описати концепції віддаленого доступу;
- визначити методи і компоненти реалізації телелaboratorій.

### 10.1. Технічні характеристики дослідів через Інтернет

Інтернет, як правило, використовується для виклику розміщеної на серверах інформації у формі файлів, які користувачем, так званим „клієнтом”, будуть переглянуті, прослухані, роздруковані, збережені, перероблені або запущені до виконання. Це також можливо, коли, наприклад, у межах курсу електронного навчання (е-навчання) матеріал у придатній формі „викладено в мережі”. Таким чином, з багатьох місць, у тому числі і з вищих навчальних закладів, можна буде дістатися таких матеріалів, як конспекти лекцій у вигляді файлів на веб-серверах. При цьому може йти мова про інтерактивний перебіг, коли користувач (наприклад студент) має відповісти на запитання або вирішити поставлені завдання, а відповіді у режимі он-лайн надіслати назад. Результати потім при необхідності можуть бути збережені у формі файлів або записів у базі даних, вручну або (якщо можна) автоматично перевірені, а оцінка або корективи знов направлені користувачу. Звісно, кроки навчання до того ж здійснюватимуться залежно від успішного проходження заданих рівнів або інших дій користувача, так щоб загалом вийшла єдина інтерактивна навчальна система.

Лабораторні випробування, що базуються на Інтернет, як частину концепції е-навчання неодмінно використовують описані механізми, але також ідуть на один істотний крок далі [37, 38]. Тут мова йде про інтерактивний доступ до пристроїв, у тому числі таких складних систем, як роботи, верстати, приводи, пристрої регулювання та керування, системи обробки зображень, мікроскопи, пристрої діагностики, пристрої обробки тощо (рис. 10.1). Різноманітності тут не встановлено жодних меж. На основі експериментів користувач здатен ці пристрої через Інтернет ввести у дію, обслуговувати, спостерігати, програмувати, ініціювати процедури, збирати дані в різних формах (системні дані, фізичні величини, дані зображень, дані вимірювань, часові величини тощо), інтерпретувати дані й характеристики системи. За допомогою інтерактивної роботи з телевипробуваннями отримані знання можуть бути застосовані та у реальності перевірені, теорія і практика –



порівнянні, а нові знання здобуті та закріплені. Дія як важливий елемент успішного навчання стоїть тут на передньому плані.

У додаток до дидактичних міркувань реалізація телелaboratorій являє собою ряд надзвичайних технічних викликів, про які піде мова далі [39].

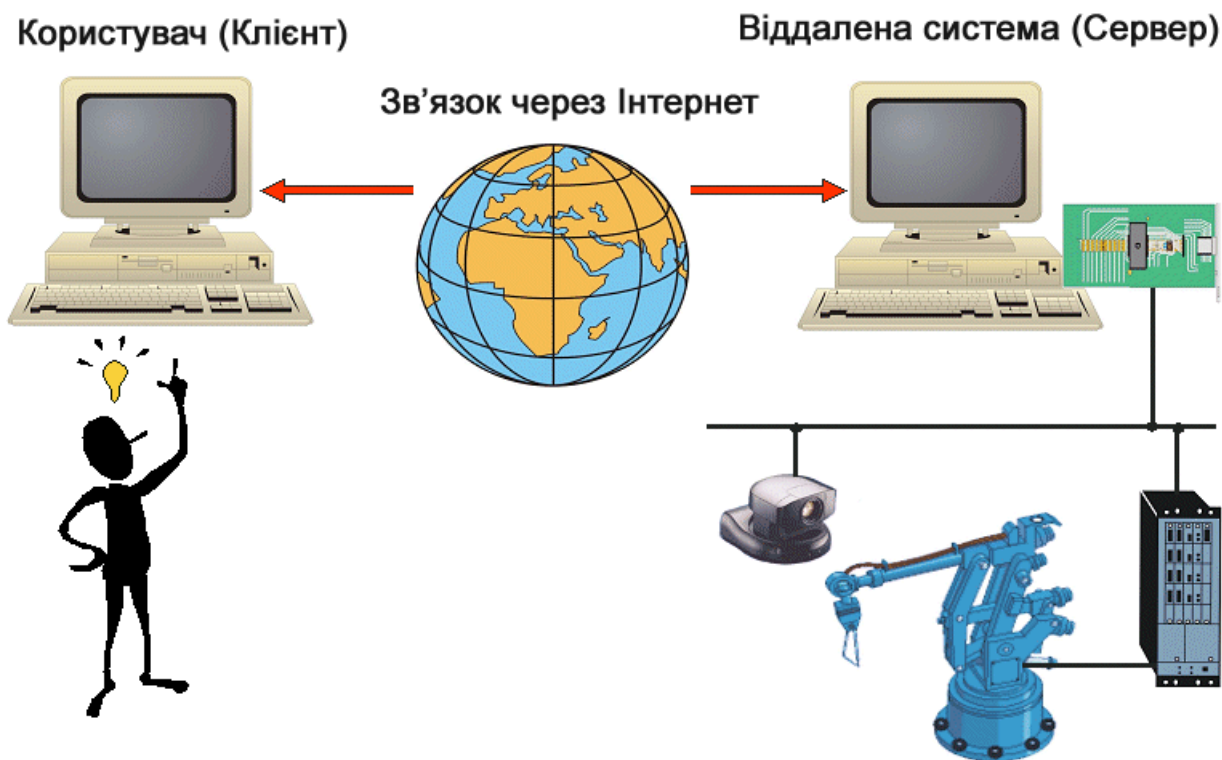


Рис. 10.1. Навчання у реальних системах через Інтернет

### **Зв'язок приладів і пристроїв з веб-сервером**

Насамперед необхідно вирішити взагалі зв'язок пристроїв з веб-сервером. Це нетривіально, оскільки лабораторні пристрої можуть мати велику кількість інтерфейсів. Лише в рідких випадках пристрої з ПК або промисловими ПК вже обладнані інтегрованими веб-серверами. Як правило, пристрої ще необхідно приєднати до веб-сервера (базованого на ПК або вбудованого у мікроконтролер). Це, у свою чергу, надає можливість віддаленого доступу до пристроїв через Інтернет.

### **Захист особистості**

Системи, доступні в Інтернет, мають бути так захищені, щоб навіть при (непередбачуваному) віддаленому керуванні жодна загроза локально присутній людині не могла бути здійснена. Необхідні заходи безпеки відрізняються (однак не суттєво) при подібних застосованих пристроях.

### **Невідома конфігурація комп'ютера на боці клієнта**

Якщо телевипробування мають бути доступними не лише обмеженій кількості добре відомих користувачів (наприклад, студентам певного вищого

навчального закладу з доступом через ряд заздалегідь сконфігурованих ПК), але й користувачі з апіорі невідомих місць також можуть брати участь у них, то постає проблема – конфігурація клієнтських ПК, як і їхнє з'єднання з Інтернет, є невідомими. Звідси виникає потреба так виконати програмну реалізацію, щоб на боці клієнта по можливості було достатньо лише стандартного програмного забезпечення (ПЗ). В ідеальному випадку має вистачити ПЗ, що входить до стандартного набору ПК. Але навіть тут, наприклад, для серверного ПЗ необхідно взяти до уваги можливість великої кількості браузерів і насамперед версій браузерів. У будь-якому випадку слід уникати того, щоб для виконання телевіпробувань користувач повинен був вводити (платне чи ліцензоване) спеціалізоване ПЗ. Урешті-решт варто зважити на встановлення на боці клієнта безкоштовно доступних плагінів, наприклад, для браузера.

### **Невідоме підключення до мережі з боку клієнта**

Як правило, не можна виходити з того, що підключення на клієнтському боці відбувається або буде відбуватися у майбутньому виключно з мережі навчального закладу з високою пропускнуою здатністю. Також у найближчий час має бути можливим доволі ефективно використання е-навчання через повільні телефонно-модемні підключення (наприклад для студентів з дому), що дуже важливо для користувачів партнерських навчальних закладів у країнах з непорівнянною мережевою інфраструктурою. Для них є надзвичайно цікавими віддалені експерименти на дорогих і сучасних приладах, на які не вистачає власної фінансової спроможності.

### **Синхронізація клієнтів**

Якщо віддалені користувачі отримують не лише інформацію з приладів, але й повинні мати можливість здійснювати керуючий вплив на ці прилади, необхідно вирішувати конфлікти доступу. Для цього має бути передбачена відповідна синхронізація клієнтів.

## **10.2. Типи експериментів на базі Інтернет**

Експерименти, базовані на Інтернет, можна розрізняти не лише відповідно до дидактичного застосування, але й на основі технічних концепцій реалізації. Особливо слід виходити з того, що якась окрема (дидактична) мета, як правило, потребує відповідної технічної реалізації.

Далі подано деякі приклади різних дидактично-технічних типів експериментів. Варто також зазначити, що експерименти не піддаються одній фіксованій класифікації і можуть існувати проміжні типи.

### **Віддалені експерименти з експертом**

Важливим елементом як у навчанні, так і в дослідках й розробках є відтворення або демонстрація окремої поведінки системи на реальних приладах або експериментах. Це відбувається дотепер безпосередньо в лабораторії. Завдяки з'єднанню певних приладів з Інтернет, виконавець здатен відповідний

експеримент лише віртуально з будь-якого місця „зайняти”. Наприклад, студент з великого кола присутніх може з лекційного залу відтворити безпосередньо на реальній системі викладену теорію або дослідник може виконати власні експерименти на конгресі перед зібраною аудиторією професіоналів у режимі он-лайн. Таким чином, значно підвищується якість зв'язку з практикою. Звичайно, виникають нові виклики щодо відповідності теорії та практики.

Коли момент часу віддаленого доступу при такому типі експерименту заздалегідь відомий або щонайменше обмежений, достатньо того, щоб прилади тимчасово вводились у робочий стан. Часто персонал повинен бути присутній у лабораторії, щоб віддалений доступ міг здійснюватись під локальним наглядом. Якщо невідомий користувач є експертом, можна виходити з того, що доступ здійснюється цілеспрямовано і серйозних помилок у поведженні не виникне. Цей тип дослідів ставить найменші вимоги до захисту від помилок і, як правило, відмовляються від складних концепцій, стійких до помилок. Навпаки, намагаються надати користувачу якомога більший набір функцій, щоб він отримував ті самі можливості втручання, як ніби він локально був присутнім. Цей випадок може траплятися і в промислових застосуваннях віддаленого доступу, коли, наприклад, досвідчений обслуговуючий інженер отримує доступ до віддалених приладів у межах телеобслуговування.

Технічна реалізація цієї форми віддаленого доступу, як правило, – щонайменше в системах, заснованих на ПК, – доволі проста завдяки наявності програмних продуктів для „віддзеркалення” робочого столу ПК через Інтернет (rsAnywhere та ін.).

Загалом розглянутий тип дослідів відрізняється таким:

- порівняно проста придатність до реалізації віддаленого доступу;
- неодмінна наявність експерта;
- високий ризик у захисті приладів.

### **Віддалені дослідження студентів під наглядом**

Тут проводиться дослід, наприклад, у межах практики або захід щодо самостійного підвищення кваліфікації студентом, але все ж таки під наглядом. Студент не експерт, а проведення дослідів – лише крок на шляху засвоєння знань і здобуття досвіду. Однак студент не може розпоряджатися своїм часом, а, наприклад, спрямовується керівником. Часто паралельно тут передбачено персональне керівництво або нагляд за реальними приладами в лабораторії. З іншого боку, залучення персоналу пов'язано з розподілом часу або обмеженням проведення дослідів і, отже, з готовністю приладів до експлуатації. Поряд з можливими персональними дидактичними вказівками важливою функцією керівників є вказівки студенту відносно цілеспрямованих дій при віддаленому доступі, запобігання неправильному поведженню, забезпечення функціонування приладів, втручання (самостійно в лабораторії або через доступ віддаленого користувача) з метою досягнення бажаного стану приладів і виправлення помилок.

Стосовно доступних клієнту можливостей віддаленого доступу було б доцільно для студентів обмеження функцій, що мають відношення до навчання,

а для керівників – їх повний набір. Однак це часто пов'язано з підвищеними витратами на реалізацію. Прикладом для промислових випадків використання телесервісів можуть бути спільні роботи з обслуговування і діагностики між експертами з обслуговування виробника приладів і співробітниками виробництва, де ці прилади застосовуються, так само як базована на Інтернет підтримка клієнтів відповідно до завдань програмування або оптимізації приладів.

Властивості цього типу дослідів:

- тимчасова готовність;
- персональний нагляд;
- часткове невикористання стійких до відмов концепцій;
- обмежений або необмежений доступ для клієнтів;
- широко відомі технічні конфігурації на боці клієнта;
- витрати на реалізацію для віддаленого доступу, в тому числі залежні від набору функцій і концепції стійкості до відмов для клієнта.

### **Віддалені дослід з користувачами (можливо невідомими) у невизначений час і з будь-якого місця**

При такому типі дослідів користувач самостійно застосовує реальні пристрої та прилади і проводить на них інтерактивні експерименти, сам же може належати визначеному (допущеному через ідентифікацію або заздалегідь підготовленому) колу людей або навіть бути до останнього моменту повністю невідомим. Здійснення віддаленого доступу відбувається у вибраній користувачем час з будь-якого місця. Це той випадок, коли студенти через підключення до Інтернет проводять свої практичні дослід з дому або з інших навчальних закладів, що можуть знаходитись в абсолютно різних часових зонах.

Досвід роботи Ройтлінгенського університету в рамках проекту Комплексу Віртуальних Лабораторій (Verbund Virtuelles Labor – VVL) чітко показує, що технічна реалізація цього типу дослідів має бути виконана таким чином, щоб при використанні прилади не були ушкоджені [38]. Тому лише чітко визначені функції мають бути доступними через Інтернет, вони повинні бути ретельно сплановані й реалізовані. Можна спробувати обмежити коло користувачів, допущених до виконання дослідів, наприклад, через запит пароллю або через підтвердження користувачем своєї кваліфікації шляхом правильних відповідей на запитання. Але це не може завадити користувачеві випробувати всі доступні через Інтернет функції. Пошкодження приладів якоюсь із функцій є зовсім небажаним, саме тому відкриті функції мають бути продуманими і спланованими.

Необхідно виходити з того, що наявні для клієнта можливості доступу і функції також у будь-який час застосовуються – та нехай це буде жартома (що може бути для користувача, звиклого до Інтернет, так само як і з дидактичної точки зору неодмінно привабливо і бажано). Однак технічно це означає

величезний виклик відносно створення і реалізації концепції віддаленого доступу.

При застосуванні даного типу дослідів технічно-концептуальні вимоги до апаратного і програмного забезпечення, а також витрати на реалізацію – найвищі (з відривом).

Згадані пристрої мають бути цілодобово готовими до використання, це стосується вирішення питань відносно їх доступності і технічної надійності. Пристрої або постійно повинні знаходитися в робочому стані, або мати можливість щоразу бути активованими клієнтом. Коли повністю уникнути технічних перешкод з підлягаючими обговоренню витратами неможливо, стосовно їх треба повідомити клієнта і вжити заходів для їх негайного усунення. Синхронізація клієнтів має надзвичайно важливе значення при такій категорії дослідів, де конкуруючі за доступ клієнти, як правило, є невідомими. Тут рекомендується для керованого он-лайн доступу до приладів створити чергу користувачів і надавати (короткі) проміжки часу для ексклюзивної роботи тим, хто має санкціонований доступ. Звичний перебіг випробування може проводитись майже паралельно кількома клієнтами. Часто прилади непридатні до одночасного використання через Інтернет, тобто при необхідності періодично мають перемикатися для локального застосування, що, з іншого боку, для потенційних Інтернет-користувачів – незадовільно. Допомогти може переведення презентаційного обладнання для використання локального Інтернет-доступу, так щоб наявні механізми синхронізації були достатніми.

Істотною концептуальною вимогою є досконала концепція стійкості до відмов для приладів. Це означає, що задіяні клієнтом функції не можуть призвести до технічних перешкод або пошкоджень приладів. Так само мало доступним повинний бути стан системи, який можна усунути лише локально.

Деякі аспекти подібної концепції стійкості до відмов:

- точна специфікація доступних через Інтернет функцій, попередня підготовка набору функцій для віддаленого клієнта. Цей набір функцій повинний орієнтуватись як на концепцію безпеки для приладів, так і на (у даному випадку дидактичні) цілі доступу;

- після здійснення кроків віддаленого керування прилади самостійно повертаються у початковий (безпечний) стан;

- запобігання перериванню єдиного кроку процесу;

- спостереження за уникненням неприпустимих операцій або проблематичних станів системи.

Оскільки користувач при цьому типі дослідів діє більш самостійно, то поряд з відповідною реалізацією необхідною є особливо ретельна медійно-дидактична концепція побудови і проведення дослідів.

Примітка. У промисловості також часто зустрічається наведена ситуація віддаленого доступу, а саме там, де оператор приладів для віддаленого спостереження або керування отримує через Інтернет певні функції віддаленої діагностики та можливості втручання. Це надзвичайно привабливо у сферах з малою кількістю персоналу або без нього.

Це буде детально розглянуто далі.

Технічні особливості цього типу дослідів:

- готовність до використання 24 години на добу, 7 днів на тиждень;
- відсутність значного персонального нагляду за приладами або користувачами;
- дієві концепції стійкості до відмов для приладів;
- попередня підготовка чітко визначеного набору функцій через Інтернет;
- широкий спектр невідомих конфігурацій клієнта;
- значно вищі вимоги і витрати відповідно до концепції програмного забезпечення і реалізації, діючих методів доступу так само як і до дидактичної концепції.

### **Експерименти у вигляді віддаленого спостереження**

Тут віддалений доступ обмежується в основному передачею даних з діючих приладів, тобто із сервера до клієнта. Віддалені прилади можуть спостерігатись, можливий моніторинг стану приладів і технологічних даних, діагностичні дані можуть бути переглянуті та інтерпретовані. Керований доступ до приладів не можливий, отже, вплив на них клієнта обмежується переданою інформацією. Реалізація часто відбувається у такій формі, коли дані перетворюються на боці приладів у сумісні з Інтернет форми, мови або записи у базі даних і можуть бути викликані клієнтом.

Цей спосіб може успішно застосовуватись у навчанні, наприклад для того, щоб простежити поведінку системи у визначений момент або у заданий проміжок часу. Звісно, що ефект навчання через значний брак взаємодії є обмеженим.

Примітка. У промисловому секторі ця форма віддаленого доступу досить поширена, особливо через порівняно низький ризик у безпеці приладів. Тут відомий ряд випадків застосування: моніторинг даних виробництва через локальну мережу підприємства, збір виробничих даних, спостереження стану замовлення, діагностика перешкод, машинне спостереження, простежування матеріалів, що супроводжують відісланий через Інтернет товар, і т. ін.

Головні технічні ознаки цієї категорії дослідів:

- передача даних від приладів до клієнта;
- відсутність керованого впливу клієнта на систему;
- порівняно низький ризик безпеки;
- реалізація інформації за допомогою попередньої обробки у сумісну з Інтернет форму на боці приладів.

### **10.3. Концепції віддаленого доступу**

Для з'єднання сервера (приладів, системи) і клієнта (віддаленого користувача) з Інтернет існують принципово різні можливості (рис. 10.2).

Далі будуть розглянуті програмні й апаратні компоненти можливих архітектур з'єднання [39 – 41].

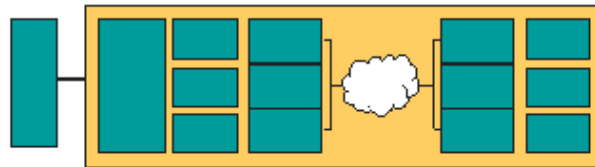


Рис. 10.2. Зв'язок система-користувач через Інтернет

На рис.10.3 наведено апаратні компоненти, які розташовані на боці приладів.



Рис. 10.3. Апаратні компоненти на боці системи

Самі прилади складаються з таких пристроїв, як сенсори, виконавчі пристрої і т.п., які не розміщені на ПК, а через відповідні специфічні інтерфейси (паралельні, послідовні, польові шини, локальні мережі, радіозв'язок) з'єднані зі справжніми веб-серверами.

Особливо вигідно – застосування польових шин, коли через стандартизовану систему комунікації може бути опитана велика кількість різноманітних пристроїв.

Веб-сервер, навпаки, це часто персональний комп’ютер, і він може бути реалізований у формі робочої станції або як вбудована (embedded) система на базі мікроконтролера, що не потребує значних витрат з точки зору апаратного забезпечення.

На рис. 10.4 показано маленький дешевий вбудований веб-сервер.



Рис. 10.4. Вбудований веб-сервер

Для віддаленого доступу як відповідні компоненти програмного забезпечення на боці приладів (рис. 10.5) застосовуються насамперед драйвери для інтерфейсів приєднаних пристроїв.

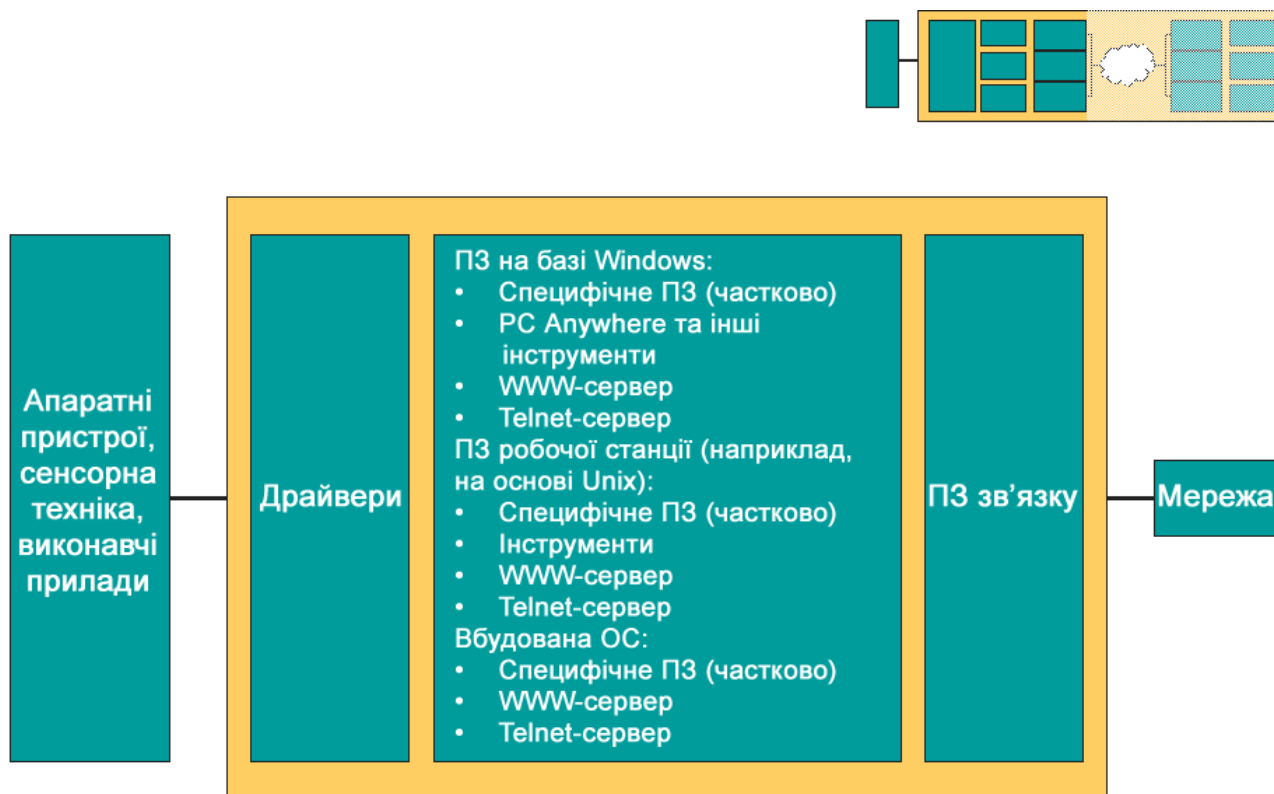


Рис. 10.5. Програмні компоненти на боці приладів



Операційна система, яка застосована на боці сервера, залежить від апаратного забезпечення сервера. На рис. 10.5 показано кілька варіантів.

Багато операційних систем уже надають корисне програмне забезпечення для віддаленого доступу, наприклад, веб-сервер. Чим більша частка придатних до застосування стандартних програмних компонентів, тим меншою може бути частка придбаного напівспецифічного, тобто специфічного для розробки програмного забезпечення.

При аналізі апаратних компонентів зв'язку (доступ до Інтернет із сервера і від клієнта, рис. 10.6) на боці сервера часто або навіть обов'язково застосовується пряме з'єднання з Ethernet. Це бажано з причин достатньої передавальної спроможності. Як альтернатива неіснуючому з'єднанню з мережею може бути ISDN- або DSL-з'єднання, звісно за умови фіксованої IP-адреси сервера.

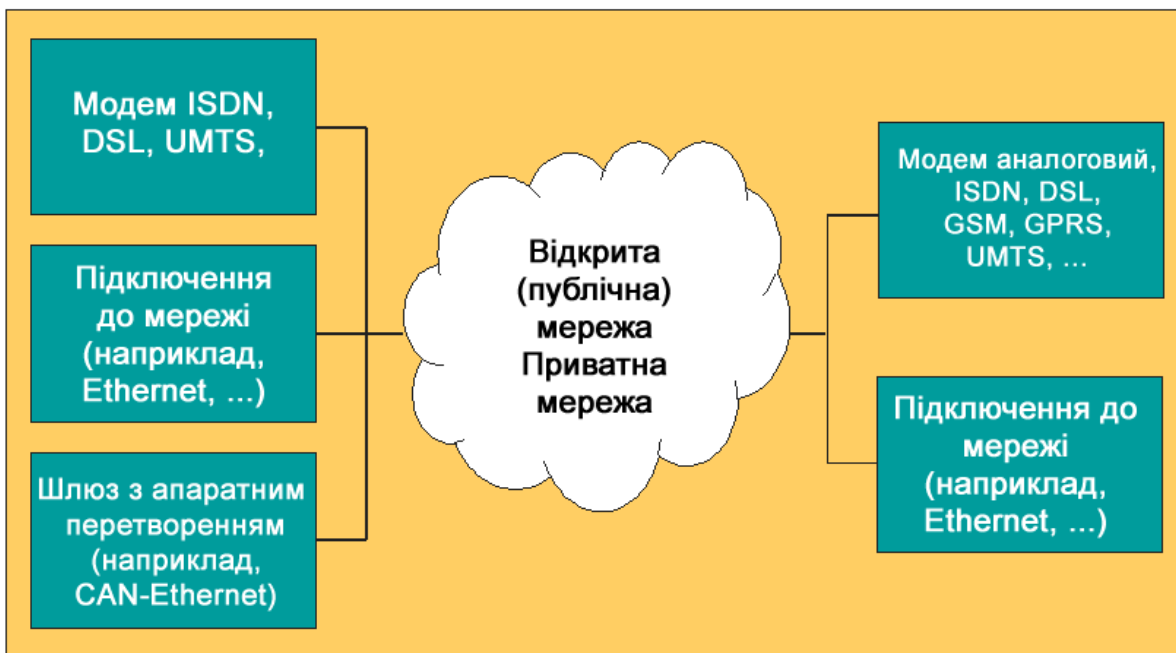
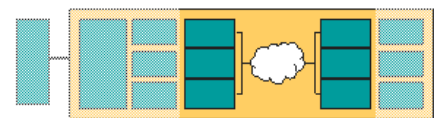


Рис. 10.6. Інтернет-доступ (апаратна частина) сервера і клієнта

На боці клієнта, як правило, доступ до Інтернет не має значення. Тут повинно розглядатись велике різноманіття – від аналогових телефонних модемів до мобільного доступу. Ethernet-підключення на боці клієнта скоріше виняток, наприклад, коли користувач дістається з мережі до вищого навчального закладу або фірми.

Як протокол зв'язку застосовується TCP/IP, навіть у випадку, якщо доступ до Інтернет з одного або з обох боків відбувається через модем і для цього використовуються додаткові протоколи, такі як PPP (Point-to-Point-Protocol, рис. 10.7). Інші мережеві протоколи менше відповідають даному випадку застосування і далі не будуть розглядатись.

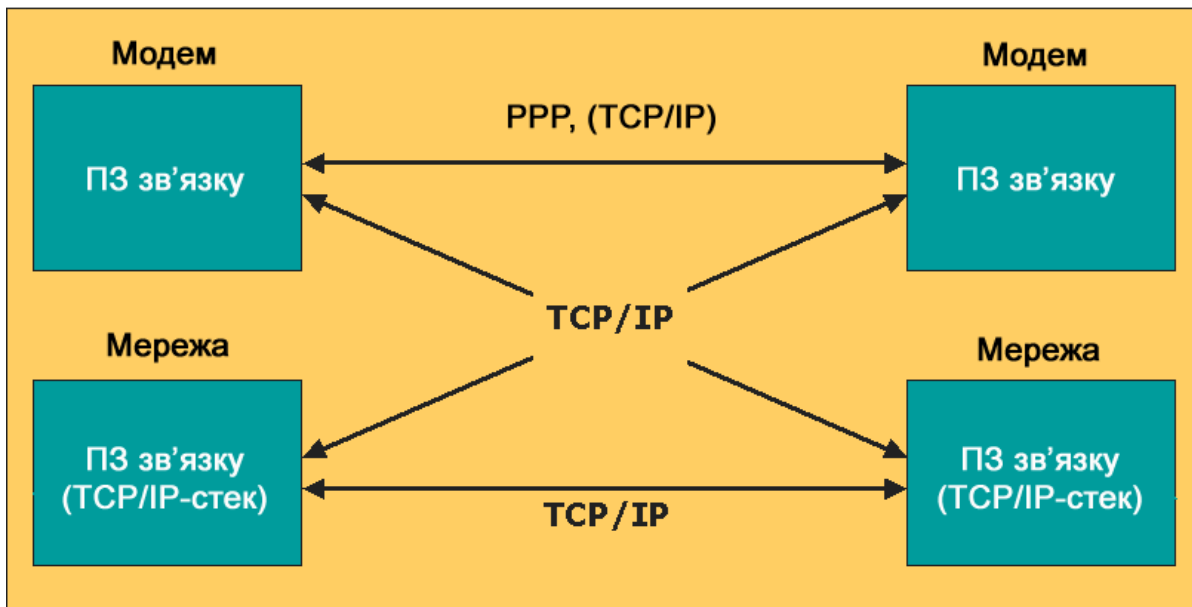
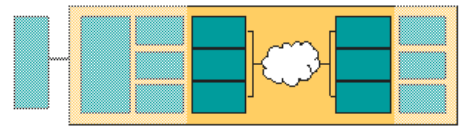


Рис. 10.7. Програмне забезпечення зв'язку та протоколи

Як з боку сервера, так і з боку клієнта застосовується (стандартне) програмне забезпечення зв'язку, відповідно стеки TCP/IP.

Для апаратної платформи клієнта також дійсним те, що, як правило, вона не є раніше визначеною.

Найчастіше можна зустріти ПК, рідше – робочі станції, все більше і більше розповсюджуються вбудовані (Embedded) системи у формі кишенькових комп'ютерів або PDA (Personal Digital Assistants), Web-Pad або навіть мобільні телефони, здатні працювати в Інтернет (рис. 10.8).

До програмних компонентів, що мають відношення до віддаленого доступу клієнтів, належать насамперед надані операційною системою, це, наприклад, веб-браузер, що працює у даній операційній системі (рис. 10.9). Установлення інших необхідних для віддалених експериментів напівспецифічних або зовсім специфічних програмних компонентів є, як правило, неприйнятним для клієнта, незалежно від того, чи поставляються ці компоненти безкоштовно або без ліцензії. При необхідності клієнта можна спонукати застосовувати визначену версію браузера або встановити стандартні розширені функції браузерів.

Рис. 10.10 – наглядна ілюстрація відібраних конфігурацій систем і прикладів варіантів з'єднання між приладами/сервером (ліворуч), Інтернет і, з іншого боку, з користувачем/клієнтом (праворуч). Між апаратних платформ, базованих на ПК, подано також вбудовані (Embedded) системи так само як модемні і мережеві з'єднання.

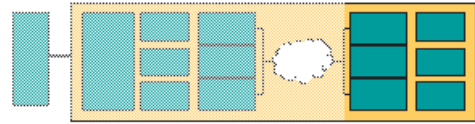


Рис. 10.8. Варіанти апаратури на боці клієнта

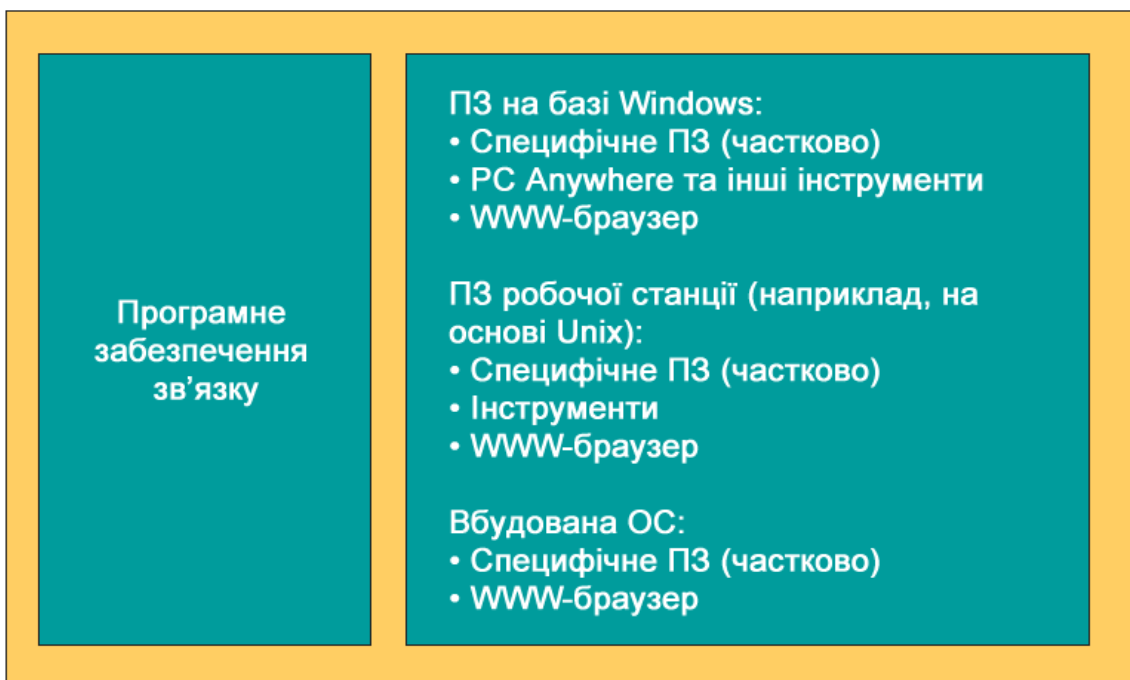
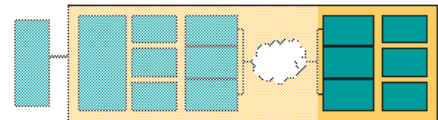


Рис. 10.9. Програмні компоненти на боці клієнта

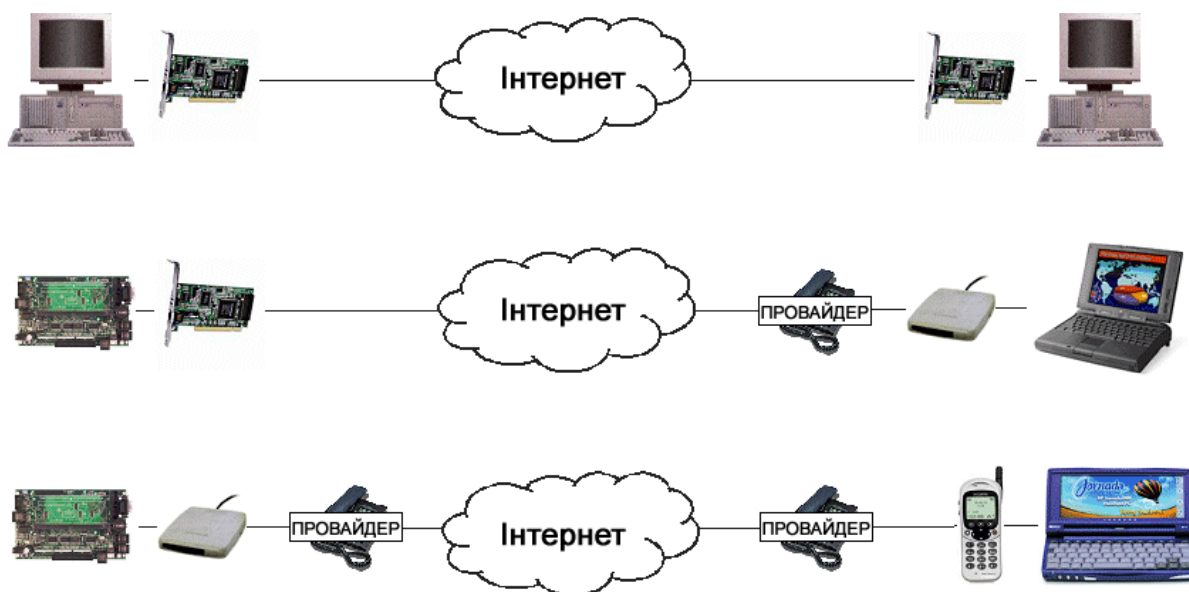


Рис. 10.10. Приклади конфігурацій клієнт-сервер

### Поради щодо IP-адресації клієнта і сервера

Адресація комп'ютерів в Інтернет відбувається через визначені IP-адреси. Загалом у телелaboratorії принципово не можна виходити з того, що клієнт і сервер мають фіксовані IP-адреси. У випадку, коли Інтернет-доступ здійснюється через нерегіонального провайдера, останній призначає клієнту під час ініціалізації доступу зазвичай динамічну, отже, апріорі невідому IP-адресу. Відомо лише, що клієнт повинен мати можливість практично у будь-який час контактувати із сервером телелaboratorії. Таким чином, сервер, як правило, має фіксовану IP-адресу, у той час як клієнт без жодних проблем може зв'язуватись через динамічну (рис. 10.11). Після проведення процесу з'єднання IP-адреса клієнта стає відомою серверу.

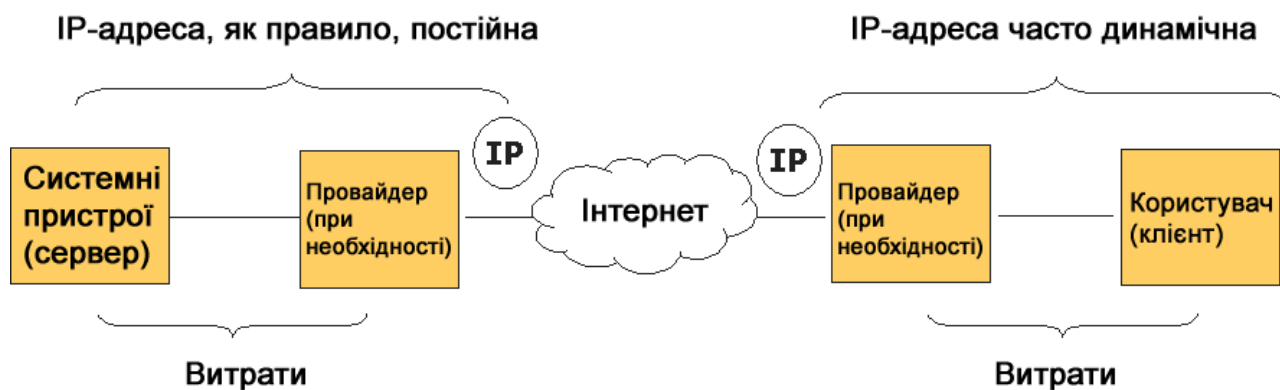


Рис. 10.11. IP-адреси Інтернет-з'єднання клієнт-сервер

Тому фіксована адреса і не тимчасовий доступ до Інтернет необхідні для сервера телелaboratorії, що знаходиться у безпосередній близькості до фізичних приладів або інтегрований з ними. У вищих навчальних закладах, як видно на прикладі країн з перехідною економікою, зазвичай це гарантовано.

Якщо на боці сервера все ж таки є залежність від провайдера, то він має бути здатним постійно надавати у розпорядження фіксовану адресу.

#### **10.4. Методи і компоненти реалізації телелaboratorій**

Тут, по суті, подається перелік функціональностей, що вважаються корисними в описаних далі конкретних реалізаціях експериментів через Інтернет.

##### **Передача зображень і звуку**

Досвід з реалізації телелaboratorій показує, що можливість візуального спостереження за пристроями через Інтернет дуже задовольняє потреби користувача, навіть якщо всі відповідні дані про пристрої є доступними в іншій формі [42]. Таким чином, інтерактивні веб-камери – це невід’ємна складова частина таких laboratorій. Рис. 10.12 показує приклад веб-інтерфейсу керованої похило-поворотної камери.

У верхній частині рисунка можна побачити панорамне (майже стаціонарне) зображення – вся область захвату камери, що уможливує користувачу зручний огляд laboratorії. У центральній – живе зображення заданих (на даний момент) користувачем поля зору і масштабу. Керування камерою віддаленим клієнтом здійснюється через елементи керування, що розміщені навколо і внизу вікна живого зображення, або (надзвичайно зручно) через натискання на бажані елементи панорамного зображення, на які потім камера автоматично налаштовується.

Перелік заданих позицій камери (Presets – передумовки), що показують потрібні пристрої у згаданому прикладі, буде також запропонований користувачеві (рис. 10.13).

Для того, щоб віддалено спостерігаючий користувач у будь-який час (тобто або вночі, або з іншої часової зони) міг отримувати доступ до веб-камер, необхідно подбати про відповідне освітлення. Замість постійного пропонується автоматичне освітлення, кероване доступом. Це досягнуто, наприклад, у телелaboratorії Ройтлінгенського університету завдяки встановленню програмного забезпечення керування освітленням. Воно реєструє доступ до веб-камери і на час з’єднання клієнта вмикає освітлення через підключений до сервера модуль вводу/виводу.

Необхідна для передачі живого зображення пропускну здатність через Інтернет робить неминучим застосування методів компресії зображень для живого відеопотоку.

Коли пристрої, за якими ведеться спостереження, інтерактивно керуються через Інтернет, часові затримки між знятою і відтвореною (стислою) послідовністю зображень є небажаними.

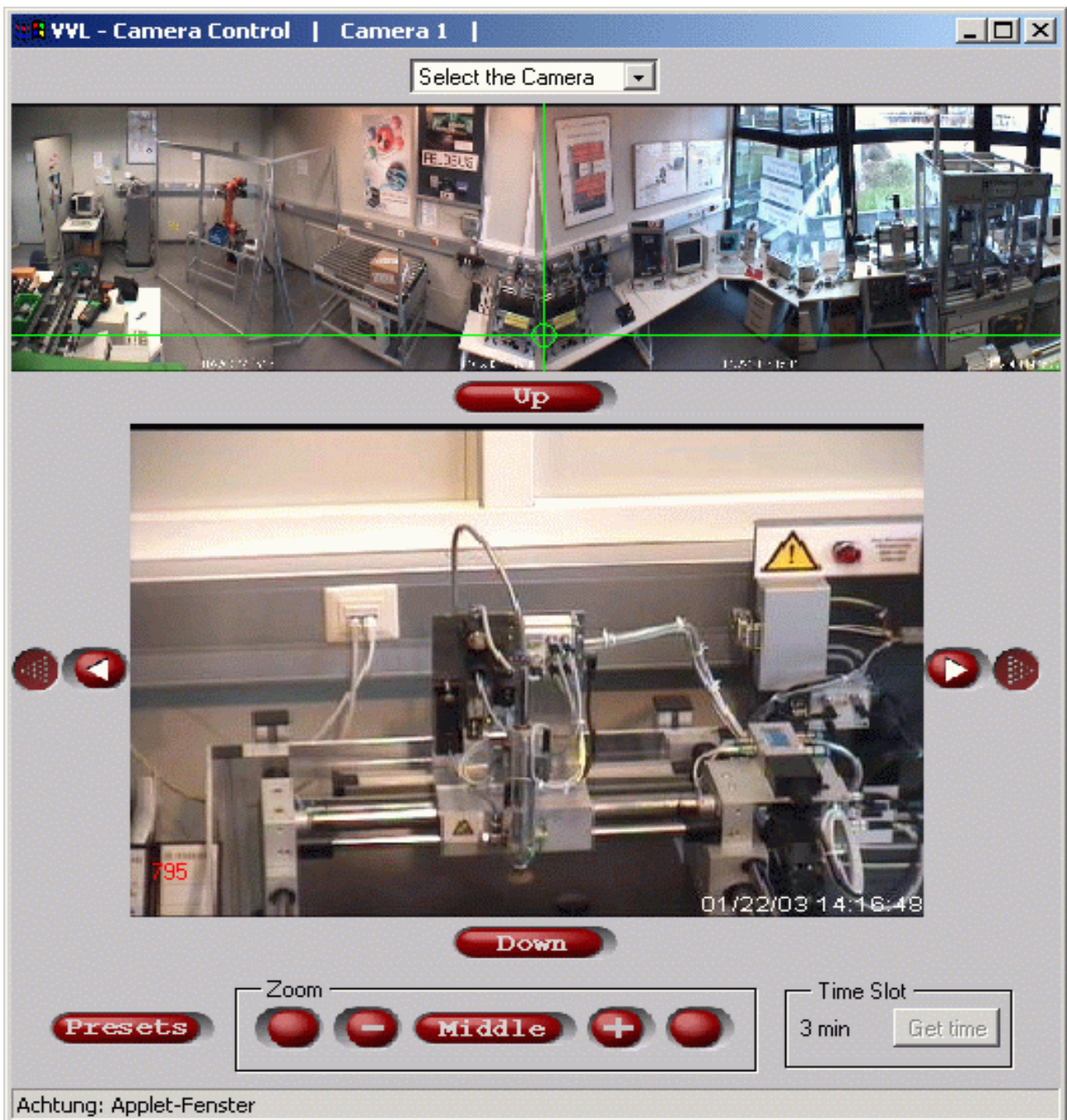


Рис. 10.12. Інтерактивна веб-камера в телелaboratorії Ройтлінгенського університету з панорамним і живим зображенням та елементами керування

Виключеними звідси є функції, при яких (наприклад, викликані подією, за якою ведеться спостереження) швидка, безперервна послідовність зображень знімається, стискається і у вигляді файлів передається користувачеві.

Іншу можливість значного зменшення потрібної смуги пропускання у пристроїв показує рис. 10.14. Тут можна побачити постійне зображення стенда для дослідів, на якому актуальний стан приладів візуалізується у формі додаткових елементів зображення [39].

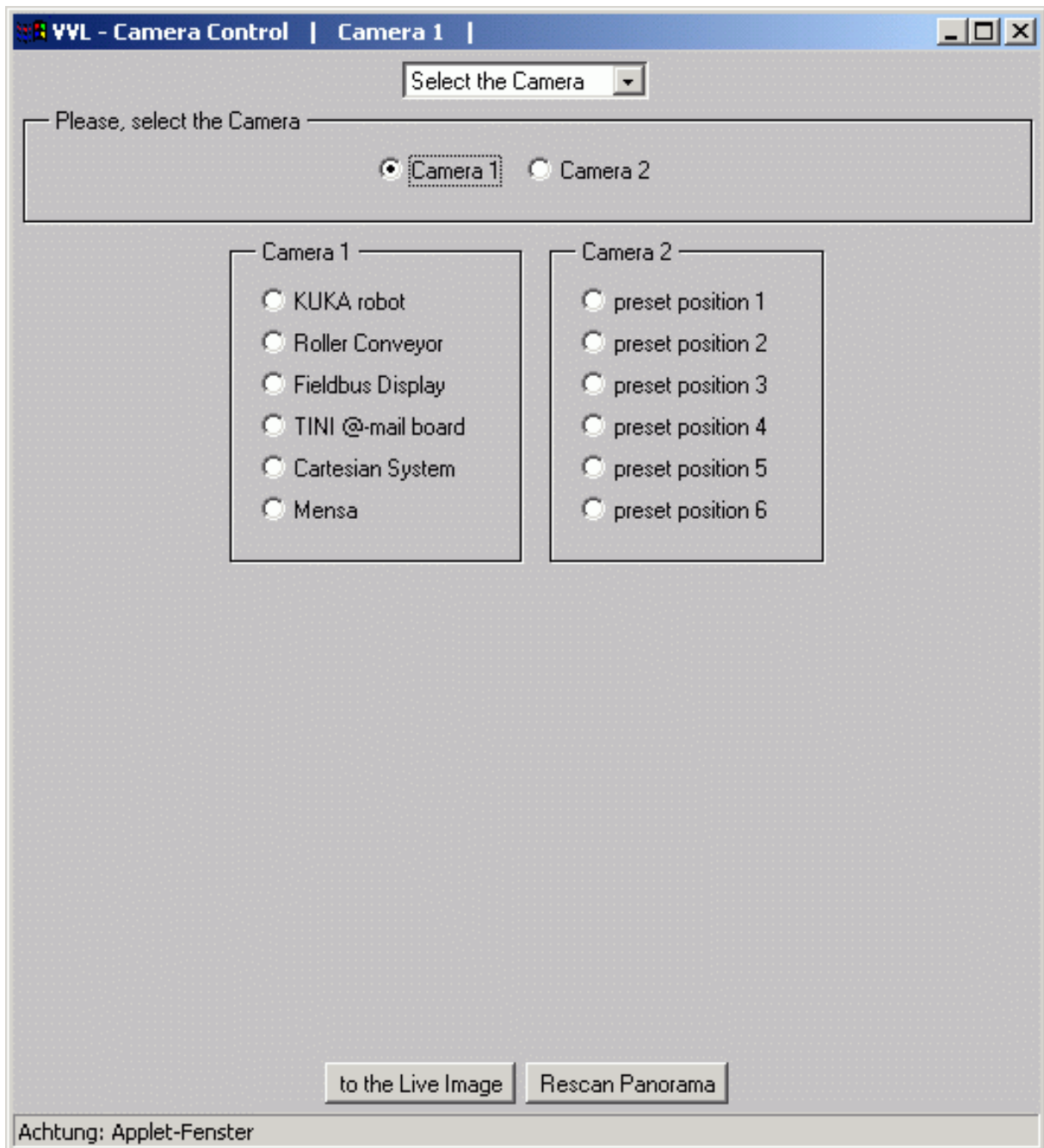


Рис. 10.13. Список вибору заданих позицій камери як частина інтерфейсу оператора

Зображення приладів передається лише один раз, а стани приладів (розташування вентилів, клапанів, дані з датчиків тощо), які призводять, наприклад, до зміни кольору елементів зображення або надписів, контролюються постійно. Необхідна для цього пропускна здатність є мінімальною, але оптичне уявлення про пристрої користувач все одно отримує.

Особливо при телеекспериментах з пристроями техніки автоматизації (роботами, елементами пневматики та ін.) разом з передачею зображень бажано передача аудіо через Інтернет. Поряд з необхідністю додаткової пропускну здатності синхронізація звуку і зображення являє собою особливий виклик.

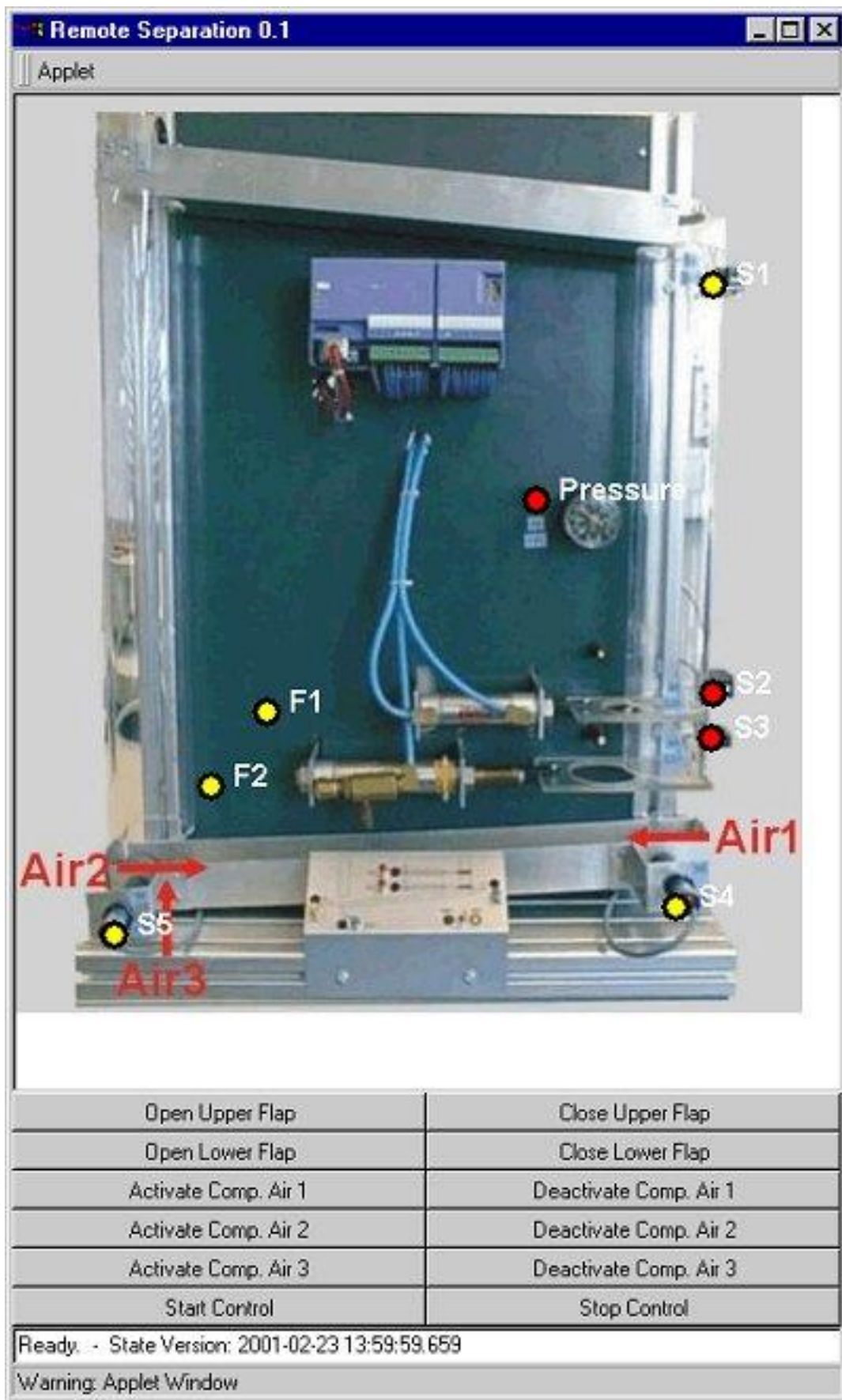


Рис. 10.14. Вигляд стенду з відображенням стану пристроїв, що оновлюється під час роботи, у формі додаткових елементів



## **Java як мова програмування для реалізації телеекспериментів**

Оскільки запустити Java-програму у веб-браузері й відповідно з браузера через Інтернет взаємодіяти з віддаленою Java-програмою можна порівняно легко, Java характеризується як „Інтернет-сумісна” мова програмування. Механізми такого зв'язку, як Java-RMI (Remote Method Invocation – віддалений виклик методів), надзвичайно полегшують створення програмного забезпечення і зменшують витрати на це. Таким чином, Java являє собою також мову програмування для реалізації інтерактивного інтерфейсу телеекспериментів.

Крім цього, Java надає переваги подальшого поширення у вищих навчальних закладах та початкового поширення також у промисловості, гарантує високу продуктивність при створенні програмного забезпечення й перевагу високої надійності. З іншого боку, при з'єднанні існуючих (С-) програм на боці сервера за допомогою Java Native Interface виникають витрати, якими не можна нехтувати.

### **Вплив фаєрволів**

Реалізацію системи доступу до віддалених приладів через Інтернет схематично і наочно зображує рис. 10.15 [39]. Так само здійснюється зв'язок з інтерактивною веб-камерою.

У цьому прикладі реалізації для керування та інтерфейсу переважно застосовуються Java-аплети. Після ініціалізації зв'язку із сервером телелaboratorії через браузер клієнта передаються спочатку HTML-сторінки та аплет-код клієнта з WWW-сервера. Цей етап зв'язку відбувається через заздалегідь задані порти (інтерфейси операційних систем для зв'язку програм). Ці широко відомі порти (Well-known-ports) мають надані відомі номери (наприклад, порт № 80, на якому працює HTTP-сервер, рис. 10.16).

Після того, як у прикладі реалізації відповідно до рис. 10.15 на боці клієнта проініціалізовано і запущено Java-аплет, зв'язок з віддаленим Java-сервером встановлено. Але для цього зв'язку тепер застосовуються не задані номери портів (нестандартні порти) і не специфічні протоколи (тобто не HTTP).

Важлива функція фаєрволів полягає в тому, щоб запобігти з'єднанню через нестандартні порти, тобто повідомлення з цими номерами фаєрвол передати не може. Більше того фаєрволи часто так сконфігуровані, що лише HTTP-телеграми передаються далі. Якщо між клієнтом і сервером встановлено фаєрвол, то система віддаленого доступу (рис. 10.14) більше не спроможна функціонувати. Тому в телелaboratorіях потрібно брати до уваги, що клієнт (і/або сервер) екранується фаєрволом, отже, має бути застосована інша система доступу. Якщо телелaboratorії призначаються також і для промислового користувача, то потрібно виходити з того, що виникає названа проблема.

Рис. 10.17 ілюструє альтернативну систему доступу, що може функціонувати також і через фаєрволи.

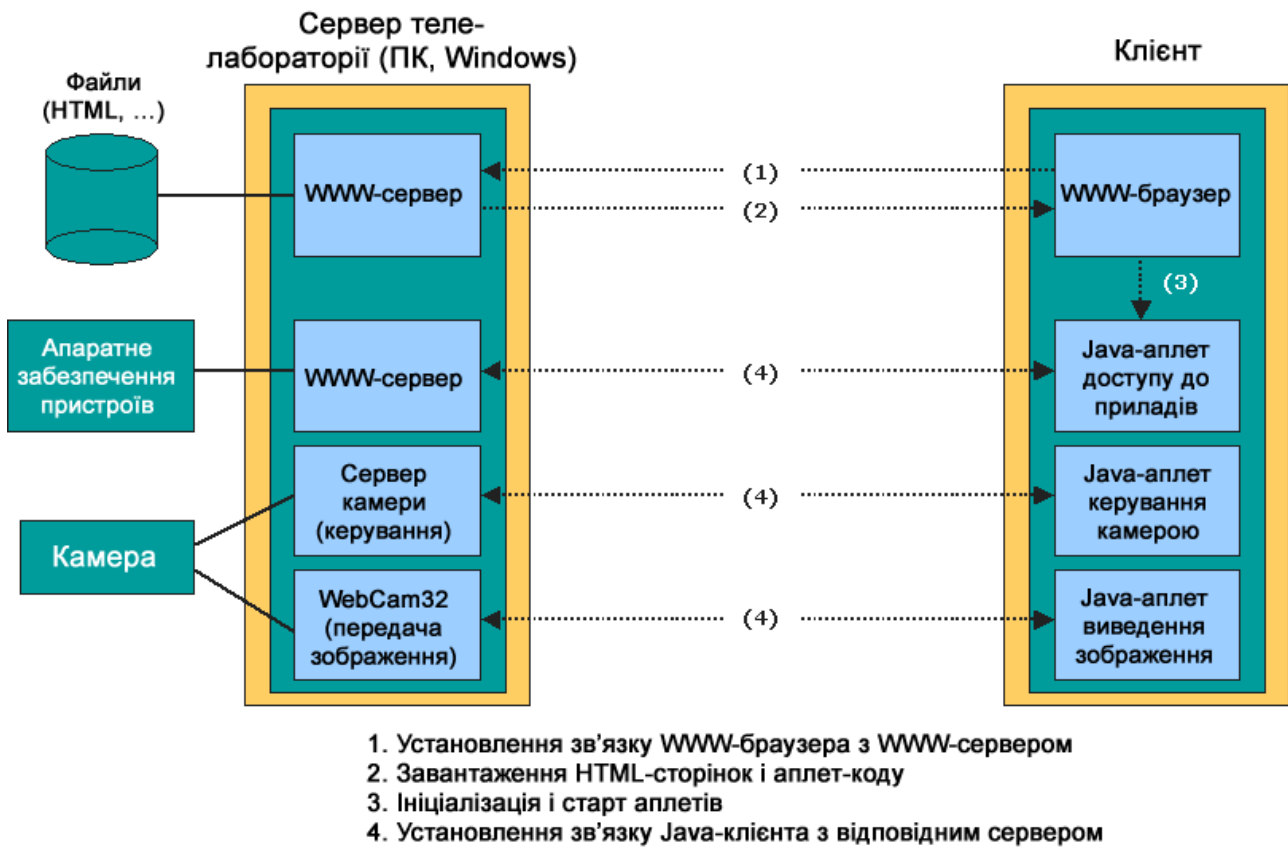


Рис. 10.15. Приклад реалізації системи віддаленого доступу

- IP-адреси (32-біти), що ідентифікують комп'ютер
- Адреси портів (16-біт) визначаються комп'ютером
- Запис зв'язку з 5-ти елементів
- Стандартні порти

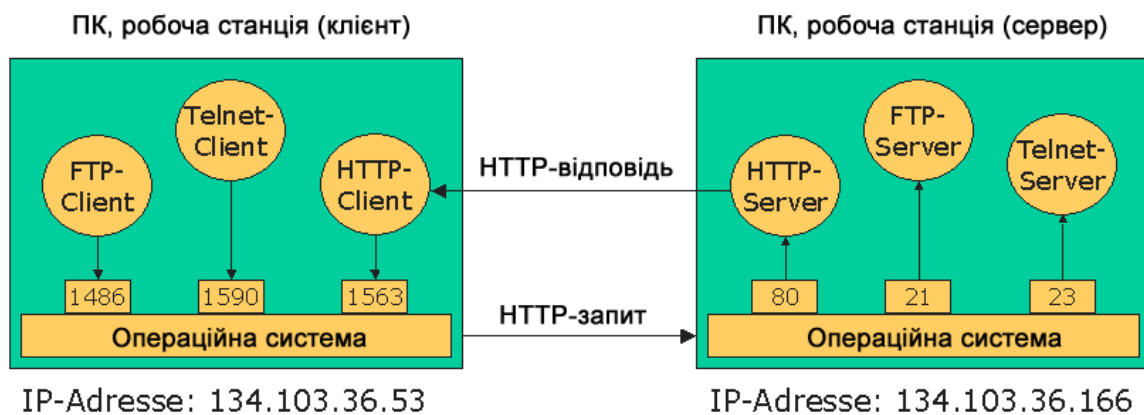


Рис. 10.16. Широко відомі (стандартні) порти при зв'язку клієнт-сервер

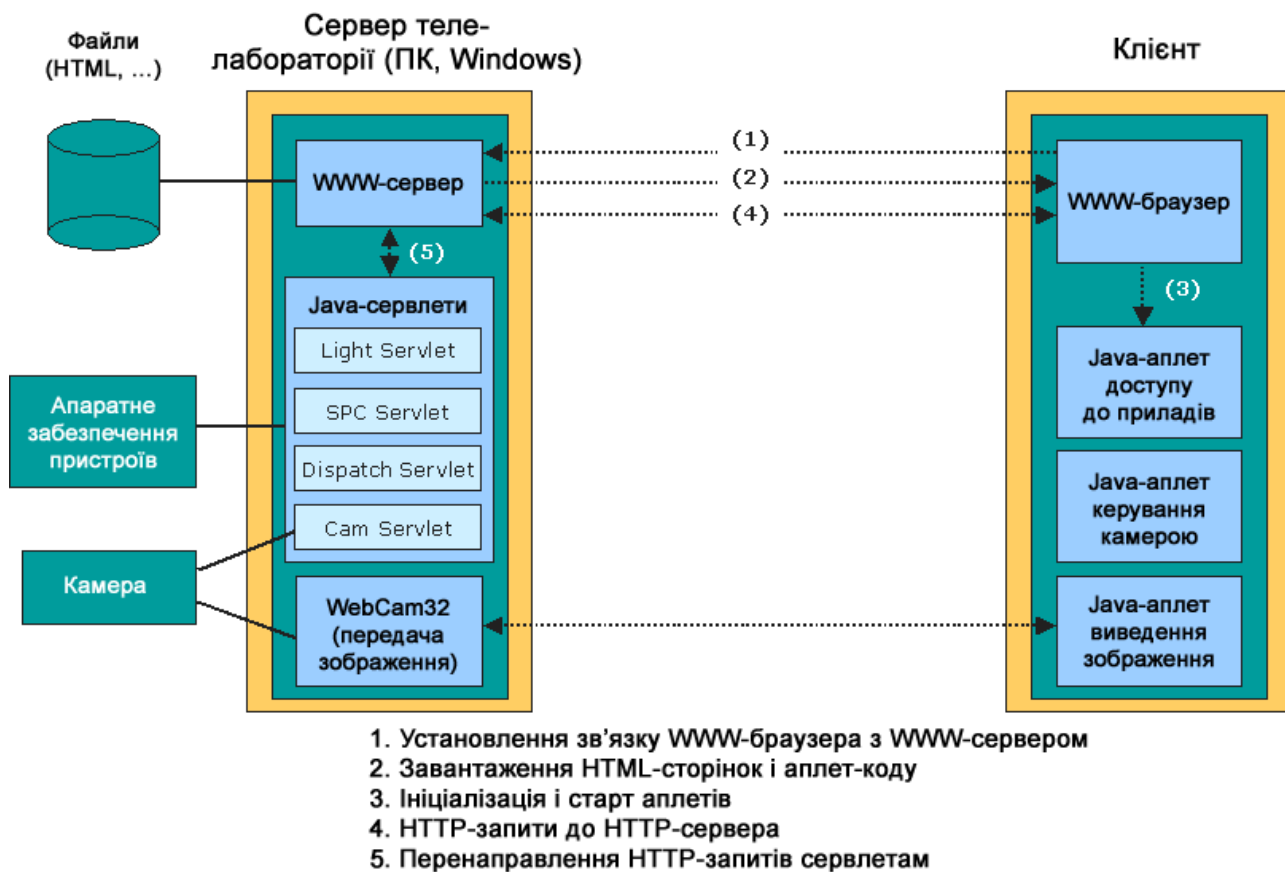


Рис. 10.17. Приклад системи, що дозволяє доступ через фаєрволи та проксі

Керований доступ Java-аплетів на боці клієнта до пристрою, підключеного до сервера, відбувається тут не через з'єднання до Java-сервера, а виключно через HTTP-з'єднання між браузером та веб-сервером з використанням стандартних портів. На боці лабораторії застосовуються Java-сервлети, які обробляють перенаправлені веб-сервером HTTP-запити.

### 10.5. Інші аспекти реалізації телелaboratorій Технічно-організаційні аспекти телелaboratorій

Віддалений доступ до пристроїв і приладів – лише одна, хоча і центральна частка функціональності телелaboratorій. Поряд з необхідними для цього елементами програмного забезпечення також важливими є далі згадані компоненти. Рис. 10.18 та 10.19 – стислі приклади інтерфейсів.

Це такі елементи:

- покроковий, дидактично збагачений посібник (мотивація, навчальні цілі, передумови, підготовлені завдання, при необхідності з контролем результатів, тощо);
- ідентифікація користувачів;
- презентація перебігу досліду, завдань та вправ;
- попередня підготовка всіх необхідних для проведення досліду документів та інформації про мережу (наприклад, таблиць, довідників, специфікації тощо);

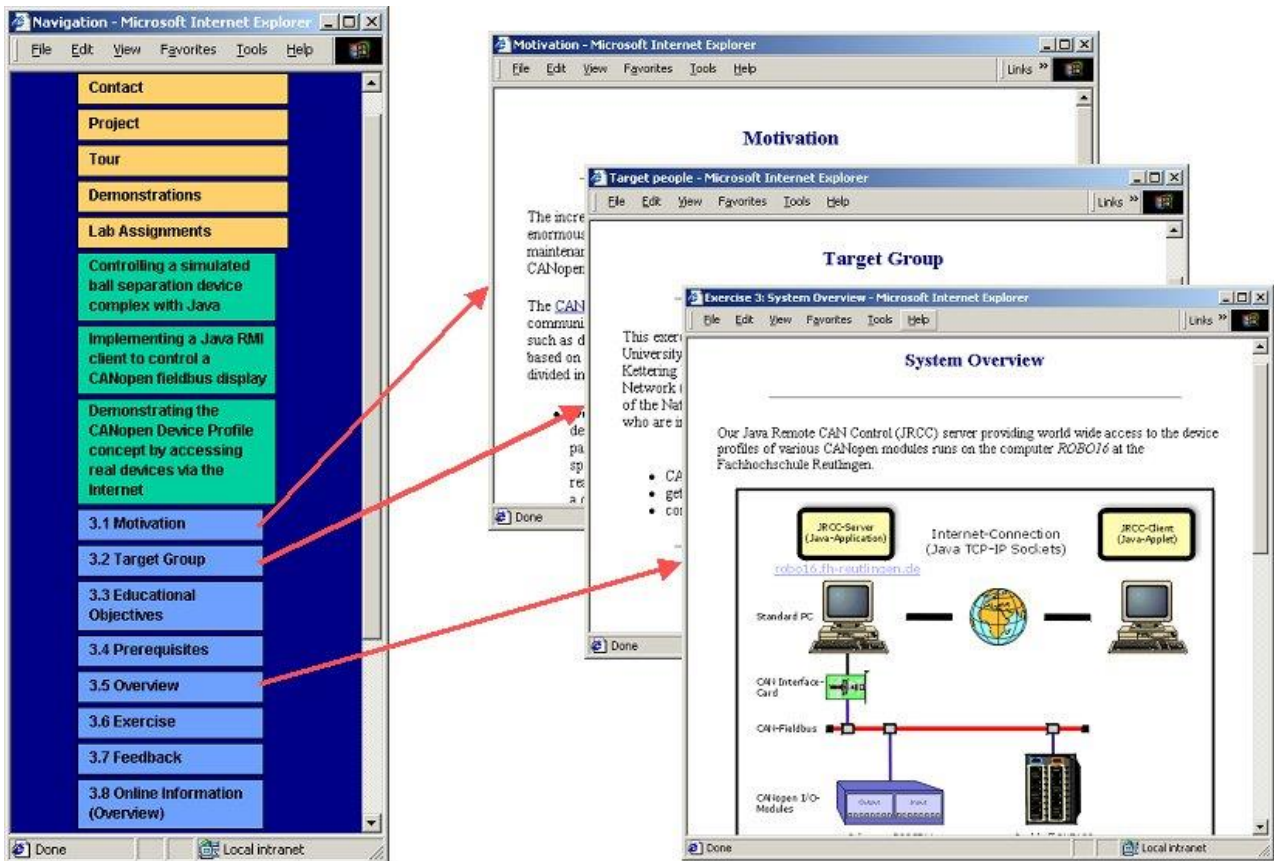
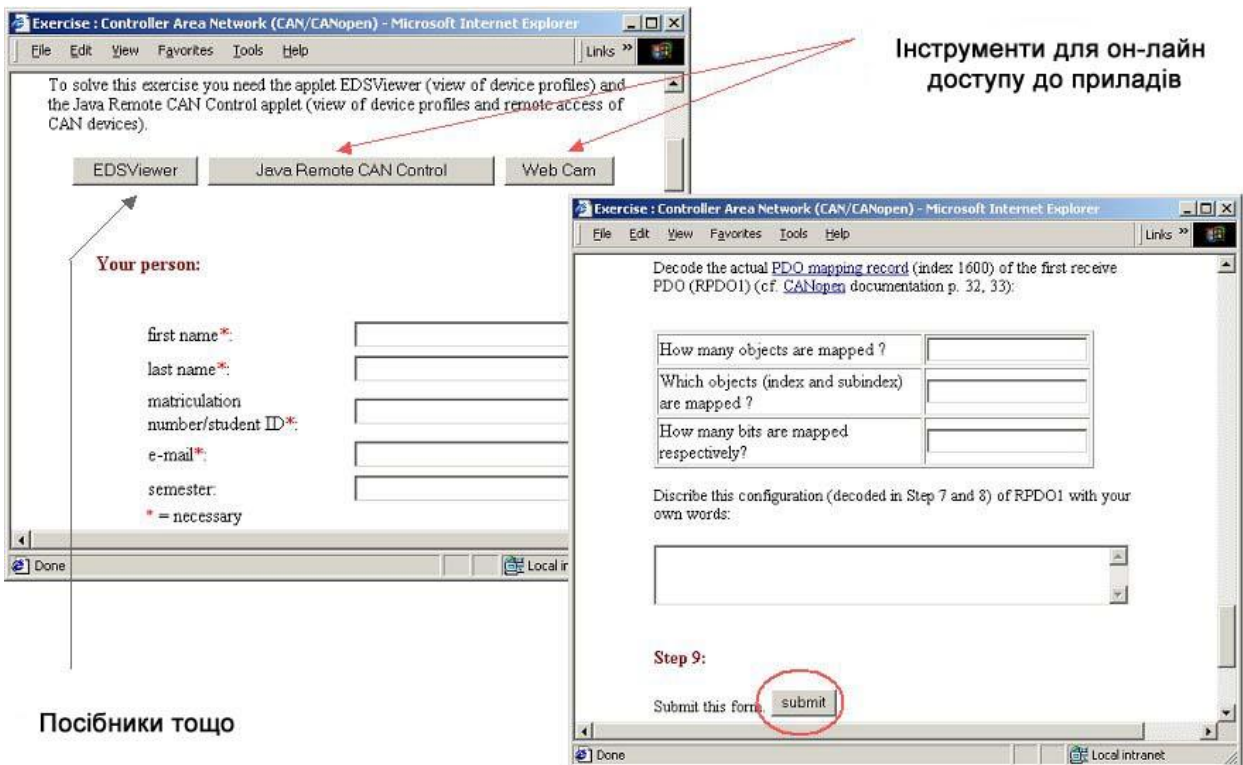


Рис. 10.18. Приклад покрокового посібника



Інструменти для он-лайн доступу до приладів

Посібники тощо

Рис. 10.19. Приклади елементів презентації дослідження

- можливість введення, передачі і збереження напрацьованих результатів;
- підтвердження передачі користувачеві;
- узагальнення результатів;
- зворотній зв'язок з користувачем (наприклад, підтвердження при вдалому перебігу).

Для адміністративного зв'язку з користувачем після проведення дослідів, як правило, використовується електронна пошта.

### **Керування наповненням телелабораторій**

Чітке розділення змісту (текст, зображення, пояснення тощо) і оформлення Інтернет-сторінок та інтерфейсів є рекомендованим з таких причин:

- просте обслуговування змісту можливо тільки так;
- підтримується відокремлене створення змісту;
- система керування наповненням є універсальною;
- підтримка різних національних мов.

Саме всебічна міжнародна кооперація у вищих навчальних закладах і дослідницькій роботі роблять підтримку кількох національних мов, як правило, неминучою.

Розділення змісту й оформлення вимагає при реалізації насамперед певних додаткових витрат, щоб інтерфейси і веб-сторінки мали можливість генеруватись динамічно. Ці витрати потім все ж таки окупляться сторицею. Особливо витратна – подальша перебудова.

Доступні на ринку системи керування наповненням відповідно до [39] пропонують такі функції:

- виготовлення, обробка та оновлення змісту;
- розміщення і переробка наповнення;
- повторне використання змісту;
- керування й організація наповнення.

З огляду на застосування в телелабораторіях систем керування наповненням, доступних у продажу, постає для подальшої роботи проблема інтерфейсів або інтеграції між обома системами.

### **Інтеграція в системи більш високого рівня**

Телелабораторії доступні через Інтернет. З цим пов'язана приваблива риса, що з комбінації експериментів із зовсім різних місць знаходження можна побудувати «віртуальні» лабораторії, які складаються з реальних пристроїв. Тут пропонується інтеграція у відповідний веб-портал, що надає користувачу велику кількість експериментів і направляє його за вибором необхідних для нього модулів.

Поряд з інтеграцією у портали пропонується об'єднання у навчальні платформи за темою. Базовані у Web навчальні платформи є за [39] встановленими на боці сервера програмним забезпеченням, яке допомагає передавати через Інтернет будь-який навчальний матеріал і підтримує

організацію необхідних при цьому навчальних процесів. Серед головних функціональностей навчальних платформ можна назвати такі:

- презентація наповнення;
- інструменти для комунікації між особами, які беруть участь;
- адміністрування учасників, наповнення, строків тощо;
- інструменти для створення завдань і вправ;
- допомога у перевірці та оцінюванні.

Як це легко помітити, названі функціональності більшою або меншою мірою належать також і до (орієнтованих на навчання) телелaboratorій. Постає проблема інтеграції телеекспериментів у такі навчальні платформи. Сьогодні навчальні платформи, як правило, не розраховані для цього. З цієї причини, так само як і з причини високої власної складності, телелaboratorії сьогодні в основному реалізовані у вигляді окремих систем, коли головні функціональності навчальних платформ розвинуті лише на початковому рівні. З причин великих витрат це може не мати вирішення навіть через довгий час; тому в майбутньому необхідно досягати (взаємного) перейняття функцій або складових частин систем.

### **Висновки**

У даному розділі розглянуті наведені нижче основні питання:

- технічні характеристики дослідів через Інтернет;
- типи експериментів на базі Інтернет;
- концепції віддаленого доступу;
- методи і компоненти реалізації телелaboratorій.

### **Контрольні питання**

1. Назвіть технічні характеристики дослідів через Інтернет.
2. Які проблеми виникають через невідому конфігурацію комп'ютера на боці клієнта?
3. Які типи експериментів можуть проводитися на базі Інтернет?
4. Чим відрізняються віддалені експерименти з експертом?
5. Чим відрізняються віддалені досліді користувачів під наглядом?
6. Чим відрізняються віддалені досліді з користувачами у невизначений час і з будь-якого місця?
7. Які особливості концепцій віддаленого доступу?
8. Які особливості методів реалізації телелaboratorій?
9. Які компоненти застосовуються при реалізації телелaboratorій?
10. Які особливості передачі зображень і звуку з телелaboratorій?
11. Яку мову програмування доцільно застосовувати для реалізації телеекспериментів?
12. Як впливають фаєрволи на роботу телелaboratorій?
13. На які технічно-організаційні аспекти телелaboratorій треба зважати?
14. Як виконується керування наповненням телелaboratorій?
15. Як виконується інтеграція телелaboratorій у системи більш високого рівня?

## ЧАСТИНА 3. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторний практикум містить у розділах 11–13 цикл взаємозв'язаних лабораторних робіт, в яких на прикладі робота МП-9С з пристроєм керування МПЦП (мікропроцесорний програмуючий цикловий пристрій) розглядаються і вивчаються питання з основ моделювання ПР у системі MATLAB, конструкції, привід та програмування промислових роботів з цикловим керуванням, а в розділах 14–15 – лабораторні роботи, які виконуються дистанційно через веб-сервіс лабораторій НГУ та РУТЕ.

Під час підготовки до виконання лабораторної роботи студент повинен:

- ознайомитися з методичними вказівками;
- підготувати звіт з виконання даної лабораторної роботи, який повинен включати все, що зазначено у змісті звіту (теоретичні відомості, рисунки, форми таблиць і графіків);
- скласти відповіді на контрольні питання, які наведені у методичних вказівках у кінці лабораторної роботи.

Під час проведення лабораторної роботи студент повинен:

- обов'язково дотримуватись правил охорони праці;
- виконати лабораторну роботу за відповідною методикою.

Після завершення лабораторної роботи студент повинен показати завдання викладачу (якщо він виконує її в університеті), а потім оформити звіт і захистити його.

### 11. ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ПР У СИСТЕМІ MATLAB

#### 11.1. Знайомство із системою MATLAB

##### Мета лабораторної роботи

Ознайомлення з головним вікном, меню, панеллю інструментів, пакетами розширення, довідковою системою та демонстраційними прикладами системи MATLAB.

##### Організація виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій і методичні вказівки, такі питання:

- а) головне вікно, меню і панель інструментів MATLAB;
- б) пакети розширення MATLAB;
- в) довідкова система MATLAB;
- г) демонстраційні приклади системи MATLAB.

Далі виконати такі дії:

- а) відкрити демонстраційний файл Microsoft Power Point – Matlab.ppt, ретельно ознайомитися з ним та законспектувати;
- б) запустити MATLAB та ознайомитися з головним вікном, меню і панеллю інструментів системи MATLAB;

- в) за допомогою довідкової системи MATLAB:
- отримати довідку із синтаксису таких математичних функцій: `sqrt`, `exp`, `sin`, `cos`, `tan`, `atan`, `log`, `rand` та законспектувати синтаксис цих команд;
  - відшукати за індексним каталогом довідкову інформацію про головне вікно системи MATLAB;
- г) відкрити майстер демонстрацій DEMOS та подивитися наведені приклади застосування системи MATLAB.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) тему і мету лабораторної роботи;
- б) конспект демонстраційного файлу `Matlab.ppt`;
- в) конспект довідки з синтаксису заданих математичних функцій;
- г) перелік можливостей системи MATLAB.

### **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. Що таке система MATLAB?
2. З яких частин складається система MATLAB?
3. Назвіть елементи головного вікна системи MATLAB.
4. Які вікна можна відобразити або сховати у складі головного вікна за допомогою меню `View`?
5. Назвіть пункти головного меню системи MATLAB.
6. Яким чином можна запустити демонстраційні приклади системи MATLAB?
7. Яке призначення вікна `Command History`?
8. Командою якого пункту меню можна копіювати виділені фрагменти у буфер?
9. Яким чином можна відкрити загальний довідник системи MATLAB?
10. Як знайти довідку для конкретної функції?
11. Які є варіанти роботи довідкової системи MATLAB?
12. Назвіть сфери застосування системи MATLAB.
13. Який елемент даних є головним у системі MATLAB?
14. Який синтаксис має функція у системі MATLAB?



## 11.2. Вивчення можливостей системи MATLAB

### Мета лабораторної роботи

Отримати практичні навички роботи з командним вікном MATLAB.

### Організація виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій і методичні вказівки, такі питання:

- а) командний режим роботи у системі MATLAB;
- б) головні об'єкти системи MATLAB;
- в) формування упорядкованих числових послідовностей.

Далі відкрити систему MATLAB та виконати такі вправи:

- a=2
- a=2.0
- a=1:6
- a=10:0.5:-2
- b=2.5
- b=0.2
- b=.2
- 2+3
- sin(1)
- help sin
- pi
- e=eps
- i
- 4+exp(3)/2
- sqrt(y)/5
- c=sin((pi/2)^3)
- realmin
- d=realmax
- 1/0
- 0/0
- 'Welcome to MATLAB '
- 'cos(45/pi\*exp(3))'

Потім виконати вправи щодо формування упорядкованих числових послідовностей:

- 3:8
- i = -6:2:10
- a = 9:-2:-3
- v = 0:2\*pi\*10
- a = 1:-0.5:0
- sin(0:0.5:2)

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) тему і мету лабораторної роботи;
- б) запис командного рядка виконання кожного пункту завдання та результат виконання дій у вигляді табл. 11.1.

Таблиця 11.1

### Приклади виконання дій

Команда	Результат виконання команди
...	...

### **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. У якому режимі здійснюється робота у командному вікні MATLAB?
2. Яким чином ведеться робота у командному вікні MATLAB?
3. Який знак необхідно поставити для блокування виводу результату розрахунків виразу?
4. У яку змінну MATLAB повертає значення результату обчислень, якщо змінна не була вказана користувачем?
5. Чи можливо задавати вкладені аргументи функціям?
6. Що таке змінна?
7. Що таке константа?
8. Що таке символна константа?
9. Яким чином необхідно задавати імена змінним?
10. Наведіть конструкцію оператора „:” (двокрапка).
11. Яким чином формується послідовність даних з використанням оператора „:”?
12. Яким чином можна отримати доступ до необхідного елемента масиву?
13. Які керуючі клавіші використовуються для редагування команд MATLAB у режимі командного рядка?
14. Яким чином здійснюється визначення типу даних у системі?

### **11.3. Операції з векторами та матрицями**

#### **Мета лабораторної роботи**

Здобути практичні навички роботи з векторами та матрицями у системі MATLAB.

#### **Організація виконання лабораторної роботи**

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій і методичні вказівки, такі питання:

- а) вектори та матриці у системі MATLAB;
- б) оператори для роботи з масивами у системі MATLAB;
- в) функції системи MATLAB для роботи з векторами.

Далі із заданими властивостями створити:

- а) магічну матрицю  $M$  розміром  $4 \times 4$ ;
- б) матрицю  $E$  (одиничну) розміром  $5 \times 3$ ;
- в) випадкову матрицю  $R$  розміром  $4 \times 4$ ;
- г) матрицю  $B$ , що складається з одиниць, розміром  $4 \times 4$ ;
- д) матрицю  $C$ , що складається з нульових елементів, розміром  $3 \times 4$ ;
- е) лінійний масив крапок з рівними відстанями між ними.

Потім виконати такі дії над матрицями:

- а) транспонувати матрицю  $M$ ;
- б) визначити максимальні та мінімальні елементи стовпців та рядків матриці  $M$ ;
- в) знайти суму елементів стовпців і суму елементів рядків для матриці  $M$ ;
- г) знайти максимальні елементи двох матриць ( $M$  і  $R$ );
- д) об'єднати матриці  $B$  та  $M$  відповідно горизонталі;

- е) об'єднати матриці R та M відповідно вертикалі;
- ж) знайти детермінант матриці M;
- и) видалити третій стовпець у матриці R та перший рядок;
- к) знайти добуток двох матриць;
- л) знайти значення виразу  $\cos(M)/R$ .

Далі у матриці A розміром 5x5, яка задана діапазоном, за допомогою функції **find** знайти всі елементи, які більше 13 та замінити їх числом 22.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) тему і мету лабораторної роботи;
- б) запис командного рядка виконання кожного пункту завдання та результат виконання дій у вигляді табл. 11.1.

### **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. Які правила запису матриць та векторів у системі MATLAB?
2. Яким чином здійснюється доступ до зазначеного елемента масиву?
3. Чи можливо у ролі елемента масиву використати арифметичний вираз?
4. За допомогою оператора „:” (двокрапка) та правил запису матриць наведіть вираз для формування матриці розміром 5x5.
5. Які способи формування матриць та векторів доступні у системі MATLAB?
6. Що таке оператор?
7. Що таке операнд?
8. За допомогою яких операторів виконуються поелементні дії над масивами?
9. Що таке функція, призначення функцій?
10. Які властивості має магічна матриця?
11. Який результат повертають функції sum та max?
12. Яким чином у матриці розміром 6x6 видалити третій рядок та п'ятий стовпець?
13. Який результат повертає функція find?
14. Що значить транспонувати матрицю?

## 11.4. Побудова графіків функцій

### Мета лабораторної роботи

Здобути практичні навички застосування стандартних функцій системи MATLAB для побудови графіків функцій.

### Організація виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій та методичні вказівки, такі питання:

- а) побудова дво- та тривимірних графіків, гістограм у системі MATLAB;
- б) керування графічним вікном системи MATLAB;
- в) функції системи MATLAB для побудови графіків та діаграм.

Далі у чотирьох дочірніх вікнах єдиного графічного вікна побудувати:

- а) графіки функцій  $Y1 = e^{\sqrt{x}}$  (рожева безперервна лінія) та  $Y2 = 10 \cdot \sin(5x) + \cos(3x^2)$  (сині зірки) для  $x = 0 \dots 2\pi$  з кроком 0,1;

- б) графік функції  $Y = \sqrt{x}$  (обидві частини графіку);

- в) тривимірну пофарбовану поверхню функції

$$Z = (3x^2 + y - 9)^2 + (10x + 2y^2 - 15)^2 \text{ для } x = -10 \dots 10 \text{ з кроком } 0,25,$$

$$y = -10 \dots 10 \text{ з кроком } 0,25. \text{ Вивести шкалу фарбування;}$$

- г) гістограму залежності другого стовпця від першого для масиву  $Q = [2 \ 4; 4 \ 6; 6 \ 2; 8 \ 13; 10 \ 5; 12 \ 7]$ .

При цьому у кожному з дочірніх вікон повинні бути позначення на осях, назва графіка, координатна сітка, задано типи ліній, легенда.

Потім побудувати графік функції  $y = \frac{\exp(x)}{x}$  у логарифмічному масштабі. На графіку повинні бути позначення на осях, назва графіка, координатна сітка, легенда, задано типи ліній.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) тему і мету лабораторної роботи;
- б) запис командної строки виконання кожного пункту завдання та результат виконання дій у вигляді табл. 11.1;
- в) графіки побудованих функцій.

### Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи

1. Які дії треба виконати для побудови графіка функції  $y(x)$ ?
2. Перелічіть команди побудови графіків.
3. Яким чином задається сукупність точок  $y(x)$  у MATLAB?
4. Назвіть призначення рядкової константи та перелічіть команди, у яких вона використовується та з якою метою.
5. Які специфікатори використовуються для визначення рядкової константи при використанні функції plot?

6. Що відбувається, коли рядкова константа для функції plot не вказана?
7. Якого розміру повинні бути вектори, що визначають координати точок графіка?
8. Перелічіть способи, за допомогою яких можна задати область значень для функції.
9. Яким чином можна побудувати в одному графічному вікні декілька графіків?
10. За допомогою якої команди можна в одному графічному вікні розташувати декілька областей виведення графіків?
11. Яким чином можна нанести на графік написи, легенду, координатну сітку, надати назву осям?
12. Поясніть синтаксис команди meshgrid.
13. Що таке логарифмічний масштаб?
14. Поясніть результат виконання команди bar(Y).

### **11.5. Використання операторів IF та FOR**

#### **Мета лабораторної роботи**

Здобути практичні навички використання умовного оператора IF та оператора циклу FOR.

#### **Організація виконання лабораторної роботи**

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій і методичні вказівки, такі питання:

- а) умовний оператор IF у MATLAB;
- б) оператор циклу FOR у MATLAB;
- в) розробка схеми алгоритму.

Далі розробити схему алгоритму виконання сценарію відповідно варіанта завдання (табл. 11.2).

Створити сценарій для розрахунку ординат функції та побудувати її графік при зміні  $x$  у заданому інтервалі. На графіку повинні бути позначення на осях, назва графіка, координатна сітка, задано типи ліній, легенда.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) тему і мету лабораторної роботи;
- б) умову завдання за варіантом;
- в) схему алгоритму виконання сценарію;
- г) текст сценарію;
- д) графік функції.

#### **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. З якою метою для виконання задачі використовується оператор IF?
2. З якою метою для виконання задачі використовується оператор FOR?
3. Що таке змінна циклу?
4. Які керуючі структури має MATLAB?
5. Яка мета використання індексів?

## Варіанти завдання

№ варіанта	Діапазон значень	Кількість ординат	Кількість інтервалів	Функції на інтервалі
1	0÷50	30	6	$y=x$ ; $y=10$ ; $y=2x$ ; $y=10$ ; $y=3x$ ; $y=10$
2	5÷10	60	4	$y=2x$ ; $y=1/x$ ; $y=x^2$ ; $y=15$
3	0÷100	40	3	$y=\cos 3x$ ; $y=\sin x^3$
4	10÷10	45	3	$y=\cos 3x/x$ ; $y=5x+1/x$ ; $y=\operatorname{tg} x$
5	0÷25	20	4	$y=x$ ; $y=1/x+6$ ; $y=(x+5)^3$ ; $y=\operatorname{arctg} 2x/x$
6	0÷16	25	5	$y=20$ ; $y=1/x$ ; $y=e^{2\pi}$ ; $y=(5x)^3$ ; $y=x^2+x^3$
7	2÷20	30	4	$y=e^{-\pi}$ ; $y=10$ ; $y=e^{2\pi}$ ; $y=-10$
8	20÷20	40	3	$y=5$ ; $y=x^2$ ; $y=5$
9	0÷20	30	3	$y=5x$ ; $y=x^2$ ; $y=5/x$
10	-100÷100	50	5	$y=\cos(3+x)$ ; $y=10$ ; $y=1/x$ ; $y=-10$ ; $y=\sin x^3$
11	$-2\pi$ ÷ $3\pi$	30	4	$y=\sin x$ ; $y=\sin 2x$ ; $y=\sin 3x$ ; $y=\sin 4x$
12	$-2\pi$ ÷ $2\pi$	25	4	$y=\sin x$ ; $y=\cos x$ ; $y=\sin 2x$ ; $y=\cos 2x$
13	0÷40	40	3	$y=\sqrt{x}$ ; $y=\sqrt{x^{2\pi}}$ ; $y=0,5$
14	-20÷20	35	4	$y=4x^3+5x^2+2x+8$ ; $y=10$ ; $y=e^{-\pi}$ ; $y=12^x$
15	5÷50	55	3	$y=e^{-x}$ ; $y=e^x$ ; $y=e^{-2x}$ ; $y=e^{-3x}$
16	-1÷1	10	3	$y=1/\sqrt{x}$ ; $y=1/2x$ ; $y=5x$ ; $y=e^{-x}$
17	-10÷20	60	5	$y= 4x $ ; $y=3$ ; $y=5,6x+9$ ; $y=-3$ ; $y=\log_2(x)$
18	0÷200	50	4	$y=1$ ; $y=2$ ; $y=3$ ; $y=3$ ; $y=e^{-3x}$
19	$-\pi$ ÷ $4\pi$	40	3	$y=-100$ ; $y=\operatorname{csc}(x)$ ; $y=\operatorname{csc}(x)$
20	0÷43	25	4	$y=1$ ; $y=\operatorname{atg}(x)$ ; $y=\operatorname{atg}(-x)$ ; $y=1/x$
21	15÷-50	40	3	$y=2x^3$ ; $y=x^{-2}$ ; $y=y=\cos 3x/x$
22	1÷110	55	4	$y=x$ ; $y=6$ ; $y=\operatorname{acos}(x)$ ; $y=e^{-p}$
23	$-4\pi$ ÷ $4\pi$	60	2	$y=\operatorname{acot}(x)$ ; $y=\cos(4x)$
24	0÷ $2\pi$	30	2	$y=-x^x$ ; $y=\ln(x)$
25	2÷-20	45	3	$y=\log_{10}(x)$ ; $y=\ln(3x)$ ; $y=8x+1/2x$

6. Які оператори відношення використовуються для запису умови керуючої структури?
7. З якою метою необхідно обчислювати крок збільшення значень у заданому діапазоні?
8. Яку конструкцію має оператор IF?
9. Яке призначення оператора break?
10. Поясніть призначення запису for i=1:length(x).
11. Яким чином забезпечують нелінійність програм?
12. Які є варіанти використання оператора IF?
13. Яким чином можна записати умову для керуючої структури?
14. Яким чином визначається крок збільшення значень?

## **11.6. Програмування у системі MATLAB**

### **Мета лабораторної роботи**

Здобути практичні навички створення m-файлу для реалізації функції розширення системи MATLAB.

### **Організація виконання лабораторної роботи**

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій і методичні вказівки, такі питання:

- а) створення m-файлу;
- б) редактор m-файлів.

Потім розробити схему алгоритму виконання m-файлу-функції відповідно варіанта завдання.

Створити файл-функцію згідно з розробленим алгоритмом.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) тему і мету лабораторної роботи;
- б) умову завдання за варіантом;
- в) схему алгоритму виконання m-файлу-функції;
- г) текст m-файлу-функції;
- д) результати роботи m-файлу-функції.

### **Варіанти завдання**

#### **№ 1**

Створити M-функцію для розрахунку та побудови графіка функції

$$y = \frac{2x}{e^{x-3}}$$

при зміні  $x$  від  $x_{\min}$  до  $x_{\max}$ . Як вхідні дані використовувати початкове та кінцеве значення вектора  $x$ . На графіку повинні бути позначення на осях, назва графіка, координатна сітка, задано типи ліній.

## № 2

Створити М-функцію, що повертає вектор-стовпець сум елементів магічних матриць порядку від 1 до  $n$ . Як вхідні дані для М-функції використовувати порядок матриць ( $n$ ).

## № 3

Створити М-функцію для визначення довжини вектора, суми його елементів, розміру вектора, створити елемент з мінімальним значенням, елемент з максимальним значенням, розмах значень елементів, середнє арифметичне значення вектора. Як вхідні дані для М-функції використовувати розмір масиву ( $n$ ).

## № 4

Створити М-функцію для визначення суми парних стовпців заданої матриці довільного розміру та знаходження їх кількості. Як вхідні дані для М-функції використовувати визначену раніше матрицю.

## № 5

Створити М-функцію для визначення середнього значення елементів масиву довільного розміру. Якщо вхідний аргумент – скаляр, генерується повідомлення про помилку (використати функцію `error('текст')`). Як вхідні дані для М-функції використовувати визначений раніше масив.

## № 6

Створити М-функцію для визначення факторіала вказаного числа. Якщо введено число 1, генерується повідомлення про помилку (використати функцію `error('текст')`). Як вхідні дані для М-функції використовувати число, для якого необхідно визначити факторіал.

## № 7

Створити М-файл-функцію для визначення кількості нульових елементів матриці  $A(m \times n)$ . Якщо нульових елементів не знайдено, необхідно вивести повідомлення про їх відсутність. Як вхідні дані для М-функції використовувати визначену раніше матрицю  $A$ .

## № 8

Зробити М-функцію для складання вектора елементів, значення яких – порівняні один до одного елементи двох матриць. Як вхідні дані для М-функції використовувати дві раніше визначені матриці.

## № 9

Створити М-функцію для повернення назад двох векторів. Перший вектор складається з елементів матриці більших за нуль, другий – з елементів матриці менших за нуль. Як вхідні дані для М-функції використовувати раніше визначену матрицю  $A$ .



#### № 10

Створити М-функцію для повернення назад двох векторів. Перший вектор складається з мінімальних елементів матриці, другий – з максимальних. Як вхідні дані для М-функції використовувати раніше визначену матрицю А. Стандартні функції не застосовувати.

#### № 11

Створити М-функцію, яка б у діалоговому режимі виконувала запит на введення діапазону векторів  $X_1$  та  $X_2$ , що змінюються від  $X_{\min}$  до  $X_{\max}$ . За вказаними даними визначити область значень та побудувати в одному графічному вікні графіки функцій  $Y_1 = \arccos(X_1)$ ;  $Y_2 = \sqrt{X_2^{2\pi}}$ . На графіку повинні бути позначення на осях, назва графіка, координатна сітка, задано типи ліній.

#### № 12

Створити М-файл-функцію, яка у вихідній матриці  $A(m \times n)$  замінювала б перший рядок, останній стовпець та елементи головної діагоналі максимальним елементом матриці. Як вхідні дані для М-функції використовувати раніше визначену матрицю.

#### № 13

Створити М-функцію для повернення вектора індексів елементів вектора розміром  $(1, n)$ . Індекс повинен складатися з двох елементів, перший – номер рядка, другий – номер стовпця. Як вхідні дані для М-функції використовувати раніше визначений вектор.

#### № 14

Створити М-функцію для визначення суми елементів матриці, їх кількості та їх добутку. Як вхідні дані для М-функції використовувати раніше визначену матрицю. Стандартні функції не застосовувати.

#### № 15

Зробити М-функцію, що створює одиничну матрицю довільного розміру, присвоює елементам першого й останнього рядків та елементам головної діагоналі задане число. Як вхідні дані для М-функції використовувати число, яке буде присвоєно вказаним елементам матриці.

#### № 16

Створити М-функцію, яка формує магічну матрицю розміром  $n$ . У матриці треба відшукати всі елементи, які менш ніж елемент  $M(3,2)$ , та сформувані з них вектор, знайти добуток і кількість тих елементів, що не відповідають заданій умові. Як вхідні дані для М-функції використовувати розмір матриці. Стандартні функції не застосовувати.

#### № 17

Створити M-функцію, яка в масиві  $M=[8\ 4\ 0;5\ 0\ 2;0\ 0\ 4]$  за допомогою функції `find` відшукала б елементи більші за 0 та менші за 5. Як вхідні дані для M-функції використовувати раніше визначену матрицю M. Функція повинна повернути назад два вектори – для елементів більших за 0 і менших за 5.

#### № 18

Створити M-функцію для обробки створеного вектора-стовпця довільного розміру. Результати обробки: довжина вектора, сума парних елементів та кількість непарних. Як вхідні дані для M-функції використовувати розмір масиву ( $n$ ).

#### № 19

Створити M-функцію, яка в магичній матриці розміром  $n$  виводила б створену магичну матрицю та матрицю, в якій видалені стовпець ( $n-2$ ) і рядок ( $n-3$ ). Як вхідні дані для M-функції використовувати раніше визначену матрицю.

#### № 20

Створити M-функцію для розрахунку та побудови графіків функцій  $Y_1=200e^{-0.05x}\sin(x)$  та  $Y_2=0,8e^{-0.05x}\sin(10x)$ . Як вхідні дані необхідно використовувати початкове [0], кінцеве значення [20] та крок зміни [0,01] вектора  $x$ . На графіку повинні бути позначення на осях, назва графіка, координатна сітка, задано тип та колір ліній, вказані вузлові точки.

#### № 21

Створити M-функцію, що як вхідні дані буде використовувати дві матриці розміром  $5 \times 5$  – випадкову (таку, в якій елементи більші за одиницю) і магичну. Необхідно об'єднати матриці відповідно вертикалі та за допомогою функції `find` знайти елемент, що дорівнює 10. Далі слід видалити рядок і стовпець, на перехресті яких знаходиться цей елемент та як вихідні дані вивести перетворену матрицю. Якщо елемента, що відповідає умові, не знайдеться, вивести повідомлення про помилку (використати функцію `error('текст')`).

#### № 22

Створити M-функцію для побудови трьох функцій  $Y_1=\sin(x^2)$ ,  $Y_2=\cos(x/2)$  та вектор  $X$  (з цією метою використовується функція `plot3(X,Y,Z)`).  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  – це вектори, які треба побудувати. Як вхідні дані для M-функції використовувати вектор  $X$  (початкове [0], кінцеве значення [ $10\pi$ ] і крок зміни [ $\pi/50$ ]). На графіку повинні бути позначення на осях, назва графіка, координатна сітка.

#### № 23

Створити М-функцію для побудови тривимірного об'єкта. Як вхідні дані для М-функції використовувати показник ступеня  $k$  (повинен дорівнювати 5). У тілі функції необхідно виконати обчислення аргументу для функції `sphere(n)`, яка генерує сукупність точок для побудови сфери ( $n = 2^{k-1}$ ;). Для надання об'єкту вигляду кулі треба використати команду `axis equal`.

#### № 24

Зробити М-функцію для створення символьного масиву. Як вхідні дані для М-функції використовувати дві символьні змінні. У масиві треба відшукати за допомогою функції `find` елементи, які відповідають символу першої з уведених змінних, та замінити їх символом, який містить друга змінна. М-функція повертає назад вихідний та перетворений рядки символів.

#### № 25

Зробити М-функцію для створення магічної матриці розміром  $n$ , у якій елементам головної та побічної діагоналей треба присвоїти символ 'S', а парним елементам – символ 'Q'. Як вхідні дані для М-функції використовувати розмір матриці.

### Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи

1. У якому вигляді зберігаються програми MATLAB?
2. Назвіть властивості М-файлу-функції.
3. Що таке програмні модулі?
4. Чи можливо використовувати створені m-файли-функції в арифметичних виразах?
5. Назвіть відмінності m-файлу-сценарію та m-файлу-функції.
6. Яким службовим словом починається m-файл-функція?
7. Перелічіть елементи структури заголовка m-файлу-функції.
8. Яка відмінність вхідної мови від мови програмування MATLAB?
9. Яким чином можна вказати декілька вихідних параметрів?
10. Які вимоги повинні виконуватися для надання ім'я m-файлу?
11. Яким оператором треба скористатися в тілі функції, щоб запобігти виводу попередніх розрахунків?
12. Якій змінній треба присвоїти результат виконання m-файлу-функції?
13. Чому у робочому просторі не зберігаються значення внутрішніх змінних m-файлу-функції?
14. Яку вимогу треба виконати, щоб скористатися m-файлом-функцією?

## **12. ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ПРИВОДУ ПР**

### **12.1. Пневматичний привід ПР МП-9С**

#### **Мета лабораторної роботи**

Ознайомлення з конструкцією та принципом роботи пневматичного приводу ПР МП-9С.

#### **Організація виконання лабораторної роботи**

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій і методичні вказівки, такі питання:

- а) технічні характеристики ПР МП-9С;
- б) типові елементи пневматичних приводів ПР;
- в) принцип роботи пристроїв ПР, які демпфують;
- г) принцип роботи пневматичних приводів ПР МП-9С та особливості процесів, які проходять у ньому.

Далі, користуючись даними технічних характеристик ПР МП-9С, розрахувати час робочого циклу для заданого викладачем технологічного процесу, поданого в табл. 12.1, де перша цифра вказує № приводу (рис. 2.1), а друга – позицію, у яку треба його перевести.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) тему і мету лабораторної роботи;
- б) основні технічні характеристики ПР МП-9С;
- в) пневматичну схему приводу ПР МП-9С;
- г) схему гідравлічного амортизатора;
- д) розрахунок часу робочого циклу для наданого технологічного процесу.

#### **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. Які відомі негативні фактори недостатнього демпфірування руху ступенів рухомості ПР?
2. Поясніть фізичні основи регулювання швидкості пневматичних двигунів.
3. Укажіть способи демпфірування кожного ступеня рухомості ПР.
4. Поясніть принцип дії пневматичного приводу ПР.
5. Які способи регулювання швидкості вихідної ланки пневматичного двигуна ПР МП-9С використовуються?
6. Як працює пневматичний розподільник?
7. Які умовні позначення використовуються на схемі розподільника?
8. Якими вузлами може бути доповнена наведена в лабораторній роботі схема пневматичного приводу?
9. За рахунок чого рухається у пневматичних двигунах вихідна ланка (поршень із штоком)?
10. Які можна назвати основні елементи пневматичного приводу?
11. Що називається робочим циклом ПР?
12. Якою залежністю пов'язані швидкість поршня двигуна і витрати повітря?

## Порядок включення ступенів рухомості та захоплювача ПР

№ вар.	Порядок включення (умовні найменування руху)							
	1	1-1	2-1	3-1	6-2	3-2	6-1	2-2
2	3-1	6-2	3-2	2-1	1-1	6-1	1-2	2-2
3	1-1	2-1	6-2	2-2	3-1	6-1	3-2	1-2
4	6-2	3-1	2-1	1-1	6-1	1-2	2-2	3-2
5	1-1	3-1	2-1	6-2	2-2	6-1	3-2	1-2
6	3-1	6-2	3-2	1-1	2-1	6-1	2-2	1-2
7	1-1	3-1	6-2	3-2	2-1	6-1	2-2	1-2
8	6-2	3-1	1-1	2-1	6-1	2-2	1-2	3-2
9	2-1	1-1	3-1	6-2	3-2	6-1	1-2	2-2
10	2-1	6-2	2-2	3-1	1-1	6-1	1-2	3-2
11	2-1	1-1	6-2	1-2	3-1	6-1	3-2	2-2
12	6-2	2-1	3-1	1-1	6-1	1-2	3-2	2-2
13	2-1	3-1	1-1	6-2	1-2	6-1	3-2	2-2
14	2-1	6-2	2-2	1-1	3-1	6-1	3-2	1-2
15	2-1	3-1	6-2	3-2	1-1	6-1	1-2	2-2
16	6-2	2-1	1-1	3-1	6-1	3-2	1-2	2-2
17	3-1	1-1	2-1	6-2	2-2	6-1	1-2	3-2
18	1-1	6-2	1-2	3-1	2-1	6-1	2-2	3-2
19	3-1	1-1	6-2	1-2	2-1	6-1	2-2	3-2
20	6-2	1-1	3-1	2-1	6-1	2-2	3-2	1-2
21	3-1	2-1	1-1	6-2	1-2	6-1	2-2	3-2
22	1-1	6-2	1-2	2-1	3-1	6-1	3-2	2-2
23	3-1	2-1	6-2	2-2	1-1	6-1	1-2	3-2
24	6-2	1-1	2-1	3-1	6-1	3-2	2-2	1-2
25	1-1	2-1	3-1	6-2	3-2	6-1	2-2	1-2
26	3-1	6-2	3-2	2-1	1-1	6-1	1-2	2-2
27	1-1	2-1	6-2	2-2	3-1	6-1	3-2	1-2
28	6-2	3-1	2-1	1-1	6-1	1-2	2-2	3-2

13. Який спосіб регулювання швидкості поршня дозволяє одержати кращі динамічні характеристики приводу?
14. Які конструктивні особливості мають окремі вузли пневматичного приводу ПР МП-9С?
15. Які відомі основні технічні характеристики ПР МП-9С?

## **12.2. Спеціальні системи координат**

### **Мета лабораторної роботи**

Ознайомлення із спеціальними системами координат

### **Організація виконання лабораторної роботи**

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій та методичні вказівки, такі питання:

а) визначення маніпулятора, ступенів рухомості, вхідних і вихідних ланок маніпулятора;

б) порядок вибору спеціальних систем координат;

в) порядок вирішення прямої задачі кінематики;

г) розширена матриця перетворення.

Для заданого варіанта (табл. 12.2) намалювати умовну і конструктивну кінематичні схеми маніпулятора в аксонометрії з проставленими номерами ланок.

Вибрати спеціальні системи координат відповідно намальованої конструктивної кінематичної схеми маніпулятора.

Занести типи пар і значення параметрів маніпулятора у табл. 12.3.

Знайти матриці  $A_i$  для всіх ланок маніпулятора.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

а) тему і мету лабораторної роботи;

б) умовну кінематичну схему;

в) конструктивну кінематичну схему маніпулятора в аксонометрії з вибраними спеціальними системами координат і проставленими номерами ланок;

г) таблицю, де вказати типи пар, значення параметрів маніпулятора і матриці  $A_i$ .

### **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. Дайте визначення маніпулятора.
2. Дайте визначення ступенів рухомості.
3. Дайте визначення вхідної ланки маніпулятора.
4. Дайте визначення вихідної ланки маніпулятора.
5. Що таке кінематична пара?
6. Які методи застосовуються для опису кінематики і динаміки ПР?
7. Дайте визначення спеціальних систем координат.

Дані для кінематичної схеми маніпулятора

№ вар.	1-ша пара	Кут	2-га пара	Кут	3-тя пара	Кут	4-та пара	Координати захоплювача		
								X	Y	Z
1.	0	P	1		1	P	1	-100	200	150
2.	1		0	P	1		1	150	-210	200
3.	0	P	0		1	P	1	-200	-220	250
4.	1		1	P	1		1	-150	230	300
5.	0	P	1		0	P	1	100	-240	350
6.	1		0	P	0		1	-150	-250	400
7.	0	P	0		0	P	1	-100	260	450
8.	1		1	P	0		1	250	-270	400
9.	0	P	1		1	P	0	-200	-280	300
10.	1		0	P	1		0	-200	290	250
11.	0	P	0		1	P	0	150	-275	200
12.	1		1	P	1		0	-100	-265	150
13.	0	P	1		0	P	0	-150	255	200
14.	1		0	P	0		0	100	-245	250
15.	0	P	0		0	P	0	-200	-235	300
16.	1		1	P	0		0	-150	225	350
17.	0	P	1	P	1		1	-110	-115	420
18.	1		0		1	P	1	160	-125	370
19.	0	P	0	P	1		1	-210	135	320
20.	1		1		1	P	1	-260	-145	270
21.	0	P	1	P	0		1	210	-155	220
22.	1		0		0	P	1	-160	165	170
23.	0	P	0	P	0		1	-110	-175	230
24.	1		1		0	P	1	170	-185	280
25.	0	P	1	P	1		0	-230	195	330
26.	1		0		1	P	0	-290	-205	380
27.	0	P	0	P	1		0	-230	215	420
28.	1		1		1	P	0	170	-225	470
29.	0	P	1	P	0		0	-140	235	440
30.	1		0		0	P	0	-110	-245	410
31.	0	P	0	P	0		0	180	-255	380
32.	1		1		0	P	0	-270	265	350

8. Як визначається вісь обертальної пари?
9. Як визначається вісь поступальної пари?
10. Як вибирається вісь  $X_0$  спеціальних систем координат?
11. Як вибирається вісь  $X_i$  спеціальних систем координат?
12. Як вибирається вісь  $Y_i$  спеціальних систем координат?

## Приклад таблиці для занесення параметрів маніпулятора

№ кінематичної пари	Тип пари	Ланки $i$ -ї пари	Значення параметрів маніпулятора			
			$\Theta$	$S$	$d$	$\alpha$
...	...	...	...	...	...	...

13. Як вибирається вісь  $Z_i$  спеціальних систем координат?
14. Як вибирається початок координат системи  $O$  спеціальних систем координат?
15. Як вибирається початок координат  $i$ -ї системи спеціальних систем координат?
16. Якзначаються спеціальні системи координат?
17. Що називається центром захоплювача?
18. Якзначаються матриці  $A_i$  для всіх ланок маніпулятора?
19. Як можна перетворити  $i-1$  систему координат в  $i$ -ту?
20. Що таке розширена матриця перетворення?
21. Який параметр матриці  $A_i$  має бути змінною величиною для обертальної пари?
22. Який параметр матриці  $A_i$  має бути змінною величиною для поступальної пари?

**12.3. Пряма та обернена задачі кінематики****Мета лабораторної роботи**

Ознайомлення з прямою та оберненою задачами кінематики.

**Організація виконання лабораторної роботи**

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій та методичні вказівки, такі питання:

- а) розв'язок прямої задачі кінематики;
- б) розв'язок оберненої задачі кінематики;
- в) порядок графічної перевірки розв'язку оберненої задачі кінематики.

Далі для заданого варіанта (табл. 12.2) розв'язати пряму, а потім обернену задачі кінематики (матриці  $A_i$  узяти з попередньої лабораторної роботи).

Перевірити результати розв'язку оберненої задачі графічним способом.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) назву і мету лабораторної роботи;
- б) розв'язок прямої задачі кінематики;
- в) розв'язок оберненої задачі кінематики;
- г) результати графічної перевірки розв'язку оберненої задачі.



## Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи

1. Що таке пряма задача кінематики?
2. Як розраховується матриця  $T_i$  ?
3. Яке геометричне тлумачення мають стовпці матриці  $T_i$  ?
4. Що однозначно встановлює положення й орієнтацію захоплювача у системі координат  $O$  (стояка)?
5. Що таке обернена задача кінематики?
6. Що таке узагальнені координати?
7. Скільки величин потрібно для визначення положення захоплювача?
8. Які величини потрібно для визначення положення захоплювача?
9. Коли одному положенню захоплювача відповідають різні набори значень узагальнених координат?
10. Скільки величин треба задати для попадання центра захоплювача у визначену точку простору при будь-якій орієнтації захоплювача?
11. Як виконується графічна перевірка розв'язку оберненої задачі кінематики?
12. Як треба малювати проекцію маніпулятора зверху при перевірці розв'язку оберненої задачі кінематики?

## 13. ВИВЧЕННЯ ЦИКЛОВИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПР

### 13.1. Структура та режими роботи циклової системи керування

#### Мета лабораторної роботи

Ознайомлення з системою керування промислового робота, його структурою та режимами роботи.

#### Організація виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій та методичні вказівки, такі питання:

- а) технічні характеристики МПЦП;
- б) структурна схема МПЦП та призначення окремих його вузлів;
- г) особливості та склад ПУ МПЦП;
- д) режим роботи МПЦП і порядок їх перемикань;
- е) конфігурація внутрішньої структури пристрою у кожному режимі;
- ж) особливості роботи МПЦП у режимі “Функціональна клавіатура”;
- и) особливості роботи з програмою-емулятором РТК.

Далі перевести програму-емулятор у варіант ПР і, користуючись клавіатурою персонального комп'ютера, послідовно виконати перемикання емулятора МПЦП у кожний з восьми можливих режимів, одержані дані занести в табл. 13.1.

Таблиця 13.1

Приклад таблиці для занесення даних

Клавіші, які натискались	Стан індикації режиму роботи					Стан однорядкового дисплея	Коментар
	А	Р	К	УП	ПП		
...	...	...	...	...	...	...	...

Перемкнути МПЦП у режим “Функціональна клавіатура”. Перевірити таблицю перемикання датчиків та електромагнітів пневморозподільників для зазначеного викладачем ПР.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) назву та мету роботи;
- б) структурну схему МПЦП;
- г) рисунки конфігурації внутрішньої структури МПЦП у різних режимах роботи;
- д) приклади порядку зміни режимів роботи у вигляді таблиці;
- е) таблицю підключення датчиків та електромагнітів пневморозподільників для режиму “Функціональна клавіатура” указанного викладачем ПР.

## **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. Які можна назвати основні характеристики МПЦП?
2. Які відомі виконання МПЦП?
3. Які вузли входять у склад МПЦП?
4. Який об'єм пам'яті МЕНЗП МПЦП?
5. Який об'єм пам'яті ППЗП МПЦП?
6. Який об'єм пам'яті ОЗП МПЦП?
7. Яка програма називається виконавчою?
8. Яка програма називається керуючою?
9. З яких елементів складається ПУ?
10. У яких режимах працює МПЦП?
11. Який вигляд має внутрішня структура МПЦП у кожному з режимів роботи?
12. Як змінити режим роботи МПЦП?
13. Чим характерний кожний з режимів роботи МПЦП?
14. Як працює МПЦП у режимі “Функціональна клавіатура”?
15. Які ступені рухомості будуть приведені в рух при натисканні клавіш 6-9 у режимі “Функціональна клавіатура”?

### **13.2. Система команд МПЦП**

#### **Мета лабораторної роботи**

Ознайомлення з системою команд МПЦП промислового робота МП-9С.

#### **Організація виконання лабораторної роботи**

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій та методичні вказівки, такі питання:

- а) програмна модель МПЦП;
- б) команди тестового контролю функціональних блоків МПЦП;
- в) команди контролю та редагування програми МПЦП.

Далі з використанням програми емулятор РТК і команд тестового контролю виконати перевірку модулів МЕНЗП.

Перевести МПЦП у режим вводу програми та занести в ЗП МПЦП програму, коди якої задані в табл. 13.2.

Початкова адреса задана у табл. 13.3 відповідно до виконуваного варіанта.

Визначити контрольну суму сторінки пам'яті, на якій записана програма.

Перемкнути МПЦП у режим роботи “Автоматичний” та запустити програму з початкової адреси.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) назву та мету роботи;
- б) схему програмної моделі МПЦП;
- в) приклади виконання команд тестового контролю модулів МЕНЗП у вигляді таблиці, яка подана як послідовність натиснення клавіш, і видачу повідомлення на індикацію;

г) програму, яка записується в МЕНЗП, і контрольну суму сторінки пам'яті, що використовується.

Таблиця 13.2

Варіанти кодів керуючих програм

№ вар.	Послідовність кодів УП										
1	0500	0701	0704	0600	0705	0501	0705	0601	0704	0701	09E0
2	0502	0705	0602	0706	0503	0701	0701	0704	0603	0709	09C0
3	0504	0701	0705	0604	0707	0505	0706	0605	0701	0710	09A0
4	0506	0701	0704	0606	0708	0507	0701	0703	0607	0704	0980
5	0500	0702	0705	0600	0701	0710	0501	0705	0601	0708	0960
6	0502	0705	0602	0706	0503	0701	0701	0704	0603	0709	0940
7	0504	0702	0703	0704	0604	0705	0505	0706	0605	0706	0920
8	0506	0703	0702	0606	0705	0507	0704	0703	0607	0704	09F0
9	0500	0706	0600	0704	0705	0501	0708	0704	0601	0705	09D0
10	0502	0706	0705	0602	0707	0701	0503	0706	0603	0709	09B0
11	0504	0705	0701	0604	0711	0505	0715	0605	0703	0705	0990
12	0506	0702	0720	0606	0712	0507	0701	0703	0607	0705	0970
13	0500	0713	0600	0705	0701	0710	0501	0705	0601	0715	0950
14	0502	0705	0602	0706	0701	0701	0503	0709	0603	0709	0930
15	0504	0705	0701	0604	0707	0505	0714	0701	0605	0710	0910
16	0506	0711	0704	0606	0710	0507	0702	0703	0607	0704	09E0
17	0500	0705	0701	0701	0600	0706	0501	0707	0601	0708	09C0
18	0502	0706	0602	0706	0503	0725	0701	0603	0705	0709	09A0
19	0504	0714	0701	0604	0708	0505	0706	0701	0605	0710	0980
20	0506	0704	0702	0606	0720	0507	0704	0701	0607	0706	0960
21	0500	0718	0600	0708	0701	0710	0501	0705	0601	0708	0940
22	0502	0715	0602	0708	0704	0701	0503	0708	0603	0709	0920
23	0504	0714	0705	0604	0707	0505	0706	0701	0605	0710	0900
24	0506	0711	0701	0606	0707	0507	0701	0704	0607	0704	09F0
25	0500	0715	0600	0707	0705	0501	0712	0601	0704	0714	09D0
26	0502	0710	0602	0706	0701	0701	0503	0714	0603	0709	09B0
27	0504	0703	0704	0604	0705	0505	0710	0605	0708	0710	0990
28	0506	0711	0701	0606	0718	0507	0705	0703	0607	0714	0970
29	0500	0712	0701	0600	0714	0702	0501	0705	0601	0708	0950
30	0502	0715	0602	0716	0503	0702	0702	0702	0603	0709	0930
31	0504	0709	0701	0604	0707	0505	0716	0605	0705	0705	0910
32	0506	0711	0701	0606	0712	0702	0507	0712	0607	0708	09E0

Початкові адреси програм

№ вар.	Початкова адреса	№ вар.	Початкова адреса	№ вар.	Початкова адреса	№ вар.	Початкова адреса
1	0E0	9	0D0	17	1C0	25	1D0
2	0C0	10	0B0	18	1A0	26	1B0
3	0A0	11	090	19	180	27	190
4	080	12	070	20	160	28	170
5	060	13	050	21	140	29	150
6	040	14	030	22	120	30	130
7	020	15	010	23	100	31	110
8	0F0	16	1E0	24	1F0	32	1E0

### Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи

1. Які вузли входять у склад програмної моделі МПЦП?
2. Скільки команд можливо записати в один модуль МЕНЗП?
3. Що таке зона пам'яті?
4. Для чого служить ЛЧ МПЦП?
5. Для чого служить ТУ МПЦП?
6. Для чого служить ПС МПЦП?
7. У яких межах може змінюватися вміст лічильників МПЦП?
8. У яких випадках ТУ приймає початковий стан?
9. Які команди дозволяють змінити стан ТУ МПЦП?
10. Які групи команд входять у склад системи команд МПЦП?
11. Як одноразово виконати одну з команд тестового контролю МПЦП?
12. Чим закінчується виконання команди “ТЗП КІЛ”?
13. Чим закінчується виконання команди “ТУВ КІЛ”?
14. Чим закінчується виконання команди “КСП СТР”?
15. Чим закінчується виконання команди “РЕД АКМ”?
16. Чому дорівнює код операнда у командах “ТЗП КІЛ” та “ТУВ КІЛ” для моделі МПЦП, що використовується ?
17. З яких блоків складається комплексний тест МПЦП?
18. Чому дорівнює код операнда “ТКМ К/К”?

### 13.3. Розроблення програми керування ПР

#### Мета лабораторної роботи

Ознайомлення з порядком розроблення програми МПЦП для керування промисловим роботом МП-9С.

#### Організація виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій та методичні вказівки, такі питання:

- а) команди вводу–виводу;

б) команди керування програмою.

Далі розробити схему алгоритму керування ПР. Порядок включення виконавчих пристроїв поданий у табл. 13.4 відповідно до виконуваного варіанта, де перша цифра вказує № приводу, друга – позицію.

З використанням команд МПЦП розробити УП. Початкові адреси програм задані в табл. 13.3.

Програму подати у вигляді табл. 13.5.

За допомогою команд МПЦП занести програму в МЕНЗП з указаної адреси.

Налагодити програму та перевірити її виконання.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) назву та мету роботи;
- б) схему алгоритму керування ПР;
- в) керуючу програму ПР у вигляді табл. 13.5.

### **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. Які відомі команди уводу МПЦП?
2. Які відомі команди виводу МПЦП?
3. Скільки зовнішніх пристроїв можна включити однією командою “ВВМАВД”?
4. У яких командах використовується стан ТУ?
5. Як визначається операнд “АВХ”?
6. Як визначається операнд “АВД”?
7. Як обчислити операнд “АКМ”?
8. Як обчислити операнд “БАП”?
9. У яких випадках використовується команда “ЗБА БАП”?
10. Як змінюється операнд “БАП” залежно від виконання МПЦП?
11. Яка команда доповнює команду “ППП АКМ”?
12. Скільки лічильників встановлено в МПЦП?
13. Яке максимальне значення може приймати вміст лічильника?
14. Які відомі команди для роботи з лічильниками МПЦП?
15. Які графи мають таблиці з УП і який порядок її заповнення?

Таблиця 13.4

## Порядок включення ступенів рухомості та захоплення ПР

№ вар.	Порядок включення (умовні найменування руху)							
1	1-1	2-1	3-1	6-2	3-2	6-1	2-2	1-2
2	3-1	6-2	3-2	2-1	1-1	6-1	1-2	2-2
3	1-1	2-1	6-2	2-2	3-1	6-1	3-2	1-2
4	6-2	3-1	2-1	1-1	6-1	1-2	2-2	3-2
5	1-1	3-1	2-1	6-2	2-2	6-1	3-2	1-2
6	3-1	6-2	3-2	1-1	2-1	6-1	2-2	1-2
7	1-1	3-1	6-2	3-2	2-1	6-1	2-2	1-2
8	6-2	3-1	1-1	2-1	6-1	2-2	1-2	3-2
9	2-1	1-1	3-1	6-2	3-2	6-1	1-2	2-2
10	2-1	6-2	2-2	3-1	1-1	6-1	1-2	3-2
11	2-1	1-1	6-2	1-2	3-1	6-1	3-2	2-2
12	6-2	2-1	3-1	1-1	6-1	1-2	3-2	2-2
13	2-1	3-1	1-1	6-2	1-2	6-1	3-2	2-2
14	2-1	6-2	2-2	1-1	3-1	6-1	3-2	1-2
15	2-1	3-1	6-2	3-2	1-1	6-1	1-2	2-2
16	6-2	2-1	1-1	3-1	6-1	3-2	1-2	2-2
17	3-1	1-1	2-1	6-2	2-2	6-1	1-2	3-2
18	1-1	6-2	1-2	3-1	2-1	6-1	2-2	3-2
19	3-1	1-1	6-2	1-2	2-1	6-1	2-2	3-2
20	6-2	1-1	3-1	2-1	6-1	2-2	3-2	1-2
21	3-1	2-1	1-1	6-2	1-2	6-1	2-2	3-2
22	1-1	6-2	1-2	2-1	3-1	6-1	3-2	2-2
23	3-1	2-1	6-2	2-2	1-1	6-1	1-2	3-2
24	6-2	1-1	2-1	3-1	6-1	3-2	2-2	1-2
25	1-1	2-1	3-1	6-2	3-2	6-1	2-2	1-2
26	3-1	6-2	3-2	2-1	1-1	6-1	1-2	2-2
27	1-1	2-1	6-2	2-2	3-1	6-1	3-2	1-2
28	6-2	3-1	2-1	1-1	6-1	1-2	2-2	3-2
29	1-1	3-1	2-1	6-2	2-2	6-1	3-2	1-2
30	3-1	6-2	3-2	1-1	2-1	6-1	2-2	1-2
31	1-1	3-1	6-2	3-2	2-1	6-1	2-2	1-2
32	6-2	3-1	1-1	2-1	6-1	2-2	1-2	3-2

Таблиця 13.5

## Приклад таблиці для занесення програми

Адреса команди	Код	Мітка	Мнемокод	Операнд	Коментар
...	...	...	...	...	...

## **13.4. Розроблення програми керування РТК**

### **Мета лабораторної роботи**

Ознайомлення з порядком розробки програми МПЦП для керування РТК з промисловим роботом МП-9С.

### **Організація виконання лабораторної роботи**

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій та методичні вказівки, такі питання:

- а) команди керування лічильниками;
- б) команди затримки часу.

Далі необхідно більш детально ознайомитись з емулятором РТК, опис якого подано в розділі 7, і розробити схему алгоритму керування РТК.

Відповідно до алгоритму МПЦУ повинно включити шибер накопичувача індукційної печі, захопити захоплювачем ПР заготовку, підняти її, перенести до конвеєра і відпустити. Це повторюється задану кількість раз, потім РТК зупиняється, а через заданий час подається наступна партія заготовок, РТК знову зупиняється і все повторюється до команди оператора РТК.

Особливості алгоритму керування ПР і зовнішніми пристроями РТК подані відповідно до виконуваного варіанта в табл. 13.6, де перша цифра вказує кількість поданих заготовок на конвеєр, друга – затримку часу перед подачею наступної партії заготовок.

З використанням команд МПЦП розробити УП. Програму надати у вигляді табл. 13.5. Початкові адреси програм задані в табл. 13.3.

За допомогою команд МПЦП занести програму в МЕНЗП з указаної адреси. Налаштувати програму та перевірити її виконання.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) назву та мету роботи;
- б) схему алгоритму керування РТК;
- в) керуючу програму РТК у вигляді табл. 13.5.

### **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. Яке обладнання включає РТК?
2. До якого виходу МПЦУ підключен привід шибера накопичувача?
3. Скільки лічильників має МПЦУ?
4. Які відомі команди для роботи з лічильниками?
5. Яке максимальне значення може приймати вміст лічильника?
6. Які відомі команди затримки часу?
7. Яке значення може приймати операнд ЧИС у команді затримки часу?
8. Який максимальний час забезпечує одна команда затримки часу?
9. У яких ситуаціях програма-емулятор при керуванні РТК зупиняється та виводить на екран повідомлення?
10. Який текст повідомлення виводиться на екран при похибках у програмі?
11. Що виводиться на екран при роботі програми емулятор РТК?



12. Як виконати перехід від режиму емуляції ПР до режиму емуляції РТК?
13. Які пункти меню має програма емулятор РТК?
14. Як виконати запис налагодженої програми на диск?
15. Як забезпечити запуск раніше розробленої програми з диска?

Таблиця 13.6

Варіанти алгоритму керування РТК

№ вар.	Кількість заготовок	Затримка часу, с	№ вар.	Кількість заготовок	Затримка часу, с
1	2	10	17	2	8
2	3	9	18	3	7
3	4	8	19	4	6
4	5	7	20	5	5
5	6	6	21	6	4
6	7	5	22	7	3
7	8	4	23	8	2
8	9	3	24	9	1
9	10	2	25	10	3
10	9	1	26	9	4
11	8	2	27	8	5
12	7	3	28	7	6
13	6	4	29	6	7
14	5	5	30	5	8
15	4	6	31	4	9
16	3	7	32	3	10

## 14. ВИВЧЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПР ЧЕРЕЗ ІНТЕРНЕТ

Промислові роботи зараз уже є невід'ємною частиною автоматизованих виробництв. Причому не лише в автомобільній індустрії, а майже в усіх галузях вони стали обов'язковим компонентом виробничої техніки. Тому в освіті інженерів, націленій на практику, необхідно враховувати, що робототехніка – центрова дисципліна у багатьох навчальних напрямках, таких як техніка автоматизації, прикладна інформатика, машинобудування, мехатроніка і технологічне обладнання. При цьому вирішальним значенням є те, що теоретичні знання перевірялись і доповнювались безпосередньо на приладі.

Роботизовані системи, особливо коли вони разом з додатковими периферійними компонентами складають виробничі комплекси, являють собою надзвичайно складні інтегровані прилади. Вони складаються із систем програмного керування, керованих приводів, механічних передавальних елементів, маніпуляторів, засобів передачі даних, верхнього рівня обслуговування (програми і пристрої).

Наприклад, робот, елемент обробки, сенсорна система, транспортна система – складають єдиний комплекс.

Через великі інвестиційні витрати подібні прилади частіше пропонуються для віддаленого навчання через Інтернет для того, щоб досягти більш широкого використання, ніж при безпосередньому застосуванні. Зрозуміло, що такі складні системи ставлять підвищені вимоги до технічної реалізації віддаленого доступу і перш за все до захисту від перебоїв.

Далі описуються два лабораторні експерименти на стандартних промислових роботах абсолютно різної конструкції (рис. 14.1). Прилади споруджено в лабораторії роботів РУТЕ [38, 39, 43].

Слід зазначити, що при проведенні цих експериментів не вимагається будь-якого стороннього спостереження обслуговуючого персоналу. Установки доступні для віддаленого доступу (7 днів на тиждень і 24 години на добу) і для дистанційного керування в який завгодно час.

Як позначено на рис. 14.1, пристрої упродовж виконання експерименту доступні для спостереження через керовані веб-камери. Виконання експериментів у будь-який час повинно бути доповнено гарантованим супутнім освітленням, на яке не впливав би час доби і освітленість кімнати.

Таке ладнання виконано програмно таким чином, що при активізації веб-камер і початку передачі даних через сервер вмикаються освітлювальні пристрої.

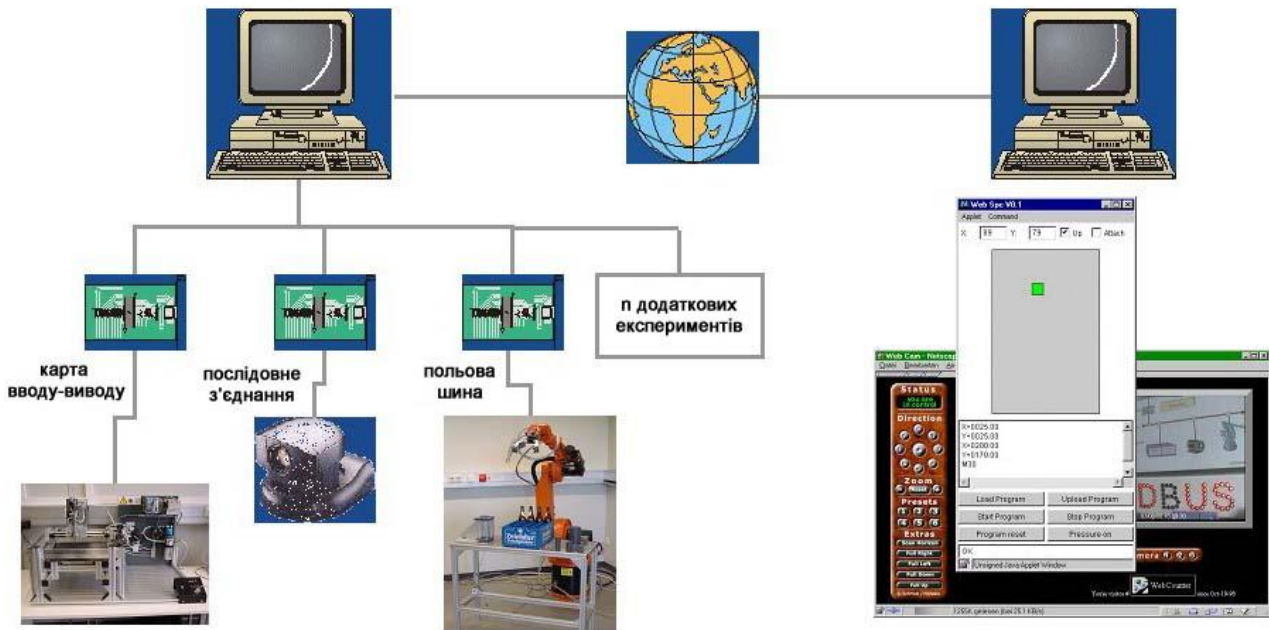


Рис. 14.1. Два приклади промислових роботів для дистанційних експериментів у RUTE

#### 14.1. Вивчення динамічних характеристик ПР типу KUKA KR 6—2

Для цього експерименту використовується промисловий робот з 6-ма ступенями рухомості типу KUKA KR 6—2 (рис. 14.2). Робот обладнаний захоплювачем, який може працювати з циліндричними предметами [43]. Крім того, встановлено лазерний вимірювальний прилад, за допомогою якого можна вимірювати відстань до 0,5 м.

Робот обладнаний комп'ютерним керуванням KRC2. Прикладне програмування робота здійснюється спеціальною високорівневою мовою KRL.

Оскільки керування роботом виконується промисловим комп'ютером і через цей комп'ютер також проводиться обслуговування і програмування (налаштування) системи, то можна досить просто реалізувати інтерфейс системи за допомогою стандартного програмного забезпечення (pcAnywhere, PCduo, VNC) для відображення через Інтернет на віддаленому клієнтському ПК.

Таким чином, система цілком відкрита віддаленому користувачу і він міг би виконувати всі без виключення операції, так само як і при локальному доступі. Ця якість дистанційного керування має використовуватись тільки тоді, коли під час дистанційного доступу з обох боків присутні експерти – тоді найменші помилки програмування або експлуатації можна передбачати й уникнути. Цей захід прийнятий для того, щоб попередити неприпустимі переміщення або маніпуляції робота, які можуть призвести до псування чогось. Наприклад, робота, оброблюваної деталі та ін.

Для лабораторних експериментів може бути встановлена система захисту від неприпустимих команд, тобто від команд, які можуть призвести до якогось пошкодження або псування. Але такий спосіб захисту не придатний для

даного проекту, оскільки передбачає наявність обслуговуючого персоналу, з одного боку, і досить високої кваліфікації, з другого.



Рис. 14.2. ПР типу KUKA KR 6—2 і його складові частини

### **Концепція**

Вирішальним у концепції проведення цих експериментів є те, що ступінь впливу користувача на процес виконання наперед визначений, і те, що дистанційний доступ точно обмежений.

Даний експеримент слугує прикладом для таких основних ознайомлювальних дій:

- вивчення здатності до переміщення промислового робота;
- виконання простих практичних завдань і вимірювань;
- оцінка динаміки переміщення робота.

Для цього експерименту розроблені послідовності наперед підготовлених команд. Користувач може вільно вибирати і давати команду на виконання однієї з цих послідовностей (підпрограми), кожна з яких відповідає певному рівню знань. Дані про вибрану користувачем програму передаються через Інтернет. Далі починається виконання цієї програми.

### **Хід виконання**

Спочатку користувач (якщо він побажає) може за допомогою початкової інформації ознайомитися з основами робототехніки, мотивацією, метою і цільовою групою випробування для того, щоб орієнтуватися в тому, що відбувається, і мати уявлення про технічну реалізацію системи.

Після того, власне, починається виконання експерименту.

За допомогою надання персональних даних, у тому числі й адреси електронної пошти, проходить ідентифікація користувача. Головне призначення цих даних полягає в тому, щоб користувач міг пізніше, після перевірки, одержати повідомлення про те, що виконання пройшло успішно і вся робота в цілому захищена.

Далі йде ряд питань до розгляду, за допомогою яких користувач може оцінити свої знання. Уся інформація для засвоєння або відновлення знань подана в електронній формі.

Після отримання виклику на виконання програма починає в режимі on-line виконувати такі кроки (рис. 14.3):

- перше вимірювання деталі за допомогою лазерного сенсора;
- захоплення, сортування, встановлення деталей одна на одну, друге вимірювання.

При виконанні програми одержані дані передаються користувачу, обробляються і результат виводиться у відповідні поля.

Під час наступного кроку виконується динамічна частина програми робота.

Викликається частина програми, в якій робот починає переміщати лазерний датчик до вимірюваного об'єкта. Швидкість при цьому зростає аж до максимальної (рис. 14.4).

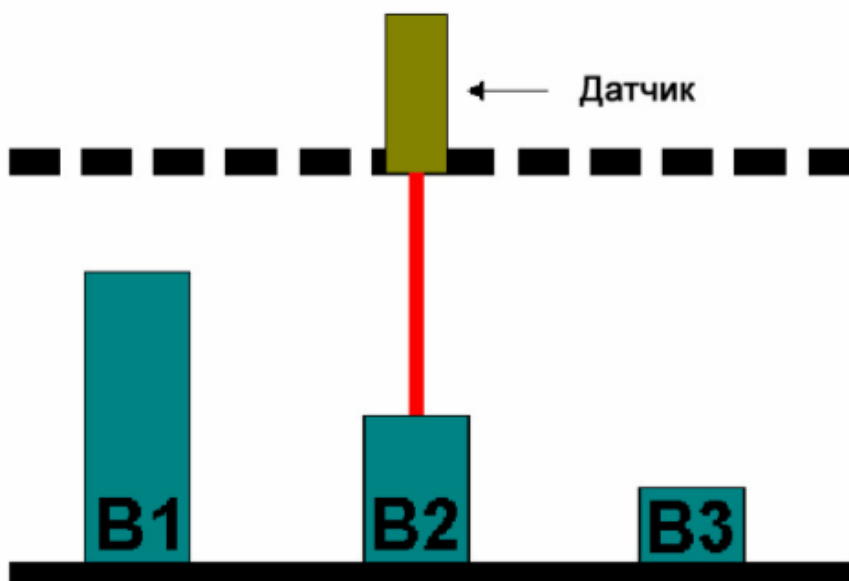


Рис. 14.3. Визначення розмірів деталей для обробки

Лазерний датчик сканує безперервно відстань до об'єкта. Після проходження робочим інструментом певної межі у зв'язку з перериванням програми викликається підпрограма, яка відповідає швидкій зупинці. Дані про гальмівний шлях робота передаються користувачеві для розрахунку здатності робота до гальмування (уповільнення). На рис. 14.5 наведена структурна схема технічної реалізації системи.

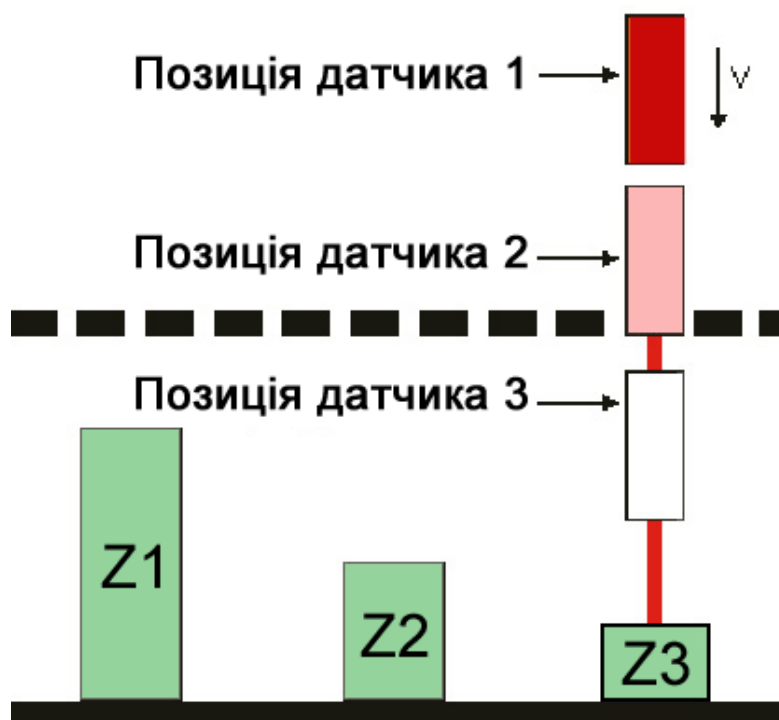


Рис. 14.4. Визначення динамічних характеристик робота

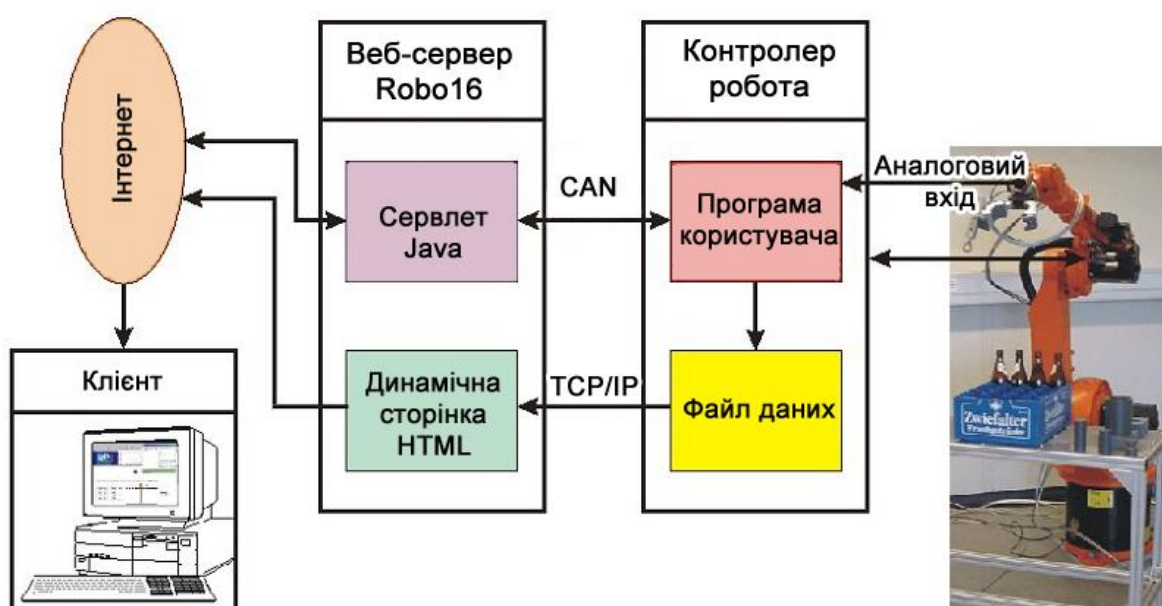


Рис. 14.5. Структурна схема технічної реалізації системи

Веб-сервер обслуговує, з одного боку, інтерфейс керування роботом, з другого – подає загальні дані про хід експерименту, точні дані для користувача, обслуговує веб-камеру.

Інтерфейс для роботи реалізується за допомогою програми (сервлета) на мові Java на боці сервера, а на боці робота здійснюється керування через інтерфейс моноканалу.

Користувачу доступні такі функції:

- вмикання робота;
- вибір програми;

- запуск програми;
- моніторинг стану систем робота.

Виконання програми робота через віддалений доступ неможливо зупинити.

Виконується вона системою доти, поки робот не закінчить і не повернеться у вихідну позицію, тобто поки виконання програми не закінчиться повністю.

Дані, отримані в ході експерименту, передаються через інтерфейс TCP/IP і зберігаються на сервері. На сервері встановлено з'єднання з динамічною HTML-сторінкою, з якою і відбувається обмін даними і з якої висилається виклик користувача на виконання програми.

За допомогою такого інтерфейсу досягається те, що призначений для користувача запит може проходити через захисні системи (Firewalls, Proxies).

### **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. Який робот використовується для проведення експерименту з вивчення динамічних характеристик ПР?
2. Що вивчається в експерименті з ПР?
3. Який повинен бути порядок виконання експерименту з ПР?
4. Що входить до структурної схеми технічної реалізації системи?
5. Які функції системи доступні користувачу?

### **14.2. Випробування і програмування планшетного робота через Інтернет**

Планшетний робот (рис. 14.6) має дві кінематичні пари вільного позиціонування по осях  $X$  і  $Y$ , одну бінарну –  $Z$  і вакуумний захоплювач [39, 44].

Робочий простір пристрою такий, що у принципі неможливі ніякі колізії. Планшетний робот має пневматичний привід, а керування виконується програмованим контролером SPC200.

Керування здійснюється через два модулі, які мають цифрові входи/виходи, і один послідовний модуль з інтерфейсом для обміну даними із серверним комп'ютером. Цифрові входи/виходи використовуються для керування кінематичною парою у напрямку осі  $Z$  і вакуумним захоплювачем, який знаходиться на кінці однієї з ланок цієї пари.

Від сервера до блока керування команди на переміщення уздовж осей  $X$  і  $Y$  передаються із застосуванням послідовного інтерфейсу. Оскільки у робота немає функції контурного керування, а підтримується лише функція позиційного, то передаються координати призначення.

Контури переміщення між двома координатами можуть регулюватися тільки декількома параметрами. А такі параметри, як прискорення, уповільнення, якість позиціонування, не піддаються регулюванню.

Для визначення дійсних значень  $X$  і  $Y$  використовуються потенціометри, що закріплені уздовж осей, значення з них прочитується картою вводу/виводу.

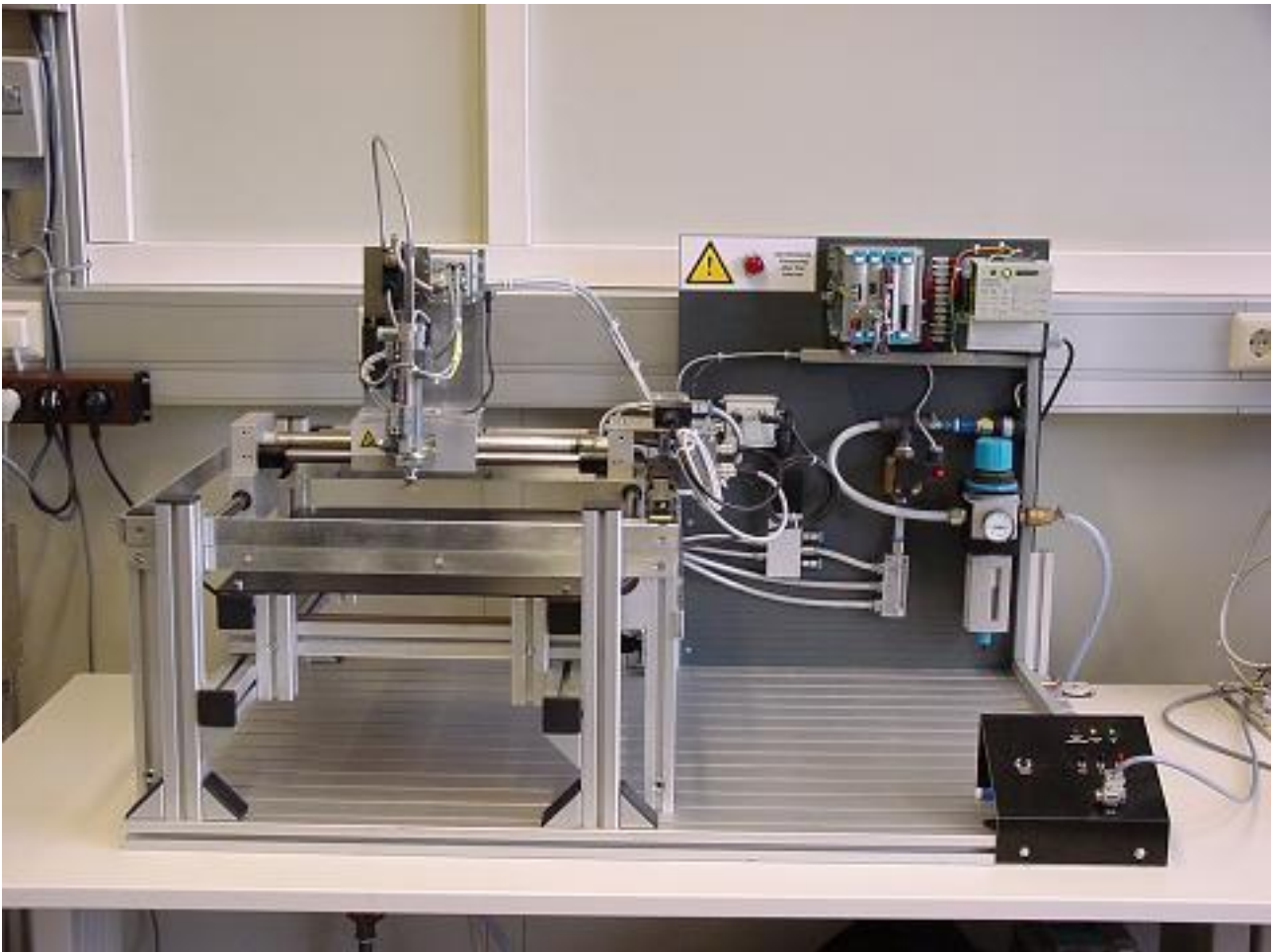


Рис. 14.6. Загальний вигляд планшетного робота

Таким чином, можливо не лише визначення дійсних значень координат, але й отримання, і реєстрація шляху переміщення.

Для доступу через Інтернет використовується динамічна сторінка на HTTP-сервері та програма на мові Java. Ця Java-програма має у своєму розпорядженні можливість програмування і керування системою.

Програма має доступ через послідовний інтерфейс до програмованого контролера SPC200 і до аналогової карти вводу/виводу для обліку переміщення уздовж осей.

Для віддаленого доступу до системи встановлено Java-аплет, який може бути запущений з будь-якого Інтернет-браузера з Java-підтримкою. Для керування і програмування системи не потрібно встановлювати ніякого додаткового програмного забезпечення. Комунікації між клієнтом (аплетом) і сервером (сервлетом) базуються виключно на протоколі HTTP.

Для того, щоб отримати доступ до системи, необхідно реєструватися спочатку на сервері. Система проведе підключення клієнта.

Цим гарантується, що в один і той же момент часу тільки один клієнт має доступ до системи і ця система виділить клієнту чітко визначений час для виконання роботи.



Статус реєстрації подається в аплеті. Різним типам стану відповідають різні кольори у вікні програми: помаранчевий означає *очікування*, зелений – *активно*. У випадку, якщо час, виділений клієнту на роботу із системою, закінчився або користувач припиняє роботу у системі (завершує свій сеанс), то це відмічається у вікні програми червоним кольором – *перевищення часу або завершення сеансу* (рис. 14.7).



Рис. 14.7. Аплет для керування планшетним роботом

В активному стані надані такі способи керування:

- безпосереднє;
- графічне;
- програмуванням.

У стані ознайомлювального керування користувач може безпосередньо керувати системою. При такому способі роботи директиви керування відсилаються безпосередньо до контролера на виконання. Шляхом натискання на клавішу миші на координатній системі (рис. 14.8) будуть одержані координати  $X$  і  $Y$  з новою вказівкою мети переміщення. Далі виконується саме переміщення.

Вакуумний захоплювач, який розташований на кінці ланки, що переміщується по осі  $Z$ , і сама ланка також можуть піддаватися керуванню шляхом установлення або зняття відповідних прапорців у програмному вікні.

Текстове задання координат  $X$  і  $Y$  дозволяє добитися точного позиціонування.

Дійсне положення вакуумного захоплювача на осі  $Z$  і його стан відображаються на графічній координатній площині по-різному: квадрат (зелений або червоний) або коло (зелене або червоне), що відповідає двом можливим положенням (піднятий – UP, опущений – DOWN) і двом станам захоплювача (вимкнутий – OFF, увімкнутий – ON).

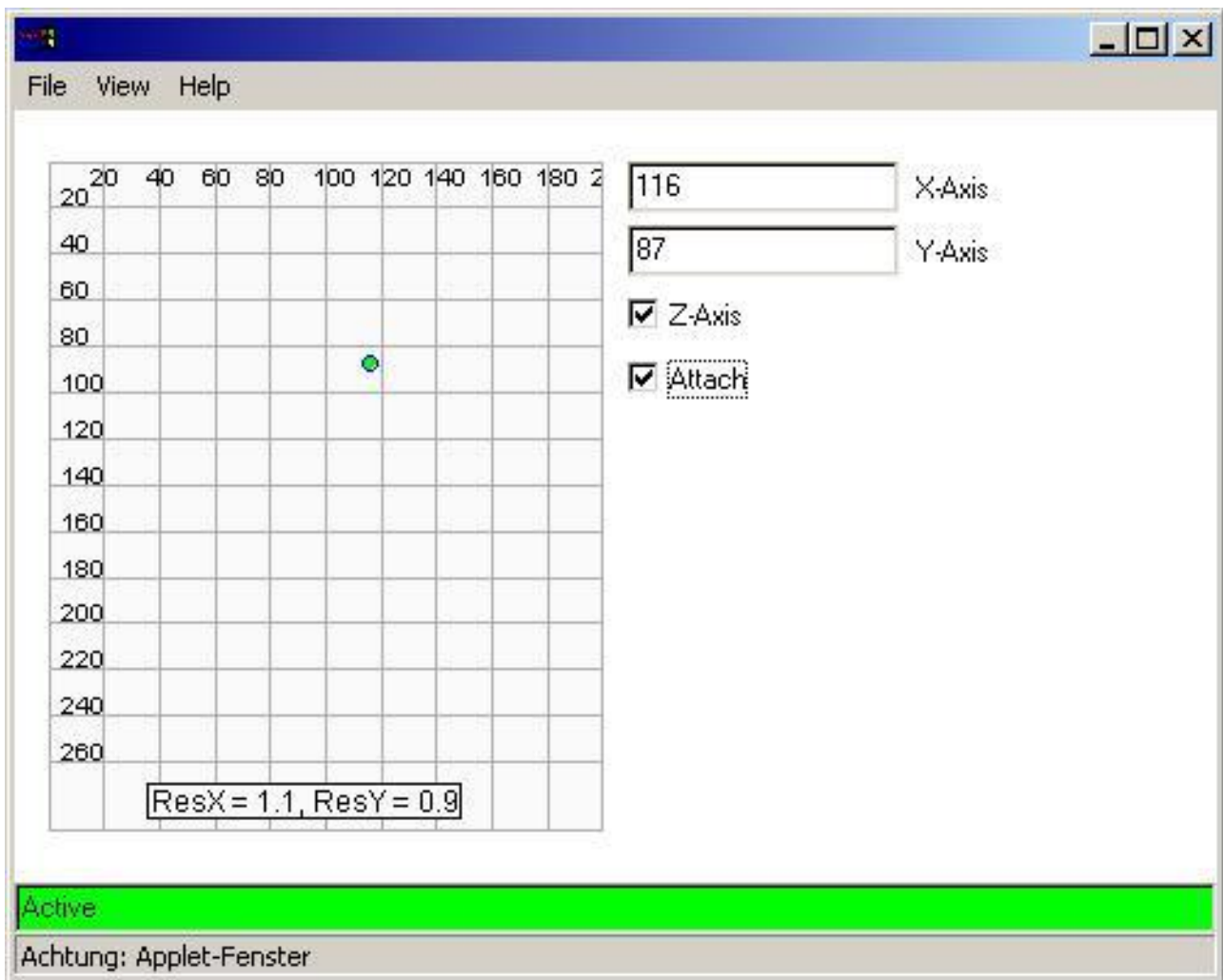


Рис. 14.8. Пряме керування пневматичною системою

У режимі **графічного керування** системою у реальному часі точки до переміщення вводяться одна за одною (рис. 14.9).

Збережені координати відразу ж відображаються у програмі виконання. Це робиться для того, щоб після введення всіх точок можна було провести ще які-небудь зміни. Наприклад, положення вакуумного захоплювача на осі Z і його стан.

На моніторі потім буде подана модель керування системою у графічному вигляді (положення вакуумного захоплювача на осі Z і його стан наводяться різними графічними знаками, які були зазначені раніше).

Після натискання на кнопку підтвердження дані почнуть передаватися до контролера. Потім буде проведено виконання цих команд.

Під час виконання команд відобразиться фактична лінія переміщення робочого органу. Дані про це переміщення протоколюватимуться і по закінченні для порівняння буде намальована лінія фактичного переміщення. За допомогою фактичного маршруту переміщення можна добре зрозуміти суть позиційного керування.

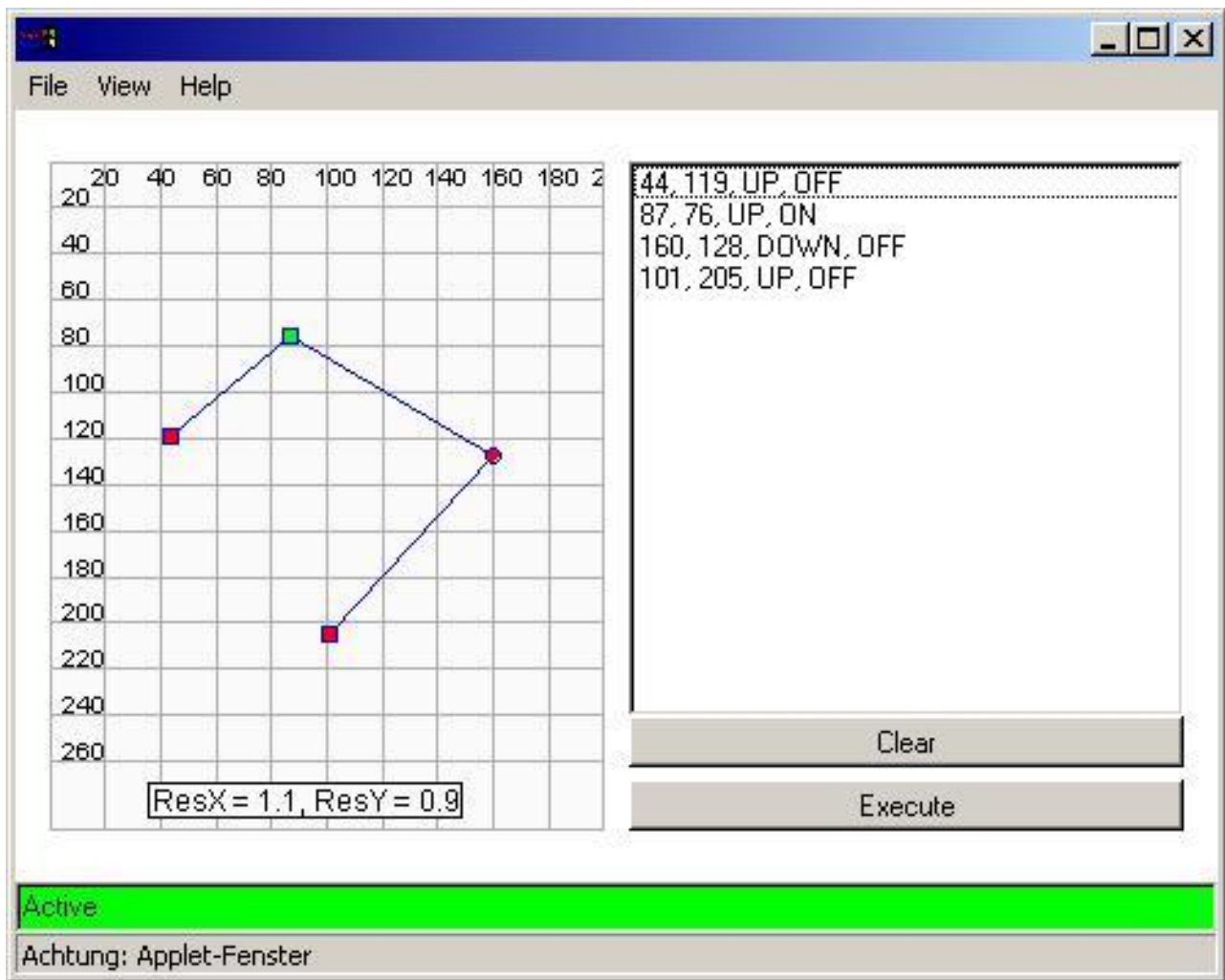


Рис. 14.9. Графічне керування пневматичною системою

При **програмному керуванні** (рис. 14.10) у поданому текстовому полі можна написати й обробити цілу програму і/або підпрограму для керування системою.

За допомогою програмного інтерфейсу може бути вибрана раніше збережена програма.

Наведені декілька кнопок для створення нової програми, збереження її та видалення. Для завантаження даних з контролера керування або завантаження даних у блок керування використовують команду Download або Upload. Стан системи керування може також змінюватися кнопками Старт, Стоп, Скидання.

### Концепція

При виконанні випробування і програмуванні системи користувач повинен мати можливість вивчити приводи керованої ним системи (сервоприводи та пневматичні приводи), основи керування і програмування, освоїти основні властивості позиційного керування. Користувач має у своєму розпорядженні для програмування, а отже, і для переміщення максимально

великий простір і максимально повну можливість керування. Після завершення роботи обов'язково повинно бути здійснено повернення у вихідну позицію.

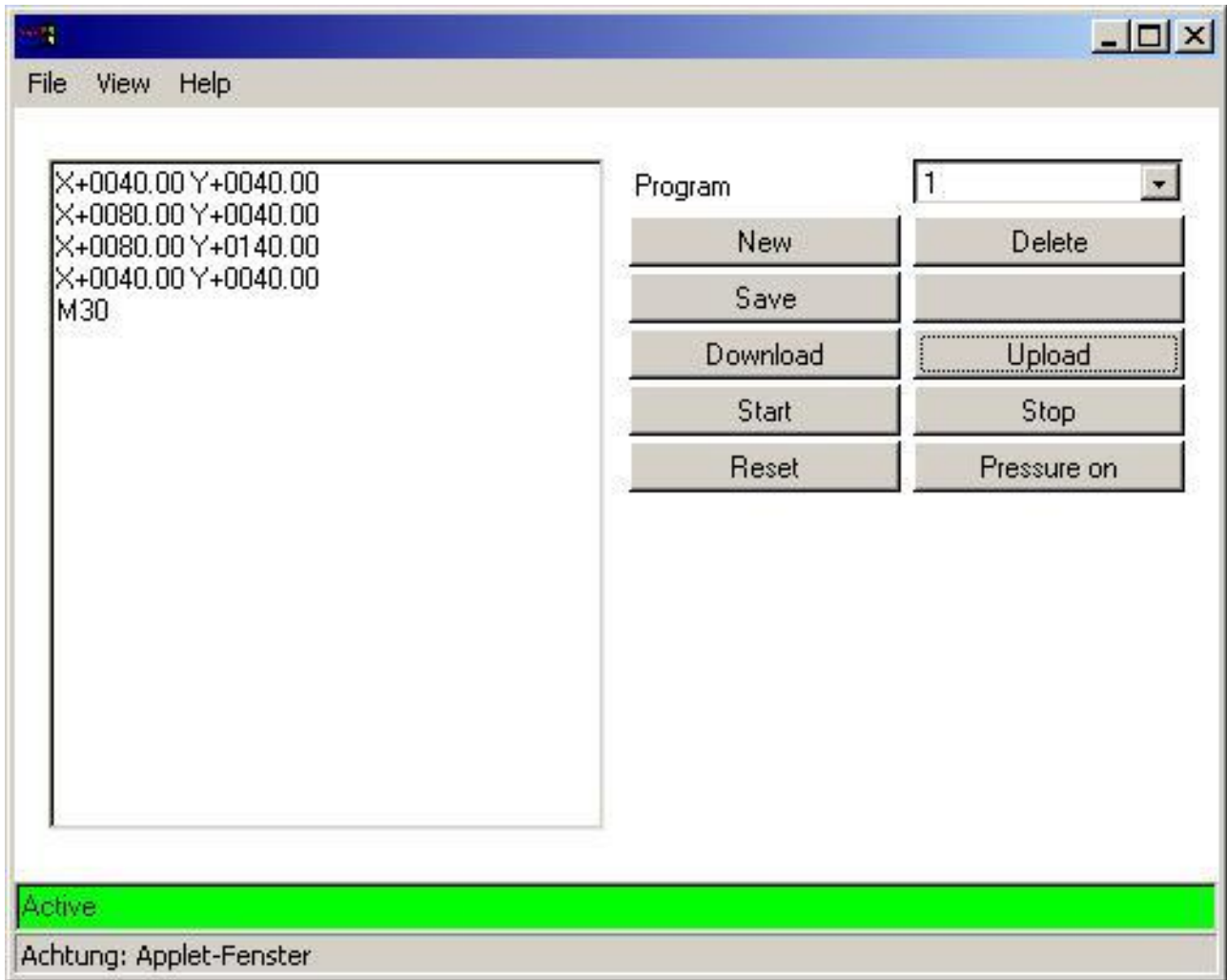


Рис. 14.10. Програмне керування пневматичною установкою за стандартом DIN 66025 (Німеччина)

### Хід виконання

У попередньому прикладі користувач мав можливість на початку одержати специфічну інформацію і технічний огляд системи. Інформація для даного ж випробування дуже різноманітна й подана у великому обсязі. Тому документацію та іншу інформацію до цього випробування містить у собі «Вступ до програмування за стандартом DIN 66025 (Німеччина)». Туди ж включено огляд усіх команд керування та огляд програм-прикладів.

Випробування починається знову таки з ідентифікації користувача шляхом введення особистої інформації. Для доступу до системи користувач застосовує Java-аплет. За установкою можна спостерігати в режимі реального часу через веб-камеру.

Для того, щоб мати більш точне уявлення про систему, користувач повинен з перших кроків виконання експерименту ознайомитися з

максимальними значеннями координат робочої зони робота, тобто з максимальними і мінімальними значеннями координат X і Y.

На другому кроці експерименту повинна досліджуватися характеристика позиційного керування.

Для цього спочатку визначаються графічно координати точок переміщення, а потім виконується переміщення, при якому ведеться облік усіх проміжних точок. Далі проміжний шлях між двома точками з'єднується лінією, яка відповідає виконаному маршруту, і виводиться на дисплей.

Наприклад, з рис. 14.11 видно, що маршрут між двома точками не може бути замінений кривою певного вигляду.

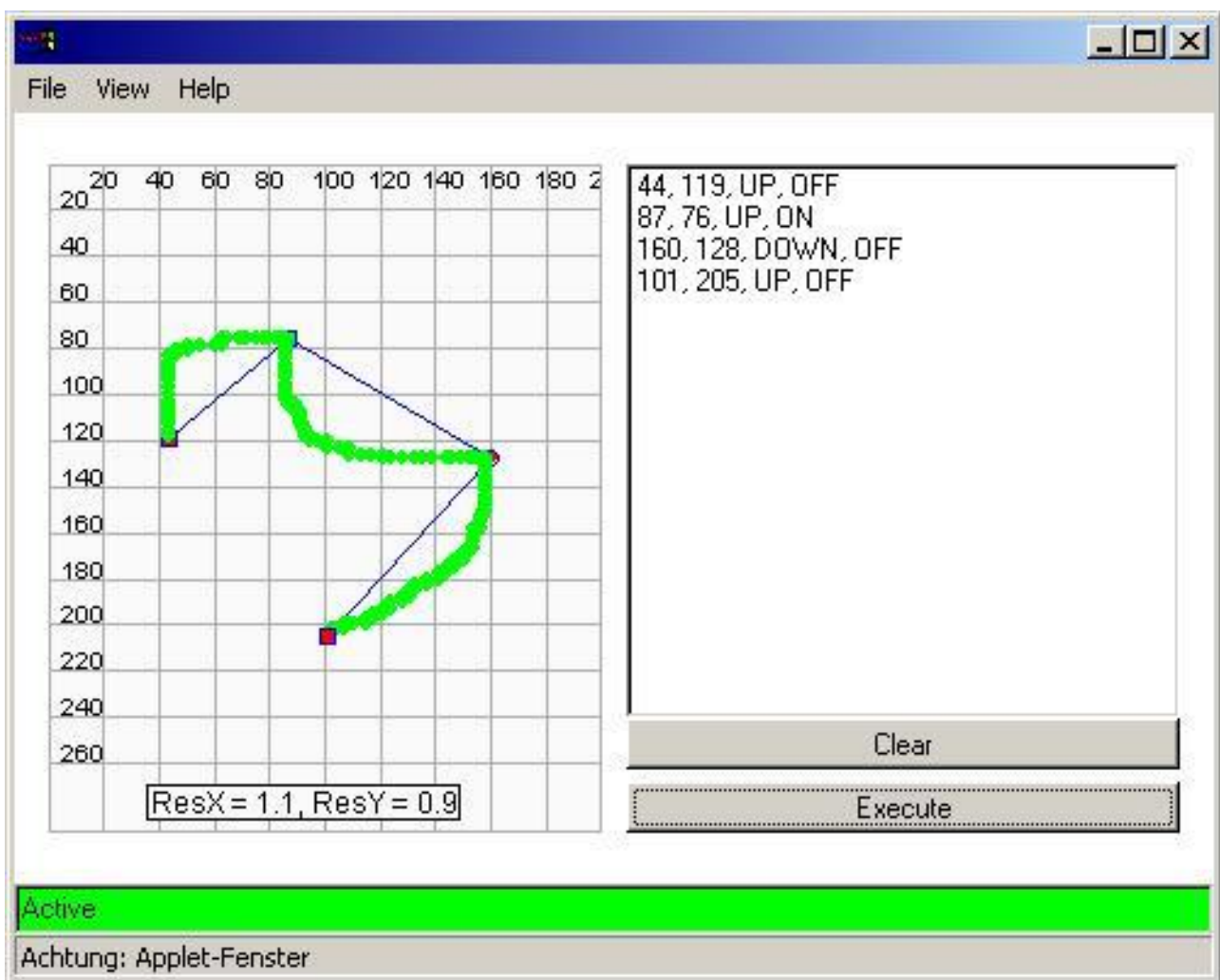


Рис. 14.11. Задані координати і пройдений шлях

Користувач повинен уміти тлумачити цю характеристику й інші характерні особливості системи (наприклад, кривизну або східчастість).

В останньому завданні перевіряється здібність користувача до програмування. Частина завдання відведена для аналізу і розгляду наперед написаної програми, яка надалі буде запущена для виконання. Із зростанням ступеня складності програма розширюється додатковими функціями і розбивається на модулі (підпрограми).

Під час програмування користувач має можливість перевіряти працездатність своєї програми на реальній системі керування. Для цього програма зберігається, передається у модуль керування (команда Download) і виконується.

У разі будь-якої помилки або збою за допомогою натискання на кнопку скидання (Reset) система може повернутися у заздалегідь задану початкову позицію.

Після закінчення експерименту відпрацьована програма відсилається через Інтернет на сервер і генерується динамічна HTML-сторінка з результатами випробування.

Ця сторінка з результатами відсилається також на електронну пошту користувача.

Після завершення програмування і роботи установка повертається у вихідну позицію. На підставі повернення у вихідну позицію можна визначити, що система повністю оновилася, тобто стара програма користувача видалена і замість неї знову запущено стандартну програму керування.

Це гарантує, що система повернулася у вихідну позицію і що всі користувачі мають рівні початкові умови.

### **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. Які відзнаки має планшетний робот, який застосовується в експерименті?
2. Які способи керування планшетним ПР доступні в активному стані?
3. Чим характерне ознайомлювальне керування ПР?
4. Для чого застосовується режим графічного керування ПР?
5. Чим характерний режим програмного керування ПР?
6. Який порядок виконання експерименту з планшетним ПР?

## **15. ВИВЧЕННЯ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ ЧЕРЕЗ ІНТЕРНЕТ**

Для виконання лабораторних робіт з вивчення мехатронних систем робоча станція (комп'ютер користувача) з web-камерою підключається до Інтернет і на ній повинні бути встановлені такі програми:

- а) операційна система Microsoft Windows 2000/XP (Linux);
- б) програма-браузер, наприклад, Інтернет Explorer 5.1, Netscape 4.6.1 та ін., що підтримують Java, JavaScript;
- в) JRE (віртуальна машина Java).

### **15.1. Приклади з вивчення елементів мехатронних систем**

#### **15.1.1. Керування світлодіодною панеллю через Інтернет**

##### **Мета лабораторної роботи**

Ознайомитися з прикладом системи керування світлодіодною панеллю через Інтернет.

##### **Організація виконання лабораторної роботи**

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій і методичні вказівки, такі питання:

- а) структурна схема лабораторної роботи WEB LEDS;
- б) режими роботи лабораторного стенда;
- в) програмне забезпечення лабораторної роботи WEB LEDS;
- г) порядок виконання лабораторної роботи WEB LEDS.

Далі виконати такі дії:

- а) у вікні браузера, що підтримує Java, JavaScript, необхідно набрати http-адресу віртуальної лабораторії, знайти пункт „проекти” та увійти відповідно посиланню „Leds-контролер”;
- б) ознайомитися із загальним описом лабораторної роботи і з порядком виконання завдання;
- в) запустити програму (аплет) і почекати, поки на екрані дисплея не з'явиться аплет із зображенням стенда, а у віконці „стан аплету” – напис „ОК”;
- г) засвітити на стенді, контролюючи на аплеті і через web-камеру, всі букви (напису „NMU–ACS”) у прямій послідовності;
- д) погасити засвічені букви;
- е) засвітити всі букви в довільній послідовності, а потім погасити їх;
- ж) закрити аплет після завершення роботи з ним.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) тему і мету лабораторної роботи;
- б) структурну схему виконання лабораторної роботи;
- в) конспект опису програмного забезпечення лабораторної роботи;

г) перелік можливостей застосування вивченої системи керування світлодіодною панеллю через Інтернет.

### Теоретичні відомості

Структурна схема виконання лабораторної роботи WEB LEDS подана на рис. 15.1. Вона включає комп'ютер користувача, сервер і підключений через послідовний порт сервера лабораторний стенд. Лабораторний стенд складається з мікроконтролера з підключеними до нього світлодіодами, які вбудовані в букви напису NMU-ACS (National Mining University – Automation and Computer Systems).

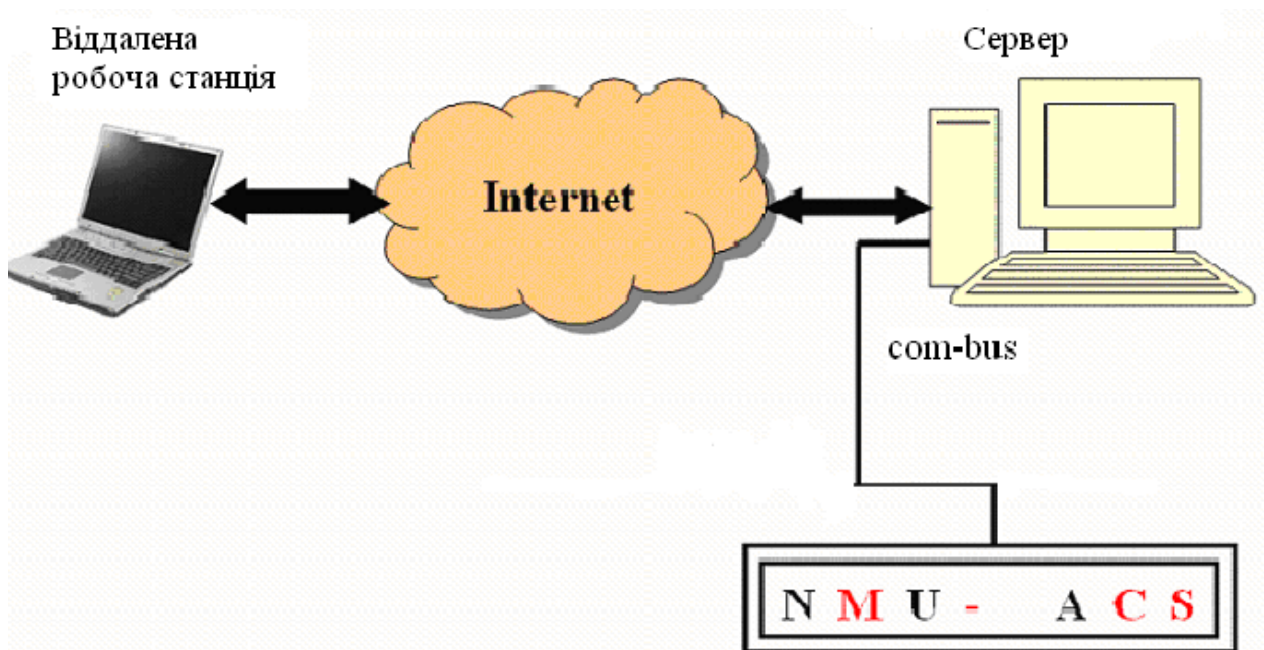


Рис. 15.1. Структурна схема виконання лабораторної роботи WEB LEDS

Мікроконтролер може засвічувати (або погашати) світлодіоди будь-якого знаку напису за допомогою команди із сервера та відповідних підсилювачів.

У кінці напису у вигляді крапки встановлений ще один світлодіод. Він використовується для повідомлення про режим роботи, в якому знаходиться лабораторний стенд (рис. 15.2).

При цьому можливі такі стани світлодіода:

- погашений, коли на стенд не подане живлення або несправний мікроконтролер:

- засвічений, коли стенд готовий до роботи. У цьому стані світлодіоди всіх знаків напису повинні бути погашені. Засвічений який-небудь світлодіод повідомляє про несправність мікроконтролера або програми WEB LEDS 1.0, встановленої на сервері;

- мигає, видалений користувач підключився до сервера і програма WEB LEDS 1.0 зайнята обслуговуванням цього користувача.





Рис. 15.2. Вигляд стенда із світлодіодом „режим роботи індикації” через web-камеру

На початку виконання роботи необхідно набрати http-адресу віртуальної лабораторії і за допомогою посилання „Leds контролер” перейти у меню лабораторії (рис. 15.3).

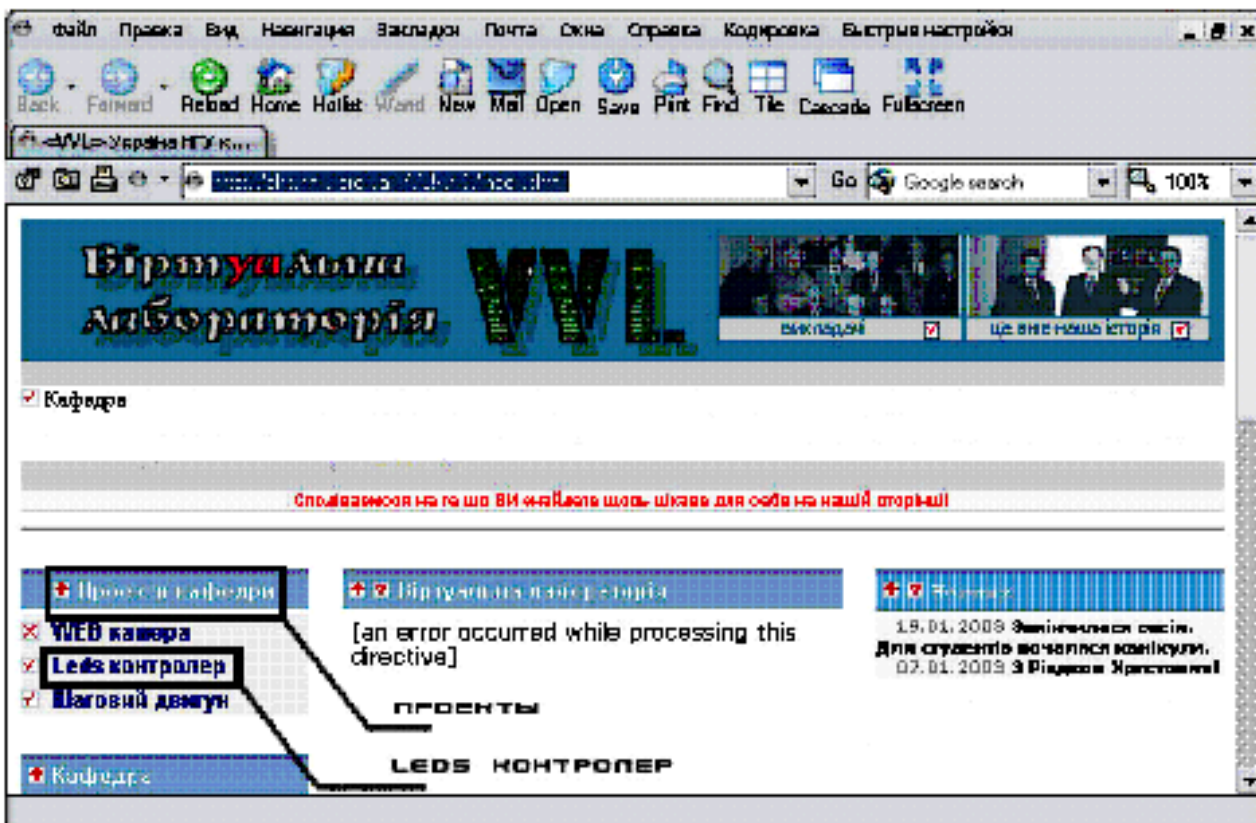


Рис. 15.3. Початок виконання лабораторної роботи

Ознайомитися із загальним описом лабораторної роботи і з порядком виконання завдання можливо на цій же сторінці (рис. 15.4, 15.5).

При старті програми (аплета) у полі „стан аплета” при підключенні з’являється напис „Login In”, а потім – напис „ОК” (рис. 15.6). При цьому знадобиться якийсь час, щоб висвітилося „ОК”, оскільки швидкість роботи аплета безпосередньо залежить від швидкості, на якій виконано підключення робочої станції до мережі Інтернет.

При успішному запуску (при спостереженні через web-камеру за стендом) світлодіод «готовність до роботи» (рис. 15.2) перейде із стану очікування (світлодіод горить) в стан «робота» (світлодіод почне мигати).

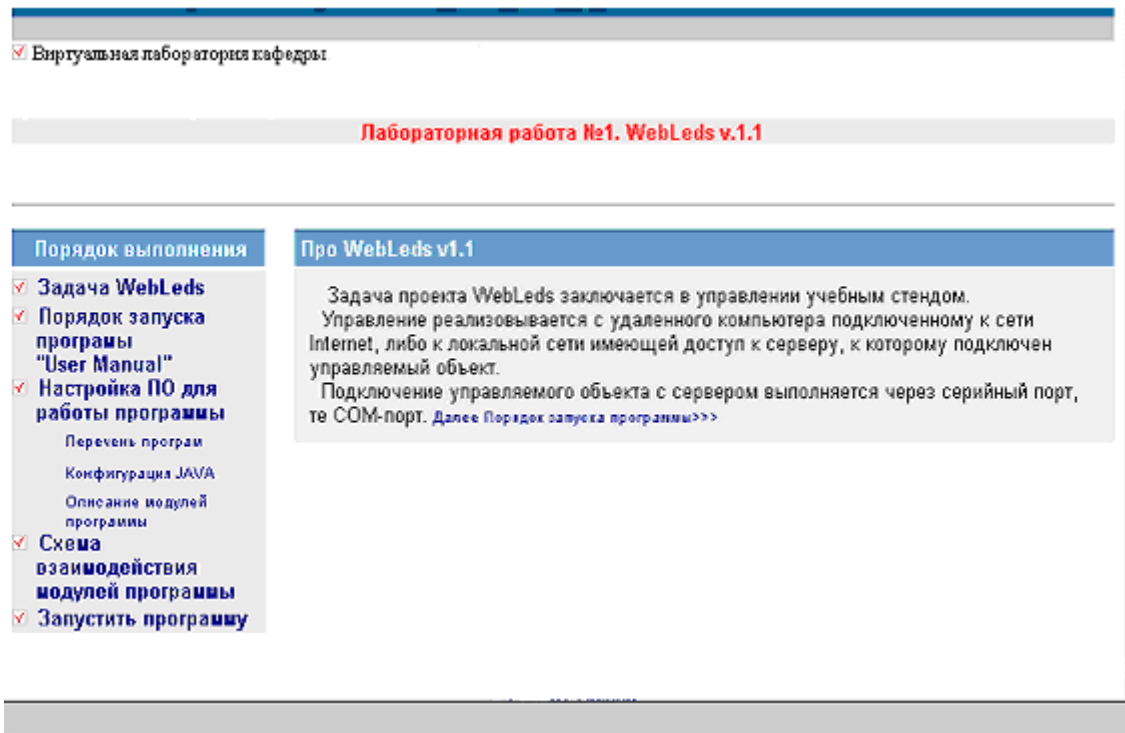


Рис. 15.4. Приклад загального опису лабораторної роботи

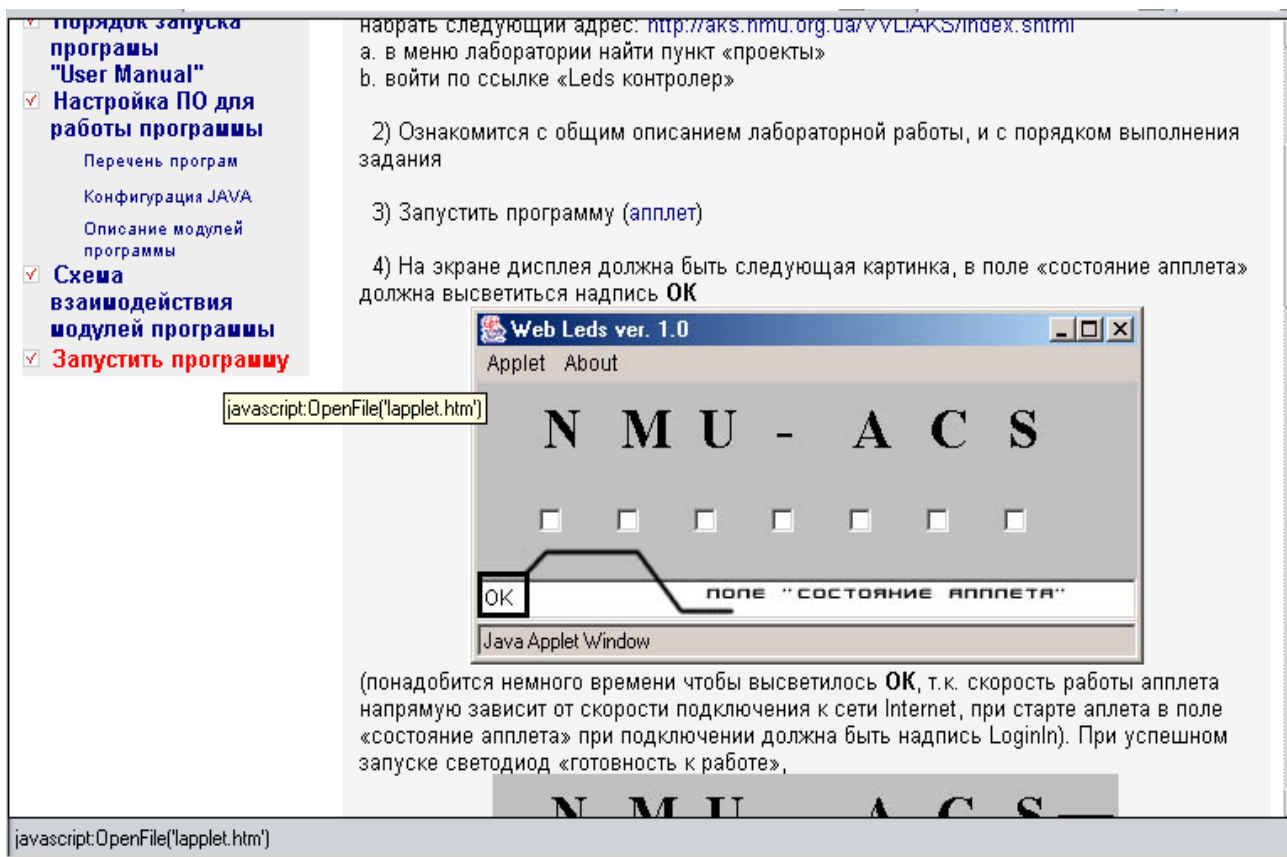


Рис. 15.5. Порядок виконання лабораторної роботи



Рис. 15.6. Java Applet для керування засвіченням букв у рядку NMU–ACS

Сеанс керування триває до 200 с, а потім, якщо користувач не встигає закінчити його, то відбувається примусовий розрив зв'язку (рис. 15.7). Це необхідно у тому випадку, якщо користувач забув закрити аплет.

Тоді програма, щоб не займати канал зв'язку, самостійно закінчує роботу.

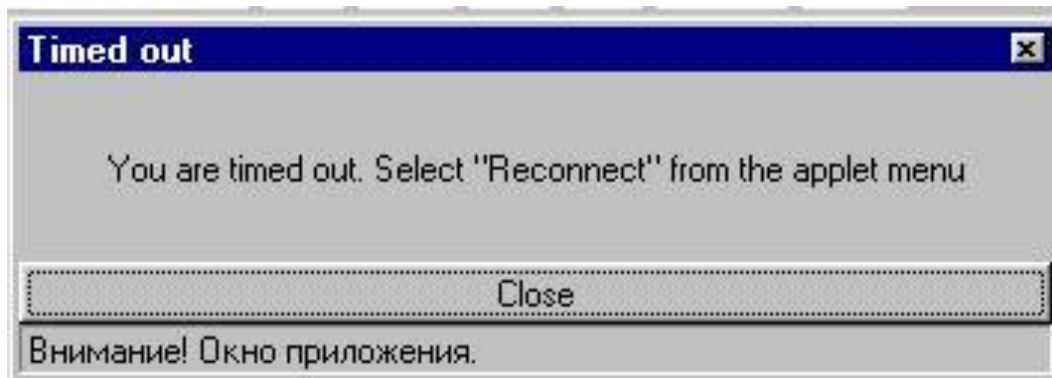


Рис. 15.7. Вікно виведення однорядкового повідомлення про примусовий розрив зв'язку

При необхідності продовження роботи, якщо пройшло 200 с і відбувся розрив зв'язку, треба увійти до меню File аплета, вибрати пункт Reconnect Server (рис. 15.8), дочекатися у віконці “стан аплета” напису „OK” і продовжити роботу.

Після завершення роботи з аплетом необхідно закрити його (світлодіод «режим роботи індикації» (рис. 15.2) повинен перейти в стан „очікування зв'язку” – світлодіод постійно горить).

Якщо при роботі з аплетом залишилися засвіченими якісь букви, вони погаснуть автоматично із завершенням роботи з аплетом.

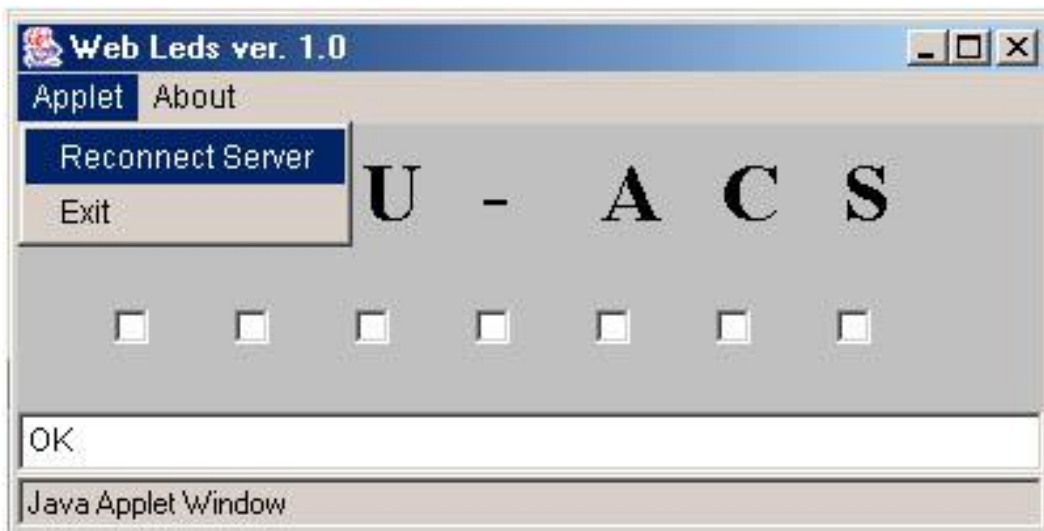


Рис. 15.8. Продовження роботи з аплетом

Для виконання лабораторної роботи WEB LEDS 1.0 було розроблено програмне забезпечення, що складається з таких об'єктно-орієнтованих класів:

- LedsApplet.java – модуль, який викликається з браузера, є стартовою програмою;
- CommunicationHandler.java – модуль, який збирає повідомлення, послані на нього з інших елементів програми, і готує їх до відправки в LedsServlet;
- LedsFrame.java – модуль (рис. 15.9, 15.10) для візуалізації лабораторного стенда;



Рис. 15.9. Візуалізація лабораторного стенда LEDS

- LedsServlet.java – модуль-сервлет, який передає дані через Інтернет;
- LedsController.java – модуль роботи з нижнім рівнем;
- SerialInterface.java – модуль, що відповідає за відкриття послідовного порту і за посилки в нього даних;
- MessageBox.java – модуль, що реалізовує вікно для виведення однорядкових повідомлень (рис. 15.7);

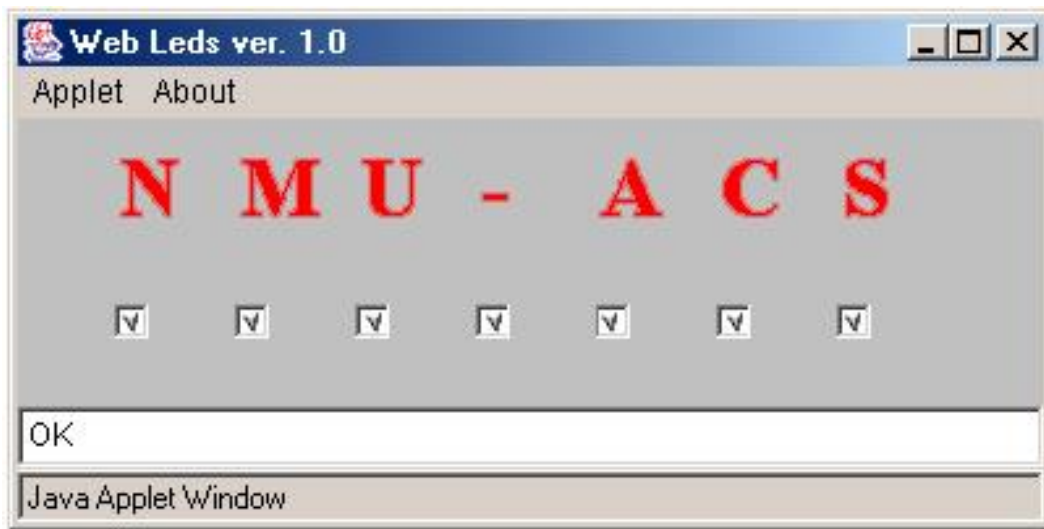


Рис. 15.10. Java Applet при всіх засвічених буквах

- MultilineBox.java – модуль, що реалізовує вікно для виведення багаторядкових повідомлень;
- SubDialog.java – модуль, що реалізовує діалог;
- CommunicationObject.java – модуль, що призначений для внутрішніх пересилок;
- CountdownListener.java – модуль припинення роботи, викликається, коли закінчується час сеансу;
- CountdownThread.java – модуль для контролю часу сеансу (таймер);
- Cycler.java – модуль для старту і контролю посилок;
- CyclerListener.java – модуль, що починає посилки;
- Ticket.java – модуль посилки команд від клієнта на сервер.

### Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи

1. Які вузли входять у склад структурної схеми системи керування світлодіодною панеллю?
2. Яке повинно бути обладнання робочої станції (комп'ютера користувача) для виконання лабораторної роботи WEB LEDS?
3. Які повинні бути встановлені програми на робочій станції (комп'ютері користувача) для виконання лабораторної роботи WEB LEDS?
4. Які відомі режими роботи лабораторного стенда?
5. Яке програмне забезпечення розроблено для лабораторної роботи WEB LEDS?
6. Який порядок виконання лабораторної роботи WEB LEDS?
7. Який напис з'являється при старті аплету в полі „стан аплету” при підключенні?
8. Який напис з'являється в полі „стан аплету” після підключення?
9. Які види повідомлень можуть з'являтися при роботі аплету?
10. Скільки часу триває сеанс керування у лабораторній роботі WEB LEDS?

## 15.1.2. Дослідження крокового двигуна

### Мета лабораторної роботи

Ознайомитися з прикладом системи керування кроковим двигуном через Інтернет.

### Організація виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій і методичні вказівки, такі питання:

- структурна схема лабораторної роботи WEB STEP;
- особливості роботи крокового двигуна;
- програмне забезпечення лабораторної роботи WEB STEP;
- порядок виконання лабораторної роботи WEB STEP.

Далі виконати такі дії:

а) у вікні браузера, що підтримує Java, JavaScript, необхідно набрати http-адресу віртуальної лабораторії, знайти пункт „проекти” та увійти відповідно посиланню „Step-контролер”;

б) ознайомитися на web-сторінці із загальним описом лабораторної роботи і з порядком виконання завдання;

в) запустити програму (аплет) і почекати, поки на екрані дисплея не з'явиться аплет із зображенням стенда, а у віконці „стан аплета” – напис „ОК”;

г) для заданої викладачем частоти роботи крокового двигуна і кількості кроків визначити експериментально декілька раз кути повороту вала двигуна при обертанні вправо, підрахувати їх середнє значення, а потім і крок двигуна, результати занести у табл. 15.1;

Таблиця 15.1

Дані експерименту з кроковим двигуном

Напрямок обертання	Частота, Гц	Кількість кроків	Кут повороту вала двигуна, град										Середнє значення	Крок двигуна
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Вправо														
Вліво														

д) провести експеримент при обертанні вала двигуна в інший бік, результати занести у табл. 15.1 і порівняти дані;

е) закрити аплет після завершення роботи з ним.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- тему і мету лабораторної роботи;
- структурну схему виконання лабораторної роботи;
- дані експерименту з кроковим двигуном;
- перелік можливостей застосування вивченої системи керування кроковим двигуном через Інтернет.

## Теоретичні відомості

Структурна схема лабораторної роботи WEB STEP 1.0 включає комп'ютер користувача, сервер і підключений через послідовний порт сервера лабораторний стенд. Лабораторний стенд складається з мікроконтролера і підключеного до нього крокового двигуна.

Мікроконтролер може подавати напругу (у вигляді імпульсів) на обмотки двигуна за допомогою команди із сервера та відповідних підсилювачів. При цьому будуть змінюватися порядок подачі напруги (напрямок руху), частота (швидкість обертання) і кількість імпульсів (кут повороту).

На початку виконання роботи необхідно набрати http-адресу віртуальної лабораторії та перейти завдяки посиланню „Step-контролер” у меню лабораторії.

Ознайомитися із загальним описом лабораторної роботи та з порядком виконання завдання можливо на цій же сторінці.

При старті програми (аплета) у полі „стан аплета” при підключенні з'являється напис „Login In”, а потім – напис „ОК” (рис. 15.6). При цьому знадобиться якийсь час, щоб висвітилося „ОК”, оскільки швидкість роботи аплета безпосередньо залежить від швидкості, на якій виконано підключення робочої станції до мережі Інтернет.

Сеанс керування триває до 200 с, а потім, якщо користувач не встиг закінчити його, відбувається примусовий розрив зв'язку.

Це необхідно для випадку, якщо користувач забув закрити аplet. Тоді програма, щоб не займати канал зв'язку, самостійно закінчує роботу.

При необхідності продовження роботи, якщо пройшло 200 с і відбувся розрив зв'язку, треба увійти до меню File аплета, вибрати пункт ReconnectServer, дочекатися у віконці „стан аплета” напису „ОК” і продовжити роботу.

Після завершення роботи з аpletом необхідно закрити його.

Для виконання лабораторної роботи WEB STEP 1.0 було розроблено програмне забезпечення, що складається з таких об'єктно-орієнтованих класів:

- StepApplet.java – модуль, який викликається з браузера, є стартовою програмою;
- CommunicationHandler – модуль, який збирає повідомлення, послані на нього з інших елементів програми, і готує їх до відправки в StepServlet;
- StepFrame.java – модуль (рис. 15.11) для візуалізації лабораторного стенда;
- StepServlet.java – модуль-сервлет, який передає дані через Інтернет;
- StepController.java – модуль роботи з нижнім рівнем;
- SerialInterface.java – модуль, що відповідає за відкриття послідовного порту і за посилки на нього даних;
- MessageBox.java – модуль, що реалізовує вікно для виведення однорядкових повідомлень (рис. 15.12);
- MultilineBox.java – модуль, що реалізовує вікно для виведення багаторядкових повідомлень;

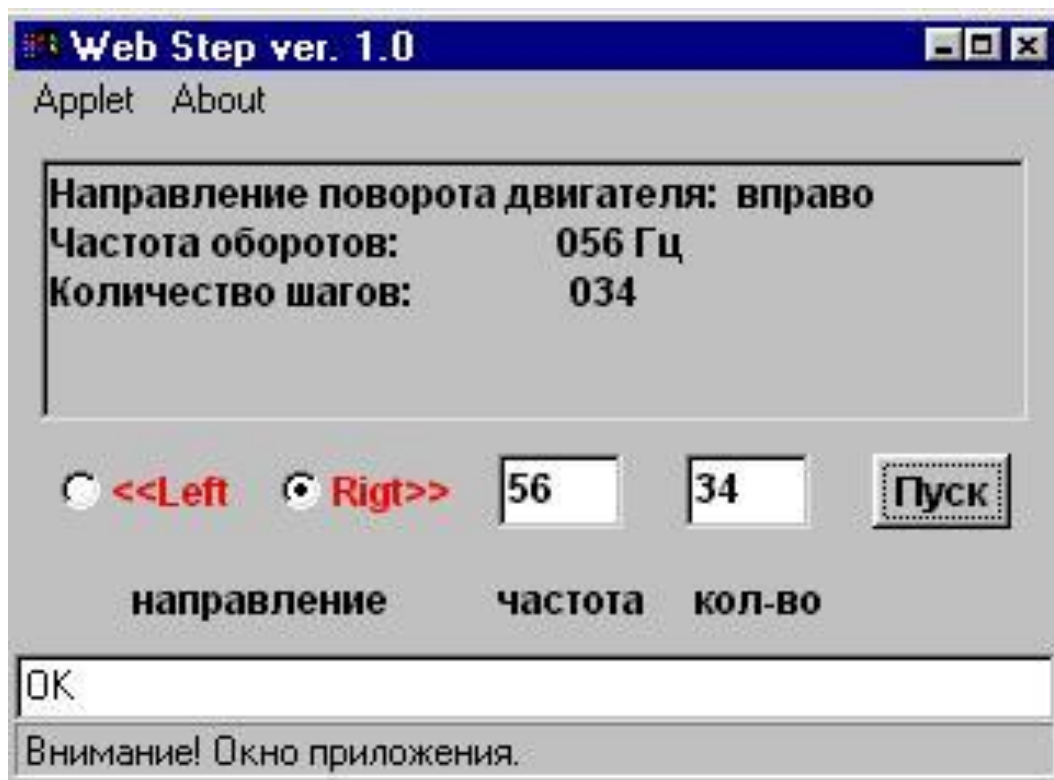


Рис. 15.11. Візуалізація лабораторного стенда STEP

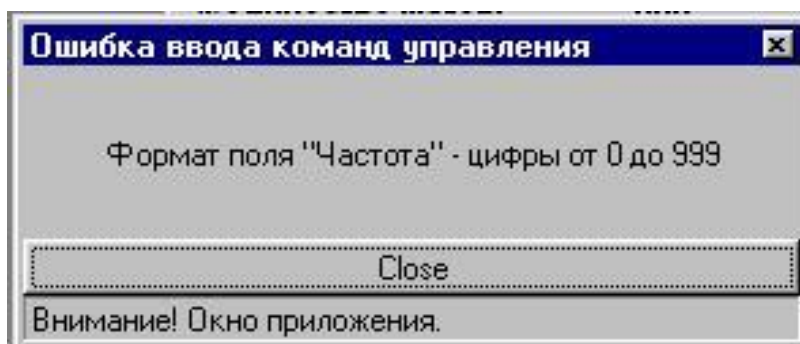


Рис. 15.12. Приклад вікна з однорядковим повідомленням

- SubDialog.java – модуль, що реалізовує діалог;
- CommunicationObject.java – модуль, що призначений для внутрішніх пересилань;
- CountdownListener.java – модуль припинення роботи, викликається, коли закінчується час сеансу;
- CountdownThread.java – модуль для контролю часу сеансу (таймер);
- Cycler.java – модуль для старту і контролю посилок;
- CyclerListener.java – модуль, що починає посилки;
- Ticket.java – модуль посилки команд від клієнта на сервер.

Для перевірки даних, що поступають в порт, було передбачено режим трасування (вікно ServletRunner, рис. 15.13).



```
SerialInterface.openConnection() : found COM3
SerialInterface.openConnection() : found COM4
SerialInterface.openConnection() : COM2 open
LedsServlet ready
LedsController s1=1;
LedsController s2=056;
LedsController s3=034;
IN BYTES SerialInterface.send()=[B@a188d5d3;
IN STRING SerialInterface.send()=1;
IN BYTES SerialInterface.send()=[B@a058d5d3;
IN STRING SerialInterface.send()=056;
IN BYTES SerialInterface.send()=[B@a24cd5d3;
IN STRING SerialInterface.send()=034;
SerialInterface.receive() : received 7 bytes: LedsController.receiveRaw()=49;
LedsController.receiveRaw()=48;
LedsController.receiveRaw()=53;
LedsController.receiveRaw()=54;
LedsController.receiveRaw()=48;
LedsController.receiveRaw()=51;
LedsController.receiveRaw()=52;
LedsController.receiveRaw()=49;
strAnswer=1056034
LedsController.sendByte() received=1056034;
processNewValueRequest.response=1056034;
```

Рис. 15.13. Вікно з трасуванням даних, що поступають

### Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи

1. Які вузли входять у склад структурної схеми системи керування кроковим двигуном через Інтернет?
2. Яке повинно бути обладнання робочої станції (комп'ютера користувача) для виконання лабораторної роботи WEB STEP?
3. Які повинні бути встановлені програми на робочій станції (комп'ютері користувача) для виконання лабораторної роботи WEB STEP?
4. Який принцип роботи крокового двигуна?
5. Які параметри можна змінити при проведенні експериментів на лабораторному стенді?
6. Яке програмне забезпечення розроблено для лабораторної роботи WEB STEP?
7. Який порядок виконання лабораторної роботи WEB STEP?
8. Який напис з'являється при старті аплету у полі „стан аплету” при підключенні?
9. Який напис з'являється у полі „стан аплету” після підключення?
10. Які види повідомлень можуть з'являтися при роботі аплету?
11. Скільки часу триває сеанс керування у лабораторній роботі WEB STEP?
12. Як перевірити дані, що поступають у порт сервера?

## **15.2. Вивчення складної мехатронної системи через Інтернет**

### **15.2.1. Мехатронна система “М’яч на колесі”**

#### **Мета лабораторної роботи**

Ознайомитися з прикладом складної МС “М’яч на колесі”.

#### **Організація виконання лабораторної роботи**

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій і методичні вказівки, такі питання:

- а) структурна схема складної мехатронної системи;
- б) особливості системи керування положенням складного рухомого об’єкта у вигляді м’яча на колесі;
- в) програмне забезпечення лабораторної роботи WEB BALL1;
- г) порядок виконання лабораторної роботи WEB BALL1.

Далі виконати такі дії:

- а) у вікні браузера, що підтримує Java (IE4.0 і вище, Mozilla та ін.), необхідно набрати http-адресу віртуальної лабораторії, знайти пункт „проекти” та увійти за допомогою посилання „Ball-контролер1”;
- б) ознайомитися на web-сторінці із загальним описом лабораторної роботи WEB BALL1 і з порядком виконання завдання;
- в) запустити програму (аплет) web-камери натисканням на відповідну кнопку на web-сторінці лабораторії і почекати, поки камера автоматично сфокусується на найбільш прийнятний кут спостереження і масштаб, задані для цієї системи заздалегідь, а на екрані дисплея не з’явиться аплет із зображенням стенда WEB BALL1;
- г) простежити поведінку мехатронної системи на початковому етапі;
- д) викликати вікно зміни параметра зміщення позиції балансування м’яча;
- е) змінити відповідно до заданого викладачем варіанта параметр зміщення  $\Delta S$  і простежити поведінку мехатронної системи при цьому значенні параметра;
- ж) виконати ще одну зміну параметра зміщення позиції балансування м’яча і простежити поведінку мехатронної системи;
- и) порівняти дані цих експериментів;
- к) закрити аплет після завершення роботи з ним.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) тему і мету лабораторної роботи;
- б) структурну схему мехатронної системи;
- в) дані експерименту з різними параметрами зміщення позиції балансування;
- г) перелік можливостей застосування вивченої мехатронної системи з керування через Інтернет.

#### **Теоретичні відомості**

Мехатронна система демонструє принципи автоматичного керування положенням складного рухомого об’єкта у вигляді м’яча на колесі. Головна мета керування полягає в постійному балансуванні м’яча на колесі, щоб м’яч не впав з нього (рис. 15.14).

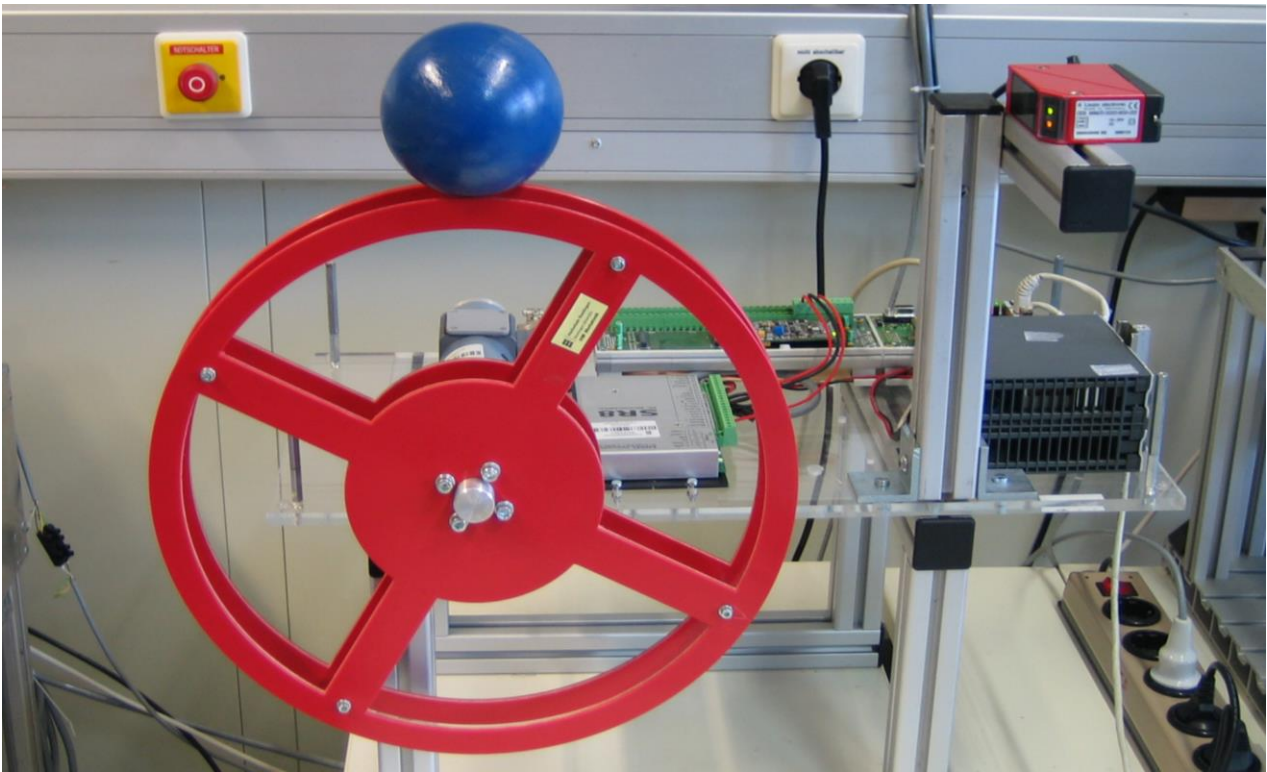


Рис. 15.14. Зовнішній вигляд системи балансування м'яча на колесі

Керування здійснюється вбудованим (embedded) контролером Sitek/Ultimodule SCM-220 і базується на зворотному зв'язку від датчика вимірювання відстані [45, 46]. Уся логіка керування реалізується програмою контролера відповідно до умовної схеми функціонування системи (рис. 15.15).

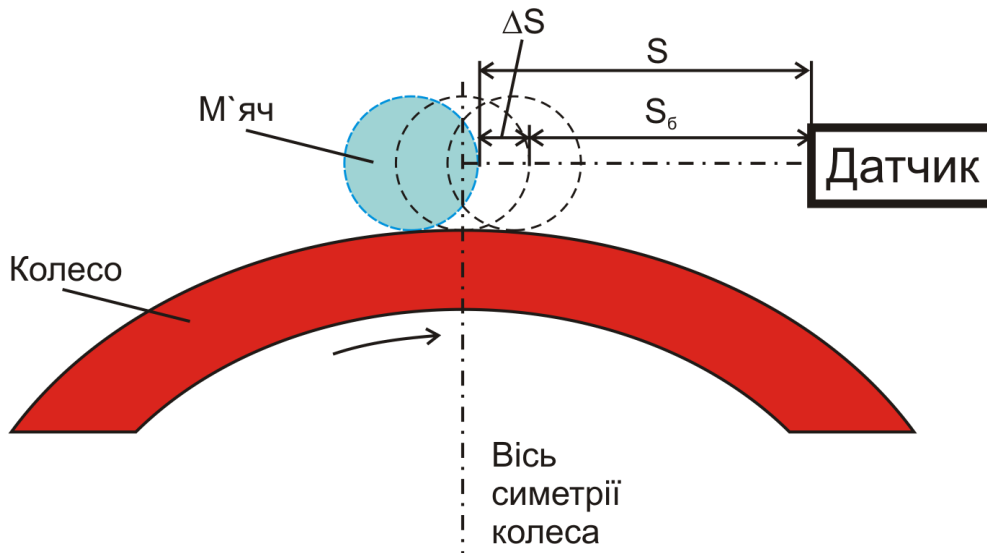


Рис. 15.15. Умовна схема функціонування системи

Кожний вимір датчика забезпечує контролер поточним значенням відстані  $S$  до м'яча. Програма керування контролера аналізує значення відстані та реагує на переміщення м'яча, розраховуючи і регулюючи сигнал керування.

Цей сигнал керування передається на сервопідсилювач та має значення частоти обертання двигуна. Двигун з'єднано через редуктор з віссю колеса (рис. 15.16).

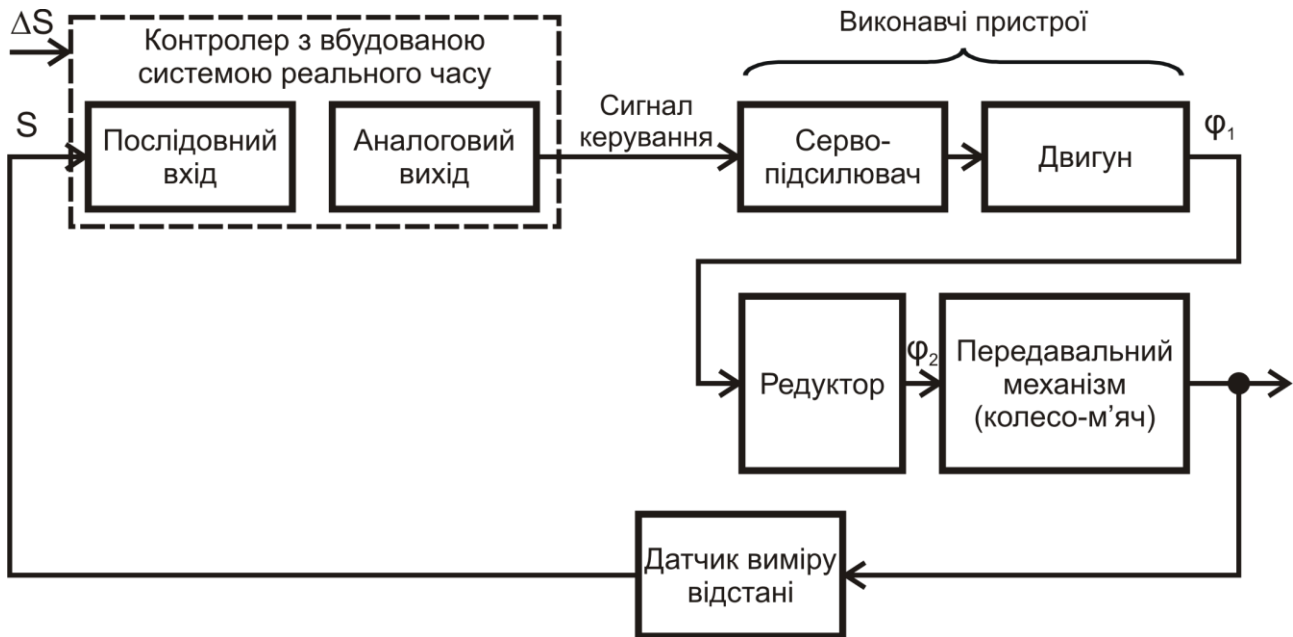


Рис. 15.16. Структурна схема мехатронної системи балансування

Обертання колеса призводить до руху м'яча у напрямі бажаної позиції. При цьому м'яч здійснює складний обертально-поступальний рух. У процесі цього руху відстань від датчика до м'яча змінюється. Датчик вимірює нову відстань  $S$ , надсилає результат до контролера і цикл керування повторюється (рис. 15.15). Тривалість циклу складає 22 мс.

При даному досліді користувач має можливість на реальному прикладі ознайомитися з принципом функціонування системи керування складним об'єктом віддалено з будь-якої точки мережі Інтернет за допомогою веб-сервісу, спостерігаючи через веб-камеру.

Крім спостереження, користувачу надається можливість змінювати параметр зміщення  $\Delta S$  та відповідно поведінку системи. І знову ж таки за допомогою веб-камери в режимі реального часу користувач зможе побачити результати власного впливу на систему, дослідити залежність характеру керування від змінюваного параметра зміщення  $\Delta S$ .

Важливо забезпечити безперебійне цілодобове функціонування системи та доступність її для користувачів. Система запрограмована і налаштована так, щоб м'яч за жодних обставин не впав з колеса через ті чи інші дії віддаленого користувача. Інакше відновити роботу системи можна буде лише при локальному втручанні обслуговуючого персоналу лабораторії, який установить м'яч на колесо. Стабільність роботи системи забезпечено обмеженням максимальної величини зміщення від  $-3,5$  до  $+3,5$  мм від центральної позиції м'яча на колесі.

На web-сторінці лабораторії користувач може ознайомитися з подробицями технічної реалізації і принципом функціонування системи.

Спостерігати роботу системи в режимі реального часу можливо завдяки встановленій у лабораторії веб-камери [45]. Користувач відкриває вікно камери натисканням на відповідну клавішу на сторінці лабораторії та в налагодженнях вибирає саме систему балансування м'яча на колесі. Камера автоматично сфокусується на найбільш прийнятний кут спостереження і масштаб, задані для цієї системи заздалегідь (рис. 15.17).

Користувач може змінити поведінку системи. При натисканні клавіші миші на посиланні зміни параметра зміщення відкривається діалогове вікно зміни параметра (рис. 15.18).

Наприклад, у даний час колесо обертається. Якщо це нас не влаштовує, ми відкриваємо вікно параметра зміщення, бачимо, що цей параметр відмінний від нуля і змінюємо його. Встановленням цього параметра рівним нулю ми припинимо постійне обертання колеса. Крім безпосередньої можливості спостерігати керування рухомою системою, це демонструє можливість віддаленого керування такими складними системами, що є дуже важливими функціями для сучасної промисловості.

Для виконання лабораторної роботи було розроблено програмне забезпечення (на мові C++), цикл керування якого реалізує ПІ-регулятор (пропорційно-інтегральний) у функції main (файл *main.cpp*).

Для абстрагування в головному циклі від подробиць роботи з апаратними засобами розроблено три класи: **CSerialConnection**, **CDistanceSensor** і **CMotor**. Для застосування параметрів керування, які користувач може вводити у веб-форму, зроблено клас **CAppearance**.

У головній функції main створюються і використовуються об'єкти цих чотирьох класів.

Клас **CDistanceSensor** призначений для отримання величини відстані з датчика ODS 96. Цей клас для роботи з послідовним портом використовує об'єкт класу **CSerialConnection**.

Клас **CMotor** призначений для виводу значення швидкості до двигуна через модуль аналогового виводу USMCA8CO.

Клас **CAppearance** створено для обміну даними з обробниками HTTP-запитів.

Аплікація створена на базі компонентного каркаса eCos – операційної системи реального часу. Ця аплікація також містить вбудований HTTP-сервер, який забезпечує системі веб-інтерфейс. Використовуючи звичайні веб-форми, користувач може змінювати параметри керування прямо під час виконання програми керування. Наприклад, ця демонстрація дозволяє користувачеві встановити максимально можливе зміщення позиції балансування м'яча відносно вертикальної осі симетрії колеса. Базова позиція – це позиція м'яча на самій вершині колеса ( $S=S_0$ ). Коли м'яч знаходиться у базовій позиції, колесо практично не обертається, а лише ледь помітними рухами балансує м'яч, запобігаючи його падінню.



Рис. 15.17. Спостереження роботи системи через веб-камеру

Для того, щоб балансувати м'яч у будь-якій позиції (крім базової), коли користувач задає параметр зміщення, відмінний від нуля, колесо має поступово обернутись (рис. 15.15). Залежно від знака параметра зміщення колесо буде обернутись за годинниковою стрілкою (позитивне значення параметра) або проти неї (негативне значення). При цьому м'яч також обертається, балансуючи у межах заданої позиції, і не падає. Користувач може змінити параметр зміщення  $\Delta S$  в межах від  $-3,5$  до  $+3,5$  мм.

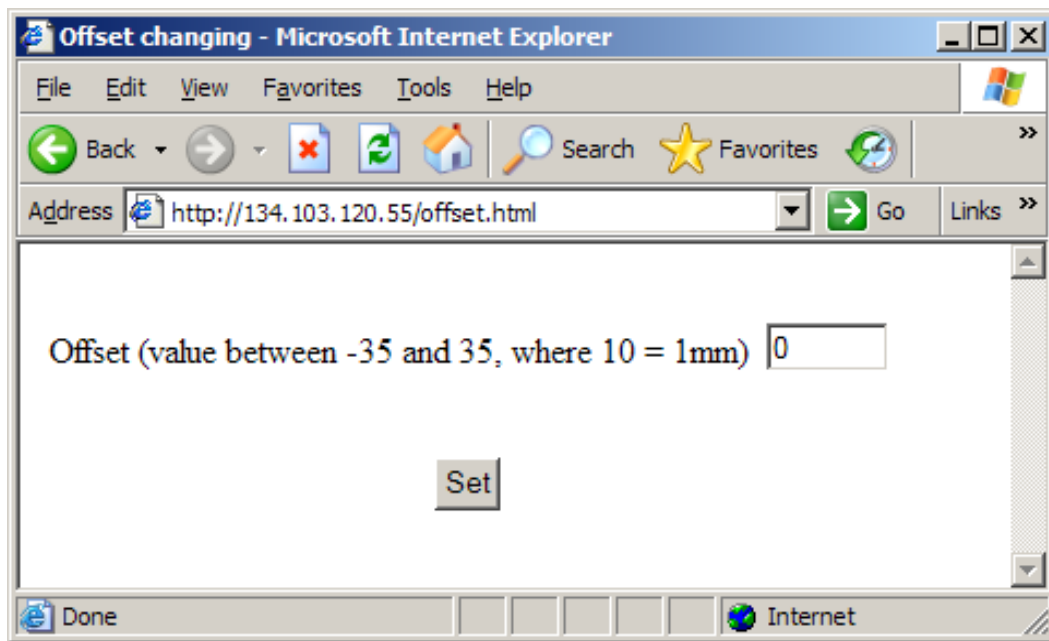


Рис. 15.18. Вікно зміни параметра зміщення позиції балансування м'яча

### Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи

1. Які вузли входять у склад структурної схеми МС “М’яч на колесі”?
2. Яке повинно бути обладнання робочої станції (комп'ютера користувача) для виконання лабораторної роботи WEB BALL1?
3. Які повинні бути встановлені програми на робочій станції (комп'ютері користувача) для виконання лабораторної роботи WEB BALL1?
4. Який принцип роботи ПІ-регулятора?
5. Які параметри можна змінювати при проведенні експериментів на лабораторному стенді WEB BALL1?
6. Яке програмне забезпечення розроблено для лабораторної роботи WEB BALL1?
7. Який порядок виконання лабораторної роботи WEB BALL1?
8. Який напис з'являється при старті аплета web-камери в полі „стан аплета” при підключенні?
9. Який напис з'являється в полі „стан аплета” після підключення?
10. Скільки часу триває сеанс керування у лабораторній роботі WEB BALL1?

## 15.2.2. Мехатронна система “М’яч на кулі”

### Мета лабораторної роботи

Ознайомитися з прикладом складної МС “М’яч на кулі”.

### Організація виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити, використовуючи рекомендовану літературу, конспект лекцій і методичні вказівки, такі питання:

- а) структурна схема складної МС “М’яч на кулі”;
- б) особливості системи керування положенням складного рухомого об’єкта у вигляді м’яча на колесі;
- в) програмне забезпечення лабораторної роботи WEB BALL2;
- г) порядок виконання лабораторної роботи WEB BALL2.

Далі виконати такі дії:

- а) у вікні браузера, що підтримує Java (IE4.0 і вище, Mozilla та ін.), необхідно набрати http-адресу віртуальної лабораторії, знайти пункт „проекти” та увійти за допомогою посилання „Ball-контролер2”;
- б) ознайомитися на web-сторінці із загальним описом лабораторної роботи WEB BALL2 і з порядком виконання завдання;
- в) запустити програму (аплет) web-камери натисканням на відповідну кнопку на web-сторінці лабораторії і почекати, поки камера автоматично сфокусується на найбільш прийнятний кут спостереження і масштаб, задані для цієї системи заздалегідь, а на екрані дисплея не з’явиться аплет із зображенням стенда WEB BALL2;
- г) простежити поведінку МС “М’яч на кулі” на початковому етапі;
- д) викликати вікно зміни параметра зміщення позиції балансування м’яча;
- е) змінити відповідно до заданого викладачем варіанта параметр  $\varphi$  і простежити поведінку МС “М’яч на кулі” при цьому значенні параметра;
- ж) виконати ще одну зміну параметра зміщення позиції балансування м’яча і простежити поведінку МС “М’яч на кулі”;
- и) порівняти дані цих експериментів;
- к) закрити аплет після завершення роботи з ним.

Підготувати звіт з виконання лабораторної роботи, який повинен включати:

- а) тему і мету лабораторної роботи;
- б) структурну схему МС “М’яч на кулі”;
- в) дані експерименту з різними параметрами зміщення позиції балансування;
- г) перелік можливостей застосування вивченої МС “М’яч на кулі” з керування через Інтернет.

### Теоретичні відомості

Мехатронна система демонструє принципи автоматичного керування положенням складного рухомого об’єкта у вигляді м’яча на кулі. Головна мета керування полягає в постійному балансуванні м’яча на кулі, щоб м’яч не впав з неї (рис. 15.19), при цьому нижній шар обертається заданим чином у двох площинах.



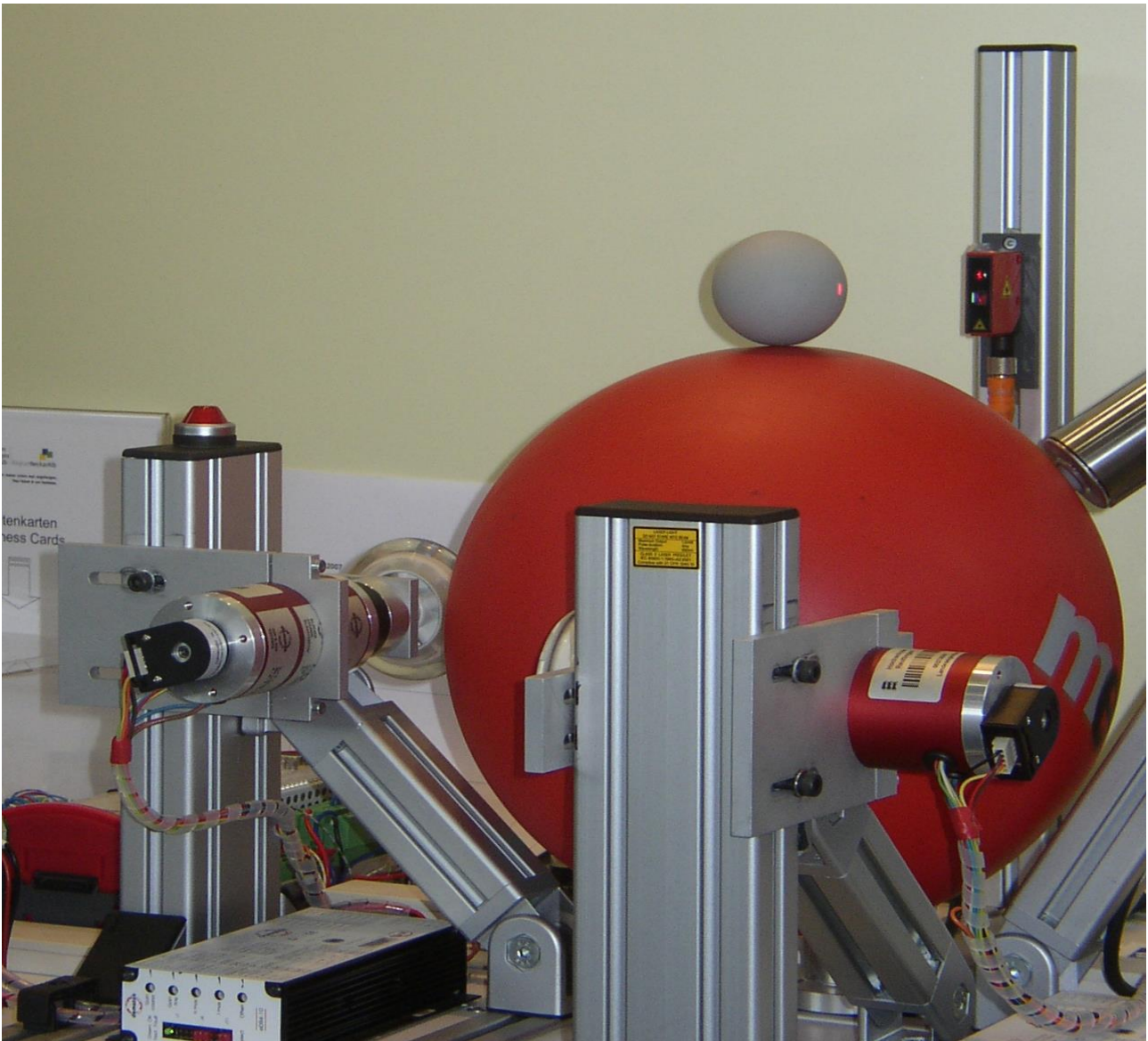


Рис. 15.19. Зовнішній вигляд системи балансування м'яча на кулі

Для приведення кулі в рух у двох площинах, щоб у верхній його точці створювалися довільно спрямовані тангенціальні вектори швидкості руху, можливі різні схеми приводів.

У результаті досліджень був розроблений привід, подібний до приводу комп'ютерної миші (рис. 15.20). Причому привід є інвертованим, тому що в ньому не куля приводить у рух ролики, а обертання двох провідних фрикційних роликів передається кулі.

Ролики закріплені на валах високодинамічних двигунів і розташовані на екваторі кулі під кутом  $90^\circ$  у площинах  $X, Z$  і  $Y, Z$  відповідно.

За допомогою накладення часткових рухів у верхній точці кулі виробляються довільні тангенціальні вектори швидкості руху. Керування здійснюється контролером і базується на зворотньому зв'язку від безконтактних датчиків вимірювання відстані.

Завдання керування полягає в тому, щоб збалансувати м'яч на нижній кулі й утримувати кут відхилення якомога таким, що дорівнює  $0^\circ$ .

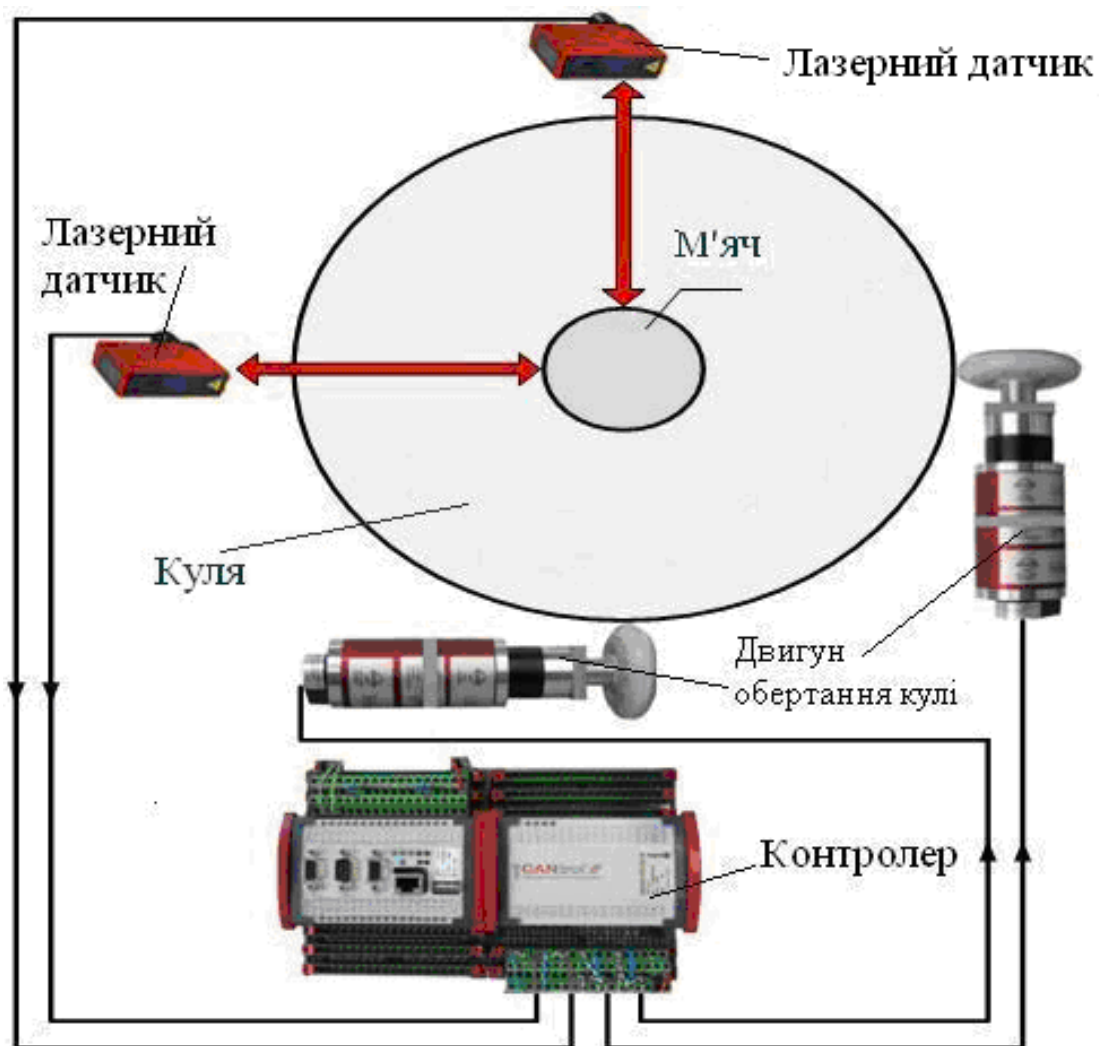


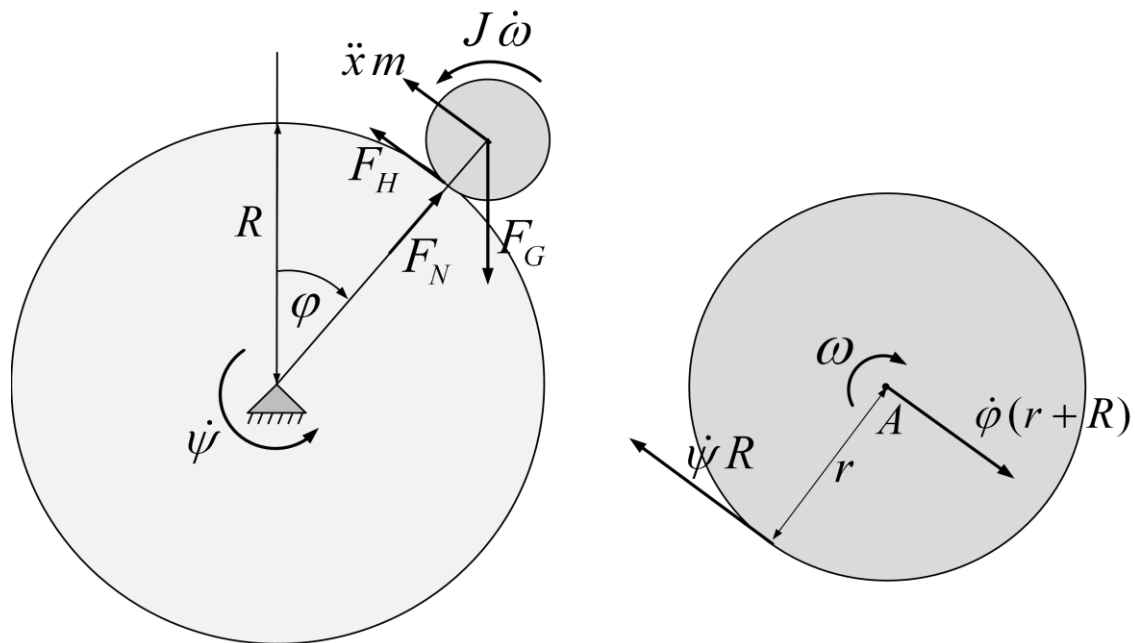
Рис. 15.20. Функціональна схема приводу МС "М'яч на кулі"

За допомогою двох датчиків відстані, встановлених у площині  $X$  та  $Y$ , можна визначити позицію м'яча. Дані з датчиків обробляються в програмованому логічному контролері, а керуючі впливи для двигунів розраховуються відповідно до алгоритму управління.

Щоб мати можливість визначити параметри регулювання, була розроблена математична модель МС "М'яч на кулі" і виконано її моделювання в системі MATLAB.

Для цього тривимірний модель була розділена на дві двовимірні моделі та зображена відповідно до рис. 15.21. Через встановлення рівноваги сил і моментів виведено нелінійне диференціальне рівняння другого порядку, що описує поведінку м'яча, який лежить на кулі. На підставі цього рівняння була побудована модель та розроблено алгоритм керування.

Аналіз роботи МС "М'яч на кулі" показує, що система може бути стабілізована за допомогою двох PI-регуляторів. Можливі короткострокові впливи на кут відхилення, тобто  $\varphi = \pm 6^\circ$ . Структурна схема контуру керування МС "М'яч на кулі" наведена на рис. 15.22.



$$m g \sin \varphi - \left( m(R+r) + J \frac{R+r}{r^2} \right) \ddot{\varphi} - J \frac{R}{r^2} \ddot{\psi} = 0$$

Рис. 15.21. Двовимірна модель МС "М'яч на кулі"

МС "М'яч на кулі" складається з двох таких контурів. Для реалізації віддаленого доступу через Інтернет в контролер вбудований веб-сервер, через який здійснюється доступ до параметрів системи. Як операційну систему використано ОС Linux RT.

Керування завданнями дозволяє виконувати запуск програмного забезпечення регулювання (тривалість циклу 5 мс) і в той же час роботу веб-сервера на тому самому процесорі.

На рис. 15.23 наведено принцип дії доступу через Інтернет до МС "М'яч на кулі".

Він дає можливість будь-якому користувачеві Інтернету по всьому світу отримати доступ до системи. За адресою в Інтернеті <http://vvl.reutlingen-university.de> можна відкрити веб-додаток "проекти" та увійти за допомогою посилання "Ball-контролер2".

Через інтерфейс веб-візуалізації можна задати величину збурюючих впливів контурів керування. Завдяки цьому система почне обертатись без загрози втратити стабільність. М'яч теж буде обертатися, але не падати, що доведе високу якість регулювання і працездатність розробленого алгоритму управління.

Протягом цих експериментів за МС "М'яч на кулі" можна спостерігати через веб-камеру.

Реалізована МС містить цілий ряд підсистем, які мають високий потенціал промислового застосування. Для різного роду рухомих роботів (обслуговуючих та інших) є вимога – з кожного положення зробити будь-який рух у двох декартових координатах.

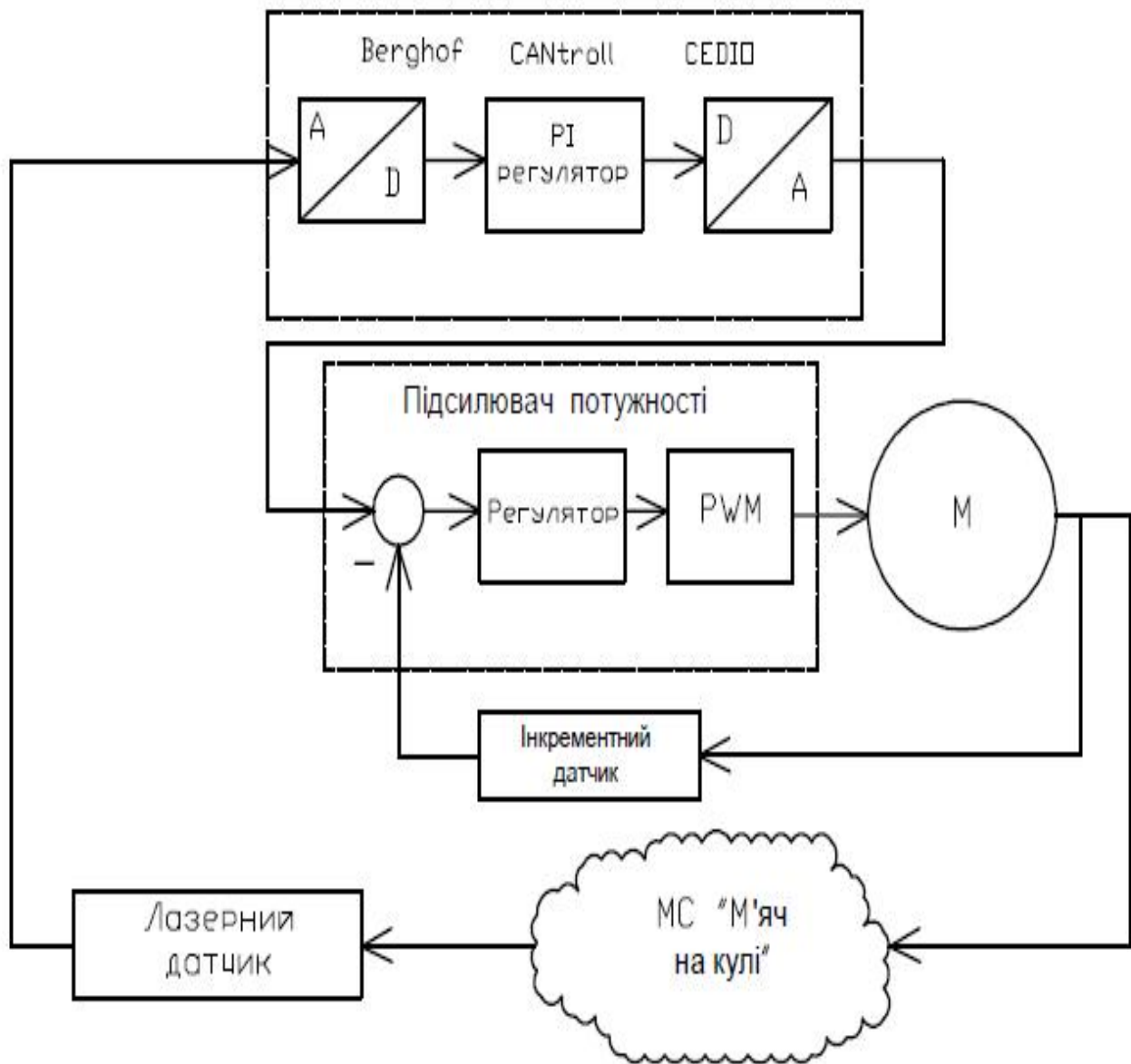


Рис. 15.22. Структурна схема керування МС "М'яч на кулі"

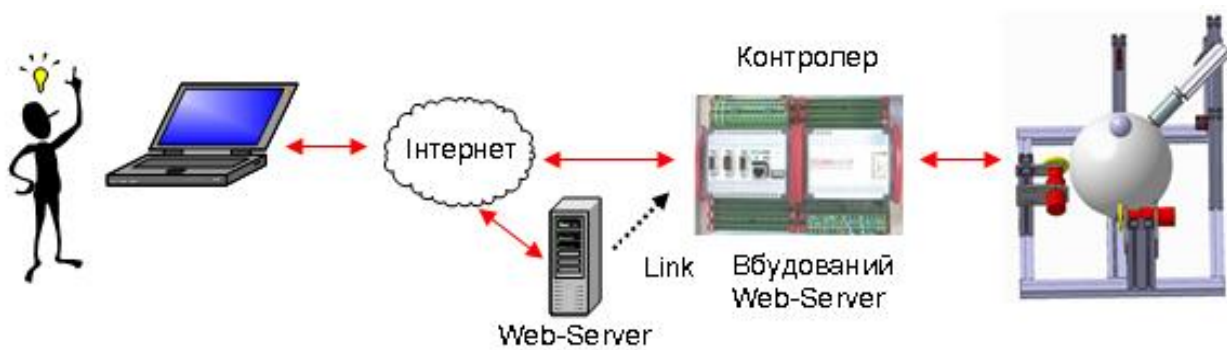


Рис. 15.23. Структурна схема Інтернет-доступу до МС "М'яч на кулі"

Реалізація цього стає можливою за допомогою єдиної підсистеми приводу згідно з розробленим принципом. Саме орієнтування, включаючи обертання на місці, можливо якщо використати другу підсистему приводу.

Технічні прийоми дистанційного впливу та обслуговування через Інтернет мають величезний потенціал застосування. Пристрої можуть здалеку спостерігатися і контролюватися.

У разі помилки можлива дистанційна діагностика її причини, тоді час реакції при виправленні буде відповідно скорочено. У деяких випадках (наприклад, при помилках програмування або програмного забезпечення) можна навіть виправити помилку через Інтернет. Клієнт завжди може отримати швидку та якісну консультацію і це значною мірою дозволить заощадити витрати.

### **Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи**

1. Які вузли входять у склад структурної схеми МС “М’яч на кулі”?
2. Яке повинно бути обладнання робочої станції (комп'ютера користувача) для виконання лабораторної роботи WEB BALL2?
3. Які повинні бути встановлені програми на робочій станції (комп'ютері користувача) для виконання лабораторної роботи WEB BALL2?
4. Який принцип роботи PI-регулятора?
5. Які параметри можна змінювати при проведенні експериментів на лабораторному стенді WEB BALL2?
6. Яка операційна система встановлена у контролері лабораторної роботи WEB BALL2?
7. Який порядок виконання лабораторної роботи WEB BALL2?
8. Як виконується доступ до параметрів МС “М’яч на кулі” через Інтернет?
9. Який принцип дії доступу до МС “М’яч на кулі” через Інтернет?
10. Скільки часу триває цикл керування у лабораторній роботі WEB BALL2?

## ЧАСТИНА 4. КУРСОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ

### 16. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПР

#### 16.1. Завдання на курсовий проект

Метою курсового проектування для студентів з дисципліни „Робототехніка та мехатроніка” є розрахунок кінематичної схеми маніпулятора ПР і розробка мікропроцесорної системи і програми керування цим роботом.

ПР виконує технологічну операцію переміщення деталі з верстата у бункер-накопичувач. Точки положення захоплювача маніпулятора при захопленні деталі у верстаті і при скиданні в бункер-накопичувач задаються у вигляді координат у системі стояка ПР.

За заданою кінематичною схемою маніпулятора і заданим положенням вихідної ланки (захоплювача) треба розрахувати змінні параметри маніпулятора, тобто вирішити пряму і обернену задачу кінематики з використанням метода матриць, та визначити необхідні переміщення відповідно до кожної координати ПР. Розміри ланок маніпулятора підбираються самостійно (крок зміни розмірів 50 мм). Перевірку виконати графічним методом.

Далі розробляється система і програма керування ПР. У програмі необхідно застосувати раніше розраховані необхідні переміщення відповідно до кожної координати.

При виконанні проекту студент одержує практичні навички з розробки:

- математичної моделі маніпулятора ПР (при цьому розв'язуються пряме й обернене завдання кінематики);
- структурної та функціональної схем системи керування;
- програмного забезпечення системи керування.

Для виконання проекту студенту необхідні знання з базових (вступ до фаху, вища математика, аналітична динаміка, комп'ютерне моделювання процесів і систем), а також спеціальних дисциплін (електромашинні засоби автоматизації, мікропроцесорні системи, елементи і пристрої автоматики та системи керування, робототехніка та мехатроніка).

Тема курсового проекту – проектування ПР з мікропроцесорною системою керування.

Для проектування пропонуються 25 варіантів структури маніпуляторів ПР (табл. 16.1) і точок початкового й кінцевого положення захоплювача маніпулятора (табл. 16.2), варіанти підключення датчиків та виконавчих пристроїв до системи керування (табл. 16.3), варіанти виконання датчиків, виконавчих пристроїв, АЦП і послідовностей включення виконавчих двигунів при переміщенні захоплювача від верстата до бункера-накопичувача (табл. 16.4). В табл. 16.1 застосовуються такі позначення:

↑ – кінематична пара поступального руху; О – кінематична пара обертального руху; Р – осі кінематичних пар, розташовані під кутом  $90^\circ$ .

Якщо кут між осями кінематичних пар не вказано, тоді він дорівнює  $0^\circ$ .

В табл. 16.2 координати X, Y і Z початкового й кінцевого положення центру захоплювача маніпулятора наводяться у мм.

## Варіанти структури маніпуляторів ПР

№ варіанта	1-ша кінем. пара	Кут	2-га кінем. пара	Кут	3-тя кінем. пара	Кут	4-та кінем. пара	Кут	5-та кінем. пара
1	↑		↑	$\pi/2$	↑		О	$\pi/2$	О
2	↑		О	$\pi/2$	↑		↑	$\pi/2$	О
3	О	$\pi/2$	↑		О	$\pi/2$	О		↑
4	О	$\pi/2$	↑		↑		↑	$\pi/2$	О
5	↑		О	$\pi/2$	↑		↑	$\pi/2$	О
6	О	$\pi/2$	О		↑	$\pi/2$	↑	$\pi/2$	О
7	О		О		↑	$\pi/2$	О	$\pi/2$	О
8	О		↑	$\pi/2$	О	$\pi/2$	↑		↑
9	↑	$\pi/2$	О	$\pi/2$	О		↑		↑
10	↑		↑	$\pi/2$	↑		↑	$\pi/2$	О
11	О		↑	$\pi/2$	О	$\pi/2$	↑		↑
12	↑		О	$\pi/2$	О		О		↑
13	↑	$\pi/2$	О	$\pi/2$	О		↑		↑
14	О	$\pi/2$	О		О	$\pi/2$	↑		↑
15	О	$\pi/2$	О	$\pi/2$	↑	$\pi/2$	О		↑
16	↑		О	$\pi/2$	↑	$\pi/2$	↑	$\pi/2$	О
17	↑	$\pi/2$	↑		О	$\pi/2$	О		↑
18	О	$\pi/2$	↑		↑	$\pi/2$	О		↑
19	↑		О	$\pi/2$	О		↑	$\pi/2$	О
20	↑		О	$\pi/2$	↑	$\pi/2$	О		↑
21	О	$\pi/2$	↑		↑	$\pi/2$	О		↑
22	О		О	$\pi/2$	↑	$\pi/2$	О	$\pi/2$	↑
23	О		О		О	$\pi/2$	О	$\pi/2$	↑
24	↑	$\pi/2$	О		↑		↑	$\pi/2$	О
25	О	$\pi/2$	↑	$\pi/2$	↑		↑		О

У табл. 16.3 застосовуються такі позначення:

- IN – порт відповідного ППІ (першого чи другого), призначений для введення інформації з датчиків;
- OUT – порт відповідного ППІ (першого чи другого), призначений для виведення інформації на виконавчі пристрої;
- CxN – номер (N) відповідного порту ППІ (першого чи другого), призначений для керування захоплювачем (Cx1–Cx8);
- КЕР – порт відповідного ППІ (першого чи другого), призначений для керування комутатором.

Адреси портів ППІ1 і ППІ2 указані у шістнадцятирічній системі обчислення стосовно портів керування, адреси портів А, В, С потрібно розрахувати.

Таблиця 16.2

Варіанти точок початкового і кінцевого положення захоплювача маніпулятора

№ варіанта	Початкове положення			Кінцеве положення		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-165	-165	165	190	-165	365
2	-265	165	300	-165	-265	425
3	-265	210	250	165	-265	165
4	-165	-170	365	210	-165	465
5	-125	-250	325	-170	-125	265
6	-250	-250	325	-250	-250	400
7	210	-220	265	-250	210	350
8	165	125	165	-220	165	425
9	-165	-150	265	125	-165	165
10	-240	-350	365	-150	-240	300
11	250	-230	365	-350	250	250
12	-125	240	425	-230	-125	365
13	-125	180	165	240	-125	325
14	-265	-265	465	180	-265	325
15	265	-260	265	-265	265	265
16	-165	-170	400	-260	-165	165
17	-125	-230	350	-170	-125	265
18	-125	155	425	-230	-125	365
19	-350	250	365	-165	-165	265
20	-230	-125	425	-265	165	165
21	240	-125	165	-265	210	265
22	180	-265	465	-165	-170	365
23	-265	265	265	-125	-250	365
24	-260	-165	400	-250	-250	425
25	-170	-125	350	210	-220	165



Таблиця 16.3

Варіанти підключення датчиків і виконавчих пристроїв до системи керування

№ варіанта	Розподіл портів ППІ1				Розподіл портів ППІ2				Адреса	
	A	B	C1	C2	A	B	C1	C2	ППІ1	ППІ2
1	OUT		Cx1	IN	IN			KEP	BCH	B4H
2		OUT	KEP	Cx6	IN		IN		24H	C8H
3	OUT	IN	KEP				IN	Cx7	8CH	84H
4				KEP	IN	OUT	Cx4	IN	38H	DCH
5		IN	Cx1	KEP	OUT			IN	94H	98H
6		OUT	KEP	Cx6	IN		IN		C8H	24H
7				KEP	IN	OUT	Cx3	IN	DCH	38H
8	OUT		IN			IN	KEP	Cx8	4CH	E4H
9		IN		IN		OUT	Cx1	KEP	78H	7CH
10			KEP		OUT	IN	IN	Cx6	2CH	68H
11	OUT		Cx3	KEP		IN		IN	34H	7CH
12		OUT		IN		IN	Cx4	KEP	54H	F8H
13			KEP	Cx5	OUT	IN	IN		68H	2CH
14			IN		IN	OUT	KEP	Cx6	A8H	ACH
15	OUT		Cx3	KEP		IN		IN	7CH	34H
16		OUT	IN	IN			KEP	Cx8	84H	48H
17		IN	Cx1	KEP	OUT			IN	94H	98H
18		OUT		IN		IN	Cx2	KEP	54H	F8H
19		OUT	KEP	Cx6	IN		IN		8CH	84H
20				KEP	IN	OUT	Cx4	IN	38H	DCH
21	OUT		IN			IN	KEP	Cx5	94H	98H
22		IN	Cx2	IN		OUT		KEP	C8H	24H
23			KEP	Cx7	OUT	IN	IN		DCH	38H
24	OUT			KEP		IN	Cx4	IN	4CH	E4H
25		OUT	Cx1	IN		IN		KEP	78H	7CH

При оформленні курсового проекту перший аркуш завдання повинен мати вигляд, як показано у додатку Б, а далі наводяться дані, вибрані з табл. 16.1 – 16.4 відповідно варіанта, призначеного викладачем.

Завдання та календарний план його виконання підписується студентом і керівником проекту.

### 16.2. Вимоги до складових курсового проекту

Курсовий проект включає текстову і графічну частини.

Текстова частина виконується у вигляді пояснювальної записки обсягом не менше ніж 25 сторінок рукописного, машинописного або машинного тексту без урахування додатків. Вона повинна у стислій і чіткій формі розкрити основні рішення, прийняті у проекті.

## Варіанти виконання датчиків і послідовностей включення двигунів

№ варіанта	Датчик		АЦП, кільк. розрядів	Кільк. входів виконавч. пристроїв	Послідовність включення двигунів (етапи)		
	Тип	Кільк. розрядів			1-й	2-й	3-й
1	Аналоговий	—	12	2	1	2, 3	4, 5
2	Цифровий	12	—	2	1	4, 5	2, 3
3	Аналоговий	—	12	2	2	1, 3	4, 5
4	Цифровий	12	—	2	2	4, 5	1, 3
5	Аналоговий	—	12	2	3	1, 2	4, 5
6	Цифровий	12	—	2	3	4, 5	1, 2
7	Аналоговий	—	12	2	4	1, 2	3, 5
8	Цифровий	12	—	2	4	3, 5	1, 2
9	Аналоговий	—	12	2	5	1, 2	3, 4
10	Цифровий	12	—	2	5	3, 4	1, 2
11	Аналоговий	—	12	2	4, 5	1	2, 3
12	Цифровий	12	—	2	2, 3	1	4, 5
13	Аналоговий	—	12	2	4, 5	2	1, 3
14	Цифровий	12	—	2	1, 3	2	4, 5
15	Аналоговий	—	12	2	4, 5	3	1, 2
16	Цифровий	12	—	2	1, 2	3	4, 5
17	Аналоговий	—	12	2	3, 5	4	1, 2
18	Цифровий	12	—	2	1, 2	4	3, 5
19	Аналоговий	—	12	2	3, 4	5	1, 2
20	Цифровий	12	—	2	1, 2	5	3, 4
21	Аналоговий	—	12	2	2, 3	4, 5	1
22	Цифровий	12	—	2	4, 5	2, 3	1
23	Аналоговий	—	12	2	1, 3	4, 5	2
24	Цифровий	12	—	2	4, 5	1, 3	2
25	Аналоговий	—	12	2	1, 2	4, 5	3

Графічна частина на трьох аркушах креслень формату А2 повинна бути схемним, алгоритмічним і конструктивним виконанням прийнятих у проекті рішень.

Пояснювальна записка містить:

- титульний аркуш (додаток Б);
- завдання на курсове проектування (додаток В);
- реферат;
- зміст;
- вступ;
- вибір спеціальних систем координат;
- розрахунок прямого і оберненого завдання кінематики;

- розрахунок необхідних переміщень відповідно кожної координати ПР;
- розробку апаратної частини системи керування;
- розробку програмного забезпечення;
- висновки;
- перелік посилань;
- додатки.

До додатків входять:

- відомість матеріалів курсового проекту (додаток Г);
- тексти програм.

Пояснювальна записка є основним документом дипломного проекту і її розділи повинні мати обсяги, наведені в табл. 16.5.

Таблиця 16.5

Обсяги розділів пояснювальної записки

Назва розділу	Обсяг, с.
Завдання	2
Реферат	1
Зміст	1
Вступ	До 2
Розрахунок кінематики маніпулятора ПР	8–10
Розробка апаратної частини системи керування	До 5–6
Розробка програмного забезпечення	До 6–8
Висновки	1
Перелік посилань	1–2

Пояснювальна записка містить розрахунок кінематики маніпулятора ПР, обґрунтування і вибір елементної бази системи керування та її розробку відповідно до проекту з наведенням необхідних розрахунків, алгоритмів, програм, прийнятих технічних рішень.

Графічна частина: комплект конструкторських креслень, що відбивають прийняті і розроблені в ході проектування інженерні рішення.

Графічна частина повинна містити:

- кінематичну схему маніпулятора ПР в аксонометрії (креслення на одному аркуші формату А2);
- функціональну схему системи керування ПР (креслення на одному аркуші формату А2);
- схеми алгоритмів роботи програмного забезпечення системи керування (креслення на одному аркуші формату А2).

## **16.3. Рекомендації до оформлення курсового проекту**

### **16.3.1. Загальні положення**

Матеріали курсового проекту повинні бути оформлені у вигляді альбому технічної документації. Курсовий проект з дисципліни „Робототехніка та мехатроніка” включає в себе документи двох видів: конструкторські і програмні.

Оформлення технічної документації кожного виду має свої особливості та регулюється державними стандартами. Так, правила і положення щодо порядку розробки, оформлення і застосування конструкторських документів визначають комплексом державних стандартів ЄСКД (клас 2), а програмних документів – комплексом державних стандартів ЄСПД (клас 19). Виконання вимог державних стандартів при оформленні матеріалів курсового проекту – обов'язкове.

У відповідних місцях текстової частини пояснювальної записки неодмінно роблять посилання на креслення, що додаються.

Пояснювальна записка повинна бути викладена літературною мовою, технічно грамотно.

Якщо курсовий проект виконується на аркушах з рамкою відповідно до ГОСТ 2.104-68, то відстань від рамки до тексту така: на початку рядків – не менше 5, у кінці рядків – не менше 3, від верхньої і нижньої сторони рамки – не менше 10 мм.

Відомість матеріалів курсового проекту оформляється згідно з додатком В. Графа „шифр документа” заповнюється згідно з ГОСТ 2.701-84. Відповідно до цього стандарту схеми поділяються залежно від типів елементів і зв'язків, що входять до складу виробу, на такі види: електричні – Е, гідравлічні – Г, пневматичні – П, кінематичні – К, оптичні – Л.

Допускається розробляти схеми: вакуумні – В, газові – Х, автоматизації – А, комбіновані – С.

Залежно від основного призначення схеми поділяють на такі типи: структурні – 1, функціональні – 2, принципів – 3, з'єднань (монтажні) – 4, підключення – 5, загальні – 6, розміщення – 7, інші – 8.

### **16.3.2. Оформлення пояснювальної записки**

Пояснювальну записку курсового проекту виконують на одному боці аркушів білого паперу формату А4 (210x297 мм) машинним (за допомогою комп'ютерної техніки) способом.

За машинного способу пояснювальну записку виконують згідно з вимогами стандарту оформлення звітів і стандарту на виконання документів з використанням друкувальних та графічних пристроїв виводу ЕОМ згідно з ДСТУ 3008-98.

За машинного способу виконання пояснювальної записки її друкують з розрахунку не більше 40 рядків на сторінці (через півтора інтервалу) за умови рівномірного її заповнення, висота літер і цифр – не менше ніж 1,8 мм, береги: верхній, лівий і нижній – не менше 20, правий – не менше 10 мм.

Допускається включення до пояснювальної записки сторінок, зроблених методом репрографії, а також окремі частини виконувати різними способами (від руки, машинописним або машинним).

Під час виконання пояснювальної записки необхідно дотримуватись рівномірної щільності, контрастності й чіткості зображення. Лінії, літери, цифри та інші знаки мають бути чіткі, не розпливчасті, однаково чорні на всіх сторінках записки.

Окремі слова, формули, знаки, які вписують у надрукований текст, мають бути чорного кольору, щільність вписаного тексту повинна максимально наближуватись до щільності основного зображення.

Помилки, описки та графічні неточності допускається виправляти підчищенням або зафарбовуванням білою фарбою і нанесенням машинописним способом або від руки чорним кольором на тому ж місці або між рядками виправленого зображення.

Прізвища, назви установ, організацій, фірм та інші власні назви у записці наводять мовою оригіналу. Допускається транслітерувати власні назви і наводити назви організацій у перекладі на мову звіту, додаючи (при першій згадці) назву оригіналу.

Скорочення слів і словосполучень у пояснювальній записці вживати відповідно до чинних стандартів з бібліотечної та видавничої справи.

**Структурні елементи** “ЗМІСТ”, “ВСТУП”, “ВИСНОВКИ”, “ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ” не нумерують, а їх назви служать заголовками структурних елементів.

Розділи і підрозділи повинні мати **заголовки**. Пункти і підпункти можуть мати заголовки.

Заголовки структурних елементів записки і заголовки розділів слід розташовувати посередині рядка і друкувати великими літерами без крапки в кінці, не підкреслюючи.

Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів звіту слід починати з абзацного відступу і друкувати маленькими літерами (перша літера велика), не підкреслюючи, без крапки у кінці.

Абзацний відступ повинен бути однаковим упродовж усього тексту звіту і дорівнювати п'яти знакам.

Якщо заголовок складається з двох і більше речень, їх розділяють крапкою. Перенесення слів у заголовку розділу не допускається.

Відстань між заголовком і подальшим чи попереднім текстом має бути:

- за машинописного способу – не менше ніж три інтервали;
- за машинного способу – не менше ніж два рядки. Відстань між рядками заголовку, а також між двома заголовками приймають такою, як у тексті.

Не допускається починати назву розділу, підрозділу, а також пункту й підпункту в нижній частині сторінки, якщо після них поміщується тільки один рядок тексту.

Оформлення тексту, ілюстрацій і таблиць за машинного способу виконують відповідно до вимог стандарту з оформлення документації, звітів у

галузі науки і техніки – з урахуванням можливостей комп'ютерного обладнання згідно з ДСТУ 3008-98.

Сторінки пояснювальної записки слід нумерувати арабськими цифрами, додержуючись наскрізної нумерації впродовж усього тексту записки. Номер сторінки проставляють у правому верхньому куті сторінки без крапки у кінці.

Додатки, які мають свій структурний елемент „ЗМІСТ”, необхідно нумерувати ще й внизу, посередині сторінки.

Титульний аркуш включають до загальної нумерації сторінок записки. Номер сторінки на титульному аркуші не проставляють.

Ілюстрації і таблиці, розміщені на окремих сторінках, включають до загальної нумерації сторінок записки.

Розділи, підрозділи, пункти, підпункти звіту слід нумерувати арабськими цифрами.

**Розділи** пояснювальної записки повинні мати порядкову нумерацію і позначатися арабськими цифрами без крапки, наприклад, 1, 2, 3 і т. д.

**Підрозділи** повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу.

Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, відокремлених крапкою.

Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад, 1.1, 1.2 і т. д.

**Пункти** повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу або підрозділу.

Номер пункту складається з номера розділу і порядкового номера пункту або з номера розділу, порядкового номера підрозділу та порядкового номера пункту, відокремлених крапкою. Після номера пункту крапку не ставлять, наприклад, 1.1, 1.2, або 1.1.1, 1.1.2 і т. д.

Якщо текст поділяють тільки на пункти, їх слід нумерувати порядковими номерами.

Номер підпункту складається з номера розділу, порядкового номера підрозділу, порядкового номера пункту і порядкового номера підпункту, відокремлених крапкою, наприклад, 1.1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.1.3 і т. д.

Якщо розділ, не має підрозділів і поділяється на пункти й підпункти, номер підпункту складається з номера розділу, порядкового номера пункту та порядкового номера підпункту, відокремлених крапкою, наприклад, 1.1.3, 1.2.1 і т. д. Після номера підпункту крапку не ставлять.

Якщо розділ або підрозділ складається з одного пункту або пункт складається з одного підпункту, його нумерують.

**Ілюстрації** (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) слід розміщувати у записці безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації мають бути посилання у записці.

Креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми мають відповідати вимогам стандартів ЄСКД та ЄСПД.

Фотознімки, розмір яких менше за формат А4, мають бути наклеєні на форматні аркуші (А4).

Ілюстрації повинні мати назву, яку розміщують безпосередньо під ілюстрацією.

Ілюстрація позначається словом “Рисунок”, яке разом з назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних, наприклад, “Рисунок 3.1 – Схема розміщення”.

Ілюстрації слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією у межах розділу, за винятком ілюстрацій, наведених у додатках.

Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, відокремлених крапкою, наприклад, рисунок 3.2 – другий рисунок третього розділу.

Якщо у пояснювальній записці вміщено тільки одну ілюстрацію, її нумерують.

Якщо ілюстрація не вміщується на одній сторінці, її можна переносити на інші, але назва ілюстрації повинна бути на першій сторінці. Пояснювальні дані зазначають на кожній сторінці: “Рисунок \_\_, аркуш \_\_”.

Ілюстрації за необхідності можуть бути перелічені у змісті із зазначенням їх номерів, назв і номерів сторінок.

Цифровий матеріал, як правило, оформлюють у вигляді **таблиць**.

Горизонтальні та вертикальні лінії, які розмежовують рядки таблиці, а також лінії зліва, справа і знизу, що обмежують таблицю, можна не проводити, якщо їх відсутність не утруднює користування таблицею.

Таблицю слід розташовувати безпосередньо після тексту, у якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На всі таблиці мають бути посилання в тексті пояснювальної записки.

Таблиці слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком таблиць, що наводяться у додатках.

Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, таблиця 2.1 – перша таблиця другого розділу.

Якщо у пояснювальній записці одна таблиця, її нумерують.

Таблиці повинні мати назву, яку друкують малими літерами (крім першої великої) і розміщують над таблицею. Назва має бути стислою і відбивати зміст таблиці.

Якщо рядки або графи таблиці виходять за межі формату сторінки, таблицю поділяють на частини, розміщуючи одну частину під одною або поруч, або переносячи частину таблиці на наступну сторінку з повторенням у кожній частині таблиці її головки.

При поділі таблиці на частини допускається її головку або боковик замінити відповідно номерами граф чи рядків, нумеруючи їх арабськими цифрами у першій частині таблиці.

Слово “Таблиця” вказують один раз зліва над першою частиною таблиці, над іншими частинами пишуть “Продовження таблиці ...”, наприклад: “Продовження таблиці 2.3” – третя таблиця другого розділу.

Заголовки граф таблиці починають з великої літери, а підзаголовки – з малої, якщо вони складають одне речення із заголовком без крапки у кінці.

Підзаголовки, що мають самостійне значення, пишуть з великої літери. Заголовки і підзаголовки граф вказують в однині.

Таблиці за необхідності можуть бути перелічені у записці із зазначенням їх номерів, назв (якщо вони є) та номерів сторінок, на яких вони розміщені.

**Переліки** також можуть бути наведені всередині пунктів або підпунктів. Перед переліком ставлять двокрапку, а потім малу літеру української абетки з дужкою (крім літер г, є, з, і, ї, й, о, ч) або, не нумеруючи, дефіс (перший рівень деталізації). Для подальшої деталізації переліку використовують арабські цифри з дужкою (другий рівень деталізації). Переліки першого рівня деталізації друкують малими літерами з абзацного відступу, другого – з відступом відносно місця розташування переліків першого рівня.

**Формули та рівняння** розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки. Вище і нижче кожної формули або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка.

Формули і рівняння у записці (за винятком формул і рівнянь, наведених у додатках) слід нумерувати порядковою нумерацією в межах розділу.

Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою, наприклад, формула (1.3) – третя формула першого розділу.

Номер формули або рівняння зазначають на рівні формули або рівняння в дужках у крайньому правому положенні на рядку.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, слід наводити безпосередньо під формулою у такій послідовності, у якій вони наведені у формулі чи рівнянні.

Пояснення значення кожного символу та числового коефіцієнта слід давати з нового рядка. Перший рядок пояснення починають з абзацу словом “де” без двокрапки.

Переносити формули чи рівняння на наступний рядок допускається тільки на знаках „+” або „x” (знак множення), повторюючи знак операції на початку наступного рядка.

Якщо у пояснювальній записці тільки одна формула чи рівняння, їх нумерують.

Формули, що йдуть одна за одною й не розділені текстом, відокремлюють комою.

**Посилання** в тексті пояснювальної записки на джерела слід зазначати порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками, наприклад, “... у роботах [4 – 6]...”.

При посиланнях на розділи, підрозділи, пункти, підпункти, ілюстрації, таблиці, формули, рівняння, додатки зазначають їх номери.

При посиланнях слід писати: “... у розділі 4...”, “... дивись 2.1...”, “... за 3.3.4...”, “... відповідно до 2.3.4.1...”, “... на рисунку 1.3...”, “... у таблиці 3.2...”, “... (дивись 3.2)...”, “... за формулою (3.1)...”, “... у рівняннях (1.23) – (1.25)...”, “... у додатку Б...”.



### 16.3.3. Оформлення графічної частини

Графічний матеріал проекту виконується на папері стандартного формату А1 (594x841 мм) креслярським олівцем (в окремих випадках допускається тушшю) або за допомогою спеціалізованих пакетів прикладних програм та засобів оргтехніки (принтерів, плотерів та ін.). Аркуші графічної частини повинні мати рівномірне заповнення. Кожний аркуш графічної частини повинен супроводжуватися основним написом згідно з вимогами стандартів ЄСКД.

При виконанні схем алгоритму використовують умовні графічні позначення, наведені в стандарті ЄСПД (ГОСТ 19.701-90).

Графічні умовні позначення елементів електричних схем та їх розміри встановлені відповідними стандартами ЄСКД (ГОСТ 2.701-84, ГОСТ 2.702-75).

Допускається:

- всі позначення пропорційно зменшити, зберігаючи чіткість схеми;
- збільшувати умовні графічні позначення при вписуванні в них пояснюючих знаків;
- зменшувати умовні графічні позначення, якщо вони використовуються як складові частини позначень інших елементів, наприклад резистор в ромбічній антені;
- повертати умовне графічне позначення на кут кратний  $45^\circ$  і  $90^\circ$  (з літерно-цифровими позначеннями тільки на 45 і 90) порівняно із зображенням, наведеним у стандарті, або зображати дзеркально поверненим.

Відстань між окремими графічними позначеннями не повинна бути менше ніж 2 мм. У загальному випадку товщина ліній зв'язку і графічних позначень однакова (рекомендується товщина 0,3–0,4 мм).

Потовщеними лініями зображають лінії групового зв'язку (лінії умовно зображають групу ліній електричного зв'язку дротів, кабелів, шин, які йдуть в одному напрямку). Потовщені лінії зв'язку і графічних позначень виконують удвічі товстіше за прийняту товщину лінії зв'язку.

Лінії зв'язку повинні складатися, як правило, з горизонтальних і вертикальних відрізків з відстанню між ними не менше 3 мм. При цьому кількість вигинів і взаємних перетинів повинна бути найменшою.

Якщо лінії зв'язку ускладнюють читання схеми у межах одного листа, їх можна обірвати, закінчивши стрілкою, й указати позначення або найменування, привласнене цій лінії (наприклад, номер проводу, найменування сигналу, умовне позначення літерою або цифрою).

Якщо схему необхідно розділити на дві сторінки, то стрілка на місці обриву не ставиться, але ставиться позначення лінії і поруч з позначенням указується у дужках номер аркуша, на якому вона продовжується.

Якщо у схемі є пристрій, що має самостійну принципову схему, то він виділяється прямокутником із суцільною лінією, удвічі товстішою за лінію зв'язку, з вказівкою найменування, (або) типу і (або) позначення документа, на основі якого цей пристрій застосовано.

На схемі пристрою можуть бути виділені функціональні групи, що не мають самостійних схем – у вигляді прямокутників штрихпунктирними лініями, рівними за товщиною лініям зв'язку, з вказівкою найменування функціональної групи.

Біля графічних позначень (праворуч або зверху) або на вільному полі схеми, якщо можна над основним написом, допускається розміщувати різні технічні дані (наприклад, номінальні значення параметрів елементів, діаграми, таблиці, текстові вказівки).

Структурна електрична схема визначає основні функціональні частини виробу (елемента пристрою, функціональної групи), їх призначення і зв'язки. Усі функціональні частини на схемі зображують у вигляді прямокутників або умовних графічних позначень відповідно до стандартів із вказівкою типу елемента (пристрою) і (або) позначення документа, на основі якого цей елемент застосований, функціональні частини пов'язані між собою лініями зі стрілками.

Якщо функціональних частин багато, замість найменувань допускається проставляти номери праворуч від зображення або над ними, як правило, зверху вниз у напрямку зліва направо з їх розшифровкою в таблиці, розміщеній на схемі.

На схемі допускаються пояснювальні написи, діаграми, таблиці, вказівки параметрів у характерних точках (величина струму, напруга, форма і величина імпульсів, математична залежність і т.п.).

На функціональній схемі позначають функціональні частини виробу (елементи, пристрої і функціональні групи) і зв'язки між ними з роз'ясненням послідовності процесів, що протікають в окремих функціональних ланцюгах виробу або у виробі загалом.

Функціональні частини схеми прийнято зображати або у вигляді умовних позначень, або у вигляді прямокутників з вказівкою:

- позиційних позначень функціональних груп, пристроїв, елементів, привласнених їм на функціональній схемі і (або) їх найменувань;
- типів;
- позначень документів, на основі яких функціональні частини застосовані;
- технічних характеристик функціональних частин;
- пояснювальних написів, діаграм, таблиць, параметрів у характерних точках.

Ці відомості наводяться вибірково в обсязі, необхідному для найбільш повного уявлення про послідовність процесів, які ілюструє схема.

Схеми виконуються для пристроїв, що знаходяться у вимкненому стані. Елементи схем показують умовними графічними позначеннями, встановленими стандартами ЄСКД.

Елементи типу реле, трансформатори та інші вироби, що містять велику кількість контактів, можуть бути зображені на схемі двома способами: суміщеними і рознесеними. Схеми рекомендується виконувати рядковим способом. Допускається як однолінійне, так і багатолінійне зображення схем, а також об'єднувати в одну лінію декілька електрично не пов'язаних ліній зв'язку. При цьому кожен лінію позначають у місці об'єднання умовними

позначеннями, а при необхідності – на обох кінцях (цифрами, літерами або їх поєднанням).

Рекомендується характеристики вхідних і вихідних ланцюгів, а також адреси їх зовнішнього підключення записувати в таблиці і розміщувати їх замість умовних графічних позначень вхідних і вихідних елементів з'єднувачів, плат і т.д.

Усім елементам, пристроям і функціональним групам виробу, зображеним на схемі, привласнюються позиційні позначення, які містять інформацію про вигляд елемента і його порядковий номер.

Позиційні позначення проставляють поряд з умовними графічними позначеннями елементів з правого боку або над ними.

Усі відомості про елементи, що входять до складу виробу і зображені на схемі, записують у перелік елементів, який виконують у вигляді самостійного документа на форматі А4 та додають до пояснювальної записки. Елементи записують у перелік групами відповідно до порядку літерних позиційних позначень латинського алфавіту.

На схемі з'єднань зображують усі пристрої та елементи, які входять до складу виробу, їх з'єднання – дроти, джгути, кабелі, вхідні і вихідні елементи (затиски, плати і т.д.).

Правила зображення вхідних і вихідних елементів, встановлені для принципів електричних схем, залишаються в силі для схем з'єднань. Дроти, джгути, кабелі, жили кабелю повинні бути пронумеровані в межах виробу.

Схема повинна також містити відомості про дроти, кабелі (марку, перетин дротів, кількість і перетин жил у кабелі та ін.), які розміщують або біля ліній, що зображають проводи і кабелі, або в таблиці з'єднань.

На схемах підключення зображують вироб у вигляді прямокутника, вхідні і вихідні елементи (з'єднувачі, затиски і т.д.) – у вигляді умовних графічних позначень з вказівкою позиційних позначень згідно з електричною принциповою схемою.

Зображення вхідних і вихідних елементів усередині графічних позначень виробу повинно приблизно відповідати їх дійсному розміщенню у виробі.

На електричній загальній схемі зображують пристрої, що входять у комплекс у вигляді прямокутників або умовних графічних позначень, або зовнішніх контурів, а також дроти, джгути і кабелі, що з'єднують ці пристрої та елементи.

Графічні позначення пристроїв і елементів, у тому числі вхідних і вихідних, слід розташовувати близько до дійсного їх розташування у виробі.

На схемах розташування зображують складові частини виробу у вигляді зовнішніх контурів або умовних графічних позначень (при необхідності наносять зв'язки між ними).

На схемі допускається застосовувати різні способи побудови: аксонометрію, план, умовну розгортку, розрізи конструкцій і т.д.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Макаров И.М., Топчеев Ю.И. Робототехника: История и перспективы. – М.: Наука; Изд-во МАИ, 2003. – 349 с.
2. Юревич Е.И. Основы робототехники. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
3. Ягліньський В.П., Іоргачев Д.В. Моделювання динамічних процесів роботизованого виробництва. – Одеса: АстроПрінт, 2004. – 234 с.
4. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 392 с.
5. Гавриш А.П., Ямпольский Л.С. Гибкие робототехнические системы: Учебник. – К.: Вища шк., 1989. – 407 с.
6. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 332 с.
7. Шахинпур М. Курс робототехники. – М.: Мир, 1990. – 527 с.
8. Механика промышленных роботов. В 3 кн./Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 1. Кинематика и динамика / Е.И. Воробьев, С.А. Попов, Г.И. Шевелева. – М.: Высш. шк., 1988. – 304 с.
9. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и робототизированных комплексов: Учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. "Робототехнические системы" / С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.
10. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9 кн. Кн. 9. Лабораторный практикум по робототехнике / В.З. Рахманкулов, В.П. Лещинский, С.В. Манько и др.; Под ред. И.М. Макарова. – М.: Высш. шк., 1986. – 176 с.
11. Механика промышленных роботов. В 3 кн. /Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 2. Расчет и проектирование механизмов /Е.И. Воробьев, О.Д. Егоров, С.А. Попов. – М.: Высш. шк., 1988. – 367 с.
12. Основы создания гибких автоматизированных производств /Л.А.Пономаренко, Л.В. Адамович, В.Т. Музычук, А.Е. Гридасов; Под. ред. Б.Б. Тимофеева. – К.: Техніка, 1986. – 144 с.
13. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9 кн. Кн. 2. Приводы робототехнических систем / Ж.П. Ахромеев, Н.Д. Дмитриева, В.М. Лохин и др.; Под ред. И.М. Макарова. – М.: Высш. шк., 1986. – 175 с.
14. Системы управления промышленными роботами и манипуляторами /Е.И. Юревич, Ю.Д. Андрианов, С.И.Новаченко и др. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. – 184 с.
15. Электропневмоавтоматика в производственных процессах: Учеб. пособие /Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский, А.А. Четверкин.; Под ред. Е.В. Пашкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Севастополь: Изд.-во СевНТУ, 2003. – 496 с.
16. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни „Робототехніка та мехатроніка” для студентів спеціальності 7.091401 Системи управління і автоматики (частина 1. Привід та конструкція

- промислових роботів)/ Упоряд. Л.І. Цвіркун. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 30 с.
17. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9 кн. Кн. 3. Управление робототехническими системами и гибкими автоматизированными производствами / И.М. Макаров, В.З. Рахманкулов, В.М. Назаретов и др.; Под ред. И.М. Макарова. – М.: Высш. шк., 1986. – 159 с.
  18. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни „Робототехніка та механотроніка” для студентів спеціальності 7.091401 „Системи управління і автоматики”, спеціалізації „Комп’ютерне управління гнучкими системами та їх програмування” (частина 2. Системи управління)/ Упоряд. Л.І. Цвіркун. – Д.: Національна гірничо академія України, 2002. – 38 с.
  19. Цвиркун Л.И., Бичерова Л.В., Козяр Я.В. Программный эмулятор системы управления робототехническим комплексом // Сб. науч. тр. НГУ. – Д.: НГУ, 2004. – №19, т. 2. – С. 77–83.
  20. Грегори К. Использование Visual C++. Спец. изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 864 с.
  21. Тихомиров Ю. Программирование трехмерной графики в Visual C++. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 654 с.
  22. Мехатроника: Пер. с япон. / Исии Т., Симояма И., Иноуэ Х. и др. – М.: Мир, 1988. – 318 с.
  23. Словарь иностранных слов. – М.: Рус. яз., 1988. – 608 с.
  24. Подураев Ю.В. Основы мехатроники. – М.: МГТУ-СТАНКИН, 2000. – 80 с.
  25. Шалобаев Е.В. К вопросу об определении мехатроники и иерархии мехатронных объектов // Датчики и системы. – 2001. – №7. – С. 64–67.
  26. Большая Советская Энциклопедия. В 30 т. / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Сов. энциклопедия, 1974. – Т.16. Мезия – Морианск. – 616 с.
  27. Электроника: Энциклопедический словарь / Гл. ред. Р.Г. Колесников. – М.: Сов. энциклопедия, 1991. – 688 с.
  28. Украинская Советская Энциклопедия. В 12 т. – К.: Полиграфкнига, 1981. – Т. 6. Лахтак – Молдовеняска. – 551 с.
  29. Енциклопедія Сучасної України. Т.5. Вод – Гн / НАН України; Ін-т енциклопедичних досліджень. – К.: Ін-т енцикл. досліджень, 2006. – 727 с.
  30. Блокгауз Ф.А., Ефрон И.А. Энциклопедический словарь. Современная версия. – М.: Изд-во Эксмо, 2003. – 672 с.
  31. Ткачук В. Електромеханотроніка: Навч. посібник. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2001. – 404 с.
  32. Коськин Ю.П. Путов В.В. Проблемы современного развития электромехатроники // Мехатроника. – 2000. – №5. – С. 5–9.
  33. Подураев Ю.В., Кулешов В.С. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем // Мехатроника. – 2000. – №1. – С. 5–10.

34. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Принципы организации интеллектуального управления мехатронными системами // Мехатроника. – 2001. – №1. – С. 29–38.
35. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 94 с.
36. Алексієв В.О., Волков В.П., Калмиков В.І. Мехатроніка транспортних засобів та систем. – Харків: ХНАДУ, 2004. – 176 с.
37. Bühler Dieter, Küchlin Wolfgang, Gruhler Gerhard, Nusser Gerd. The Virtual Automation Lab - Web Based Teaching of Automation Engineering Concepts. Proceedings of 7<sup>th</sup> IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems, April 3-5, 2000, Edinburgh. – P. 156 – 164.
38. Цвіркун Л.І., Бічерова Л.В., Білоус А.І., Gruhler G. Розробка віртуальної лабораторії для дистанційного навчання через мережу Internet в рамках кооперації з Ройтлінгенським університетом. Перспективи вищої освіти: роль міжуніверситетських консорціумів //Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Миколаїв: Атол, 2004. – С. 121 – 123.
39. Gruhler Gerhard. Internet-based Remote Access to Automation Systems. //Сб. науч. тр. НГАУ. – Д.: НГАУ, 2001. – Вып. №11, т. 2. – С. 199 – 203.
40. Gruhler Gerhard, Nusser Gerd Der Brückenschlag. Fernzugriff via Internet //Computer und Automation. – 2000. – №3. – P. 58 – 61.
41. Gruhler Gerhard, Küchlin Wolfgang, Bühler Dieter, Nusser Gerd. Internet-based Lab Assignments in Automation Engineering and Computer Science //Proceedings of the International Workshop on Tele-Education in Mechatronics based on Virtual Laboratories, July 2001. – Weingarten. – P. 41.
42. Nusser Gerd, Bühler Dieter, Gruhler Gerhard, Küchlin Wolfgang. Reality-driven Visualization of Automation Systems via the Internet based on Java and XML //Proceedings of the 1<sup>st</sup> IFAC Conference on Telematics Applications in Automation and Robotics, July 2001, Weingarten. – P. 407 – 412.
43. Gruhler Gerhard. New Experiments for Tele-Education in Robotics //Proceedings of the 2nd Workshop on Tele-Education in Engineering Using Virtual Laboratories, August 2002, Sherbrooke. – P. 8 – 9.
44. Gruhler Gerhard. Gefragt – Ein Roboter schenkt ein. Interview zum Verbund Virtuelles Labor //DIE ZEIT. – 2002. – № 40. – P. 26 – 27.
45. Цвіркун Л.І., Гончарук С.О., Кмітіна І.В., Gruhler G. Віртуальна лабораторія для дистанційного навчання через мережу Internet // Матеріали междунар. науч.-техн. конф. – Севастополь, 2006. – С.194–195.
46. Tsvirkun L., Kmitina I., Goncharuk S. Cisco Systems concepts implementation for studying complex mechatronic system via Internet // Proceedings 6<sup>th</sup> RoEduNet International Conference. – Craiova, 2007. – P. 156–158.

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП	– аналого-цифровий перетворювач
БАП	– базова адреса пам'яті
БКП	– блок керування приводами
ВМ	– виконавчі механізми
ВПП	– вузол підготовки повітря
ВКП	– виконавча програма
ГВМ	– гнучкий виробничий модуль
ДО	– допоміжне обладнання
ЕОМ	– електронна обчислювальна машина
ККД	– коефіцієнт корисної дії
КрП	– керуюча програма
ЛЧ	– лічильник
ЛК	– лічильник команд
МА	– мехатронний агрегат
МВИВ	– модуль виводу
МЕНЗП	– модуль енергонезалежного запам'ятовуючого пристрою
МКР	– модуль керування
ММ	– мехатронний модуль
МО	– мехатронний об'єкт
МПІ	– модуль послідовного інтерфейсу
МПМ	– модуль пам'яті
МПР	– модуль процесора
МПРТ	– модуль перетворення
МПЦП	– мікропроцесорний програмований цикловий пристрій
МС	– мехатронна система
МУВ	– модуль уводу
ОЗП	– оперативно запам'ятовуючий пристрій
ОП	– обчислювальний пристрій
ПР	– промисловий робот
ПКР	– пульт керування
ПрКР	– пристрій керування
ПрП	– пристрій пересування
ПСКР	– програмна система керування
ПП	– перегляд програми
ППЗП	– перопрограмний постійно запам'ятовуючий пристрій
ПС	– покажчик стека
РУТЕ	– Ройтлінгенський університет техніки та економіки
РТК	– роботизований технологічний комплекс
СКР	– система керування
СУВ	– система уводу-виводу
ТО	– технологічне обладнання
ТУ	– тригер умови
УП	– увід програми
ЦПКР	– циклове програмне керування
ЧПКР	– числове програмне керування

### Для команд МПЦП

АЛЧ	– активізація лічильника
ПЕР	– перехід (безумовний)
ВИМ	– вимкнути
ВВМ	– ввімкнути
ВТІ	– вивід (стану) тригера (умови) інверсний
ВТП	– вивід (стану) тригера (умови) прямий
ЗАТ	– затримка
ЗБА	– зміна базової адреси
ЗБЛ	– збільшення (вмісту) лічильника
ЗКБ	– завдання кількості байт
ЗЛЧ	– зміна (вмісту) лічильника
ЗМБ	– завдання молодшого байта (адреси)
ЗП	– зупинення програми
ЗПЛ	– запис у лічильник
ЗРГ	– зсув регістра
ЗСБ	– завдання старшого байта (адреси)
ІНД	– індикація
КСП	– контрольна сума пам'яті
НО	– нема операції
ПАЛ	– порівняння активізованого лічильника
ПБН	– перевірка (стану) біта (на рівність) N
ПВ	– поворот
ПВН	– перевірка (стану) входу (на рівність) N
ПЛЧ	– порівняння лічильника
ППП	– перехід до підпрограми
ПТН	– перехід (за станом) тригера (умови) N
РЕД	– редагування
СЛЧ	– скидання лічильника

ТЗП	– тест ЗП
ТКМ	– тест комплексний
ТП	– тест (модуля) послідовного інтерфейсу
ТУВ	– тест уводу-виводу;
УБН	– установка біта в N
УБУ	– установка біта (за станом тригера) умови
УТІ	– установка тригера (умови) інверсна
УТП	– установка тригера (умови) пряма
ФПЗ	– функціональне позначення руху
ЧКН	– чекання (стану) N

### Для операндів у командах МПЦП

АБТ	– адреса біта
АВД	– адреса видачі (виходу)
АВХ	– адреса входу
АКМ	– адреса команди
ДІА	– дія
КІЛ	– кількість
К/К	– кількість/ кількість
МАН	– маніпулятор (тобто його номер)
МБА	– молодший байт адреси
НОМ	– номер (лічильника, регістра)
СБА	– старший байт адреси
СТР	– сторінка
ЧИС	– число
Ч/Н	– число/номер



## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

### А

автоматика, 7, 66, 97, 198  
адреса, 70, 71, 76-80, 82-86, 92, 95, 96,  
121,124, 125, 155-160, 165, 175,  
176, 182,183,186, 195, 199, 201  
адресація, 124

### Б

база, 13, 65, 100, 101, 108, 109, 110,  
112, 114, 118, 120, 134,191, 197  
байт, 67, 68, 77, 210  
бак, 48, 58, 61  
баланс, 59, 61  
балансування, 186-191  
берег, 8, 198  
бібліотека  
Microsoft MFC, 93  
Open Gl, 93  
бік, 33, 79, 83, 182  
біт, 65, 79, 86  
блок, 10, 51, 77, 79,82, 87, 95, 100, 106,  
107, 156, 167, 171  
уводу–виводу, 90  
тесту, 82  
МПЦП, 76, 79, 155

### В

веб-сервер, 112, 113, 119, 120, 131, 166  
виробництво, 8-10, 14, 15, 27-31, 97,  
100, 103, 104, 109, 116,  
118, 162  
візуалізація, 90, 91, 93, 94, 180, 183,  
184

### Г

габарит, 103  
гальма, 45  
генератор, 101

### Д

датчик, 27, 45, 56, 66-68, 71, 74, 83, 84,  
90, 91, 94, 100, 101, 106-108,  
127, 154, 165, 187, 188, 190,  
192, 193, 195, 196  
двигун, 45, 47, 49-52, 55, 57, 58, 60, 63,  
100, 103, 104, 148, 182, 183,  
185,188, 190, 192, 193, 195, 196  
динаміка, 31, 41, 98, 149, 163, 191  
диск, 92-94, 101, 160  
дисковод, 102  
дисципліна, 6, 97, 110, 161, 191, 197  
діагностика, 65, 111, 115-117  
діапазон, 44, 55, 108, 138, 141, 142,  
144  
дослід, 111, 113-117, 125, 130, 131,  
132, 133, 187  
дослідження, 104, 109, 181  
доступ, 49, 53, 111-117, 119-121, 123,  
124, 128-130, 133, 137, 138,

161-163, 166, 167, 171

драйвер, 119

### Е

елемент, 25, 26, 34, 35, 39, 40 43-50,  
54, 58, 61, 62, 67, 71, 74, 81,  
92, 103, 105, 107, 112, 113,  
124-126, 130, 131, 135, 137,  
138, 143-147, 154, 161, 174,  
179, 182, 191, 197-199, 202-  
204

### З

завдання, 9, 13, 14, 26, 35, 36, 66, 92,  
93, 101, 103, 106-111, 130,  
134, 136, 138-142, 172, 174,  
175, 181, 182,185, 191, 194,  
195, 196  
задача, 31, 32, 34, 35, 37, 39-42, 76, 83,  
96, 140, 149, 151, 152, 191  
замок, 26  
захоплювач, 9, 15, 19-21, 24, 25, 27,  
30-32, 34-36, 39-42, 55,  
56, 57, 73, 93, 148, 150-  
152, 159, 162, 166, 168,  
169, 191-193  
зв'язок, 66, 67, 112, 118, 128, 132  
зображення, 15, 71, 97, 98, 124-127,  
132, 174, 181, 185, 198,  
202-204  
зона, 13, 15, 21-30, 44, 55, 56, 76, 79,  
82, 84, 85, 91, 115, 124, 155

### К

кінематика, 16, 31-33, 35, 36, 38, 40-43,  
58, 150, 152, 153, 192, 196,  
197  
класифікація, 10, 12, 15, 31, 64, 65, 75,  
100, 104, 111, 114  
комплекс, 9, 12-14, 27, 30, 88-91, 93,  
97, 100, 101, 103, 104, 107,  
108, 111, 116, 162, 198, 205  
компонування, 14, 15, 28, 30  
конструкція, 14, 16, 18, 20, 44, 45, 47,  
50, 51, 52, 57, 59, 62, 100,  
103, 135, 138, 143, 148,  
162, 205

### Л

ланка, 16, 17, 24, 32-34, 36-38, 41, 42,  
44-46, 51, 57, 63, 102, 106, 148,  
150, 152, 169, 192

### М

магазин, 28, 30  
маніпулятор, 8-10, 14-16, 20-22, 25, 27,  
28, 30-39, 41, 42, 44, 46,  
56, 64, 66, 67, 71, 72, 90,  
93, 94, 96, 100, 106, 150-  
153, 162, 192-194, 197

- маневреність, 25  
 матриця, 32-43, 138, 139, 144-150, 152, 153, 192  
 мережа, 44, 46, 106, 112, 114, 118, 119, 121, 131, 177, 183, 188  
 метод, 12, 27, 32, 33, 36, 42, 43, 66, 103, 105, 107-112, 118, 125, 129, 134, 135, 150, 192, 199  
 механіка, 32, 97, 99, 104  
 мехатроніка, 97-100, 102-105, 108, 110, 111, 162, 192, 198  
 механотроніка, 100, 104  
 модуль, 9, 68, 86, 95, 97, 100, 103, 104, 107, 108, 125, 156, 167, 174, 180, 181, 183, 184, 190
- Н**  
 напрямок, 38, 50, 70
- О**  
 обладнання, 8, 10, 11, 13, 64, 67, 83, 95, 101, 112, 116, 159, 161, 162, 180, 184, 190, 199
- П**  
 пара, 15-19, 30-33, 36, 37, 41, 42, 149-151, 166, 191, 192  
 поверхня, 16, 21, 25, 49, 139  
 поворот, 20, 23, 33, 37, 45, 55, 56, 77, 88, 181, 182  
 позначення, 15-18, 20, 30, 45, 47, 49, 62, 66, 139, 140, 142, 144, 145, 147, 161, 191, 192, 202-204  
 поняття, 8, 9, 15, 50, 96, 98, 99, 103  
 привід, 20, 31, 43-45, 48, 51, 52, 56, 57, 61, 62, 95, 105, 134, 147, 159, 166  
 пристрій, 7-9, 15, 26, 27, 31, 43, 45, 46, 48-51, 55, 60, 63-67, 76, 77, 82, 86, 87, 89, 92-94, 97, 99, 101, 105, 106, 109, 111, 112, 115, 116, 118, 119, 124-127, 130, 132, 134, 147, 153, 155, 159, 161, 166, 191, 192, 194, 195, 197, 202-204  
 програма, 8-10, 14, 49, 50, 55, 64-72, 74-78, 81-85, 87-90, 92-95, 128, 142, 146, 153-161, 163-176, 178-182, 184-186, 190, 191, 196, 202  
 простір, 21, 50, 166, 171
- Р**  
 робот, 7-9, 11, 13-15, 19-21, 24, 26, 27, 29-31, 35, 43, 45, 48, 49, 52, 54-56, 59, 63, 64, 88, 93, 94, 100, 102, 104, 109, 111, 126, 134, 154, 155, 159, 161-168, 172, 173, 191  
 рух, 15-17, 19, 21, 30-33, 43, 44, 52, 54-57, 62-65, 70-74, 89, 96-100, 102, 104, 106-109, 147, 148, 154, 158, 182, 187, 190, 191
- С**  
 система, 7, 9, 11, 14-17, 22, 24, 25, 27, 28, 30-43, 49, 50, 58-62, 64-69, 75-77, 79, 82, 86, 88-90, 92-95, 97-115, 117-120, 122, 129-131, 133-138, 140, 143, 150-156, 162-176, 181, 182, 185-193, 195-197  
 ступінь, 16-18, 20, 31, 51, 56, 57, 101, 164  
 схема, 11, 12, 14, 16-18, 20-22, 25, 28-33, 35-39, 42, 44, 46, 48-52, 54-56, 58-63, 66, 67, 69, 77, 79, 100, 105, 108, 141, 143, 148, 150, 151, 154-156, 158, 160, 165-167, 175, 176, 181-183, 185-188, 191, 192, 197, 198, 200, 201, 203-205
- Т**  
 теорія, 32, 108, 109, 112, 115
- Ф**  
 форма, 15, 22, 25-28, 30, 103, 105, 107, 112, 115, 118, 120, 122, 125, 126, 135, 165, 195, 204  
 функція, 7-9, 11, 15, 27, 31, 46, 50, 65, 66, 74, 89, 92, 93, 96, 102, 106, 108, 110, 114-117, 121, 125, 128, 132, 133, 135, 137-146, 166, 172, 189
- Х**  
 характеристика, 8, 20, 27, 43, 45, 46, 56, 58-62, 74, 98, 100, 101, 104, 107, 111, 133, 147, 149, 153, 154, 162, 165, 166, 172, 203, 204  
 хід, 47, 49, 165
- Ц**  
 цикл, 8, 26, 50, 62, 64, 65, 134, 140, 147, 187, 189  
 циліндр, 50-56
- Ш**  
 шарнір, 16, 32  
 шатун, 11, 16, 30  
 швидкість, 27, 45, 50, 53, 62, 147, 164, 176, 182  
 шпindelь, 27, 29, 102  
 шуццер, 49, 51, 52

Додаток А  
Порядок визначення елементів спеціальних системи координат ланок  
маніпулятора

Таблиця А.1

Порядок визначення елементів спеціальних правосторонніх декартових систем  
координат ланок маніпулятора

№ елем.	Початкові елементи	Елемент, який визначається	Правило визначення
1		<b>Вісь кінематичної пари</b>	
1.1	Ланки $(i, i + 1)$	Вісь обертальної пари $(i, i + 1)$	Вибирається вісь циліндричного шарніра, яка жорстко зв'язана з ланкою $i$ , навколо якого обертається ланка $i + 1$
1.2	Ланки $(i, i + 1)$	Вісь поступальної пари $(i, i + 1)$	Вибирається будь-яка пряма, що паралельна вектору швидкості поступального руху ланки $i + 1$ відносно ланки $i$
2		<b>Вісь <math>Z</math></b>	
2.1	Ланки $(i, i + 1)$	Вісь $Z_i$	Направляється по осі кінематичної пари $(i, i + 1)$
2.2	Ланки $(n, n + 1)$ , де $n + 1$ не існує але добавлена як віртуальна	$Z_n$	Направляється по осі кінематичної пари $(n, n + 1)$
3		<b>Початок координат <math>O</math></b>	
3.1	Вісь $Z_0$	Початок координат $O_0$	Початок координат системи $O_0$ , тобто системи, жорстко зв'язаної зі стояком, може лежати в будь-якій точці осі $Z_0$
3.2	Осі $Z_{i-1}$ і $Z_i$	Початок координат $i$ -ї системи ( $O_i$ )	Розташовується на $i$ -той ланці і призначається на загальному перпендикулярі до осей $Z_{i-1}$ і $Z_i$ , якщо вони паралельні, або в точці їх перетину, якщо така є, або у будь-якій точці осі кінематичної пари, якщо вісь $Z_i$ збігається з віссю $Z_{i-1}$ ;

№ елем.	Початкові елементи	Елемент, який призначається	Правило призначення
4		<b>Вісь <math>X</math></b>	
4.1	Вісь $Z_0$ і початок координат системи $O$ ( $O_0$ )	Вісь $X_0$	Направляється перпендикулярно до осі $Z_0$ у точці $O_0$ в будь-який бік
4.2	Осі $Z_{i-1}$ і $Z_i$	Вісь $X_i$	Направляється відповідно до загального перпендикуляра, проведеного до осей $Z_{i-1}$ і $Z_i$ , від точки перетину цього перпендикуляра з віссю $Z_{i-1}$ до точки його перетину з віссю $Z_i$ або в будь-який бік відповідно нормалі до площини, що містить осі $Z_{i-1}$ і $Z_i$ , якщо вони перетинаються (але так, щоб $Z_{i-1}$ , $Z_i$ і $X_i$ утворювали правосторонню систему координат), або перпендикулярно до осі $Z_i$ у точці $O_i$ в будь-який бік, якщо $Z_{i-1}$ і $Z_i$ збігаються
5	Осі $X_i$ і $Z_i$	<b>Вісь <math>Y_i</math></b>	Визначається обертанням $X_i$ проти руху годинникової стрілки на $90^\circ$ , якщо дивитися назустріч осі обертання $Z_i$ , тобто за правилом правої трійки векторів

Додаток Б  
Приклад оформлення титульного аркуша пояснювальної записки  
курсowego проекту

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
“НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ”

**ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
*Кафедра автоматизації та комп'ютерних систем*

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**курсowego проекту**

з дисципліни *”Робототехніка та мехатроніка”*

Виконавець,  
студент гр. СІт-14-1 \_\_\_\_\_ *І.К. Семенов*  
(підпис)

Керівник, проф. \_\_\_\_\_ *Л.І. Цвіркун*  
(підпис)

**Дніпро**  
**2018**

Додаток В  
Приклад оформлення завдання на курсовий проект

**ЗАВДАННЯ**  
**на курсовий проект**  
з дисципліни ”Робототехніка та мехатроніка”  
студента групи СІТ-14-1 Семенова Івана Костянтиновича

<b>Розділ</b>	<b>Зміст завдання</b>	<b>Термін виконання</b>
<i><b>Розрахунок кінематики промислового робота</b></i>	<i>За заданими кінематичною схемою маніпулятора і положенням вихідної ланки (захоплювача) розрахувати змінні параметри маніпулятора, тобто вирішити обернену задачу кінематики з використанням метода матриць, і визначити необхідні переміщення відповідно до кожної координати ПР</i>	<i>01.03.2018 р.</i>
<i><b>Перевірка розрахунків графічним методом</b></i>	<i>Перевірити розв’язування задачі графічним методом</i>	<i>16.04.2018 р.</i>
<i><b>Розробка апаратної частини системи керування</b></i>	<i>Розробити систему керування ПР</i>	<i>03.05.2018 р.</i>
<i><b>Розробка програмного забезпечення</b></i>	<i>Розробити програму керування ПР та програмну документацію</i>	<i>15.05.2018 р.</i>
<i><b>Графічна частина</b></i>	<i>Виконати кінематичну схему маніпулятора ПР в аксонометрії (креслення на 1 аркуші формату А2); функціональну схему системи керування ПР (креслення на 1 аркуші формату А2); схеми алгоритмів роботи програмного забезпечення системи керування (креслення на 1 аркуші формату А2)</i>	<i>01.06.2018 р.</i>

Завдання видав професор \_\_\_\_\_ *Л.І. Цвіркун*  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ *І.К. Семенов*  
(підпис)

Дата видачі завдання 05.01.2018 р.

Термін подання курсового проекту до захисту 01.06.2018 р.



Навчальне видання

**Цвіркун Леонід Іванович**  
**Грулер Герхард**

## **РОБОТОТЕХНІКА ТА МЕХАТРОНІКА**

Навчальний посібник

Під загальною редакцією професора Л.І. Цвіркуна

Видання третє, перероблене і доповнене

Редактор Ю.В. Рачковська  
Комп'ютерний дизайн Л.І. Цвіркуна

Підписано до друку 19.05.17. Формат 30x42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 12,4.  
Обл.-вид. арк. 12,4. Тираж 350 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано  
у Державному ВНЗ “Національний гірничий університет”.  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.  
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19.