

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
кафедра “Матеріалознавство та ливарне виробництво”
Скрипник О.В., Конончук С.В.

ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ В ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
для студентів-ливарників денної та заочної форми навчання спеціальностей
131 “Прикладна механіка”, 133 “Галузеве машинобудування”

Затверджено на засіданні кафедри
“Матеріалознавство та ливарне виробництво”
протокол № 1 від 30. 09. 2019 р.

Кропивницький 2019

УДК 621.74.06

Скрипник О.В. Промислові роботи в ливарному виробництві. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів-ливарників денної та заочної форми навчання спеціальностей 131 “Прикладна механіка”, 133 “Галузеве машинобудування” / О. В. Скрипник, С. В. Конончук – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – 57 с.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 131 “Прикладна механіка” спеціалізації «Обладнання та технології ливарного виробництва», спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” спеціалізації «Обслуговування обладнання ливарного виробництва».

Рис. 22, табл. 12, бібліогр. 6 найм.

Рецензент: Володимир Миколайович Кропівний – канд. техн. наук, професор

© Скрипник О.В.

© Тиражування РВЛ ЦНТУ

Зміст

	Стор.
ВСТУП.....	3
Лабораторна робота № 1. Дослідження конструкції промислового робота МП – 9С.....	5
Лабораторна робота № 2. Дослідження циклової системи програмного керування роботом МП – 9С.....	11
Лабораторна робота № 3. Конструювання і розрахунок гідравлічного демпфера промислового робота МП – 9С.....	19
Лабораторна робота № 4. Вивчення конструкції і можливостей дворукого робота МП – 11.....	28
Лабораторна робота № 5. Дослідження впливу налаштування тиску стисненого повітря і маси вантажу на характеристики приводу промислового робота МП – 11.....	33
Лабораторна робота № 6. Вивчення і аналіз конструкції промислового робота ТУР – 10ДО.....	36
Лабораторна робота № 7. Дослідження конструкції промислового робота РФ – 202М.....	47
Лабораторна робота № 8. Програмування промислового робота РФ – 202М.....	53
Література.....	56

ВСТУП

Курс **"Промислові роботи в ливарному виробництві"** складається із двох змістових модулів: модуль 1 "Принципи побудови та конструкції промислових робіт" – 9 тижнів; модуль 2 "Використання промислових робіт в ливарному виробництві" – 8 тижнів;

Методичні вказівки охоплюють питання змістовних модулів 1 і 2.

Проведення лабораторної роботи, оформлення і захист звіту

Лабораторні роботи проводяться під керівництвом викладача. В основу кожної лабораторної роботи покладено принцип максимальної самостійності студентів.

Початку роботи передусє бесіда, у якій студенти одержують інструктаж з техніки безпеки і розписуються у відповідному журналі. Перед виконанням чергової роботи викладач перевіряє підготовку студентів до занять, повідомляє деякі теоретичні відомості, які відносяться до даної роботи. Варіант завдання на лабораторну роботу визначається номером, під яким студент записаний у журналі академічної підгрупи. При виконанні лабораторної роботи студенти заносять результати досліджень у відповідні таблиці, виконують їх обробку і аналіз. По закінченню роботи складається звіт. Оформлений звіт захищається студентом перед початком наступної роботи. Студенти, які пропустили лабораторну роботу, виконують її наприкінці семестру поза розкладом, за спеціальним графіком.

Звіт включає наступне

- назва лабораторної роботи та мета її виконання;
- теоретичні відомості;
- навести (якщо необхідно) зведені таблиці, графіки, діаграми, схеми конструктивних рішень;
- проаналізувати отримані результати і зробити висновки, обґрунтувати прийняті рішення.

Порядок проведення поточного, модульного і семестрового контролю

При вивченні курсу "Промислові роботи в ливарному виробництві" використовуються такі види контролю: вхідний, поточний, модульний, підсумковий.

Вхідний контроль проводиться на початку вивчення дисципліни і передбачає оцінку знань студентів на початку вивчення курсу.

Модульний контроль передбачає перевірку рівня засвоєння визначеної системи елементів знань та вмінь студента з того чи іншого змістового модуля. Модульний контроль проводиться під час лекцій, лабораторних занять або в позааудиторний час. Студент допускається до складання модульного контролю *за умови* повного виконання завдань, передбачених робочою навчальною програмою. Проведення поточного і модульного контролю з використанням модульно-рейтингової системи проводиться у *тестовій* формі.

Результати перевірки тестових контрольних завдань (в балах) доводяться до відома студентів після проведеного модульного контролю.

Розподіл вагових балів за 1 і 2 модулем

№ модуля	Назва модуля	Максимальна кількість балів					Мінімальна кількість балів для зарахування модуля
		ЛР	ПЗ	Самостійна робота	Тест	Всього	
8 семестр							
1.	Принципи побудови та конструкції промислових роботів	8	-	16	26	50	30
2.	Використання промислових роботів в ливарному виробництві.	10	-	14	26	50	30

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА

МП – 9С

Мета роботи: вивчити особливості будови конструкції робота і налаштування його механізмів, проаналізувати функціональні можливості робота.

Загальні положення

Промисловий робот МП – 9С, зображений на рис. 1.1, має наступні технічні характеристики, які наведені в табл.1.1:

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики промислового робота МП – 9С

Назва характеристики	Значення
Номінальна вантажопідйомність, кг	0,2
Максимальна величина горизонтального переміщення, мм	150
Максимальний кут повороту руки в горизонтальній площині	120°
Максимальна величина вертикального переміщення, мм	30
Максимальний кут повороту (ротації) схвата навколо поздовжньої осі	180°
Точність позиціонування, мм	±0,05
Час відпрацювання команд переміщення, с	0,5...0,8
Робочий тиск пневмопитання, Мпа	0,4...0,5
Число точок позиціонування за кожним ступенем рухомості	2
Число кадрів програми	30
Число технічних команд	6
Тип системи керування	циклом
Тип приводу	пневматичний

Робот МП – 9С складається із виконавчого пристрою (маніпулятора), пристрою керування ЭЦПУ-6030 і вузла підготовки повітря [1].

Виконавчий пристрій робота включає в себе механічну руку 2 із захватом 1 (рис. 1.1), механізм підйому 9, механізм повороту 11, муфту з упорами 17, амортизатори 4. В корпусі виконавчого пристрою розміщено вузол розподілу повітря 14, який складається із восьми

електропневматичних клапанів, обладнаних дроселями 15.

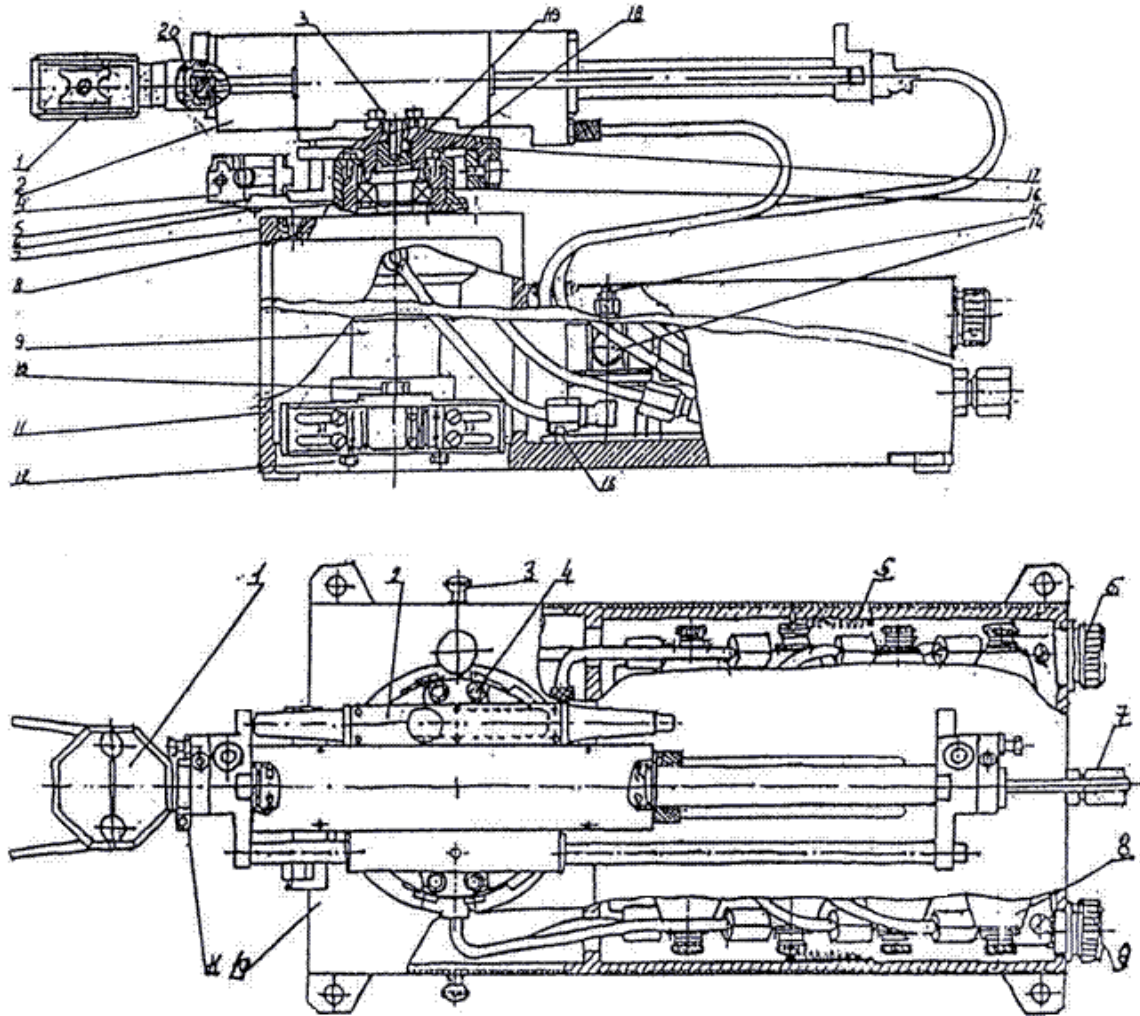


Рис. 1.1. Загальний вид робота МП – 9С:

1 – захват; 2 – рука; 3 – болт; 4 – амортизатор повороту; 5 – кронштейн; 6 – гвинт; 7 – корпус; 8 – гвинт; 9 – механізм підйому; 10 – планка; 11 – механізм повороту; 12 – болт; 13 – гвинт; 14 – вузол розподілення; 15 – дросель; 16 – підшипник; 17 – муфта з упором; 18 – гвинт; 19 – вал; 20 – з'єднання пряме кінцеве

Механізм підйому (рис. 1.2.) призначений для забезпечення підйому (опускання) руки робота і складається із корпуса 6, кришок 8 і 9, штока 2. Для покращення динаміки робота на підйом і опускання руки штокові порожнини виконані різних розмірів. В середині штока на підшипниках 10 встановлений вал 1 механізму повороту. На верхньому кінці вала встановлено муфту з упорами. На основних упорах встановлені КЕМи

(магнітно-керуючі контакти), а на кронштейні 4 – магніти. Кронштейн 4 з'єднує механізм вертикального переміщення із механізмом повороту і водночас запобігає взаємному повороту останніх, взаємодіючи з направляючою 13.

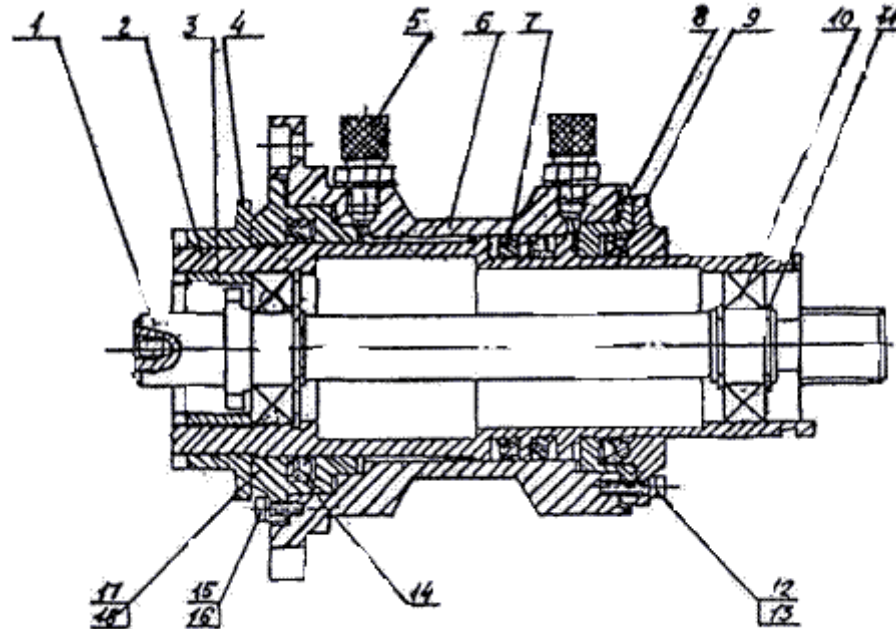


Рис. 1.2. Механізм підйому:

1 – вал; 2 – шток; 3 – втулка; 4 – кронштейн; 5 – з'єднання пряме кінцеве; 6 – корпус; 7 – манжет; 8 – кришка; 9 – кришка; 10 – підшипник; 11 – кільце пружине; 12 – гвинт; 13 – шайба пружина; 14 – манжета; 15 – гвинт; 16 – шайба пружина; 17 – кришка; 18 – прокладка

Механізм повороту (рис. 1.3) складається із корпусу 13, в якому переміщується, шток-рейка 12, ущільнена манжетами 11, фланців 1 із прокладками 2, які закривають поршневі порожнини. На рейці 12 встановлено планку 8 із магнітом 6, а на корпусі 13 – планки 3 і плати 4 з КЕМами 5. При встановленні механізму повороту на механізмі підйому зубці рейки 12 входять у зчеплення з валом, встановленим на штоці механізму підйому, а при подачі повітря в пневмоциліндр через отвір поступовий рух рейки перетворюється в обертовий, здійснюючи поворот руки робота. При переміщенні рейки магніт 6 підходить до КЕМу, який спрацьовує, подаючи команду про закінчення руху.

Рука (рис. 1.4) призначена для забезпечення входження захвату в робочу зону обслуговуваного обладнання і складається із корпусу 16, штока з поршнем 13, направляючої штанги 21, основних упорів 10 і 18, регульованих упорів 9 і 17, амортизатора 15.

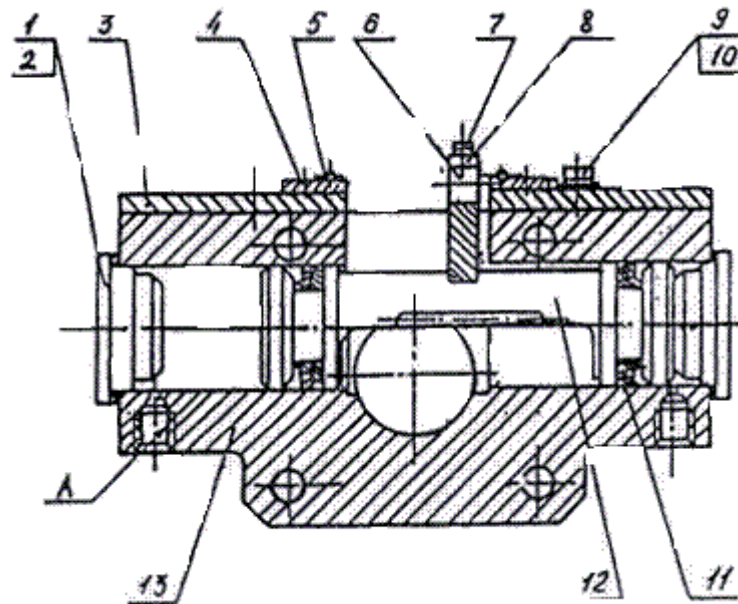


Рис. 1.3. Механізм повороту:

1 – фланець; 2 – прокладка; 3 – планка; 4 – плата; 5 – магнітокеруємий контакт (КЕМ); 6 – магніт; 7 – гвинт; 8 – планка; 9 – гвинт; 10 – пружна шайба; 11 – манжета; 12 – рейка; 13 – корпус

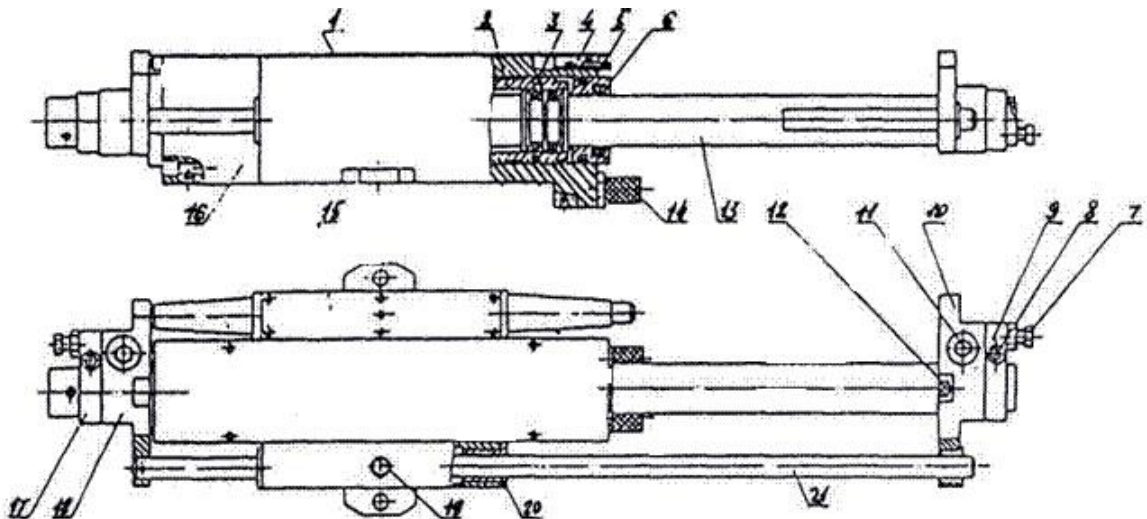


Рис. 1.4. Рука робота:

1 – кришка; 2 – гільза; 3 – гумове кільце; 4 – скоба; 5 – магнітокеруємий

контакт; 6 – манжета; 7 – мікрогвинт; 8 – гвинт; 9 – упор регулюючий; 10 – упор; 11 – гвинт; 12 – магніт; 13 – шток; 14 – з'єднання пряме кінцеве; 15 – амортизатор; 16 – корпус; 17 – упор регулюючий; 18 – упор; 19 – мастильниця; 20 – втулка; 21 – направляюча

В корпусі встановлено гільзу 2, в якій переміщується шток-поршень 13. Повітря підводиться до штуцерів і через канали, виконані в середині корпусу, надходить до порожнин циліндра. Направляюча 21 служить обмежувачем штока, а також і захвату від провороту. Під кришкою 1 розміщені КЕМи 5, а на основних упорах 10, 18 встановлені магніти 12. Всі основні з'єднання деталей ущільнені гумовими кільцями (манжетами) 3. При подачі повітря відбувається переміщення шток-поршня 13 разом із направляючою штангою 21 і упорами 9, 10, 17, 18. Упор підходить до амортизатора і переміщує, шток амортизатора до крайнього положення. Водночас магніт 12 підходить до КЕМу 5, який спрацьовує і видає сигнал про виконання команди.

Пневматичний привід маніпулятора включає вузли підготовки і розподілу стисненого повітря, вузол виконавчих двигунів і систему передачі стисненого повітря між пристроями приводу (рис. 1.5) [1, 2, 4].

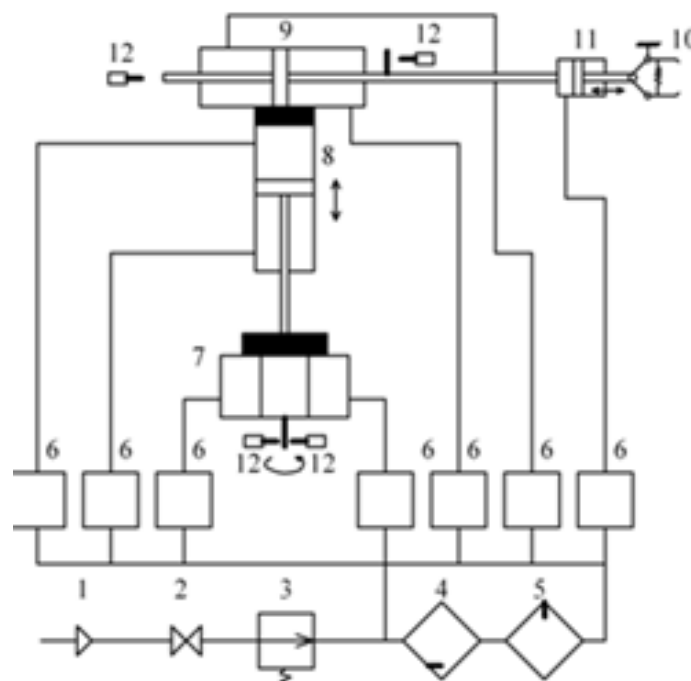


Рис. 1.5 Пневмопривод маніпулятора.

Стиснене повітря через вхідний штуцер 1, запірний вентиль 2, регулятор тиску 3 з манометром 4, вологовідділювач 5 і мастилорозпилювач 6 надходить до відповідних розподільчих пристроїв. Мастилорозпилювач забезпечує розпилення в потоці стисненого повітря мастила, необхідного для змащення елементів тертя виконавчих двигунів і розподільників.

Блок розподілу стисненого повітря містить у собі пристрої, за допомогою яких по заданій програмі можливо виконувати відкриття або закриття доступу стисненого повітря в робочі порожнини виконавчих двигунів. У роботі МП - 9С використовуються розподільники клапанного типу з електрокеруванням. На кожний рух виконавчого механізму в роботі встановлено автономний електроклапан 7.

Виконавчі двигуни повороту 8, підйому 9 і висування 10 являють собою циліндри із прямолінійним рухом поршня одно- або двосторонньої дії. На кожний ступінь рухомості передбачається виконавчий двигун, конструкція якого забезпечує задані лінійні переміщення, швидкості і зусилля. Захватний пристрій 11 також має двигун 12.

Гальмування двигунів виконавчих механізмів при підході до кінцевого положення здійснюється гідравлічними демпферами при висуванні 13 і повороті 14, при підйомі або опусканні за рахунок дроселювання стисненого повітря на вході і виході із циліндра 9.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити будову і принцип роботи вузлів промислового робота, а також регулювання величини переміщення за кожним ступенем рухомості. Накреслити один із вузлів робота за вказівкою викладача.
2. Знати принцип роботи пневматичного приводу робота.
3. Вивчити будову і роботу механізмів гальмування і скласти їх схеми.
4. Скласти кінематичну схему робота та його робочу зону.
5. Проаналізувати технічні характеристики та функціональні можливості робота, визначити його переваги та недоліки.

Контрольні запитання

1. Розкрийте призначення блоків промислового робота МП – 9С?
2. Поясніть функціональні можливості руки промислового робота МП – 9С?
3. Поясніть особливості роботи механізм підйому?
4. Яким чином здійснюється гальмування двигунів виконавчих механізмів?
5. Які вузли включає пневматичний привід маніпулятора?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИКЛОВОЇ СИСТЕМИ ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОМ МП – 9С

Мета роботи: вивчити пристрій ЭЦПУ-6030 і принцип дії циклової системи програмного керування промисловим роботом МП – 9С, освоїти методики програмування і придбати практичні навички налаштування роботи робота по заданій програмі.

Загальні положення

Пристрій ЭЦПУ-6030 [1] призначений для керування маніпуляторами, які мають двопозиційні ступені стану, з позиціонуванням по упорах і відповідним технологічним устаткуванням, конструкція пристрою виконана у вигляді настільного пульта. Технічна характеристика пристрою ЭЦПУ-6030 наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика пристрою ЭЦПУ-6030

Назва характеристики	Значення
Тип системи керування	циклова
Число керованих ланок маніпулятора	до 6
Число ланок, керованих по шляховому принципу	4
Число ланок, керованих по шляховим і по тимчасовим ознаках	2
Число точок зупинника на керованій ланці	2
Число технологічних команд	6

Число блокувань	до 4
Число програмуємих витримок часу	1
Діапазон регулювання програмуємої видержки часу	від 0 до 0,7 з
Число кадрів програми	до 30
Число виходів керування ланкою маніпулятора	2
Пристрій забезпечує цифрову індикацію номера кадру програми:	
- елементарна база	інтегральні мікросхеми серії ДО-155 у комбінації з дискретними елементами

Опис лабораторної установки

На рис.2.1 показані функціональний склад пристрою ЭЦПУ-6030 і характерні зв'язки між вузлами й блоками.

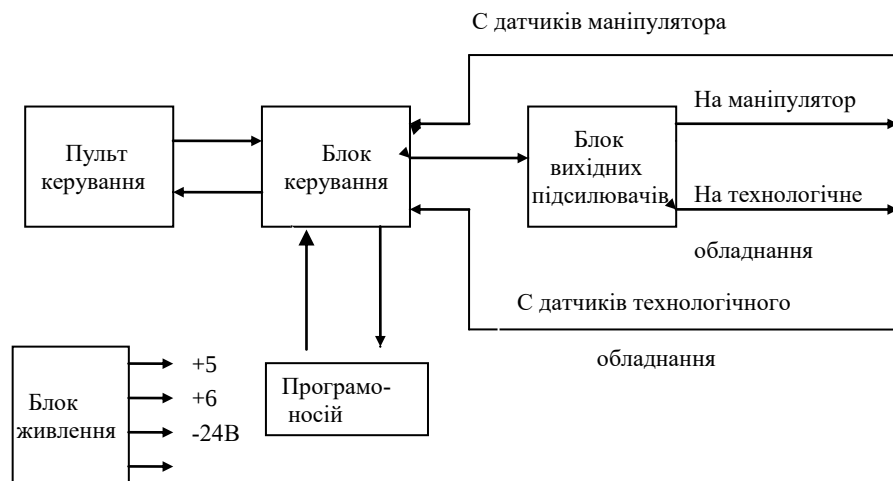


Рис.2.1. Структурна схема пристрою ЭЦПУ - 6030

Він побудований за принципом синхронного програмного автомата із твердим циклом керування і складається з наступних основних вузлів і блоків:

- блок керування, призначений для обробки інформації по заданій програмі і видачі керуючих впливів на маніпулятор і технологічне устаткування;
- пульт керування, який забезпечує завдання режимів роботи пристрою, виконання операцій включення – вимикання живлення, запуску в роботу, а також ручне керування ланками маніпулятора;

- програмоносій, призначений для набору і зберігання необхідної програми роботи робота;
- блок підсилювачів, які забезпечує видачу керуючих команд на розподільники маніпулятора і технологічного устаткування;
- блок живлення, який забезпечує живлення електронного устаткування, датчиків маніпулятора і технологічного устаткування.

Блок керування формує команди керування виконавчими органами маніпулятора і технологічним устаткуванням на основі інформації, яка надходить із програмоносія, сигналів від датчиків положення ланок маніпулятора і стану керуючих органів на пульті керування.

Пульт керування призначений для оперативного керування обладнанням і відображення стану робота. З пульта керування можна задати один з наступних режимів роботи обладнання: **РУЧНИЙ, КОМАНДА, ЦИКЛ, АВТОМАТ.**

У режимі **РУЧНОЇ** команди на маніпулятор задаються з пульта управління і надходять на блок підсилювачів і далі на маніпулятор для управління його рухомими органами. Контроль положення виконавчих органів маніпулятора здійснюється за допомогою табло індикації стану ланок маніпулятора.

У режимі **КОМАНДА** обладнання забезпечує відпрацьовування одного кадру програми, набраної на програмоносії. Після відпрацьовування команд, заданих у кадрі, відбувається зупинка обладнання.

У режимі **ЦИКЛ** обладнання забезпечує одиничне відпрацьовування всіх кадрів програми.

У режимі **АВТОМАТ** обладнання забезпечує багаторазове відпрацьовування робочого циклу робота.

При натисканні кнопки режиму **РУЧНИЙ** на ланку маніпулятора видається команда, мнемонічне зображення якої нанесено на табло над кнопкою, табло при цьому загоряється.

Кнопка ПУСК функціонує тільки в режимах АВТОМАТ, ЦИКЛ і КОМАНДА. При натисканні на цю кнопку обладнання починає працювати по програмі, одночасно загоряється табло РОБОТА.

Кнопка СТОП служить для остановки працюючого по програмі обладнання. При натисканні на цю кнопку табло РОБОТА гасне (живлення обладнання не вимикається).

Кнопка СКИДАННЯ СЧК (лічильника кадрів) використовується для попередньої установки лічильника кадрів у початковий стан. Кнопка + 1 СЧК використовується для зміни стану СЧК. Кнопка МЕРЕЖА призначена для включення живлення.

При роботі робота по програмі на табло індикації загорається поточний номер кадру, який виконується. У верхній частині обладнання розташована червона кнопка аварійного вимикання обладнання.

Програмоносій виконано у вигляді двох складених з багатопозиційних перемикачів полів і розміщений у верхній частині обладнання в спеціальній ніші кришкою, яка закривається. Кожний кадр програми може містити одну або дві команди, які набираються на верхньому і нижньому полях програмоносія.

Програма складається по циклограмі роботи робота, яка розбивається по кроках. Максимальне число кроків робочого циклу (а відповідно і програми) – 30. Програмоносій, на якому набирається програма, виконано у вигляді двох складених полів багатопозиційних перемикачів по 30 шт у кожному полі (число кроків програми).

Система команд обладнання ЭЦПУ-6030 наведена в табл. 2.2.

Наявність верхнього і нижнього полів програмоносія дозволяє виконувати одну або дві команди.

Якщо відповідна команда набирається на верхньому полі програмоносія, а на нижньому замість знака * встановлюється цифра 0, то даний кадр складається з однієї команди.

Таблиця 2.2 – Схема команд пристрою ЭЦПУ-6030

Номер команды	Назва команди		Код кадру	
			верхнє поле	нижнє поле
1	Рух виконавчого пристрою вперед		1	*
2	Рух виконавчого пристрою назад		2	*
3	Поворот вправо		3	*
4	Поворот вліво		4	*
5	Підйом вверху		*	1
6	Рух вниз		*	2
7	Захватний пристрій Закрито		*	6
8	Захватний пристрій Відкрито		*	5
9	Сдвиг вліво		0	4
10	Сдвиг вправо		0	3
11	Ротация: - вліво		6	0
	- вправо		5	0
12	Технологічна команда 1		9	1
13	Теж, 2		9	2
14	» 3		9	3
15	» 4		9	4
16	» 5		9	5
17	» 6		9	6
18	Витримка по часу		*	9
19	Пропуск		9	7
20	Переход		9	8
21	Зупинка		9	9
22	Кінець програми		0	0

Кадр також складається з однієї команди, якщо на верхньому полі замість знака * установлюється цифра 0.

Кадр спільного відпрацьовування формується із двох команд, які набираються в одному кроці на верхньому і нижньому полях. Перехід до наступного кроку проводиться тільки після відпрацьовування команд керування ланками маніпулятора, набраних на програмоносію.

Технологічна команда – команда керування технологічним устаткуванням. У кадрові програми може бути набрана тільки одна технологічна команда.

Команда ВИТРИМКА ЧАСУ служить для введення затримки між кроками програми. У цьому випадку в коді команди замість знака * набирається цифра 0. За допомогою команди ВИТРИМКА ЧАСУ може бути реалізовано і режим спільного відпрацьовування команд, у якому одна команда починає спрацьовуватися через заданий час (залежно від того, скільки раз був набраний код 09) після початку іншої.

Команда ПРОПУСК служить для організації пропуску одного кадра програми при виконанні зовнішньої умови. У випадку якщо не приходить сигнал з датчика, встановленого на зовнішньому устаткуванні, обладнання переходить до виконання кадра, записаного на $(i+1)^{\text{му}}$ кроці (на i - м кроці-пропуск). Якщо зовнішня умова виконується, тобто є присутнім сигнал – 24 В, то пропуск кадра не відбувається.

Команда ПЕРЕХІД служить для організації умовного переходу до фіксованого кроку з довільного місця програми. Умовний перехід виконується при відсутності на вході обладнання – 24 В; якщо сигнал – 24 В присутній, то перехід не виконується, і обладнання переходить до виконання кроку, який в черзі за командою ПЕРЕХІД.

Команда ЗУПИНКА служить для зупинки обладнання, яке працює по програмі.

Команда КІНЕЦЬ ПРОГРАМИ служить для зациклення програми роботи робота. При виконанні цієї команди лічильник кадрів скидається у вихідний нульовий стан, після чого виконання набраної програми повторюється.

У режимі ЦИКЛ, крім того, при виконанні команди КІНЕЦЬ ПРОГРАМИ проводиться остановка обладнання. Для набору режимів роботи слід скласти програму, приклад якої наводиться в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Приклад програми

Формат команди	Клавіші	Дія, яка виконується
F400	4	Підняття
F100	1	Втягування руки
F300	3	Поворот вліво
FA00	A	Розтискання схвата
F500	5	Опускання
FB00	B	Стискування схвата
F400	4	Підняття
F000	0	Висування руки
F200	2	Поворот в право
F500	5	Опускання
FA00	A	Розтискання схвата
F400	4	Підняття
F100	1	Втягування руки
F300	3	Поворот вліво

Налаштування програми проводиться послідовно в режимах КОМАНДА, ЦИКЛ і АВТОМАТ на включеному обладнанні.

Порядок виконання роботи

У процесі виконання роботи необхідно:

1. Вивчити функціональну схему і принцип дії системи керування.
2. Візуально освоїти пульт керування системи ЭЦПУ-6030.
3. Включити систему в мережу і у режимі **РУЧНА** зробити відпрацювання всіх команд керування роботом. При включенні живлення ланки маніпулятора автоматично приходять у положення, яке відповідає зображенню в нижньому ряді табло індикації стану ланок маніпулятора. Щоб уникнути небажаних переміщень ланок при включенні живлення, ланки маніпулятора перед включенням мережі необхідно вручну вивести у вихідне положення відповідно табло індикації стану ланок.

Обладнання вводиться в робочий стан у наступному порядку:

- натисканням кнопки МЕРЕЖА включити живлення;

- встановити режим роботи **РУЧНИЙ** і за допомогою кнопок ручного керування ланками маніпулятора вивести їх у вихідне положення.
- 4. Скласти програму керування роботом, відповідно до завдання, як це показано в табл. 3. Для візуальної фіксації рухів застосувати команду **ВИТРИМКА ЧАСУ**.
- 5. Набрати програму на програмоносії і виконати її налаштування послідовно в режимах **КОМАНДА**, **ЦИКЛ**, **АВТОМАТ**. При переході в ці режими натискати кнопку **СКИДАННЯ СЧК**. У режимі **КОМАНДА**, установлюючи лічильник у нульове положення кнопкою **СКИДАННЯ СЧК** і натискаючи послідовно на кнопку **ПУСК**, відпрацювати всю програму. Потім програму перевірити в режимах **ЦИКЛ** і **АВТОМАТ**. Перед зупинкою обладнання встановити режим роботи **ЦИКЛ**. Робот допрацьовує останній цикл і зупиняється, маніпулятор приходить у вихідний стан.
- 6. Виключити живлення обладнання натисканням кнопки аварійного виключення живлення.
- 7. Продемонструвати викладачеві роботу робота по програмі і скласти звіт.

Контрольні запитання

1. Розкрийте призначення функціональних блоків системи циклового керування?
2. Поясніть призначення команд: **ВИТРИМКА ЧАСУ**, **ПРОПУСК**, **ПЕРЕХІД**, **ТЕХНОЛОГІЧНА КОМАНДА**, **ЗУПИНКА**, **КІНЕЦЬ ПРОГРАМИ**?
3. Поясніть функціональні можливості системи **ЭЦПУ-6030** у режимах: **РУЧНИЙ**, **КОМАНДА**, **ЦИКЛ**, **АВТОМАТ**?
4. Поясніть принцип керування – по шляховому і часовому принципах?
5. Скільки технологічних команд може бути набрано у кадрові програми?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

КОНСТРУЮВАННЯ І РОЗРАХУНОК ГІДРАВЛІЧНОГО ДЕМПФЕРА ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА МП – 9С

Мета роботи: виконати конструктивні розрахунки гідравлічного демпфера для промислового робота МП – 9С та сконструювати його експериментальний макет.

Загальні положення

Актуальною проблемою створення мехатронних систем є забезпечення високої швидкодії і точності виконавчих механізмів при змінах їх мас і швидкостей руху. Ефективним засобом її розв'язку є використання гумових прокладок або пружин, які сприймають удар наприкінці ходу поршня, або підвищення тиску в порожнині протитиску так само наприкінці ходу [1 – 3]. Але застосування прокладок і пружин приводить до зниження точності позиціонування відливка через відсічку поршня і пов'язаних з ним мас при пружному ударі. Тому у швидкодіючих приводах роботів для гасіння швидкості використовують метод підвищення тиску, який може бути здійснено двома способами:

- використанням гальмових золотників;
- використанням дросельних пристроїв (внутрішніх гальмівних пристроїв).

На рис. 3.1 представлена узагальнена структурна схема приводу, яка включає силовий циліндр і апаратуру керування.

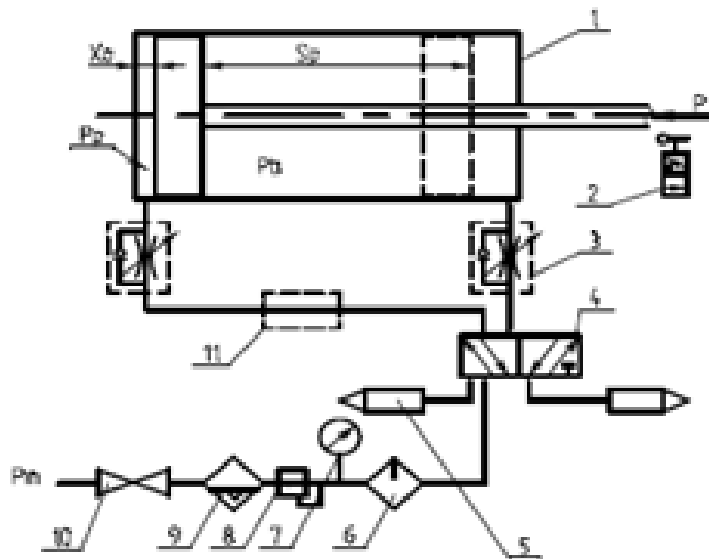


Рис.3.1 Структурна схема пневмопривода:

1 – циліндр; 2 – кінцевий вимикач; 3 – дросель; 4 – повітророзподільник; 5 – глушник; 6 – мастилорозпилювач; 7 – манометр; 8 – регулятор тиску; 9 – мастилорозпилювач; 10 – кран; 11 – гальмівний золотник

Завдання для розрахунку

Параметри гідравлічного демфера – $V_{\min}$ і $V_{\max}$ відповідно, максимальне і мінімальне значення в момент торкання початкової швидкості рухомих частин виконавчого механізму разом з вантажем і штоком демпфера; $M_{\max}$ і $M_{\min}$ (не більше – 4 кг) відповідно, максимальна і мінімальна маса рухомих частин виконавчого механізму разом з вантажем і штоком демпфера; $V_{\text{вст}}$ – усталена швидкість рухаючихся частин виконавчого механізму разом з вантажем і штоком демпфера в момент позиціонування; a_0 – припустиме значення прискорення на ділянці гальмування при ударі виконавчого механізму по упору в момент гальмування (обмежимо умовами міцності елементів конструкції); d_0 – мінімальний діаметр прохідного отвору; D_p – діаметр поршня; $p_{\max}$ – максимальний тиск, наведені в табл. 3.1 та на рис. 3.2.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів гідравлічного демпфера

Варіант	$V_{\min}$, м/с	$V_{\max}$, м/с	$M_{\max}$, кг	$M_{\min}$, кг	$V_{\text{вст}}$, м/с	a_0 , м/с ²	d_0 , м	D_p , м	$p_{\max}$, МПа
1	0,10	0,30	6,48	2,78	0,01	30	0,02...0,03	0,021	3
2	0,11	0,31	6,30	2,60					
3	0,12	0,32	6,20	2,50					
4	0,13	0,33	6,10	2,90					
5	0,09	0,29	6,50	3,00					
6	0,08	0,28	6,60	3,10					
7	0,07	0,27	6,00	2,40					
8	0,14	0,34	5,90	2,30					
9	0,15	0,35	5,80	2,10					
10	0,06	0,26	5,70	3,20					

Визначаємо площу поршня, м²:

$$S_p = \frac{\pi D_p^2}{4} \quad (3.1)$$

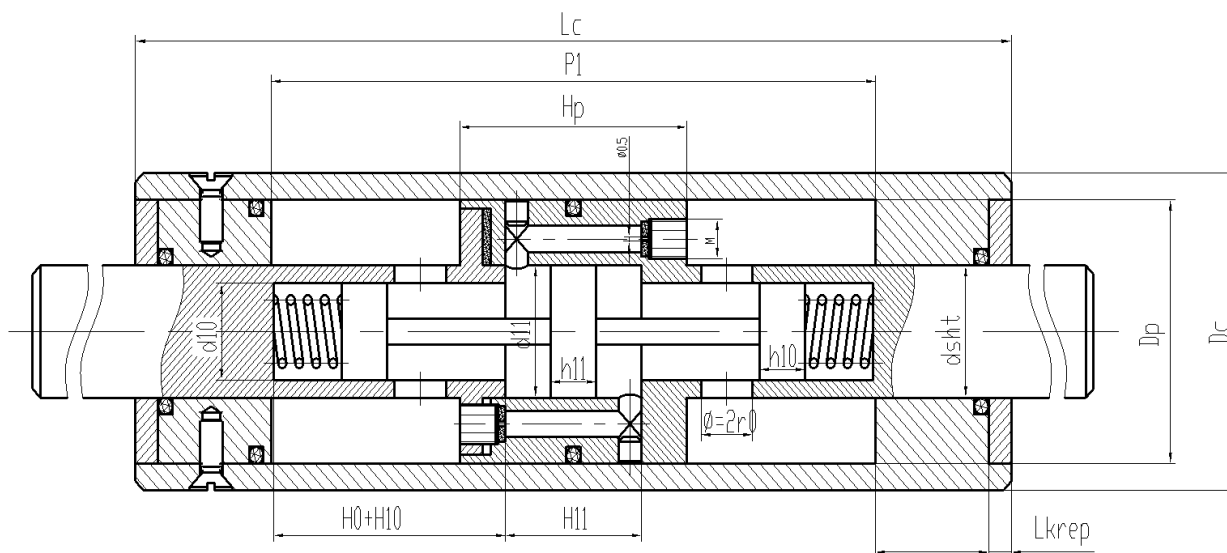


Рис. 3.2 Основні розміри самонастроювального гідравлічного демпфера

Визначимо перепад тисків на поршні, МПа:

$$p = \frac{|a_0| M_{\max}}{S_p} \quad (3.2)$$

Конструктивні розміри інших елементів визначимо з конструкції (рис. 3.3).

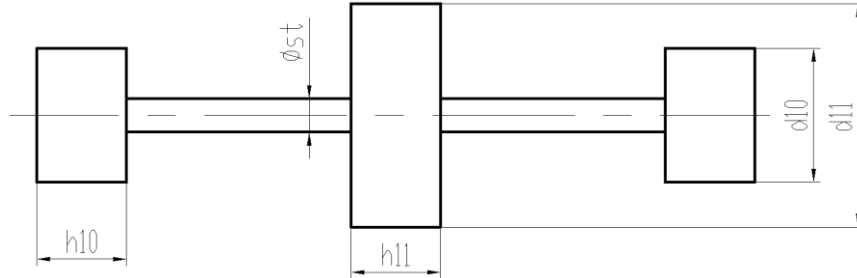


Рис. 3.3 Основні розміри плунжера демпфера

Ширина поршня, м:

$$H_p = 0,8D_p \quad (3.3)$$

Діаметр штока, м:

$$d_{st} = 0,5D_p \quad (3.4)$$

Ефективна площа плунжера, м²:

$$\Delta S = S_{11} - S_{10} = (0,05 \dots 0,1) \cdot 10^{-3} \quad (3.5)$$

де S_{10} , S_{11} – площі фланців 10 і 11 плунжера.

Приймаємо значення ΔS і маючи на увазі що $d_{11} = d_{st} = 0,01$ м визначаємо площу 11 фланця по формулі, м²:

$$S_{11} = \frac{\pi d_{11}^2}{4} \quad (3.6)$$

Площа фланця 10 (м²) і його діаметр, м:

$$S_{10} = S_{11} - \Delta S \quad (3.7)$$

$$d_{10} = 2\sqrt{\frac{S_{10}}{\pi}} \quad (3.8)$$

Ширина фланців 10 і 11 плунжера, м:

$$h_{11} = h_{10} = \frac{D_p}{5} \quad (3.9)$$

Міжосьові відстані осі штока і отворів у поршні для проходу гідрорідини, м:

$$a_{k1} = \frac{1}{2} \left[\frac{2(D_p - d_{st})}{3} + \frac{d_{st}}{2} \right] \quad (3.10)$$

Визначаємо розміри корпусу демпфера. Товщина стінки корпусу визначається по формулі Ляме [3], м:

$$\delta_c \geq \frac{D_p}{2} \left(\sqrt{\frac{[\sigma] + p}{[\sigma] - p}} \right) \quad (3.11)$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження розтягання матеріалу циліндра, для сталі 30ХГСА ГОСТ 8732 – 78, $[\sigma] = 200$ Па;

$p = 1,2p_{\max}$ – розрахунковий тиск, Па;

Товщина дна корпусу, яка забезпечує кріпильну міцність для гвинтів, мм:

$$\delta_{\text{дн}} \geq 0,4D_p \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} + 10 \quad (3.12)$$

Величину ходу штока демпфера приймемо рівною величині гальмівного шляху, мм:

$$L = 0,7D_p \quad (3.13)$$

Розмір між сходинками корпусу, м:

$$P_1 = L + H_p + 0,01 \quad (3.14)$$

Зовнішній діаметр корпусу, м:

$$D_c = D_p + 2\delta_c \quad (3.15)$$

Довжина корпусу, м:

$$L_c = P_1 + 2\delta_{\text{дн}} \quad (3.16)$$

Сумарна довжина кріпильної частини, яка ущільнюється гумою, м:

$$L_{\text{крп}} = 0,6D_p \quad (3.17)$$

Визначимо уточнене значення площі прохідного отвору з формули, м²:

$$f_0 = \sqrt{\frac{p S_p^3 L}{2 M_{\min} \ln\left(\frac{V_{\text{vin}}}{V_{\text{есм}}}\right)}} \quad (3.18)$$

Звідси одержимо радіус прохідного отвору, м:

$$r_0 = \sqrt{\frac{f_0}{\pi}} \quad (3.19)$$

Визначимо мінімальну площу прохідного перетину по формулі, м²:

$$f_{\min} = f_0 \sqrt{\frac{M_{\min}}{\alpha M_{\max}}}, \quad (3.20)$$

де $\alpha = \ln \left[\frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{вст}}} \right]$ – коефіцієнт.

Визначимо максимальну величину переміщення плунжера демпфера при прийнятому круглому перетині прохідного отвору радіуса r_0 . У цьому випадку мінімальна площа прохідного перетину буде визначатися,

$$f_{\min} = r_0^2 (\varphi - \sin \varphi \cos \varphi) \quad (3.21)$$

Прирівнявши значення виразів (3.20) і (3.21), враховуючи, що $f_0 = r_0^2 \varphi$, одержимо:

$$\varphi - \sin \varphi \cos \varphi = \sqrt{\frac{M_{\min}}{\alpha M_{\max}}} \quad (3.22)$$

Після ряду перетворень із виразу (3.22) одержимо значення кута $\varphi_{\max}$ рад, який відповідає $y_{\max}$.

Визначимо сумарний коефіцієнт твердості пружини плунжера (рис. 3.4), Н/м:

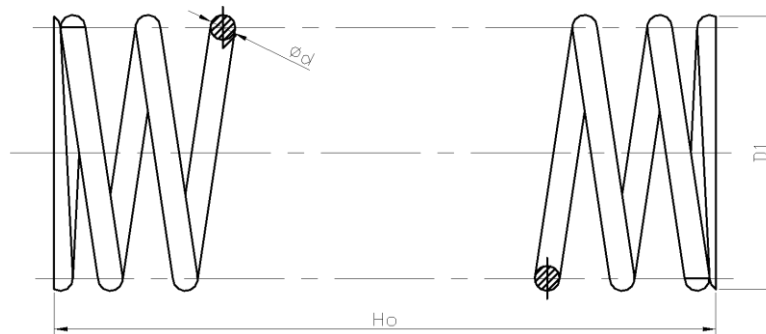


Рис. 3.4 Пружина стиснення з піджатими на один виток кінцями і шліфованими на 3/4 окружності опорними поверхнями

$$K_2 = \frac{\Delta S A_0 M_{\max}}{2r_0 S_p \left(1 - \sqrt{\frac{M_{\min}}{\alpha M_{\max}}} \right)} \quad (3.23)$$

Дані пружини плунжера 11 і 12 мають твердість K_1 , тоді:

$$K_1 = \frac{K_2}{2} \quad (3.24)$$

З метою зменшення розмірів каналу плунжера обмежимо число робочих витків пружини, виходячи з умови: якщо $K_1 < 3$, то число робочих витків пружини $n = 2$, а якщо більше, то $n = 4$.

Твердість одного витка пружини, $H/м$:

$$k_3 = K_1 n \quad (3.25)$$

Ширина порожнини ходу кожного фланців плунжера, мм:

$$H_{10} = H_p + 2r_0 + 0,005 \quad (3.26)$$

$$H_{11} = H_p - 2 \cdot 0,005 \quad (3.27)$$

Ширина порожнини ходу фланців плунжера,

$$H = H_{11} + 2H_{10} + 2H_0 \quad (3.28)$$

Діаметр вузла для кріплення d_{uz} пружини визначається з умови наявності зазору z між пружиною і стінками вузла. Для цього демпфера $z = 1$ мм, тоді:

$$d_{uz} = D_1 + 2z \quad (3.29)$$

Інші параметри демпфера визначалися при його конструктивному проробленні з урахуванням технології виготовлення.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з теоретичними даними для розрахунку гідравлічного демпфера.
2. Виконати розрахунок гідравлічного демпфера.
3. Проаналізувати отримані розрахункові характеристики та функціональні можливості спроектованого гідравлічного демпфера, визначити його переваги та недоліки.

Контрольні запитання

1. Що є актуальну проблему створення мехатронних систем?
2. Назвіть відомі рішення проблеми створення мехатронних систем?
3. Назвіть вихідні дані для розрахунку параметрів гідравлічного демпфера?
4. У чому полягає метод підвищення тиску?
5. Назвіть технічні рішення методу підвищення тиску?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ І МОЖЛИВОСТЕЙ ДВОРУКОГО РОБОТА МП – 11

Мета роботи: вивчити особливості конструкції і можливості програмування робота - маніпулятора МП – 11.

Загальні положення

Промисловий робот МП – 11, зображений на рис. 4.1, має наступні технічні характеристики, які наведені в табл. 4.1:

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики промислового робота МП – 11

Назва характеристики	Значення
Номінальна вантажопідйомність кожної руки, кг	0,5
Погрішність позиціонування, мм	0,1
Максимальна величина горизонтального переміщення, мм	200
Максимальний кут повороту в горизонтальній площині	120°
Максимальна величина вертикального переміщення, мм	65
Максимальна величина зрушення схвата, мм	25
Максимальний кут повороту (ротації) схвата навколо поздовжньої осі	180°
Кут між руками	20°...100°
Час відпрацювання команд переміщення, с	0,35...0,85
Робочий тиск пневмопитання, Мпа	0,4...0,5
Напруга керування електропнев- мораспределителей, В (Рід струму - постійний при силі струму 0,5 А)	24
Напруга харчування датчиків контролю відпрацювання переміщень, В (Рід струму – постійний при силі струму 0,1 А)	0,5...30
Тип обладнання керування	ЭЦПУ–6030

Дворукий робот МП – 11 складається з маніпулятора МП – 11, уніфікованого з маніпулятором робота МП - 9 і циклової системи керування ЭЦПУ - 6030.

Маніпулятор МП – 11 виконаний за модульним принципом, що дозволяє виконувати перекомпонування вузлів-модулів. На рис. 4.1 показаний максимальний варіант виконання.

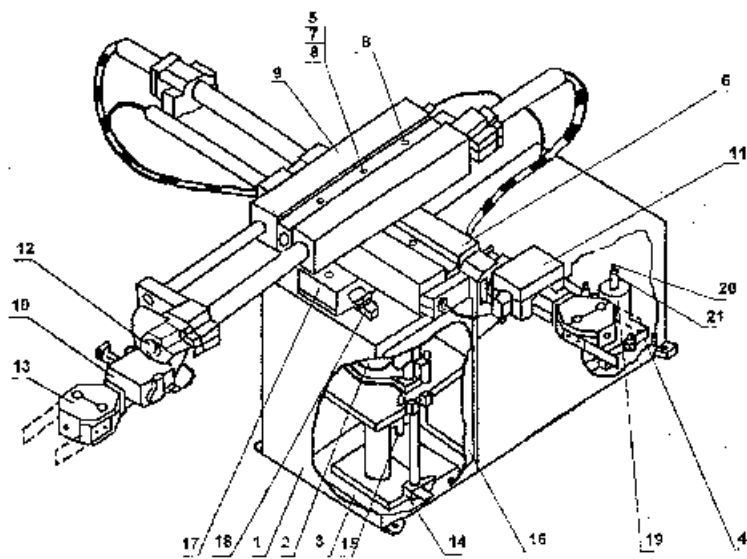


Рис. 4.1. Маніпулятор МП – 11:

1 – каркас; 2 – механізм підйому; 3 – механізм повороту; 4 – вузол розподілу повітря; 5 – муфта; 6 – рука; 7 – фланець; 8 – гвинти; 9 – рука; 10 – модуль зрушення захвату; 11 – модуль обертання захвату; 12 – кронштейн; 13 – захват; 14 – упор; 15 – демпфер; 16 – кришка; 17 – амортизатор повороту; 18 – перемикач; 19 – електроклапан; 20 – голка; 21 – гайка

При необхідності модулі ротації і зрушення можуть бути не встановлені або переставлені місцями. У найпростішому виконанні можна залишити однорукий маніпулятор типу МП – 9С. При демонтажі невикористовуваних модулів необхідно також демонтувати трубопроводи і розгалудження, ізолювати їх, згорнути в бухту, укласти в корпус маніпулятора [4].

У представленому варіанті компоновання маніпулятора руки пневматично з'єднані паралельно, тобто при подачі сигналу відбувається спільне висування або втягування рук маніпулятора. Для одержання незалежного руху рук потрібно або відмовитися від якого-небудь ступеня

рухливості, а звільнившись розподільники використовувати для руки, або запаралелить ротацію і зрушення захватів.

Каркас 1 маніпулятора (рис. 4.2) є його силовою і несучою частиною. На ньому розміщені механізми підйому 2 і повороту 3 з відповідними демпферами і вузол розподілу повітря 4. На муфті 5 механізму підйому закріплені за допомогою кріпильних гвинтів поступальні модулі і (руки 1 і 2). Установка кута між руками здійснюється ослабленням гвинтів 8 і розворотом рук на необхідний кут і наступним затягуванням гвинтів 8.

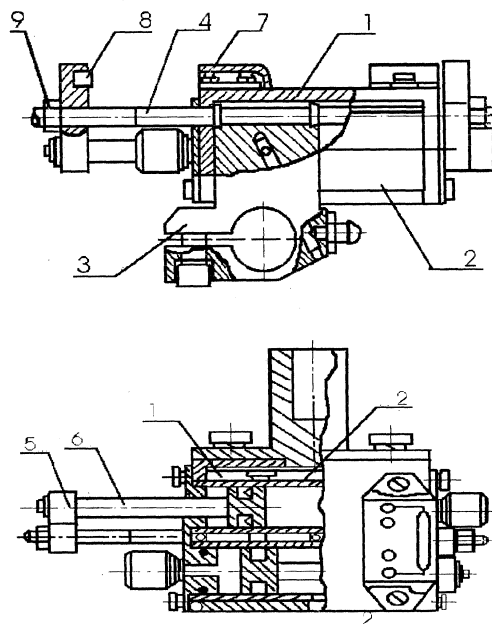


Рис.4.2 Модуль зрушення захвату:

1 – корпус; 2 – циліндр; 3 – каретка; 4 – шток; 5 – упор; 6 – шток; 7 – КЭМ; 8 – магніт; 9 – гайка

Модуль зрушення 10 і ротації 11 встановлюється відповідно на руках 1 і 2 за допомогою кронштейнів 12. Захвати 13 закріплюються в затискачах модулів ротації і зрушення або в кронштейні 12 у випадку, якщо модуль зрушення і ротації не встановлені. Установка захватів в одній площині по висоті проводиться розворотом кронштейнів 12.

Обслуговування упорів 14 механізму підйому і демпферів 15 проводиться через нішу в корпусі, закриту кришкою 16. На кронштейні механізму підйому встановлений амортизатор 17 і перемикачі 18, які

сигналізують про закінчення повороту. На корпусі маніпулятора розміщені рознімання для підключення обладнання керування, прогонич заземлення і штуцер для підключення до пневмосети [5].

Конструкції механізмів підйому, повороту і висування рук аналогічні механізмам робота МП – 9С. Механізм зрушення захвату призначений для забезпечення переміщення захвату на 25 мм і складається з корпуса 1 (мал. 4) із двома циліндрами 2, каретки 3, з'єднаної штоком 4 через упор 5 зі штоком 6. На корпусі 1 встановлені КЕМи 7, а відповідні їм магніти 8 встановлено на упорах 5. Захват встановлюється в затискачах каретки 3, яка переміщається по зовнішніх поверхнях циліндрів 2.

При подачі повітря в одну порожнину шток 6 переміщає каретку 3 з іншим штоком до упору. Аналогічно відбувається зворотний рух каретки при подачі повітря в іншу порожнину. Регулювання величини переміщення зводиться до переміщення упорів 5, для чого необхідно послабити затягування гайок 9, і, обертаючи шток 4, установити величину переміщення, після чого знову затягти гайку 9.

Механізм ротації захвату (рис. 4.3) здійснює обертання захвату на кут до 180° і складається з корпуса 1, шток-рейки 2, вала-шестерні 3.

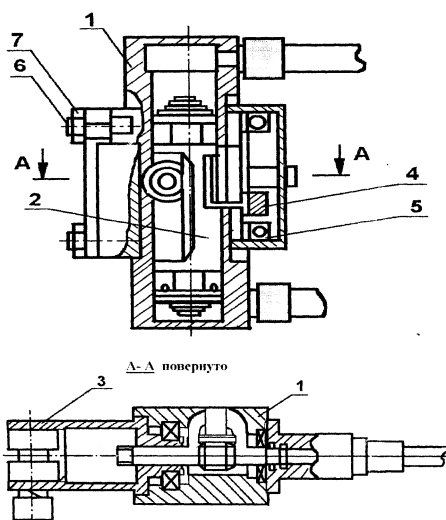


Рис. 4.3. Модуль ротації захвату:

1 – корпус; 2 – шток-рейка; 3 – вал-шестірня; 4 – магніт; 5 – КЭМ; 6 – мікрогвинт; 7 – гайка

На шток-рейці встановлений магніт 4, взаємодіючий з КЕМами 5. Захват встановлюється в затискач вала-шестірні 3, у якому є отвір для підведення повітря до захвату. При подачі повітря шток-рейка 2 переміщається, обертає вал-шестірню 3 і, відповідно, захват. Регулювання кута обертання здійснюється мікрогвинтами 6.

Порядок виконання роботи

У процесі виконання роботи необхідно:

1. Вивчити конструкцію дворукого маніпулятора МП – 11 і його технічні характеристики.
2. Включити робот МП – 11 у мережу і у режимі РУЧНОГО КЕРУВАННЯ зробити відпрацьовування всіх команд керування маніпулятором.
3. Скласти програму функціонування робота по транспортуванню деталей на місце за участю всіх механізмів маніпулятора.
4. Набрати програму на програмноноситеle ЭЦПУ - 6030 і зробити її налаштування послідовно в режимах КОМАНДА, ЦИКЛ, АВТОМАТ. Продемонструвати викладачеві функціонування робота по складеній програмі.
5. Оформити звіт.

Контрольні запитання

1. Назвіть відмінні риси робота МП – 11 від МП – 9С.
2. Як працює механізм зрушення захвату?
3. Як працює механізм ротації захвату?
4. Яке призначення мають елементи пневмосхеми керування одним модулем?
5. Які елементи використовуються для контролю кінцевих положень модулів?
6. Які модулі управляються по тимчасовому принципу?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА А № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАЛАШТУВАННЯ ТИСКУ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ І МАСИ ВАНТАЖУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИВОДУ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА МП – 11

Мета роботи: дати оцінку впливу вхідного тиску стисненого повітря на працездатність приводу.

Загальні положення

Рівняння динаміки поршня пневматичного двигуна з обліком діючих на нього сил може бути описане наступним виразом [5]:

$$F(p_1 + p_2) = mx + \alpha x + \sum N_i, \quad (5.1)$$

де mx – сила подолання інерційності маси рухомих частин двигуна висування захватного пристрою (маса поршня зі штоком + маса переміщуваного вантажу);

x – величина, яка враховує демпфування при витоку повітря між поршнем і стінками циліндра;

αx – сума сил, які діють на поршень (тертя, постійне зовнішнє зусилля і ін.).

З виразу випливає, що зі зростанням маси корисного вантажу для забезпечення необхідної швидкості необхідно збільшити перепад тиску на поршень.

При постійному вхідному тиску стисненого повітря на двигуні зі збільшенням маси вантажу швидкість вихідної ланки зменшується. Для дослідження впливу тиску стисненого повітря і маси перенесеного вантажу використовується установка, схема якої наведена на рис. 5.1.

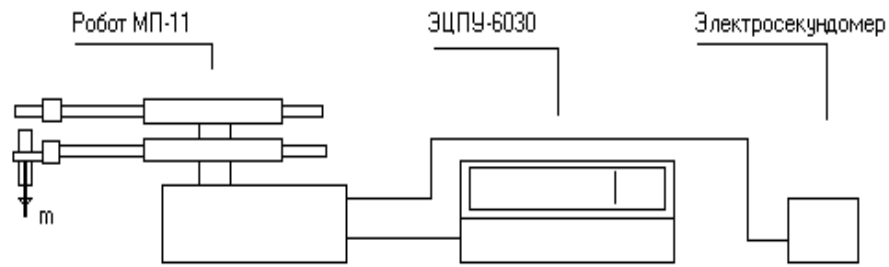


Рис. 5.1. Схема експериментальної установки

Порядок виконання роботи

У процесі виконання роботи необхідно:

1. Підготувати робот до роботи. При номінальному тиску живлення стисненим повітрям $p = 0,2 \dots 0,5$ МПа і переміщенні $S = 0,125$ м забезпечити на холостому ходу максимальні швидкості висування захоплення, підйому і повороту виконавчого пристрою робота.
2. Послідовно при тисках живлення стисненим повітрям $p = 2$ МПа; $p = 2,5$ МПа у режимі ручного керування забезпечити 3 кратне виконання команд на кожному ступені рухомості прямого і зворотного напрямків руху на холостому ходу, при різних значеннях мас $m = 0 \dots 0,5$ кг корисного вантажу.
3. У процесі виконання команд оцінити працездатність і характеристики приводу:
 - плавність прямого і зворотного ходів без навантаження і під навантаженням;
 - надійність спрацьовування пневматичних розподільників і КЕМів;
 - характер демпфування кожного руху;
 - величину прямого і зворотного ходів, час переміщення;
 - надійність захоплення і переносу вантажу;
 - точність позиціонування.
4. Обчислити середню швидкість лінійного переміщення захватного пристрою при прямому і зворотному ходах.
5. Розрахувати діаметри пневмоциліндрів для всіх ступенів рухомості.

6. Результати випробувань систематизувати і оформити у вигляді таблиць (табл.5.1, табл. 5.2) і графіків.

Таблиця 5.1 – Результати вимірів при $S = 0,125$ м і $p = 2$ кг/см

№ Виміру	Час прямого шляху,с	Час зворотнього шляху, с	Маса вантажу, кг	Швидкість, м/с	Середня Швидкість, м/сек
1			0		
2			0		
3			0		
4			0,25		
5			0,25		
6			0,25		
7			0,5		
8			0,5		
9			0,5		

Таблиця 5.2 – Результати вимірів при $S = 0,125$ м і $p = 2,5$ кг/см

№ Виміру	Час прямого шляху,с	Час зворотнього шляху, с	Маса вантажу, кг	Швидкість, м/с	Середня Швидкість, м/сек
1			0		
2			0		
3			0		
4			0,25		
5			0,25		
6			0,25		
7			0,5		
8			0,5		
9			0,5		

Контрольні запитання

1. Поясніть фізичні основи зміни швидкості пневматичного приводу при зміні навантаження.
2. Який діапазон зміни вхідного тиску стисненого повітря допустимо для приводу робота МП-9С?
3. Чи необхідне регулювання дроселів відповідних ступенів рухомості при зміні навантаження на 10 %, 50 %?

4. Чи необхідно переналагоджувати амортизатори відповідних ступенів рухомості при зміні навантаження і тиску?

5. Поясніть можливі наслідки для технологічного процесу при різкому відключенні живлення повітрям робота?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ВИВЧЕННЯ І АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА ТУР-10ДО

Мета роботи: ознайомитися з обладнанням, принципом дії і експлуатаційними характеристиками промислового робота ТУР – 10ДО; навчитися становити кінематичні схеми хутра- низмов; придбати навички, необхідні для розв'язку розрахунково-конструкторських завдань при проектуванні маніпуляторів промислових роботів.

Загальні положення

Промисловий робот ТУР – 10ДО, зображений на мал.3, має наступні технічні характеристики, які наведені в табл.6.1.

Таблиця 6.1 – Технічні характеристики промислового робота ТУР – 10ДО

Назва характеристики	Значення
Вантажопідіймальність, кг, не більш	
- номінальна	6,3
- включаючи масу захватного пристрою	10
Число ступенів рухомості з них:	
- транспортних (переносних)	3
- орієнтуючих	2
Вид приводу	електромеханічний
Спосіб керування	контурний
Система керування	УКМ-772
Тип інтерполяції	лінійний
Спосіб програмування	

Обсяг пам'яті, точок, не більш	навчання
Максимальна абсолютна погрішність позиціонування, мм	1000
Погрішність обробки траєкторії, мм, не більше	$\pm 0,25$
Число одночасне керованих рухів по ступенях рухомості	2
Геометричні розміри робочої зони	5
Максимальні переміщення, град	340
- поворот руки навколо вертикальної осі q_1	
- хитання вертикальної ланки (плеча) щодо вертикалі q_2	± 45
- хитання горизонтальної ланки (передпліччя) щодо горизонталі при вертикальному плечі q_3	$+25$
- згин руки q_4	-45
- обертання (ротація) кисті q_5	± 90
Мінімальні і максимальні швидкості переміщення ланок, град/с	± 180
- поворот руки	
- хитання плеча	0,5...90
- хитання передпліччя	0,5...90
- згинання кисті	0,5...90
- обертання кисті	0,5...90
Час максимального переміщення, с	1...180
- поворот руки	5
- хитання плеча	2,5
- хитання передпліччя	2,5
- згин кисті	3
- обертання кисті	3
Погрішність підтримки заданої контурної швидкості	$\pm 10\%$
Максимальне прискорення робочого органу, м/с^2	1,5
Число каналів зв'язки із зовнішнім устаткуванням:	
- на введення	12
- на виведення	48
Електричне живлення:	
3-фазна мережа змінного струму	
- напруга, В	380^{+38}_{-57}
- частота, Гц	50 ± 1
- споживана потужність, кВт	4
Тиск стисненого повітря, МПа	0,4...0,6
Витрата стисненого повітря, л/год	100
Маса, кг, не більш	820
У тому числі:	
- маніпулятора	260
- блоку керування електроприводами	260
- обладнання числового програмного керування	250

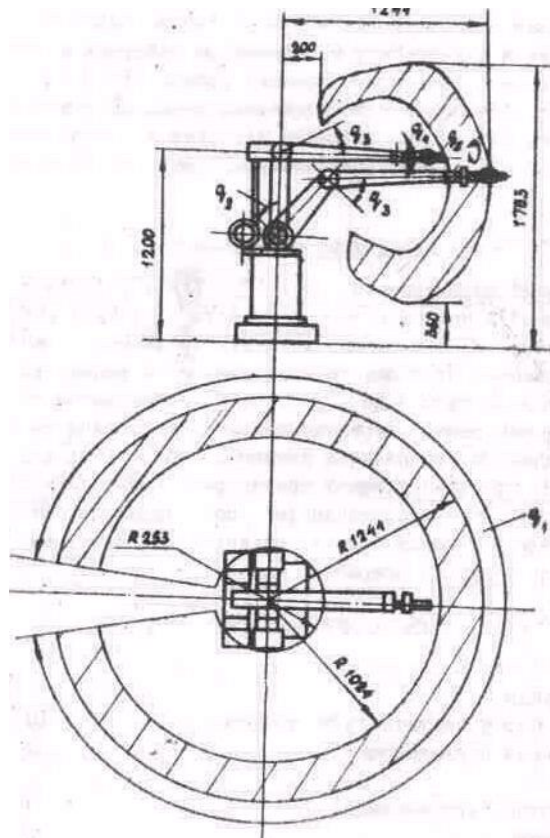


Рис. 6.2. Робоча зона промислового робота ТУР - 10ДО

Принцип роботи маніпулятора ПР ТУР – 10ДО наступний (рис. 6.3): поворотна платформа 1 обертається відносно нерухомої підставки 0 навколо вертикальної осі, утворюючи обертальну кінематичну пару V класу. Цим обертанням забезпечується I ступінь рухомості ПР - поворот руки маніпулятора (ланки 2, 3, 4, 5) навколо вертикальної осі на кут $q_1 = 340^\circ$ зі швидкістю 90 град/с. Реалізується це обертання механізмом повороту навколо вертикальної осі.

Вертикальна ланка 2 – "плече" руки маніпулятора встановлене шарнірно на поворотній платформі 1 і може повертатися навколо горизонтальної осі відносно вертикалі на кут $q_2 = \pm 45^\circ$ зі швидкістю 90 град/с. Цим забезпечується II ступінь рухомості ПР - "відведення і приведення плеча". Реалізується II ступінь рухомості механізмом хитання вертикальної ланки.

Горизонтальна ланка 3 – "передпліччя" руки маніпулятора - встановлена шарнірно на ланці 2 і може повертатися відносно останньої

навколо горизонтальної осі (при вертикальному положенні ланки 2) на кут $q_3 = \begin{smallmatrix} +25 \\ -45 \end{smallmatrix}$ зі швидкістю 90 град/с. Цим забезпечується III ступінь рухомості ПР - "згинання і розгинання ліктя". Реалізується III ступінь рухомості механізмом хитання горизонтальної ланки.

Ланки 4 і 5 – це кисть руки маніпулятора. Ланка 4 встановлена шарнірно на ланці 3 і може повертатися відносно останньої навколо горизонтальної осі на кут $q_4 = \pm 90^\circ$ зі швидкістю 90 град/с. Цим забезпечується IV ступінь рухомості ПР - "згин кисті" маніпулятора [4].

Ланка 5, до якої кріпиться робочий орган робота, встановлена шарнірно на ланці 4 і може повертатися навколо поздовжньої осі останньої на кут $q_5 = \pm 180^\circ$ зі швидкістю 180 град/с. Цим забезпечується V ступінь рухомості ПР - "обертання (ротація) кисті" маніпулятора. Реалізуються IV і V (орієнтуючі) ступені рухомості ПР механізмом орієнтації захвату.

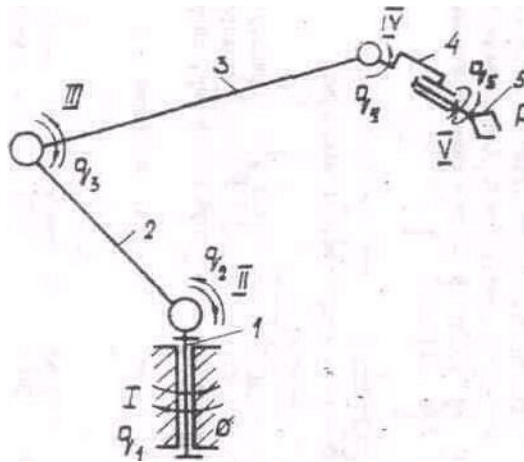


Рис. 6.3. Структурна схема маніпулятора:

0, 1, 2, 3, 4, 5 – ланки; I, II, III, IV, V – ступені рухомості (обертальні кінематичні пари V класу); q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 – узагальнені координати по ступенях рухомості

Усі механізми приводяться в дію за допомогою електричних двигунів 6 постійного струму, конструктивно виконаних як одне ціле з редукторами (мотор-редуктори). Для часткового статичного розвантаження руки маніпулятора від сил ваги використовується механізм врівноважування 7.

Механізм повороту навколо вертикальної осі (рис. 6.4)

Механізм забезпечує поворот механічної руки ПР навколо вертикальної осі на 340° зі швидкістю 90 град/с. Механізм повороту містить нерухому підставку 3 і поворотну платформу, яка складається зі стакану 1 і плити 7.

На плиті 7 встановлена механічна рука. Платформа обертається на підшипниках 2, встановлених у нерухомій підставі. Електромеханічний привід механізму повороту (мотор-редуктор) встановлено на підставці 3. Він складається з електродвигуна постійного струму 14 типу ПЯ-250Ф ($N = 250$ Вт, $n = 3000$ об/хв) і жорстко зв'язаного з ним хвильового редуктора II ($i = 102,5$; момент на вихідному валу $M = 100$ Нм). Неспіввісність мотор-редуктора і поворотної платформи компенсується муфтою 10.

Мотор-редуктор через компенсаційну муфту 10 і вал 8 обертає плиту 7 поворотної платформи і встановлену на ній механічну руку маніпулятора. Кут повороту платформи контролюється датчиком положення 9 типу ППК-15. Швидкість обертання контролюється датчиком швидкості - тахогенератором 18 типу ТГП - 3.

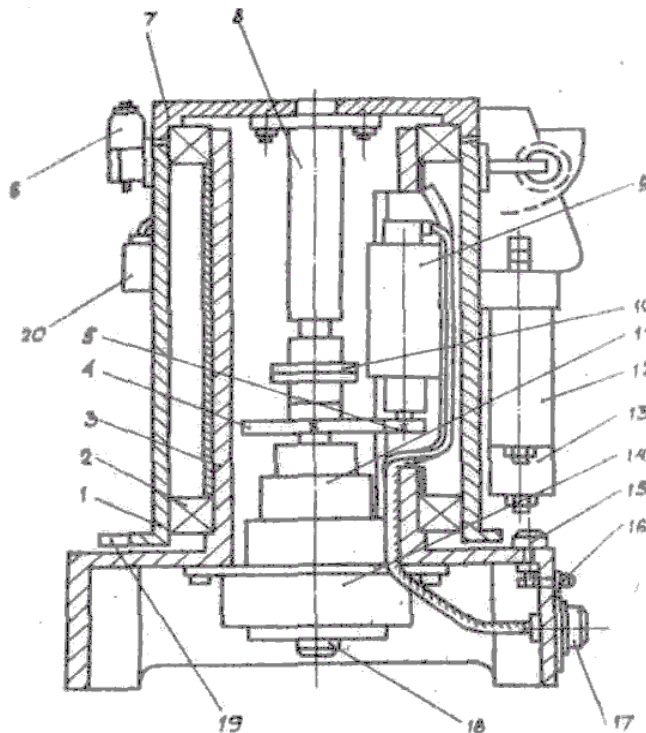


Рис. 6.4. Механізм повороту робота

Тахогенератор 18 встановлений на корпусі мотор-редуктора соосно валу двигуна і з'єднаний із двигуном муфтою.

Датчик положення 9 встановлено на нерухомій підставці 3 (установка здійснена через вікно в стакані 1, яке закривається кришкою). Обертання на вал датчика 9 з вихідного валу редуктора 11 передається через зубчасту передачу 4-5 з передавальним відношенням $i = 15,6$. Для усунення зазорів у зачепленні зубчасте колесо 4 виконане розрізним (площина розрізу паралельна торцю колеса), між половинками якого розміщена пружина крутіння. Для створення початкової деформації пружини і вибору бічного зазору в зачепленні при установці датчика положення 9 верхню частину зубчастого колеса 4 розвертають відносно нижньої частини на 90° .

Обертання поворотної платформи обмежене упорами. Нерухомий упор 15 закріплено на нерухомій підставці 3, а рухомий упор - прапорець 19 жорстко зв'язано зі стаканом 1 поворотної платформи.

На передній стінці стакану встановлено пневморозподільники 6 (2 шт), які керують роботою пневматичних захватних пристроїв маніпулятора. Пневморозподільники приєднано до штуцера 16 для підключення стисненого повітря тиском $0,4 \dots 0,6$ МПа від пневмопанелі.

На задній стінці стакану встановлені пружинні механізми 12 і 13, призначені для зрівноважування статичних моментів від ваги ланок механічної руки.

Електромеханічні приводи робота (рис. 6.5)

Електромеханічні приводи всіх ланок робота ТУР-10ДО уніфіковані і виконані у вигляді мотор-редукторів М1, М2, М3, М4, М5 (мал. 15).

Кожний привод (мотор-редуктор) містить (рис. 6.5) електродвигун 4, хвильовий редуктор 10, датчик положення 8 і датчик кутової швидкості 3. Маса кожного приводу приблизно 15 кг.

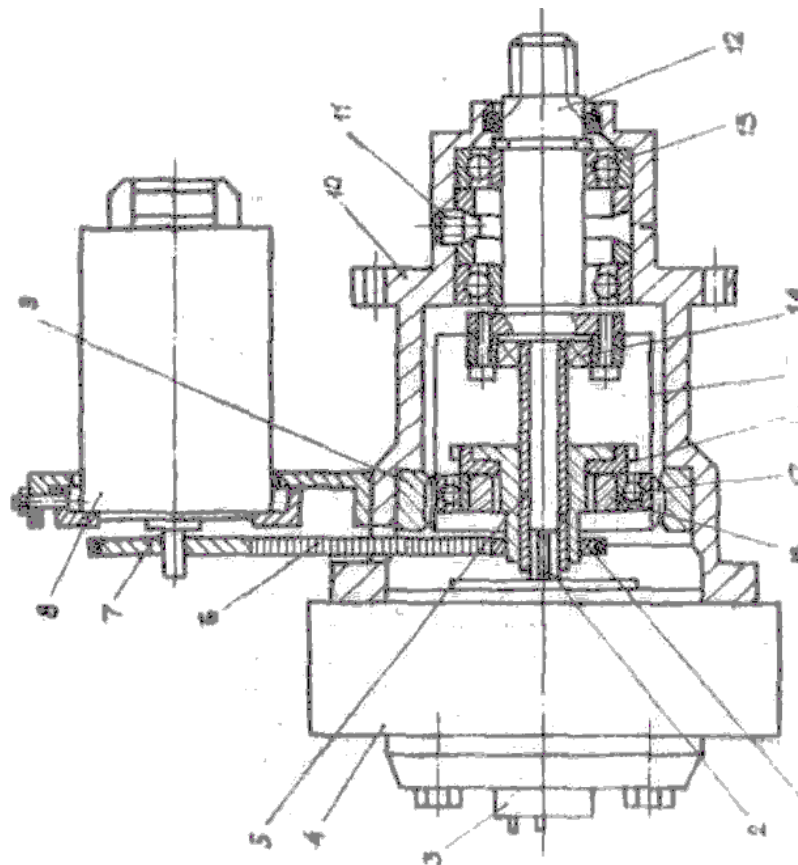


Рис. 6.5. Електромеханічний привод

M1 – мотор-редуктор, який є приводом механізму повороту навколо вертикальної осі;

M2, M3 – відповідно мотор-редуктори, які є приводами механізмів хитання вертикальної і горизонтальної ланок руки маніпулятора;

M4, M5 – відповідно мотор-редуктори, які є приводами згину і обертання кисті маніпулятора в механізмі орієнтації.

Електродвигун 4 є електродвигуном постійного струму типу ПЯ-250Ф с технічними характеристиками – $N = 250$ Вт, $n = 3\,000$ про/хв, $M_{\text{ном}} = 0,8$ Нм. Збудження двигуна здійснюється від постійних магнітів. Якір двигуна виконаний із друкованою обмоткою диска, яка допускає заміну диска якоря без розбирання двигуна через щілину в корпусі. Крім того, використання диска якоря із друкованою обмоткою дає такі переваги електродвигуна, як малий момент інерції ротора і висока швидкодія. Кріпиться електродвигун до корпусу хвильового редуктора 10 і зв'язаний з ним муфтою.

Датчик положення 8 призначений для виміру кута повороту вихідного валу 2 електродвигуна. У якості датчика положення в приводі використаний кодовий перетворювач переміщень ППК-15. Він представляє з себе перетворювач механічних переміщень в 15 - розрядний двійковий код. При цьому для підвищення точності перетворень у ньому об'єднані за допомогою редуктора перетворювачі точного (ТЕ) і грубого (ГО) відліку. Маса датчика - 0,85 кг, габарити 70×158 .

У всіх приводах, крім приводу повороту навколо вертикальної осі, обертання від валу 2 електродвигуна 4 до валу датчика положення 8 передається за допомогою зубчасто-пасової передачі. У механізмі повороту обертання на вал датчика положення передається через зубчасту передачу ($i = 15,6$).

Зубчасто-пасова передача містить шків I ($z_1 = 28$), встановлений на валу 2 електродвигуна, шків 7, встановлений на валу датчика положення 8 (у мотор-редукторах М2, М3 $z_2 = 45$, у мотор-редукторах М4, М5 $z_3 = 90$), зубчастий пас 6 ($m = 1$). Звідси передаточне відношення зубчасто-пасової передачі в мотор-редукторах М2, М3 $i = 1:1,6$, у мотор-редукторах М4, М5 $i = 1:3,2$.

Датчик кутової швидкості 3 призначений для виміру швидкості обертання ротора електродвигуна. У якості датчика кутової швидкості в приводі використовується аналоговий датчик-тахогенератор ТПП-3. Він представляє з себе тахогенератор постійного струму, який перетворює механічний обертовий рух в електричний сигнал. Його основна характеристика (залежність величини напруги від числа оборотів $I_{me}=f(n)$) лінійна і симетрична відносно нуля, крутизна характеристики $\Delta U/\Delta n$ висока. Маса тахогенератора ТПП-3 = 0,8 кг. Установлений тахогенератор на кришці двигуна 4 і з'єднаний з його ротором муфтою.

Хвильовий редуктор 10 (передатне відношення $i = 102,5$; номінальний момент $M_{ном} = 100$ Нм) виконаний у такий спосіб (мал. 15). Вихідний вал 2 двигуна з'єднаний із вхідним (ведучим) валом-втулкою 5 редуктора за

допомогою плышкового з'єднання. Іншим кінцем вхідний вал 5 опирається на підшипник 14, встановлений у вихідному (відомому) валу редуктора 12. На вхідному валу 5 хвильового редуктора з радіальним зазором закріплений генератор хвиль редуктора, виконаний у вигляді кулачка 18 еліптичної форми (кулачковий генератор хвиль). Кулачок 18 з'єднаний з валом 5 за допомогою компенсуючої муфти 16, яка забезпечує самоустановку генератора хвиль у процесі роботи редуктора. На кулачку 18 напресований так званий гнучкий підшипник 17 (ГОСТ 23179–78). Внутрішнє кільце підшипника деформується за еліптичною формою кулачка. Зовнішнє кільце підшипника також деформується за еліптичною формою кульками підшипника, які розміщені в сепараторі. Гнучкий підшипник 17 вставлений в середину гнучкого зубчастого колеса 15 ($Z_1 = 205$, $m = 0,4$) і в результаті гнучке зубчасте колесо випробовує такі ж деформації, як і зовнішнє кільце підшипника 17, тобто ухвалює форму еліпса.

Правий кінець гнучкого колеса 15 (рис. 6.6) за допомогою тонкого денця жорстко з'єднаний з вихідним (відомим) валом 12 редуктора. Вал 12 встановлений у корпусі редуктора на підшипниках 13. Для регулювання осьового натягу підшипників передбачений гвинт для регуляції 11.

У процесі роботи хвильового редуктора обертання вихідного валу 2 електродвигуна 4 через шпонкове з'єднання передається вхідному (ведучому) валу-втулці 5 хвильового редуктора, від якого – кулачковому генератору хвиль 18. Обертовий генератор хвиль жене по периметру гнучкого зубчастого колеса хвилю деформацій. Причому в зонах зачеплення 1 і 2 (по кінцях великої півосі кулачкового генератора хвиль) утворюються вершини хвиль деформації, у зонах між ними (по кінцях малої півосі генератора хвиль) – западини хвиль деформації. За один оборот генератора хвиль гнучке колесо випробовує дві хвилі деформації.

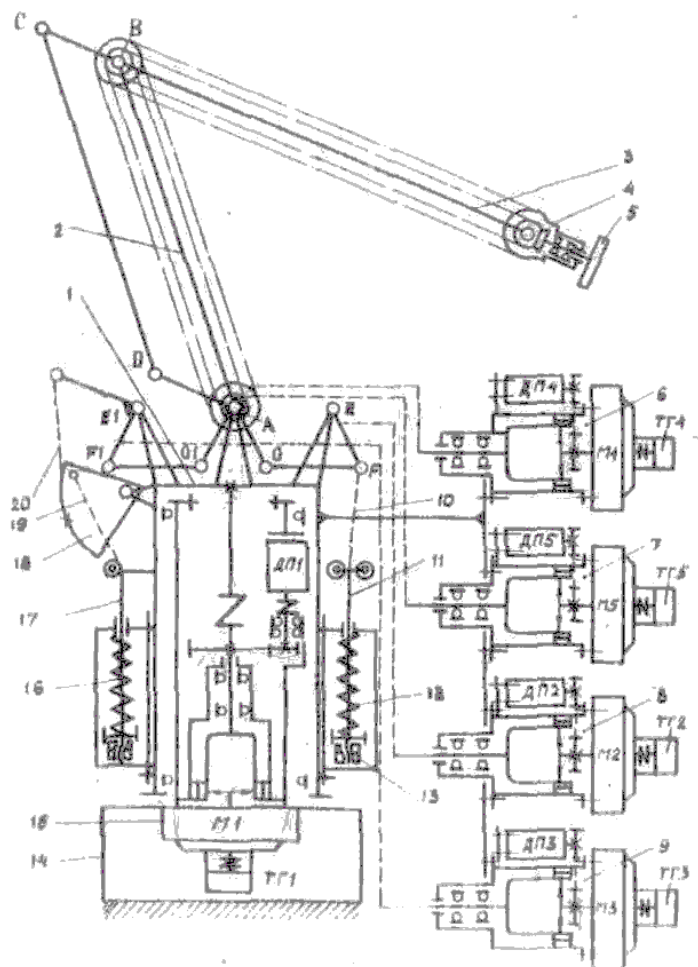


Рис. 6.6. Кінематична схема робота ТУР – 10ДО

Порядок виконання роботи

У процесі виконання роботи необхідно:

1. Вивчити конструкцію промислового робота ТУР – 10ДО;
2. Вивчити конструкцію механізмів кожному ступеня рухливості;
3. Вивчити конструкцію механізмів, що врівноважують.

Контрольні запитання

1. Назвіть значення технічних характеристик промислового робота ТУР – 10ДО.
2. Які види приводів застосовуються в конструкції робота?
3. Чим контролюються переміщення ланок ПР ТУР – 10ДО?
4. Чим контролюється швидкість переміщення ланок?
5. Які редуктори застосовані в механізмах робота?

6. Які двигуни застосовані в приводах і в чому їх особливість?
7. Поясніть роботу механізмів врівноважування.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА РФ – 202М

Мета роботи: вивчити особливості будови конструкції робота і налаштування його механізмів, проаналізувати функціональні можливості робота.

Загальні положення

Промисловий робот РФ – 202 М, зображений на рис. 1, має наступні технічні характеристики, які наведені в табл.1:

Таблиця 1 – Технічні характеристики промислового робота РФ – 202 М

Назва характеристики	Значення
Номінальна вантажопідйомність, Н	2
Тип системи керування	циклова
Тип привода	пневматичний
Робочий тиск повітря, МПа	0,4...0,6
Точність позиціонування, мм	±0,05
Переміщення руки робота:	
лінійне, мм	200
вертикальне, мм	30
величина повороту руки, град	120°
номінальна величина ротації, град	0...90°, 0...180°
Кут між осями установки рук, град	0...100°
Номінальні швидкості переміщення:	
лінійного кожної руки, м/с	0,7
вертикального колони, м/с	0,2
повороту руки, град/с	180
ротації захвата, град/с	360
Споживаюча:	
потужність, Вт	150
електрострум напругою, В	220

частотою, Гц	50
Вага, кг:	
виконавчого пристрою (маніпулятора)	43
пристрою керування	22

Універсальний робот РФ – 202М використовується в ливарних цехах для автоматизації процесів завантаження – розвантаження верстатів типу пресів при виконанні операцій вилучення ливникової системи або обрізки облою. При цьому робот здійснює захоплення, перенесення і встановлення відливка на верстат, а після обробки зняття готової відливка. Для виконання цієї задачі рука робота оснащена кліщовим захватом.

Робот РФ – 202 М складається із виконавчого пристрою (маніпулятора) – МА, пристрою керування – СУ та вузла підготовки повітря – УПВ. МА з'єднується з СУ жгутами (рис. 7.1) [4].

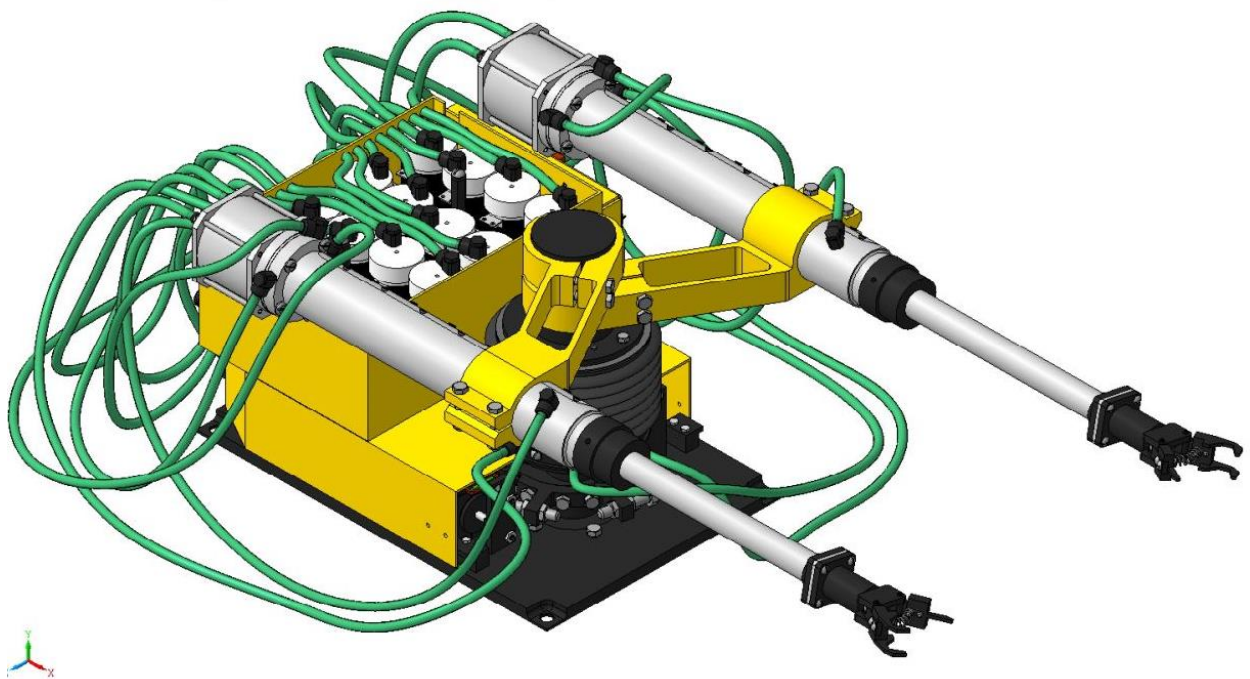


Рис. 7.1. Загальний вид промислового робота РФ – 202 М

Маніпулятор виконаний в вигляді модульної конструкції, а кожен із модулів представляє собою пневматичний вузол. До складу МА (Рис. 1) входять: блок електрокерованих клапанів (БЕК), модуль повороту (МПВ); модуль підйому (МП), модулі горизонтального переміщення – руки (МГТІ), модулі ротації затиску (МР); модулі затиску (МЗ).

На рис. 7.2 показана структурно-кінематична схема маніпулятора робота РФ – 202 М. Вона дає наочну уяву про кінематичні можливості робота. Робот РФ – 202 М має 5 ступенів рухливості, тобто може виконувати 5 різних незалежних рухів.

Робот РФ – 202 М дворукий. Руки робота за допомогою кронштейнів закріплені на колоні, яка опирається на підставку робота. Підставка робота закритий кожухом, під яким розміщено 2 пневмоцилиндри, які повертають колону робота за годинниковою стрілкою і проти, а також електроклапани, керуючі подачею стисненого повітря в усі пневмоцилиндри. На кінцях рук закріплені захвати кліщового типу.

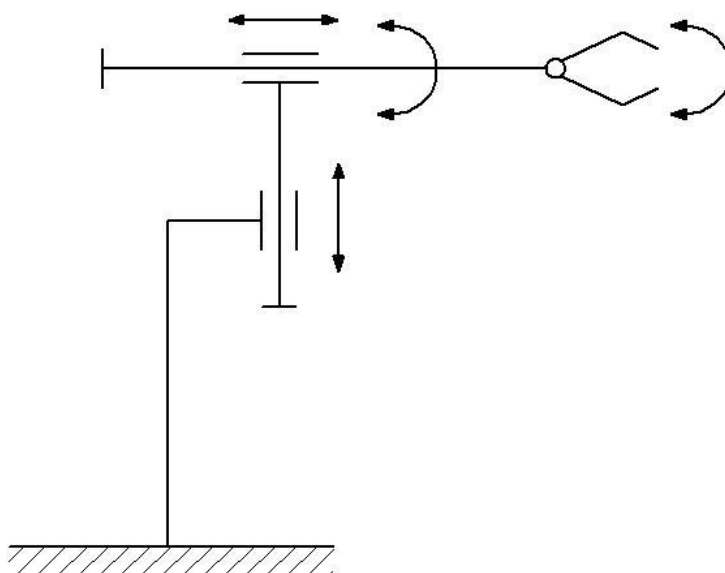


Рис. 7.2. Структурно-кінематична схема робота РФ – 202 М

Всі рухи робота здійснює за рахунок енергії стисненого повітря від пневматичних виконавчих механізмів. Висування рук, підйом захвату, поворот колони, захоплення відливків здійснюється від пневмоциліндрів із прямолінійним рухом поршня, а обертання рук – від пневмодвигунів, вал яких робить неповні обертальні рухи.

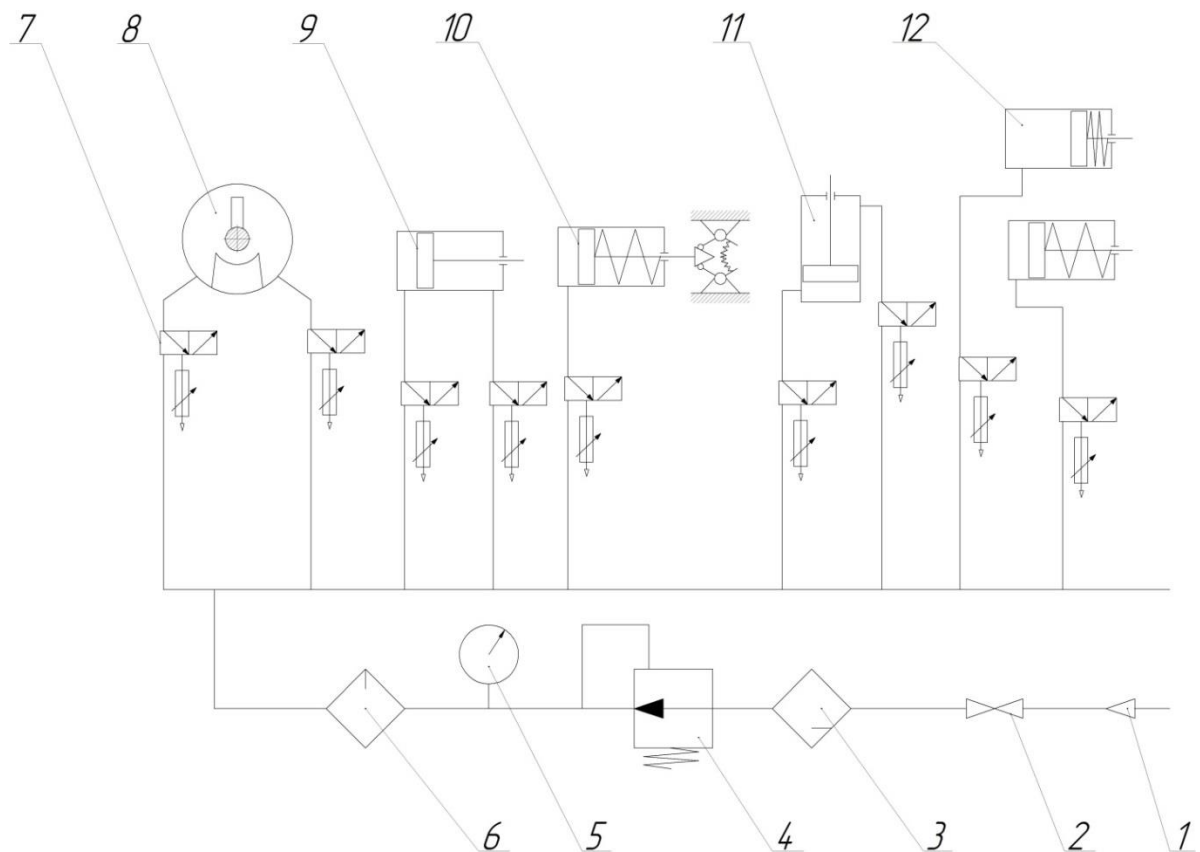


Рис. 7.3. Схема пневмопривода робота РФ – 202 М

На рис. 7.3 показана пневматична схема приводу робота. Стиснене повітря через вхідний штуцер 1, запірний вентиль 2, вологовідділювач 3, регулятор тиску 4, мастилорозпилювач 6 по воздуховодам (трубкам) надходить до розподільних пристроїв 7. Усі ці елементи об'єднані в один блок – блок підготовки стисненого повітря. Розподільники направляють стиснене повітря в пневмоциліндри.

Вологовідділювач видаляє з повітря вологу. За допомогою регулятора тиску проводиться налаштування (вручну) тиску стисненого повітря, яке поступає в пневмоциліндри. Мастилорозпилювач насичує повітря мастилом (1...2 краплини на 1 м³ повітря), необхідним для змащення елементів тертя у пневмоциліндрах. Контроль тиску стисненого повітря, яке надходить у пневмоциліндри, здійснюється візуально по манометру 5.

Блок підготовки стисненого повітря виконується автономним і встановлюється поблизу маніпулятора.

Розподільники стисненого повітря 7 клапанного типу з електричним керуванням здійснюють відкриття або закриття доступу стисненого повітря в робочі порожнини пневмоциліндрів. Для виконання кожного руху в конструкції робота передбачено окремі автономні електроклапани. Усі вони розміщуються в підставі маніпулятора.

У даній схемі кожний електроклапан оснащено дроселем на виході, який регулюється поворотом спеціального гвинта. Дроселем можливо змінювати витрату повітря на вході і виході із пневмоциліндрів, а як наслідок – швидкість виконання кожного руху.

Гальмування пневмоциліндрів без ударів при підході до кінцевого положення, здійснюється автоматично за рахунок дроселювання стисненого повітря на вході і виході із пневмоциліндрів.

Поворот руки робота навколо її осі здійснюється за рахунок пневмодвигуна 8 (рис. 7.3), висування руки – від пневмоциліндру двосторонньої дії 9, закриття і захоплення відливка захватом від пневмоциліндра одnobічної дії 10 через важілі, підйом колони - від пневмоциліндру 11, поворот колони – від двох пневмоциліндрів 12.

Система керування робота РФ – 202 М - циклова і конструктивно оформлена у вигляді ящика з відкидною кришкою. На відкидній кришці розміщено пульт керування роботом. Пристрої керування можуть працювати у двох режимах: у режимі навчання (ручний режим) і в автоматичному режимі.

У ручному режимі оператор виконує переміщення захватного пристрою маніпулятора за допомогою кнопок на пульті керування окремо по кожному ступеню рухомості. В автоматичному режимі відпрацьовування всієї програми проводиться без втручання оператора.

Пульт керування призначений для керування рухомими ланками маніпулятора, (з метою перевірки працездатності робота) і набору програм у пристрій пам'яті для наступного виконання технологічних завдань.

На лівій стороні пульта розміщені кнопки керування рухом лівої і правої руки робота. Біля кожної кнопки намальоване символічне позначення. Внизу пульта розміщені кнопки керування таймером, який використовується для задачі часу витримки захоплення після виконання будь-якого руху.

У правій частині панелі розташовані органи керування, які використовуються у режимі навчання (записи програми).

Пристрій пам'яті робота призначений для запису, зберігання і вибору програм. У пристрої пам'яті може зберігатися до дев'яти програм. На горизонтальній панелі системи керування розташовані перемикач, індикатор номера програми і кнопка "КОНТР. БАТ." (контроль батареї), натисканням якої перевіряється наявність автономного живлення в пристрої пам'яті.

Порядок виконання роботи

1. Познайомитися з конструкцією маніпулятора робота.
2. Вивчити призначення кнопок на пульті керування.
3. Включити систему керування і зробити пробні рухи маніпулятора по всіх ступенях рухомості.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні технічні характеристики робота РФ – 202М?
2. Вкажіть призначення промислового робота РФ – 202М?
3. Поясніть принцип побудови структурно-кінематичної схеми робота РФ – 202М?
4. Які основні структурні елементи схеми пневмопривода робота РФ – 202М?
5. Для чого призначений пульт керування промисловим роботом РФ – 202М?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ПРОГРАМУВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА РФ – 202М

Мета роботи: одержання практичних навичок складання програм для робота РФ – 202М і запису програм у пристрій пам'яті.

Загальні положення

Програма робота представляє собою послідовність рухів робота, які він повинен здійснити, щоб виконати поставлене перед ним завдання.

Нехай настільному роботіві РФ –202М потрібно перенести відливок із точки А в точку В. Відливок розташовується на стійці на висоті, яка відповідає висоті розташування захоплення робота РФ – 202М [4].

Для складання програми, треба спочатку познайомитися з конструкцією і роботою робота РФ – 202М. Особливу увагу слід звернути на рухи, які робот може виконувати, і їхню амплітуду. Робот РФ – 202М кріпиться на столі, а його руки можуть виконувати п'ять різних незалежних рухів у будь-якій послідовності. Роботу будемо виконувати однієї правою рукою [6].

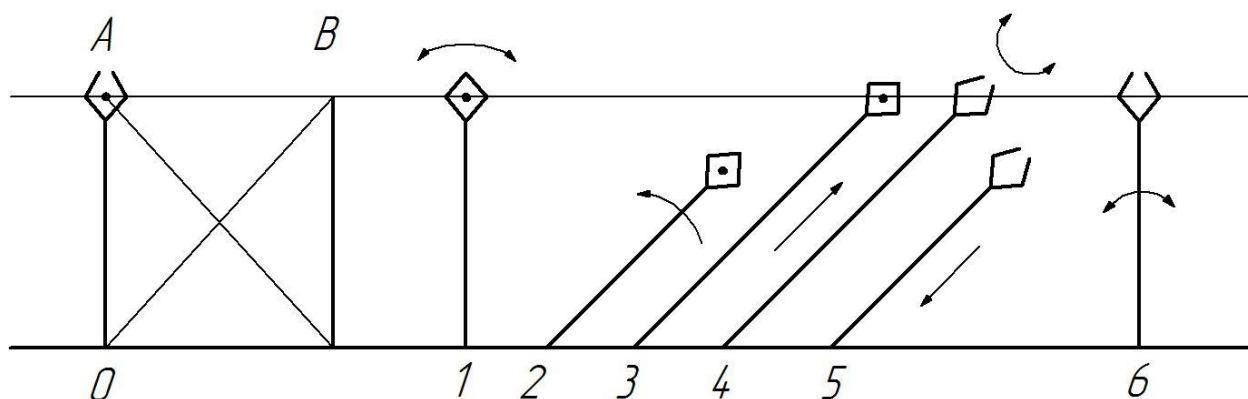


Рис.8.1. Схема руху руки робота

За вихідне (нульове) положення робота приймемо установку робота напроти точки А (рис. 8.1), права рука робота втягнена, захоплення відкрите,

відливка розташовується усередині захоплення, але не затиснутий. Тепер, для того щоб виконати поставлене завдання, робот повинен виконати 6 рухів, які показані на схемі (рис. 8.1).

Робота з переносу відливка закінчується після виконання четвертого руху, але правила складання програм для роботів вимагають, щоб останнє положення робота по програмі відповідало вихідному. Для цього потрібно виконати два додаткові рухи 5 і 6. Опираючись на схему рухів робота, записуємо програму робота в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Схема команд для програмування робота РФ – 202М

Номер руху	Символ переміщення	Коментар
1		Закриття захвату
2		Поворот колони по часовій стрілці
3		Висування руки
4		Відкриття захвату
5		Втягнення руки
6		Поворот колони проти часової стрілки

Складена програма записується в модуль пам'яті системи керування роботом.

Порядок запису програми на пам'ять робота:

1. Включити систему керування.
2. Натиснути кнопку "Включення індикації".
3. Установити перемикач "Номер програми" у положення 1.
4. При натиснутій кнопці "Стирання" натиснути кнопку "Запис".
5. Натиснути кнопку "Ручний режим".
6. Вивести маніпулятор у вихідне положення, натискаючи потрібні кнопки на пульті керування.
7. При натиснутій кнопці "Початок програми" натиснути і відпустити кнопку "Запис". При цьому записуються координати вихідної точки.
8. Записати координати всіх проміжних точок програми. Для цього натискають кнопки відповідних рухів одночасно із кнопкою "Запис".

9. Після кожного руху можна записати час витримки. Для цього після запису руху потрібно натиснути кнопку "Таймер".

10. При натиснутій кнопці "Кінець програми" натиснути і відпустити кнопку "Запис". При цьому записуються координати кінцевої точки.

Записану в модуль пам'яті програму робот може виконати автоматично. Для цього потрібно перевести систему керування роботом в автоматичний режим, установити потрібний номер програми і натиснути кнопку "Пуск".

Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію і систему керування роботом РФ – 202М.
2. Накреслити схему руху руки робота і записати програму для робота РФ – 202М для виконання роботи з переносу відливка зі стола А на стіл В.
3. Записати програму в модуль пам'яті робота.
4. Перемкнути систему керування роботом на автоматичний режим.
5. Здійснити роботу з переносу відливка в автоматичному режимі.

Контрольні запитання

1. Що собою представляє програма робота РФ – 202М?
2. Вкажіть що необхідно знати при складанні програма робота РФ – 202М?
3. Яке положення робота РФ – 202М приймають за вихідне (нульове)?
4. Як перевести систему керування робота РФ – 202М в автоматичний режим?
5. Для чого потрібно виконати два додаткові рухи 5 і 6 при складанні програми руху промисловим роботом РФ – 202М?

ЛИТЕРАТУРА

1. Белянин П. Н. Промышленные роботы. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
2. Н. В. Василенко. Основы робототехники / Н. В. Василенко, К. Д. Никитин, В. П. Пономарев, А. Ю. Смолин / – Томск: МГП "Раско", 1993. – 467 с.
3. Копырин М. А. Гидравлика и гидравлические машины. – М.: Высш. шк., 1961. – 302 с.
4. Козырев Ю. Г. Промышленные роботы: справочник. — М. : Машиностроение, 1983. — 376 с.
5. Промышленные роботы в машиностроении. Альбом схем и чертежей / Под ред. Ю. М. Соломенцева. — М. : Машиностроение, 1987. — 140 с.
6. Козырев Ю. Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов. – М.: КНОРУС, 2010. – 312 с.