

Г.А. КРУТИКОВ, канд. техн. наук, **М.Г. ПОНОМАРЕНКО**,
НТУ «ХП», м. Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕДУКЦІЙНОГО КЛАПАНА З ПРОПОРЦІЙНИМ ЕЛЕКТРОКЕРУВАННЯМ В СИСТЕМІ ШЛІФУВАЛЬНО–ОБДИРНОЇ МАШИНИ

Була здійснена заміна дискретної системи керування пневмоциліндром шліфувально – обдирної машини аналоговою пневматичною системою, що має наступні переваги: відмова від використання кошової імпортової пневмоапаратури; суттєве спрощення процедури налаштування пневматичної частини системи; значне скорочення кількості пневмоапаратів і їх габаритів; підвищення надійності; значне покращення експлуатаційних показників машини; розширення діапазону надійної роботи.

Replacement of a discrete control system with the pneumocylinder grinding – shucking machinery analogue pneumatic system which has following advantages has been made: refusal of use of expensive import pneumoequipment; essential simplification of procedure of adjustment of a pneumatic part of system; considerable reduction quantity pneumodevices and their dimensions; reliability increase; considerable improvement performance machine; expansion of a range of reliable work.

1. Призначення, принцип дії та основні експлуатаційні характеристики прототипу.

Пневматична система керування рухом шліфувально - обдирної бабки складається з пневмоциліндру діаметром 250 мм та комплексу розподільчої, регулюючої та запірної пневмоапаратури (див. рис. 1), що дозволяє виконувати наступні операції:

- швидке підймання бабки;
- повільне опускання бабки;
- зависання бабки над заготовкою;

- робота в режимі зачистки (робочий режим), коли потрібне узгодження зусилля притиску з навантаженням на електродвигуні шліфувального кола.

Всі ці режими здійснюються шляхом дискретного перемикання 3/2 розподільника з діаметром умовного проходу 1" (3а, 3б, 3с, 3д, 3е) за допомогою пілотів керування (2а, 2б, 2с, 2д, 2е). Нижня порожнина циліндру I, знаходиться під дією постійного підпору, який налаштовується редукційним клапаном 4д. Система реалізована на пневмоапаратурі шведської фірми "Mecman".

В режимі швидкого підйому розподільника 3а, 3б, 3д, 3е вимкнені. Ввімкнутий розподільник 3с (шляхом подачі напруги на пілот керування 2с). Верхня порожнина напругу поєднується з атмосферою.

В режими повільного опускання вмикається тільки розподільник 3б за допомогою пілота 2б і верхня порожнина через регулюємий дросель 5с комутується з виходом регулятора 4а. Швидкість опускання налаштовується за допомогою дроселя 5с.

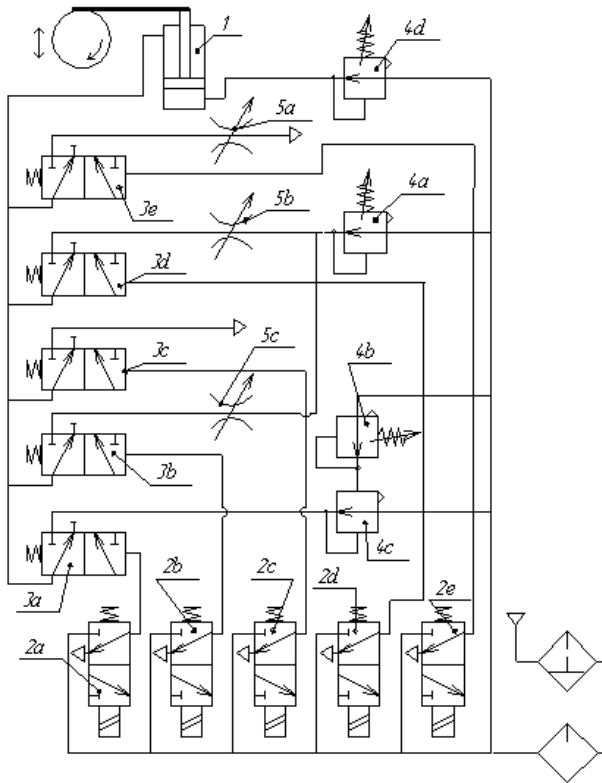


Рисунок 1 – Пневматична схема керування пневмоциліндром шліфувальної бабки (прототип)

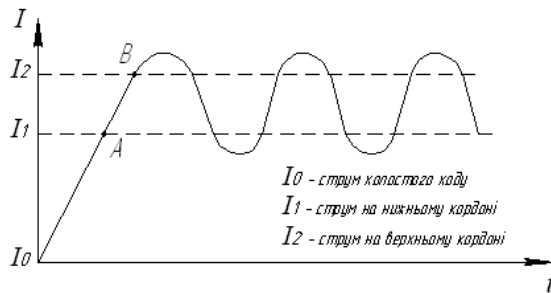


Рисунок 2 – Струм електромотору

Режим зависання. За допомогою пілота керування 2с вмикається розподільник 3с і бабка підіймається. За сигналом таймера на певній висоті

відбувається відключення розподільника 3с. Верхня камера стає заглушеною, що забезпечує фіксацію поршня шліфувальною бабкою на певній висоті, меншій ніж максимальний підйом бабки.

Режим зачистки. Коли бабка дістається заготовки пілот 2b вимикає розподільник 3b, а пілот 2d вмикає розподільник 3d, який поєднує верхню камеру через дросель 5b того самого регулятора 4а. Причому опір дроселя 5b повинен бути меншим опору дроселя 5с.

У цьому режимі здійснюється зворотній зв'язок за струмом електромотору. Зі збільшенням струму електромотора в точці А (рис. 2) відбувається вимикання розподільника 3d. Верхня порожнина циліндра стає заглушеною. Якщо струм і після цього продовжує збільшуватись, то в точці В спрацьовує пілот 2е, перемикаючи розподільник 3е, який в свою чергу починає поєднувати верхню порожнину циліндру з атмосферою через дросель 5а, за допомогою якого регулюється швидкість відводу.

Таким чином здійснюється релейний зворотній зв'язок за струмом електромотору шляхом дискретного вмикання і вимикання пілотів керування 2b і 2d.

2. Недоліки системи - прототипу.

На думку спеціалістів–експлуатаційників, система дуже складна для налаштування. Окрім налаштування електронних блоків керування, за допомогою якого встановлюються необхідні показники для релейного спрацювання ключів, сама пневматична система налаштовується за допомогою підбору тисків налаштування регуляторів тиску 4а та 4d, а також налаштувань трьох дроселів 5а, 5b, 5с. Таким чином, тільки пневматична система керування має 5 параметрів налаштування. Крім того, система достатньо грубо відпрацьовує процес слідкування зусилля притиску за током електродвигуна і має велику інерційність. Ще один недолік системи – достатньо висока чутливість до налаштування цих параметрів. Розбалансування пневматичної системи керування може статися в результаті сильного вібрування машини при зачистці заготовки.

3. Обґрунтування обраного напрямку проектування.

Аналіз вимог до пневматичної системи керування свідчить про те, що задача керування шліфувальною бабкою в усіх заданих режимах може бути вирішена на базі одного аналогового електропневматичного блоку – пневматичного регулятора тиску з пропорційним електрокеруванням. За останні двадцять років такі пневмоапарати увійшли в номенклатуру деяких відомих фірм – виробників пневмоустаткування ("Festo" та "Hoerbiger"). У вітчизняних виробників пневмоустаткування аналогові електропневматичні перетворювачі з достатньо високими та надійними експлуатаційними показниками були розроблені в Сімферопольському ДСКТБ ПО "Пневматика". Основні характеристики аналогового електропневматичного перетворювача (регулятора тиску) наведені в табл. 1.

Таблиця 1	
Технічні характеристики	
Параметри	Значення
Номінальний тиск живлення (p_n), МПа	1
Напруга живлення ($U_{жив.}$), В	$24 \pm 20\%$
Діапазон зміни вхідного сигналу ($U_{вх.}$), В	$0 \div 10$
Діапазон зміни вихідного сигналу (p_b), МПа	$0,02 \div 1$
Умовний прохід клапана (D_y), мм	6
Споживаємий струм (I), А	1
Основна похибка %, не більше	1,5
Додаткова похибка %/10 °С	0,1
Зона нечутливості (ϵu), В	0,1

4. Короткий опис пневматичної системи, заснованої на використанні електропневматичного аналогового перетворювача (див. рис. 3).

Підпір в нижній порожнині налаштовується вручну за допомогою редукційного клапана 2 з пружинним керуванням (тип 112-25 D_y 1").

Тиск у верхній порожнині регулюється за допомогою системи, що складається з редукційного клапана з пневматичним керуванням 3 (тип 211-40 D_y 11/2"), а також клапана швидкого вихлопу 4 (тип 11-КБВ-16). У якості пілота керування використовується аналоговий електропневматичний перетворювач 9. Електропневматичний перетворювач аналогової дії виконаний у вигляді окремого вузла і складається з трьохлінійного редукційного клапана з двохкаскадним керуванням, функціонального блоку 6, 7 та датчика зворотнього зв'язку 8. Перший каскад підсилення являє собою переливний клапан з плоским затвором, причому, налаштування клапана здійснюється за допомогою зміни струму керування пропорційного

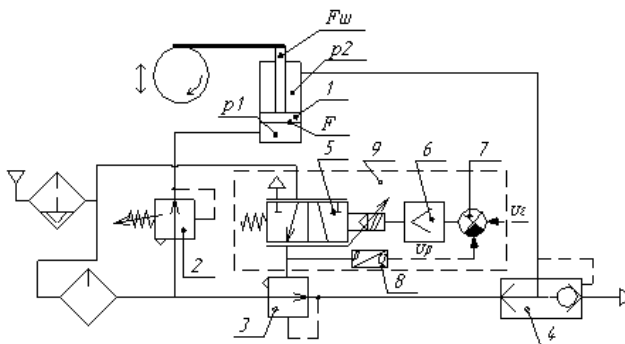


Рисунок 3 – Пневматична система керування циліндром шліфувальної бабки з використанням аналогового електропневматичного перетворювача

електромагніта, що надходить від електронного підсилювача 6. Другий каскад складається з трьохлінійного редуційного клапана з пневматичним керуванням. Причому, тиск керування налаштовується за допомогою регулюемого переливного клапана першого каскаду. Електронний функціональний блок складається з електронного підсилювача 6 та суматора 7. Тиск з виходу електропневматичного перетворювача за допомогою тензометричного датчика тиску перетворюється в напругу U_p , яка в якості сигналу від'ємного зворотнього зв'язку заводиться на вхід суматора 7. Тензометричний модуль створений на основі сучасної технології "кремній на сапфірі" (напилення півки кремнію на кристалі сапфіру) й характеризується відсутністю деформацій від стомлення, що дозволяє без періодичного тарірування отримувати надійний і вартий довіри результат.

При збільшенні вхідної напруги U_{Σ} тиск на виході пілота керування 9, а, отже, і редуційного клапана з великим умовним проходом 3 буде збільшуватись суворо пропорційно напрузі. Клапан швидкого вихлопу 4 перекриває зв'язок лінії живлення верхньої порожнини циліндру з атмосферою й відкриває зв'язок з виходом РК 3. При швидкому зменшенні напруги керування U_{Σ} тиск на виході РК 3 падає і клапан швидкого вихлопу з'єднує верхню порожнину циліндру з атмосферою, забезпечуючи швидке падіння тиску p_2 в верхній порожнині циліндру (нажалі, клапан РК 211-40 має дуже малий умовний прохід і сам не може виконати задачу швидкого зниження тиску p_2).

З усіх налаштувань пневматичної системи керування залишається тільки одне – налаштування тиску підпору p_1 за допомогою редуційного клапана 2. Всі режими роботи системи реалізуються тільки одним вузлом – електропневматичним перетворювачем великої потужності й задаються блоком електронного регулятора, розташованим на відстані від машини в помешканні електронних систем керування, де підтримуються оптимальні умови роботи для електроніки.

Блок – схема системи автоматичного регулювання зусилля притиску шліфувального кола в режимі зачистки наведена на рис. 4 (k_{po} – коефіцієнт

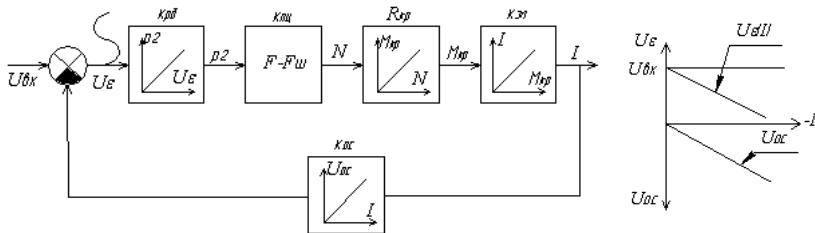


Рисунок 4 – Блок – схема замкненої системи безперервного керування в режимі зачистки

передачі регулятора тиску з електрокеруванням; $k_{\text{пр}}$ – коефіцієнт передачі по підсиленню пневмоциліндра; $R_{\text{кр}}$ – радіус шліфувального кола; $k_{\text{з1}}$ – коефіцієнт передачі по навантаженню електромотора; кос – коефіцієнт підсилення зворотнього зв'язку). Система регулювання буде точно відстежувати навантаження на шліфувальному колі по струму електромотора і пропорційно цьому змінювати зусилля притиску кола до заготовки. За допомогою налаштування кос можна підібрати оптимальну чутливість системи при стійкій, надійній роботі. Причому, як демонструють розрахунки, діапазон надійної роботи системи можна значно розширити (від мінімального навантаження на електромоторі в 5 А до максимального в 200 А). Навіть за найменшого навантаження в 5 А шліфувальне коло завжди буде притиснуте до заготовки, чого не вдалося досягти в прототипі.

Таким чином, переваги запропонованої системи керування шліфувальною бабкою над існуючою полягають в наступному:

- відмова від використання коштовної імпоротної пневмоапаратури;
- суттєве спрощення процедури налаштування пневматичної частини системи (1 параметр, замість 5 у попередній);
- значне скорочення кількості пневмоапаратів і їх габаритів;
- підвищення надійності за рахунок винесення всіх регулювань в електронний блок і перенесення його з цеху в спеціальне приміщення;
- значне покращення експлуатаційних показників машини за рахунок переходу від грубої релейної системи, що працює тільки по двом точкам характеристики навантаження мотора, до точної швидкодіючої аналогової системи, що дозволяє тримати струм електромотора в оптимальному режимі;
- розширення діапазону надійної роботи аж до найменших навантажень, які практично не вдалося відпрацювати на старій системі.

Конструктивна схема електропневматичного перетворювача великої потужності наведена на рис. 5. Він складається з редукційного клапана з пневмокеруванням типу 211-40 та пілота керування – редукційного клапана (РК) з пропорційним електрокеруванням. Вхідним сигналом є напруга U_{ex} з діапазоном зміни від 0 до 10 В. Електронний підсилювач (див. рис. 5) 27 підсилює сигнал неузгодження $U_{\Sigma} = U_{\text{ex}} - U_{\text{oc}}$, отриманий на суматорі 26 і претворює його в пропорційний струм I , що надходить на електромагніт 1. Зусилля, що розвиває електромагніт 1, урівноважується тиском p_y , що діє на заслонку 8, яка закріплена на серцевині електромагніту. Через те, що сила, яку розвиває електромагніт 1, пропорційна струму I , що проходить через катушку, то тиск у верхній надмембранній порожнині також стає пропорційним струму I , адже

$$p_y = \frac{4F_{\text{зм}}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4k_{\text{FI}}}{\pi \cdot d^2} I, \quad (1)$$

де k_{FI} - коефіцієнт тяги електромагніта;

d - діаметр сопла 6.

Діаметр сопла 6 дорівнює $2,5 \div 2,7$ мм, діаметр жиклера живлення 7 дорівнює $0,3 \div 0,5$ мм. Таке співвідношення діаметрів дозволяє звузити робочий діапазон переміщень заслонки й практично виключити нелінійність тягової характеристики електромагніта, пов'язану з переміщенням серцевини. Крім того, це дозволяє опустити нижню межу робочих тисків редукційного клапана з пропорційним електрокеруванням.

При збільшенні тиску p_y мембранно-клапанний блок 11 зміщується донизу, відкриваючи нижній клапан 14, в результаті чого тиск на виході p також збільшується. При зменшенні тиску p_y нижній клапан 14 сідає в сідло, а верхній клапан 12 відкривається, поєднуючи вихід РК з атмосферою через отвір 10. В результаті цього тиск p також знижується.

При швидкому збільшенні струму керування I й перекритті заслонкою 8 сопла 6 через малий діаметр жиклера 7 тиск p_y у верхній порожнині РК підвищується повільно, що зменшує швидкодію РК.

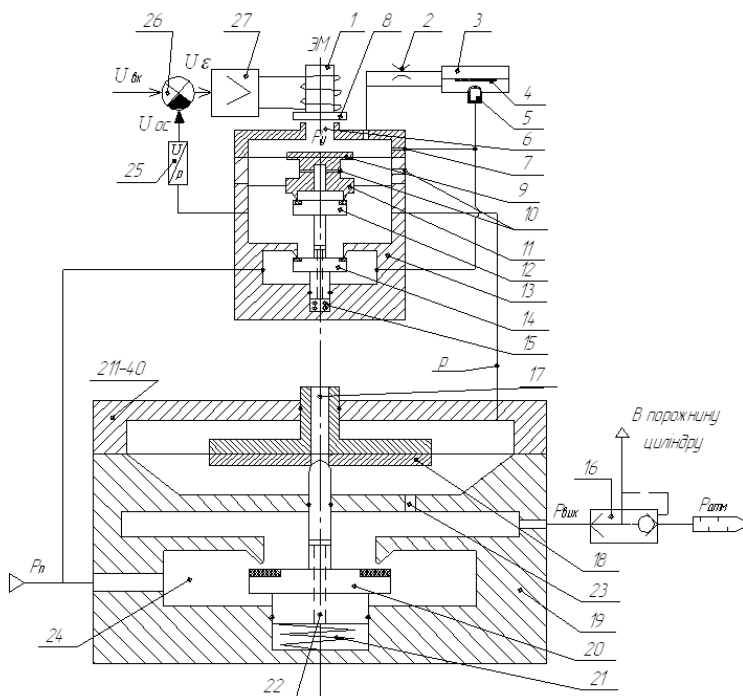


Рисунок 5 – Конструктивна схема електропневматичного перетворювача

Для усунення цього недоліку в конструкції електропневматичного РК передбачено прискорювач, що складається з сопла 5, резинової мембрани з заслонкою 4 та дроселя 2. У випадку динамічного росту тиску p_y , верхня камера 3 прискорювача заповнюється повільніше (через наявність дроселя 2) ніж нижня, мембрана з заслонкою 4 підіймається вгору і зтиснене повітря з сопла 5 починає надходити в верхню камеру, збільшуючи темп зростання тиску p_y .

Якщо заслонка 8 швидко відкривається і відбувається падіння p_y , то нижня камера прискорювача звільнюється швидше, ніж верхня камера 3. Мембрана прогинається донизу і перекриває сопло 5. Повітря в верхню камеру електропневматичного РК надходить тільки через жиклер 7, тому тиск p_y падає швидко. Таким чином тиск p на виході електропневматичного РК навіть в динамічному режимі досить точно повторює зміну струму керування на катушці електромагніту.

Для підсилення по витраті сигналу з виходу електропневматичного РК використовується великовитратний редуційний клапан 211-40. Суттєвим недоліком конструкції серійного клапана 211-40 є значна різниця в пропускній спроможності клапана 20, що поєднує вихід РК з трактом живлення та клапана викиду 17, що поєднує вихід РК з атмосферою.

При швидкому зменшенні сигналу керування p клапанно – мембранний блок прогинається вгору, клапан 20 сідає в сідло, а клапан викиду 17 розмикається, поєднуючи підмембранну порожнину РК 211-40 з атмосферою. Через те, що на виході РК є величезне ємнісне навантаження у вигляді внутрішніх об'ємів шлангів і порожнини пневмоциліндру, а повітря видаляється з виходу через маленький дросель зворотнього зв'язку 23 та клапан викиду 17 з малим умовним проходом, падіння тиску $p_{вих}$ відбувається вкрай повільно.

Для усунення цього конструктивного недоліку на виході РК 211-40 встановлюється клапан швидкого вихлопу 16, що дозволяє при падінні тиску $p_{вих}$ швидко видалити повітря з порожнини циліндра.

Для збільшення точності відпрацювання вхідного сигналу керування $U_{вх}$ та усунення гістерезису електромагніту тиск з виходу електропневматичного РК за допомогою тензометричного перетворювача 25 заводиться у якості зворотнього зв'язку на вхід суматора електронного підсилювача.

Список літератури: 1. *Дмитриев В. Н., Градецкий В. Г.* Основы пневмоавтоматики. М.: Машиностроение, 1973, 368. 2. *Добрынин Е. М., Пан Чжун-Чжен* Вопросы динамической точности приборов автоматического контроля размеров. М.: Машгиз, 1963, 248. 3. *Траксел Д. Д.* Синтез систем автоматического регулирования. М.: Машгиз, 1955, 463.

Надійшла до редколегії 23.03.10