

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Кафедра автоматизації
технологічних процесів і
виробництв



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи №4
«Вивчення РТК завантаження
штампувального обладнання»
з курсу «Обладнання та основи створення
гнучких автоматизованих виробництв»
для студентів спеціальності
151 «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»

Тернопіль
2018

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 4 «Вивчення РТК завантаження штампувального обладнання» з курсу «Обладнання та основи створення гнучких автоматизованих виробництв» / В.Б. Савків, Р.І. Михайлишин – Тернопіль: ТНТУ, 2018. – 18 с.

Рецензент: д.т.н., професор Стухляк П.Д.

Відповідальний за випуск: д.т.н., професор Марущак П.О.

Методичні вказівки розглянуто і схвалено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв (протокол № 1 від 29 серпня 2018 р.).

Схвалено і рекомендовано до друку Вченою Радою факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії (протокол № 1 від 30 серпня 2018 р.).

Лабораторна робота № 4.

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ І ПРИНЦИПУ РОБОТИ РТК ЗАВАНТАЖЕННЯ ШТАМПУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Мета роботи: вивчити конструктивну будову основних механізмів, приводів, демпферів та давачів РТК завантаження штампувального обладнання; зобразити компоновальну, кінематичну та пневматичну схеми РТК; розробити алгоритм та циклограму роботи РТК.

1. Короткий технічний опис РТК завантаження штампувального обладнання

Загальний вигляд РТК завантаження штампувального обладнання показаний на рис. 1. Він складається з живильного механізму, в магазинах якого знаходяться орієнтовані заготовки, та промислового робота МП-9С.

Живильний механізм РТК завантаження штампувального обладнання складається з наступних елементів (рис. 1, 2, 3):

1. Основа
2. Стіл
3. Змінна пластина
4. Плити
5. Магазили поштучної видачі заготовок
6. Кожухи
7. Рама
8. Жолоб для деталі
9. Пневмоциліндр
10. Шток
11. Штуцер
12. Кришка пневмоциліндра
13. Кришка пневмоциліндра
14. Регулювальні гвинти магазинів
15. Штуцер
16. Кронштейн.

Магазили поштучної видачі заготовок 5 розміщені на плитах 4, які нерухомо прикріплені до основи 1 з допомогою гвинтів. В магазини завантажуються деталі типу пластин. Для переналадження системи на потрібну форму використовують регулювальні гвинти 14 і змінні пластини 3.

Змінні пластини кріпляться з допомогою гвинтів до рухомого стола 2. В них виконані два прорізи під форму деталі. Деталь в прорізах розміщується на мідній підкладці, яка служить магнітним екраном.

Стіл 2 рухається по направляючих основи 1 (вид А). В крайніх положеннях відбувається завантаження одного з прорізів деталлю з магазинів. В цей момент

другий проріз знаходиться в зоні завантаження, звідки деталь забирається рукою робота з допомогою електромагнітного захоплювача. При переміщенні стола в інше крайнє положення пустий проріз попадає під магазин поштучної видачі заготовок, а проріз з деталлю – в зону завантаження.

До основи знизу кріпиться пневмоциліндр 9. З боків до основи кріпляться захисні кожухи 6. Основа прикріплена до рами 7.

При подачі повітря через штуцер 11 і канал в кришці 12 у ліву порожнину пневмоциліндра 9 шток з поршнем 10 переміщується вправо. Рух від штока через кронштейн 16 передається до стола 2. Стіл переміщується в крайнє праве положення. Відбувається завантаження деталлю правого прорізу із магазину, і одночасно забирається деталь із зони завантаження з лівого прорізу.

Наступним кроком роботи живильного механізму є подача тиску в праву порожнину пневмоциліндра 9 через штуцер 15 і канал в кришці 13. Шток рухається вліво – відбувається завантаження лівого прорізу і розвантаження правого.

2. Короткий технічний опис робота МП-9С

2.1. Призначення робота МП-9С

Промисловий робот МП-9С призначений для взяття деталі з живильного механізму, її переносу і завантаження в штампувальний прес.

2.2. Технічні дані робота МП-9С

Вантажопідйомність, кг	0,2
Висування руки, мм	150
Підйом руки, мм	30
Поворот руки, °	120
Час максимального переміщення по:	
– висуванню і підйому, с (не більше)	0,5
– повороту, с (не більше)	0,8
Максимальна абсолютна похибки позиціювання, мм	0,1
Тип приводу	пневматичний
Робочий тиск повітря, МПа (кг/см ²)	0,4-0,5 (4-5)
Тип системи керування	циклова
Електроживлення –	
мережа змінного струму напругою, В	220
частотою, Гц	50±0,5
Число команд в програмі, шт	30
Число технологічних команд, шт	6
Число точок позиціювання по кожній ступені рухливості, шт	2
Маса, не більше, кг	
– маніпулятора	32
– пристрою керування	18
Габаритні розміри, мм	
– маніпулятора	570×232×305
– пристрою керування	450×202×395

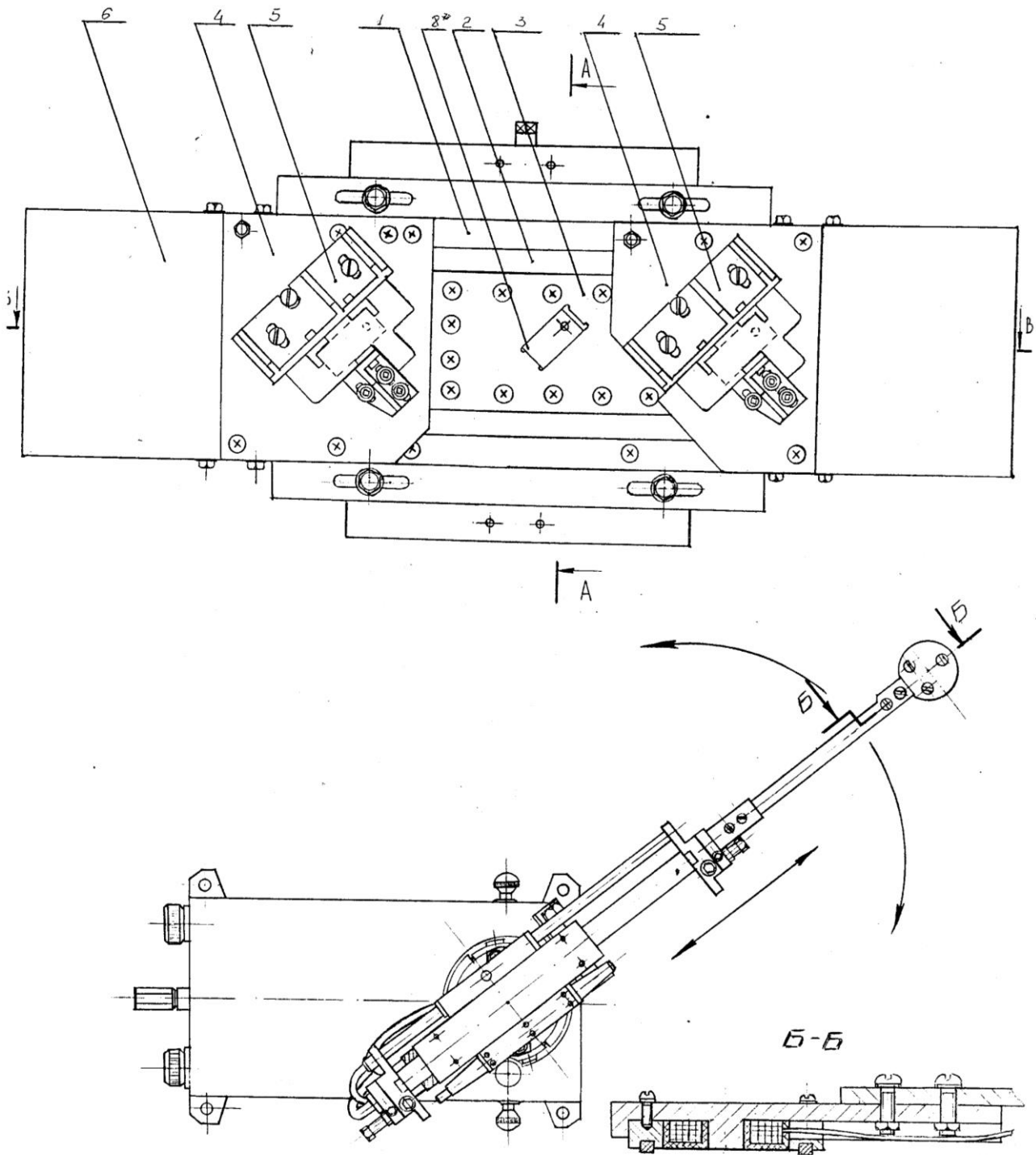


Рис. 1. Загальний вигляд РТК

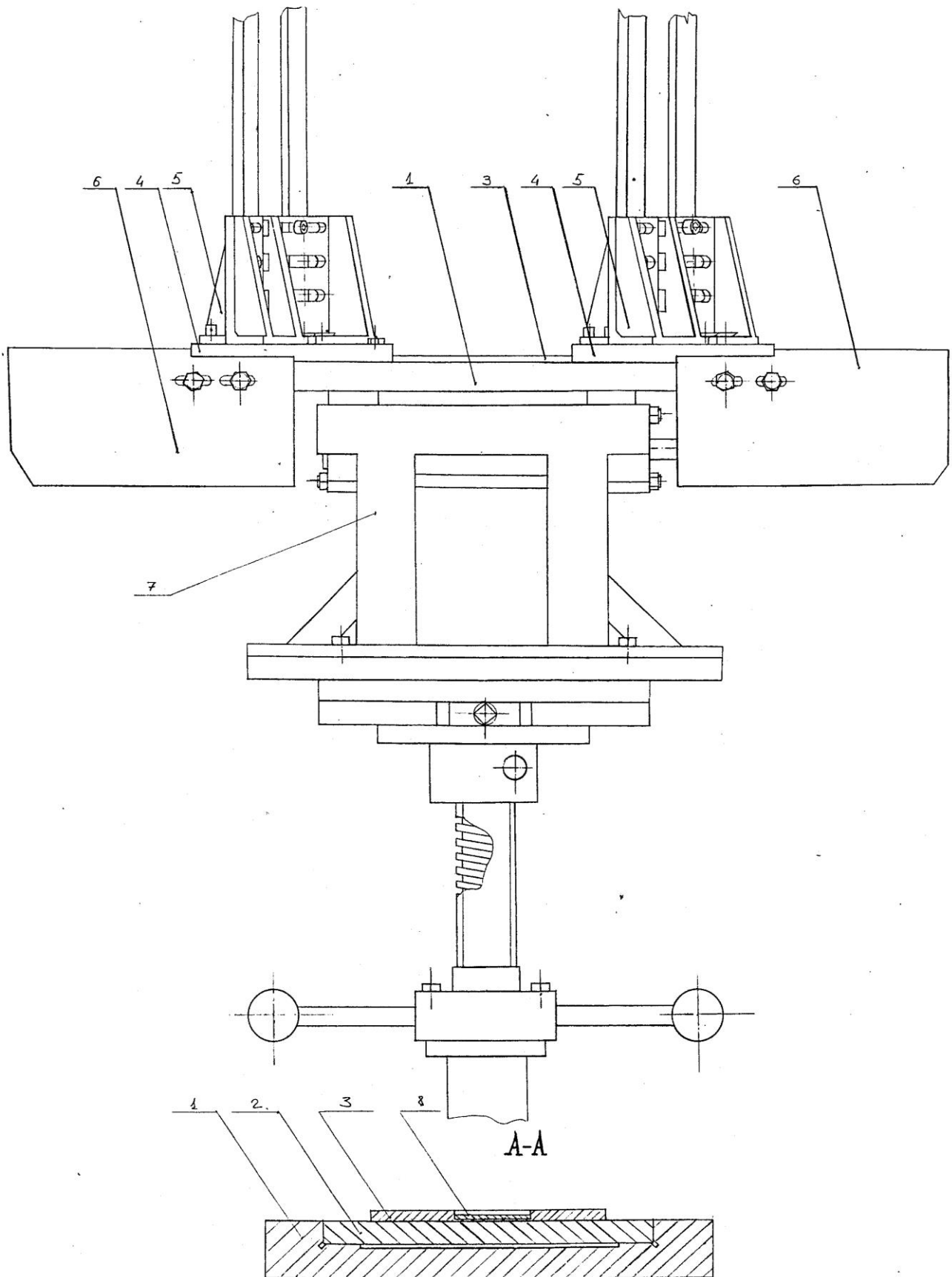


Рис. 2. Загальний вигляд магазинного пристрою

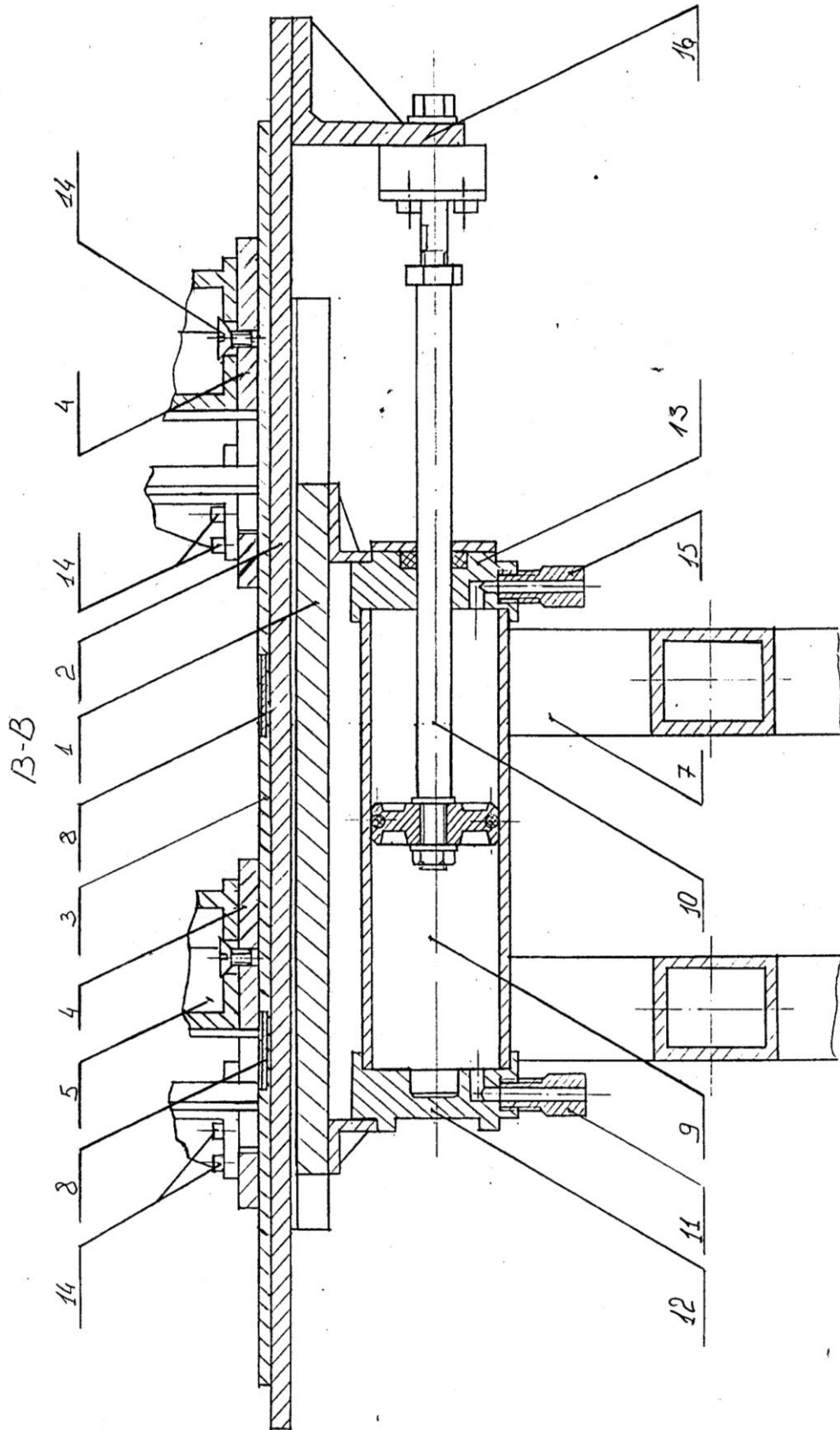


Рис. 3. Переріз магазинного пристрою

2.3. Будова і принцип роботи складових частин робота МП-9С

2.3.1. Загальний опис

На маніпулятор подається напруга постійного струму 24 В від ЕЦПУ-6030, підключеного до мережі змінного струму напругою 220 В.

Стиснене повітря подається до електропневматичних клапанів маніпулятора через вузол підготовки повітря, який забезпечує регулювання необхідного тиску, подачу повітря і мастила в пневмоциліндри.

У маніпуляторі електропневматичні клапани, встановлені на кожний рух. Кожний клапан забезпечений встановленим на виході дроселем, регулювання якого дозволяє здійснювати зміну швидкості руху.

Хід маніпулятора здійснюється по кінцевих регульованих упорах.

Послідовність і кількість рухів, згідно з прийнятою технологічною схемою здійснюється набором програми на пульті ЕЦПУ-6030. Сигнал про виконання кожного руху видають давачі при підході до них постійних магнітів, встановлених на рухомих частинах. Тільки після одержання сигналу відповіді про виконання руху (команди) відбувається видача команди на виконання наступного руху.

При відсутності сигналу від давача про виконання руху, згідно до програми, маніпулятор зупиняється і до моменту одержання сигналу наступних рухів не відбувається.

Амортизація висування і повороту руки маніпулятора здійснюється гідравлічними демпферами. Амортизація підйому (опускання) руки здійснюється дроселюванням подачі і відводу повітря.

2.3.2. Будова основних вузлів маніпулятора

Конструкція маніпулятора приведена на рис. 4, 5. Маніпулятор складається з таких основних вузлів:

- корпусу з вузлом розподілу повітря;
- механізму підйому;
- механізму повороту;
- муфти з упорами;
- руки;
- амортизатора руки;
- амортизатора повороту;
- захоплювача.

2.3.2.1. Корпус 7 (рис. 4) і 10 (рис. 5) являється основою маніпулятора, у якому розміщений вузол розподілу повітря 14 (рис. 4) і 8 (рис. 5), що складається з 8 електропневматичних клапанів, обладнаних дроселями 15 (рис. 4), і здійснена вся електро- і пневморозводка. Для зручності обслуговування корпус має з'ємний, кожух 5 (рис. 5) і дві бокові кришки 3 (рис. 5). На задній стінці корпусу розміщені штуцер 7 (рис. 5) для підводу повітря до вузла розподілу і два роз'єми 6 і 9 (рис. 5) для підключення через кабелі електроживлення до ЕЦПУ-6030.

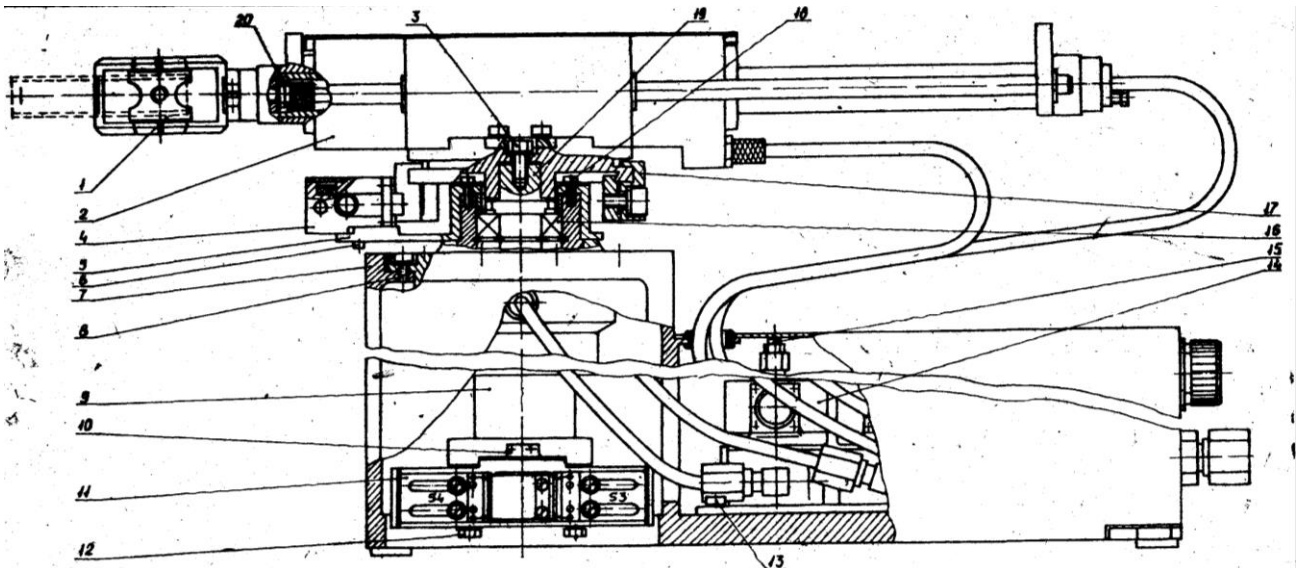


Рис. 4. Маніпулятор: 1 – захоплювач; 2 – рука; 3 – болт; 4 – амортизатор повороту; 5 – кронштейн; 6 – гвинт; 7 – корпус; 8 – гвинт; 9 – механізм підйому; 10 – планка; 11 – механізм повороту; 12 – болт; 13 – гвинт; 14 – вузол розподілу; 15 – дросель; 16 – підшипник; 17 – муфта з упорами; 18 – гвинт; 19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

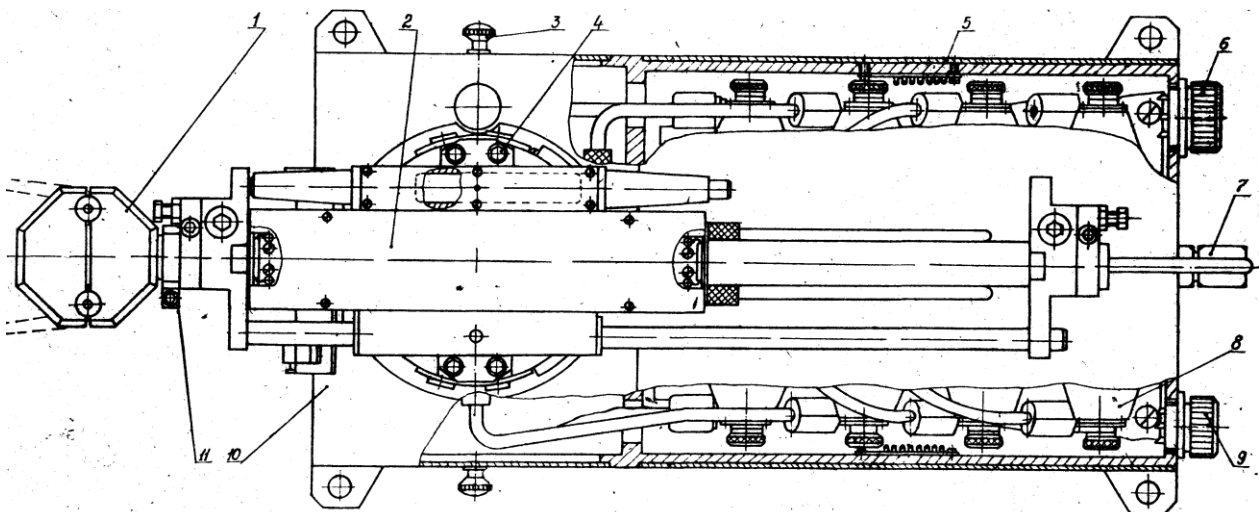


Рис. 5. Маніпулятор: 1 – захоплювач; 2 – рука; 3 – кришка; 4 – болт; 5 – кожух; 6 – штепсельний роз'єм; 7 – штуцер; 8 – вузол розподілу; 9 – штепсельний роз'єм; 10 – корпус; 11 – хомут.

2.3.2.2. Механізм підйому (рис. 6).

Механізм підйому призначений для забезпечення підйому (опускання) руки маніпулятора.

Механізм підйому складається з корпусу 6, штока 2 і кришок 8, 9 і 17. Порожнини пневмоциліндра герметизуються манжетами 7, 14 і прокладками 18.

Для покращення динаміки роботи при підніманні і опусканні штокові порожнини виконані з різними робочими площами. Усередині штока на підшипниках 10 установлений вал 1 механізму повороту. На нижній частині штока є проточка і виступ, які призначені для встановлення і фіксації механізму повороту. На верхньому кінці вала 1 є лиски і різьбовий отвір, призначені для

встановлення і фіксації муфти з упорами. На верхній частині механізму підйому розміщений кронштейн, призначений для установки амортизатора повороту.

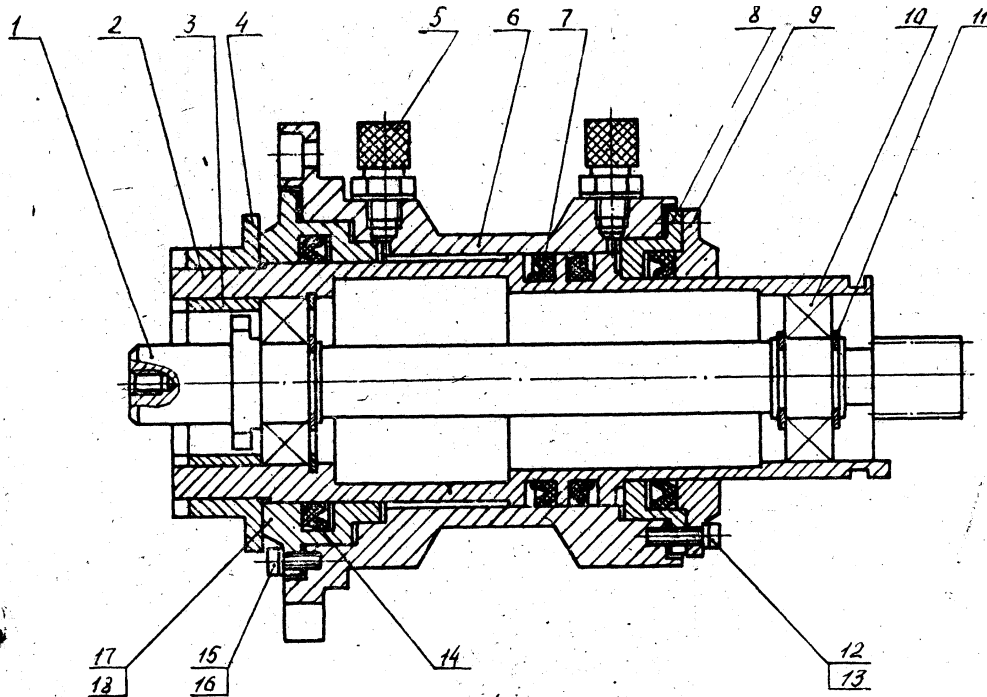


Рис. 6. Механізм підйому: 1 – вал; 2 – шток; 3 – втулка; 4 – кронштейн; 5 – з'єднання пряме кінцеве; 6 – корпус; 7 – манжета; 8 – кришка; 9 – кришка; 10 – підшипник; 11 – кільце пружинне; 12 – гвинт; 13 – шайба пружинна; 14 – манжета; 15 – гвинт; 16 – шайба пружинна; 17 – кришка; 18 – прокладка.

Розміщення упорів механізму підйому показано на рис. 7. Застосовуються два типи упорів. Упори 1 і 4 основні. Упор 6 допоміжний (регулювальний) призначений для полегшення регулювання нижнього основного упора, що знаходиться під час налагодження під дією ваги руки.

На основних упорах встановлені КЕМи 12 і 17, а на кронштейні 14 – магніти 15.

Кронштейн 14 з'єднує механізм підйому з механізмом повороту і одночасно запобігає поворот останнього, взаємодіючи з направляючою 3.

Для забезпечення точності позиціювання гвинтом 13 встановлюють зазор не більше 0,05 мм.

Регулювання ходу механізму підйому проводять так:

- пересувають упори 4 і 6 на необхідний розмір, попередньо послабивши їхнє затягування до направляючої 3;
- затягують гвинт 10 упора 6;
- регулюють мікрогвинтом 7 точне положення упора 4 і затягують його гвинтом 5;
- послаблюють затяжку гвинта 2 упора 1;
- пересувають упор 1 на необхідний розмір і затягують гвинт 2.

При цьому враховують, що максимальний хід мікрогвинта 7 складає 2 мм

із контргайкою і 6 мм без неї, а необхідні при регулюванні вертикальні переміщення руки здійснюють вручну або від ЭЦПУ-6030 при тиску повітря 0,1- 0,15 МПа.

Після регулювання ходу механізму підйому проводять настроювання КЕМів, для цього:

- підводять кронштейн 14 із магнітами 15 до упора 1;
- установлюють переміщенням плати 16 і КЕМа 17, положення останнього при якому він надійно спрацьовує;
- закріплюють плату 16 гвинтами а КЕМ 17 клеєм. Аналогічно проводять установку і закріплення плати 11 і КЕМа 12.

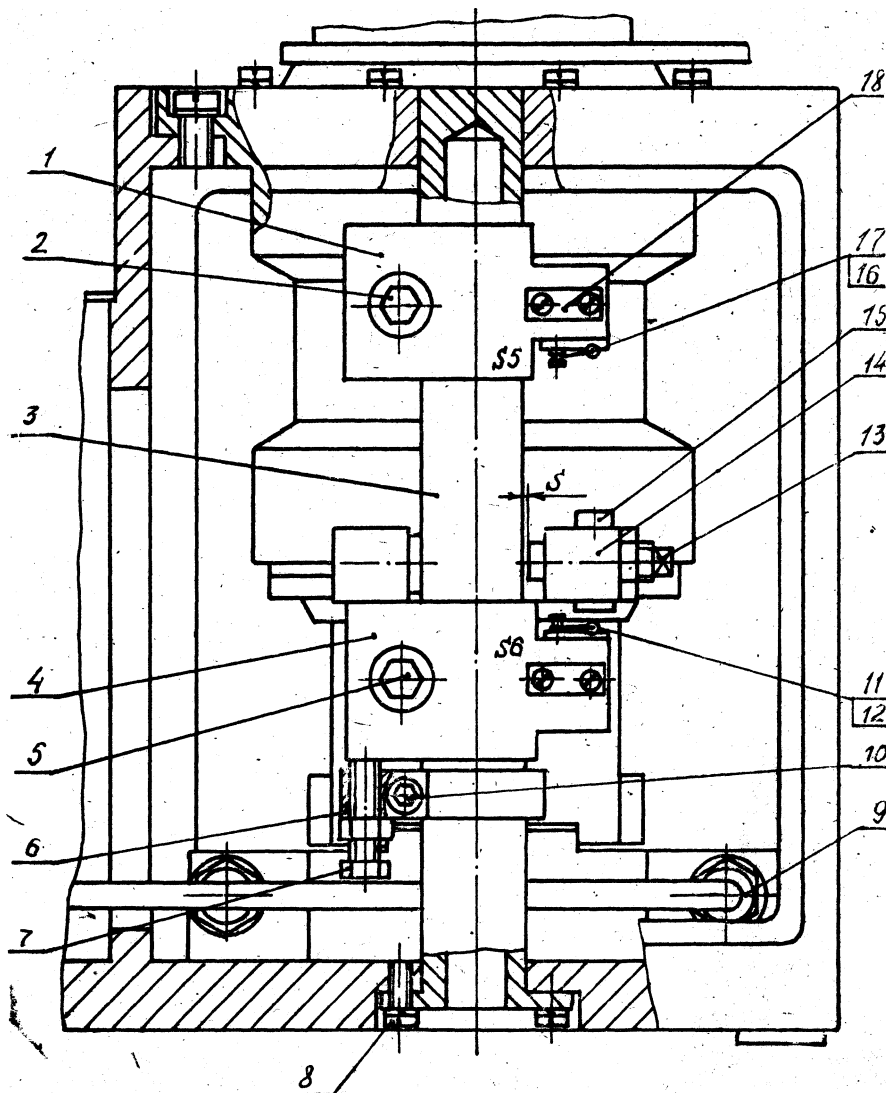


Рис. 7. Вид на упори механізму підйому: 1 – упор; 2 – гвинт; 3 – направляюча; 4 – упор; 5 – гвинт; 6 – упор регульовальний; 7 – мікрогвинт, 8 – гвинт, 9 – з'єднання пряме кінцеве; 10 – гвинт; 11 – плата; 12 – магнітокерований контакт; 13 – гвинт; 14 – кронштейн; 15 – магніт; 16 – плата; 17 – магнітокерований контакт; 18 – плата.

2.3.2.3. Механізм повороту (рис. 8).

Механізм повороту призначений для забезпечення повороту руки маніпулятора.

Механізм повороту складається з корпусу 13, у якому переміщується шток-рейка 12, ущільнена манжетами 11, фланців 1 з прокладками 2, що закривають поршневі порожнини. На рейці 12 встановлена планка 8 із магнітом 6, а на корпусі 13 встановлені планки 3 і плати 4 з КЕМами 5.

При монтуванні механізму повороту на механізмі підйому, зуби рейки 12 входять у зачеплення з валом, встановленим в штоку механізму підйому, а при подачі повітря в пневмоциліндр через отвір А поступальний рух рейки перетвориться в обертовий рух. При переміщенні рейки магніт 6 підходить до КЕМу і відбувається спрацьовування останнього.

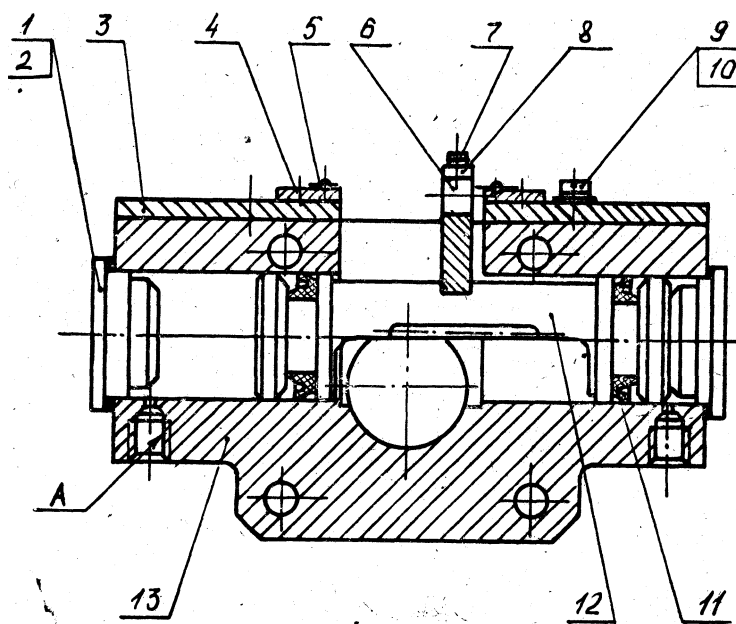


Рис. 8. Механізм повороту: 1 – фланець; 2 – прокладка; 3 – планка; 4 – плата; 5 – магнітокерований контакт (КЕМ); 6 – магніт; 7 – гвинт; 8 – планка; 9 – гвинт; 10 – шайба пружинна; 11 – манжета; 12 – рейка; 13 – корпус.

2.3.2.4. Муфта з упорами (рис. 9).

Муфта з упорами призначена для з'єднання руки з валом механізму повороту і для забезпечення регулювання кутів повороту руки. Муфта з упорами складається з муфти 1, упорів 2 і регулювальних упорів 4. При здійсненні повороту упор 2 заходить на виступ амортизатора 3 і дожимає останній до краю.

Регулювання механізму повороту зводиться до установки упорами 2 і 4 необхідного кута повороту руки в горизонтальній площині з наступним налагодженням КЕМів.

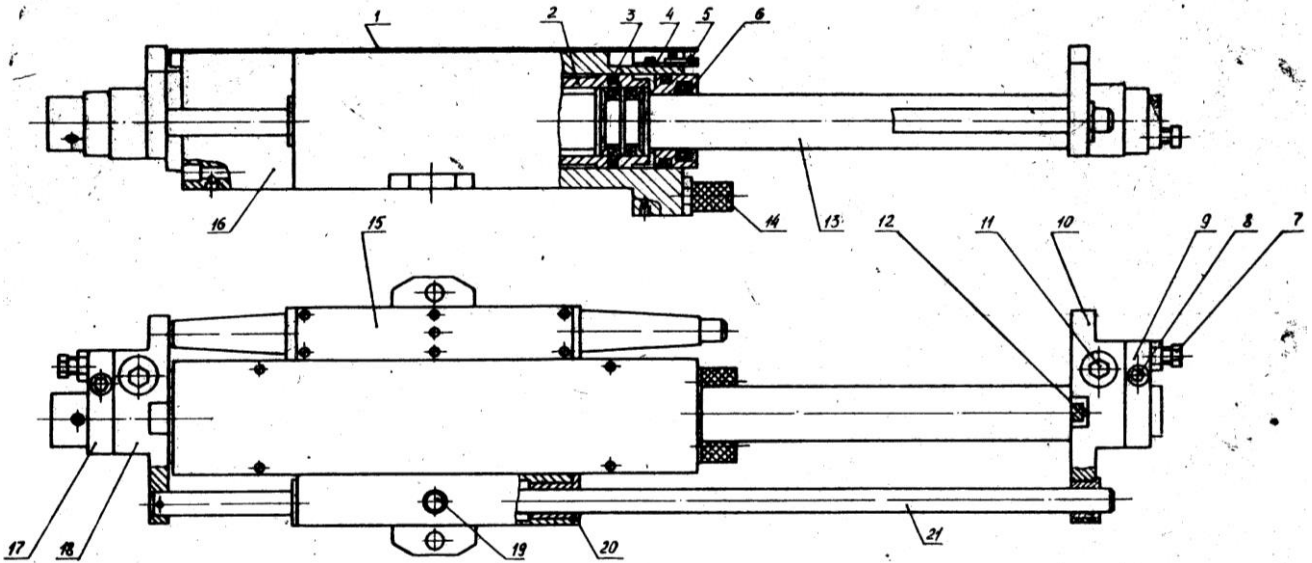


Рис. 10. Рука: 1 – кришка; 2 – гільза; 3 – кільце гумове; 4 – скоба; 5 – магнітокерований контакт (КЕМ); 6 – манжета; 7 – мікрогвинт; 8 – гвинт; 9 – упор регулювальний; 10 – упор; 11 – гвинт; 12 – магніт; 13 – шток; 14 – з’єднання пряме кінцеве; 15 – амортизатор; 16 – корпус; 17 – упор регулювальний; 18 – упор; 19 – масельничка; 20 – втулка; 21 – направляюча.

2.3.2.5. Рука (рис. 10).

Рука призначена для забезпечення висування захоплювача в робочу зону і складається з корпусу 16, штока 13, направляючої 21, основних упорів 10 і 18, регулювальних упорів 9 і 17, амортизатора 15. У корпусі встановлена ущільнена кільцями 3 гільза 2, в якій ходить шток-поршень 13, ущільнений манжетами 6. Повітря підводиться до штуцерів 14 і через канали, виконані усередині корпусу, надходить у штокові порожнини.

Направляюча 21 служить обмежувачем штока, а отже і захоплювача, від повороту. Періодичне змащування направляючих втулок 20 здійснюється через прес-масельничку 19.

Під кришкою 1 розміщені КЕМи 5 і проводи, підведені до них, а на основних упорах 10 і 18 установлені магніти 12.

При подачі повітря відбувається переміщення штока-поршня 13 разом із направляючою 21 і упорами 9, 10, 17, 18.

Упор 10 заходить на амортизатор, втискує шток амортизатора 15 до краю. Одночасно магніт 12 підходить до КЕМу 5, останній спрацьовує і видає сигнал про виконання команди.

Регулювання руки зводиться до установки упорами 9, 10, 17 і 18 необхідної величини висування штока.

2.3.2.6. Амортизатор руки (рис. 11).

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

Амортизатор складається з корпусу 13, у якому встановлені два притертих і додатково ущільнених гумовими кільцями штоки 1, із регулювальної голки 10, притертого стержня 12, втулок 5 і 7, ущільнених кільцями 6 і фланців 8. Під кришкою 3 розміщений заповнений маслом живильний резервуар А.

При переміщенні штока 1 спочатку відбувається перекриття отвору, що з'єднує живильний резервуар із штоковою порожниною, а потім відсічений об'єм масла по каналі, задросельованому голкою 10, передавлюється в протилежну штокову порожнину, що утворилася при висуванні протилежного штока 1. При повному вдавлюванні штока 1 відбувається перекачування масла в протилежну порожнину, повне висування протилежного штока 1 і з'єднання утвореної штокової порожнини з підживлюючим резервуаром А. Наявність підживлюючого резервуара дозволяє компенсувати можливі втрати масла і забезпечує надійну роботу амортизатора.

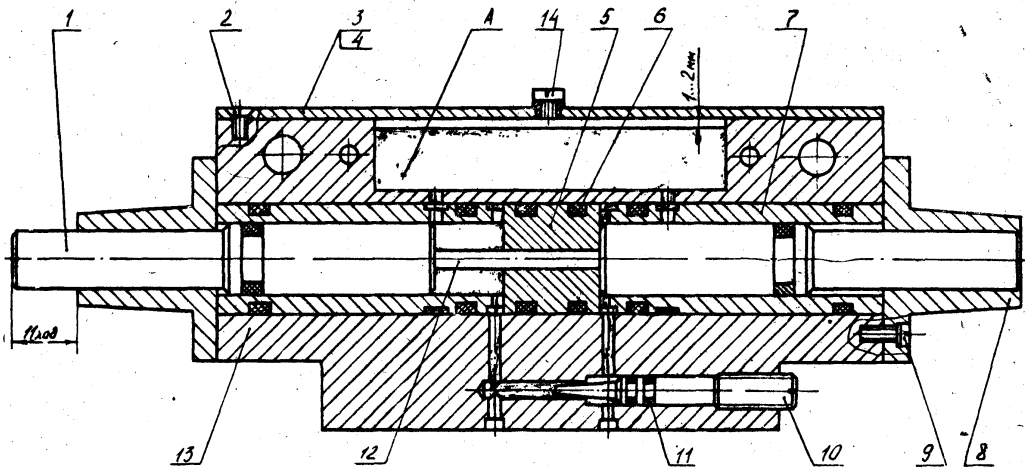


Рис. 11. Амортизатор руки: 1 – шток; 2 – гвинт; 3 – кришка; 4 – прокладка; 5 – втулка; 6 – кільце гумове; 7 – втулка; 8 – фланець; 9 – гвинт; 10 – голка; 11 – кільце гумове; 12 – стержень; 13 – корпус; 14 – гвинт.

Підживлюючий резервуар А заповнюється індустріальним маслом И-20А ГОСТ 20799-75. Верхній рівень масла повинен бути на 1-2 мм нижчим площини корпусу, а нижній рівень – повинен бути на 1-3 мм вище площини днища резервуара. Після заповнення амортизатора маслом здійснюється видалення повітря з внутрішніх об'ємів шляхом прокачування, тобто переміщенням штоків добиваються припинення виділення повітряних бульбашок. Після прокачування доливають масло до необхідного рівня.

Регулювання амортизатора зводиться до забезпечення плавного гальмування, для чого встановлюють необхідне прохідне січення голкою 10.

2.3.2.7. Амортизатор повороту (рис. 12).

Амортизатор повороту призначений для забезпечення плавного гальмування оберткових елементів механізму повороту. Амортизатор повороту по виконанню, роботі і експлуатації аналогічний амортизатору руки, описаному в п. 3.2.6. Відмінність тільки в тому, що штоки 10 пов'язані між собою скобою 1, що має виступ, який при повороті руки взаємодіє з упорами.

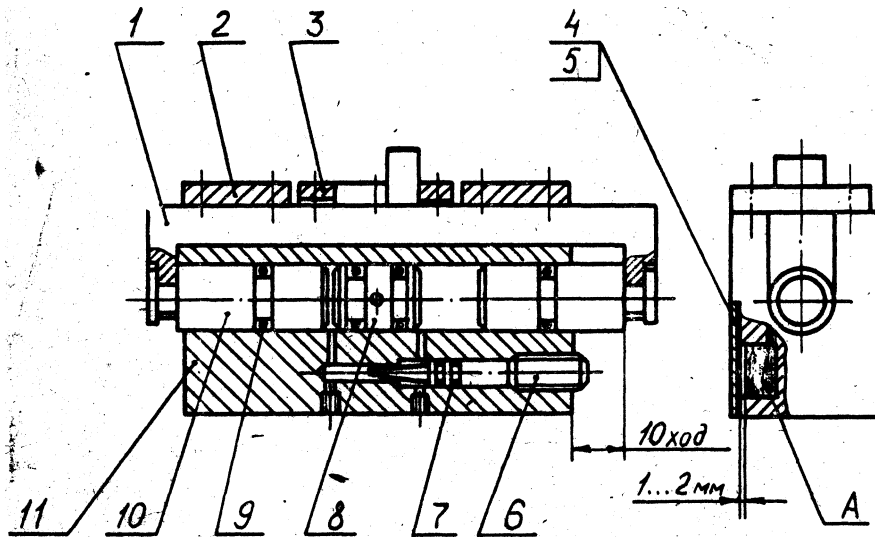


Рис. 12. Амортизатор повороту: 1 – скоба; 2 – пластина; 3 – накладка; 4 – кришка; 5 – прокладка; 6 – голка; 7 – кільце гумове; 8 – пробка; 9 – кільце гумове; 10 – шток; 11 – корпус.

3. Хід роботи

1. Вивчити принцип роботи і будову живильного механізму та промислового робота МП-9С використовуючи опис і реальну конструкцію. При вивченні конструкції необхідно зняти кожух і бокові кришки маніпулятора, а також захисні кожухи механізму живлення.
2. Визначити місця встановлення основних вузлів маніпулятора та механізму живлення.
3. Вивчити принцип роботи і конструкцію приводів лінійного переміщення стола живильного механізму та виконавчого органу промислового робота МП-9С. Звернути увагу на розташування демпферів, вивчити конструкцію дроселів і спосіб їх регулювання.
4. Вивчити принцип роботи і конструкцію механізмів підйому і повороту виконавчого органу промислового робота МП-9С.
5. Вивчити конструкцію електромагнітного захоплюючого пристрою використовуючи креслення (рис. 1) і реальну конструкцію.
6. При відсутності подачі повітря в пневмосхему оцінити вручну рухомість виконавчого органу робота при висуненні, підйомі і повороті, зусилля руху з початкового положення.
7. Схематично зарисувати компоувальну схему РТК завантаження

штампувального обладнання.

8. Визначити кількість степеней рухомості промислового робота і встановити в якій системі координат він працює.
9. Зобразити на компоувальній схемі РТК завантаження штампувального обладнання робочу зону промислового робота і вказати її розміри. Для визначення розмірів робочої зони необхідно зробити заміри величин лінійного і кутового переміщення рухомих ланок промислового робота.
10. Зобразити кінематичні схеми живильного механізму та промислового робота. На кінематичній схемі зобразити місця кріплення давачів кінцевого положення рухомих елементів РТК та місця кріплення демпфуючих пристроїв.
11. Зобразити пневматичну схему живлення приводів механізму живлення та промислового робота.
12. Вивчити послідовність роботи (рухів ланок промислового робота, спрацювання електромагнітного захоплювача, завантажувальних рухів стола живильного механізму) окремих елементів РТК. Зобразити алгоритм роботи РТК.
13. Оцінити час необхідний на виконання робочих рухів окремих елементів РТК. Зобразити циклограму роботи РТК.

4. Звіт по роботі

Звіт повинен містити:

1. Основні відомості по РТК завантаження штампувального обладнання;
2. Висновки по пунктах 1...6, 8 ходу роботи;
3. Компоувальну схему РТК завантаження штампувального обладнання на якій повинна бути зображена робоча зона промислового робота та вказані її розміри;
4. Кінематичні схеми живильного механізму та промислового робота, на якій повинні бути зображені місця кріплення давачів кінцевого положення рухомих елементів РТК та місця кріплення демпфуючих пристроїв;
5. Пневматичну схему живлення приводів механізму живлення та промислового робота;
6. Алгоритм та циклограму роботи РТК.

5. Контрольні запитання

1. Пояснити принцип дії і конструктивні особливості живильного механізму.
2. Пояснити принцип дії і конструктивні особливості пневмоприводів лінійного і обертового руху виконавчого пристрою робота МП-9С.
3. Пояснити принцип дії і конструктивні особливості гідравлічних демпферів для амотизації поступальних і обертових рухів виконавчого пристрою промислового робота.
4. Вказати способи регулювання швидкості руху ланок пневматичних приводів живильного механізму та промислового робота.

5. Вказати негативні фактори, які впливають на роботу РТК викликані недостатнім демпфуванням руху виконавчого пристрою робота.
6. Пояснити принцип дії і конструктивні особливості давачів кінцевого положення виконавчих елементів живильного механізму і промислового робота.
7. Вказати методи переналагодження РТК на роботу з деталями інших типорозмірів та конфігурації.
8. Обґрунтувати у яких технологічних процесах допускається застосування циклових робіт.

6. Рекомендована література

1. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління: Підручник / Л.С. Ямпольський [та ін.]. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – 680 с.
2. Микроконтролер программированный МКП-1. – Могилев: Областная типография им. Свердлова, 1987. – 110 с.
3. Проць Я.І., Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Ляшук О.Л. Автоматизація виробничих процесів. Тернопіль: Видавництво ТНТУ. 2011, 338 с. Лист про надання грифу МОН № 1-11 від 18.10.2011.
4. Chatraei A. Optimal Control of Robot Manipulators. / A. Chatraei, D.M.I.V. ZAda. – 2011.
5. Siciliano B. Springer Handbook of Robotics / B. Siciliano, O. Khatib. – Berlin : Springer, 2008. – P. 1631.
6. Михайлишин Р. І. Optimization of bernoulli gripping device's orientation under the process of manipulations along direct trajectory / Р.І. Михайлишин, Я. І. Проць, В.Б. Савків // Вісник ТНТУ. – Тернопіль, 2016. – Том 81. – №1. – С. 107 – 117.
7. Energy efficiency analysis of the manipulation process by the industrial objects with the use of Bernoulli gripping devices / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, M. Mykhailyshyn // Journal of Electrical Engineering. – 2017. – №68(6), P. 496 – 502.
8. Orientation Modeling of Bernoulli Gripper Device with Off-Centered Masses of the Manipulating Object / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, O. Fendo, M. Mykhailyshyn // Procedia Engineering. – 2017. – №187, P. 264 – 271.
9. Justification of Design and Parameters of Bernoulli-Vacuum Gripping Device / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, O. Fendo // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2017. – № 14(6), DOI: 1729881417741740.
10. Experimental Research of the Manipulation Process by the Objects Using Bernoulli Gripping Devices / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, M. Mikhalishin, F. Duchon // In Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering, International IEEE Conference. – Lviv, 2017. – P. 8 – 11.
11. Механізація та автоматизація навантажувально-розвантажувальних робіт: Навчальний посібник, Ч.1: Транспортні та навантажувально-

розвантажувальні засоби / За заг. ред. С.Л. Литвиненка .-К.: Кондор, 2016 .- 208 с.

12. Modeling of Bernoulli gripping device orientation when manipulating objects along the arc. / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, M. Mikhalishin, F. Duchon // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2018. – № 15(2), DOI: 1729881418762670.
13. Substantiation of Bernoulli Grippers Parameters at Non-Contact Transportation of Objects with a Displaced Center of Mass / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, P. Maruschak, O. Prentkovskis // *22nd International Scientific Conference Transport Means 2018*. – Klaipeda, 2018. – P. 1370 – 1375.
14. Gasdynamic analysis of the Bernoulli grippers interaction with the surface of flat objects with displacement of the center of mass / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon // *Vacuum*. – 2018. – DOI: 10.1016/j.vacuum.2018.11.005.
15. Murray R.M. A mathematical introduction to robotic manipulation / R.M. Murray, Z. Li, S.S. Sastry // *CRC press*. – 1994. – P. 456.
16. Зенкевич С.Л. Основы управления манипуляционными роботами / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко // *Основы управления манипуляционными роботами*. 2-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 480 с.
17. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов / Ю. Г. Козырев. – Москва: КНОРУС, 2010. – 312 с.
18. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: навчальний посібник / Я.І. Проць – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, 2008. – 232 с.