

11 Пневматичний привод

11.1 Загальні відомості про застосування газів у техніці

Будь-який об'єкт, у якому використовується газоподібна речовина, можна віднести до газових систем. Оскільки найбільш доступним газом є повітря, що складається із суміші безлічі газів, то його широке застосування для виконання різноманітних процесів обумовлено самою природою. У перекладі з грецького *pneumatikos* – повітряний, чим і пояснюється етимологічне походження назви *пневматичні системи*. У технічній літературі часто використовується більше короткий термін – *пневматика*.

Пневматичні пристрої почали застосовувати ще в далекій давнині (повітряні двигуни, музичні інструменти, ковальські міхи та ін.), але найбільше поширення вони одержали внаслідок створення надійних джерел пневматичної енергії – нагнітачів, здатних надавати газам необхідний запас потенційної й (або) кінетичної енергії.

Пневматичний привод, що складається з комплексу пристроїв для приведення в дію машин і механізмів, є далеко не єдиним напрямом використання повітря (у загальному випадку газу) в техніці й життєдіяльності людини. На підтвердження цього положення коротко розглянемо основні види пневматичних систем, що відрізняються як за призначенням, так і за способом використання газоподібної речовини.

За наявності й за причиною руху газу всі системи можна розділити на три групи.

До першої групи належать системи із **природною конвекцією** (циркуляцією) газу (найчастіше повітря), де рух і його напрямок обумовлений градієнтами температури й щільності природного характеру, наприклад, атмосферна оболонка планети, вентиляційні системи приміщень, гірських виробок, газоходів і т.п.

До другої групи відносять системи із **замкнутими камерами**, що не з'єднуються з атмосферою, у яких може змінюватися стан газу внаслідок зміни температури, об'єму камери, наддування або відсмоктування газу. До них належать різні ємності, що акумулюють (пневмобалони), пневматичні гальмові пристрої (пневмобуфери), всілякі еластичні надувні пристрої, пневмогідравлічні системи паливних баків літальних апаратів та ін. Прикладом пристроїв із використанням вакууму в замкнутій камері можуть бути пневмозахвати (пневмоприсоски), які найбільш ефективні для переміщення штучних листових виробів (папір, метал, скло, пластмаса й т.п.) в умовах автоматизованого та роботизованого виробництва.

До третьої групи варто віднести такі системи, де для виконання робіт використовується енергія **попередньо стисненого газу**. У таких системах газ переміщається по магістралях з відносно великою швидкістю й має значний запас енергії. Вони можуть бути **циркуляційними** (замкнутими) і **безциркуляційними**. У циркуляційних системах відпрацьований газ вертається по магістралях до нагнітача для повторного використання (як у гідроприводі). Застосування систем досить специфічне, наприклад, коли неприпустимі витoki газу в навколишній простір або неможливе використання повітря через його окисні властивості. Приклади таких систем можна знайти в криогенній техніці, де як енергоносії застосовуються агресивні, токсичні гази чи летучі рідини (аміак, пропан, сірководень, гелій, фреони й ін.).

У безциркуляційних системах газ може бути використаний споживачем як хімічний реагент (наприклад, у зварювальному виробництві, у хімічній промисловості) або як джерело пневматичної енергії. В останньому випадку як енергоносії звичайно служить повітря. Виділяють три основних напрями застосування стисненого повітря.

До першого належать технологічні процеси, де повітря виконує безпосередньо операції обдування, осушування, розпилення, охолодження, вентиляції, очищення й т.п. Дуже широке розповсюдження одержали системи пневмотранспортування по трубопроводах, особливо в легкій, харчовій, гірничодобувній галузях промисловості. Штучні й кускові матеріали транспортуються в спеціальних посудинах (капсулах), а пилоподібні в суміші з повітрям переміщаються на відносно більші відстані аналогічно текучим речовинам.

Другий напрям – використання стисненого повітря в пневматичних системах керування (ПСК) для автоматичного керування технологічними процесами (системи пневмоавтоматики). Цей напрям отримав інтенсивний розвиток із 60-х років ХХ ст. завдяки створенню універсальної системи елементів промислової пневмоавтоматики (УСЕППА). Широка номенклатура УСЕППА (пневматичні датчики, перемикачі, перетворювачі, реле, логічні елементи, підсилювачі, струминні пристрої, командоапарати й т.д.) дозволяє реалізувати на її базі релейні, аналогові й аналого-релейні схеми, які за своїми параметрами близькі до електротехнічних систем. Завдяки високій надійності вони широко використовуються для циклового програмного керування різними машинами, роботами у великосерійному виробництві, у системах керування рухом мобільних об'єктів.

Третім напрямом застосування пневмоенергії, найбільш масштабним за потужністю, є пневматичний привід, що у науковому плані є одним із розділів загальної механіки машин. Біля джерел теорії пневматичних систем стояв І.І. Артоболевський. Він був керівником Інституту машинознавства (ІМАШ) у Ленінграді, де під його

керівництвом у 40 – 60-х роках систематизувалися й узагальнювалися накопичені відомості з теорії й проектування пневмосистем. Однією з перших робіт із теорії пневмосистем була стаття А.П. Германа "Застосування стисненого повітря в гірничій справі", опублікована в 1933 р., де вперше рух робочого органа пневмопристрою вирішується разом із термодинамічним рівнянням стану параметрів повітря.

Значний внесок у теорію й практику пневмоприводів зробили вчені Б.Н. Бежанов, К.С. Борисенко, І.А. Бухарін, А.І. Воцинін, Е.В. Герц, Г.В. Крейнін, А.І. Кудрявцев, В.А. Марутов, В.І. Мостков, Ю.А. Цейтлін та інші.

11.2 Особливості пневматичного привода, переваги й недоліки

Сфера і масштаби застосування пневматичного привода обумовлені його перевагами й недоліками, що впливають з особливостей властивостей повітря. На відміну від рідин, використовуваних у гідроприводах, повітря, як і всі гази, має високу стисливість та малу щільність у вихідному атмосферному стані (близько $1,25 \text{ кг/м}^3$), значно меншу в'язкість і більшу плинність, причому його в'язкість істотно зростає при підвищенні температури й тиску. Відсутність мастильних властивостей повітря та наявність деякої кількості водяної пари, що при інтенсивних термодинамічних процесах в об'ємах робочих камер пневмомашин, які змінюються, може конденсуватися на їхніх робочих поверхнях, перешкоджає використанню повітря без додання йому додаткових мастильних властивостей і вологозниження. У зв'язку із цим у пневмоприводах є потреба кондиціювання повітря, тобто додавання йому властивостей, що забезпечують роботоздатність і подовжують термін служби елементів привода.

З урахуванням вищеописаних відмінних рис повітря розглянемо переваги пневмопривода порівняно з його конкурентами – гідро- та електроприводом.

1. Простота конструкції й технічного обслуговування. Виготовлення деталей пневмомашин і пневмоапаратів не вимагає такої високої точності вироблення й герметизації з'єднань, як у гідроприводі, тому що можливі витіки повітря не настільки істотно знижують ефективність роботи та ККД системи. Зовнішні витіки повітря екологічно нешкідливі й відносно легко усуваються. Витрати на монтаж і обслуговування пневмопривода трохи менші через відсутність зворотних пневмоліній та застосування в ряді випадків більш гнучких і дешевих пластмасових або гумових (гумотканинних) труб. Щодо цього пневмопривод не поступається електроприводу. Крім того, пневмопривод не вимагає спеціальних матеріалів для виготовлення деталей, таких як мідь, алюміній і т.п., хоча в ряді випадків вони використовуються винятково для зниження ваги чи тертя в рухливих елементах.

2. **Пожежо- і вибухобезпечність.** Завдяки цій перевазі пневмопривод не має конкурентів для механізації робіт в умовах, небезпечних із точки зору запалення й вибуху газу та пилу, наприклад у шахтах із високим виділенням метану, в деяких хімічних виробництвах, на борошномельних підприємствах, тобто там, де неприпустиме іскроутворення. Застосування гідропривода в цих умовах можливе тільки за наявності централізованого джерела живлення з передачею гідроенергії на відносно велику відстань, що в більшості випадків економічно недоцільно.

3. **Надійність роботи в широкому діапазоні температур, в умовах запиленого й вологого навколишнього середовища.** У таких умовах гідро- та електроприводи вимагають значно більших витрат на експлуатацію, тому що при температурних перепадах порушується герметичність гідросистем через зміну зазорів і ізолювальних властивостей електротехнічних матеріалів, що в сукупності із запиленістю, вологою й нерідко агресивним навколишнім середовищем призводить до частих відмов. Із цієї причини пневмопривод є єдиним надійним джерелом енергії для механізації робіт у ливарному й зварювальному виробництві, у ковальсько-пресових цехах, у деяких виробництвах із видобутку й перероблення сировини та ін. Завдяки високій надійності пневмопривод часто використовується в гальмових системах мобільних і стаціонарних машин.

4. **Значно більший термін служби** порівняно з гідро- й електроприводом. Термін служби оцінюють двома показниками надійності: гамма-відсоткове напрацювання на відмову та гамма-процентний ресурс. Для пневматичних пристроїв циклічної дії ресурс становить від 5 до 20 млн. циклів залежно від призначення й конструкції, а для пристроїв нециклічної дії – близько 10 – 20 тис. годин. Це у 2 – 4 рази більше, ніж у гідропривода, і в 10 – 20 разів більше, ніж в електропривода.

5. **Висока швидкодія.** Тут мають на увазі не швидкість передачі сигналу (керуючого впливу), а реалізовані швидкості робочих рухів, забезпечуваних високими швидкостями руху повітря. Поступальний рух штока пневмоциліндра можливий до 15 м/с і більше, а частота обертання вихідного вала деяких пневмомоторів (пневмотурбін) – до 100 000 об/хв. Ця перевага повною мірою реалізується в приводах циклічної дії, особливо для високопродуктивного устаткування, наприклад у маніпуляторах, пресах, машинах точкового зварювання, у гальмових і фіксуєчих пристроях, причому збільшення кількості одночасно працюючих пневмоциліндрів (наприклад у багатомісних пристосуваннях для затискача деталей) практично не знижує час спрацьовування. Більша швидкість обертового руху використовується в приводах сепараторів, центрифуг, шліфувальних машин, бормашин тощо. Реалізація більших

швидкостей у гідро- й електроприводі обмежується їх більшою інерційністю (маса рідини та інерція роторів) і відсутністю демпфівального ефекту, який має повітря.

6. Можливість передачі пневмоенергії на відносно більші відстані по магістральних трубопроводах і постачання стисненим повітрям багатьох споживачів. Щодо цього пневмопривод поступається електроприводу, але значно перевершує гідропривод завдяки меншим втратам напору в магістральних лініях, що мають значну довжину. Електрична енергія може передаватися по лініях електропередач на багато сотень і тисячі кілометрів без відчутних втрат, а відстань передачі пневмоенергії економічно доцільна до декількох десятків кілометрів, що реалізується в пневмосистемах великих гірничих і промислових підприємств із централізованим живленням від компресорної станції.

Відомий досвід створення міської компресорної станції в 1888 р. одним із промисловців у Парижі. Вона постачала заводи й фабрики по магістралях довжиною 48 км при тиску 0,6 МПа й мала потужність до 18500 кВт. З появою надійних електропередач її експлуатація стала не вигідною.

Максимальна довжина гідросистем становить близько 250 – 300 м у механізованих комплексах шахт для видобутку вугілля, причому в них використовується звичайно менш в'язка водно-масляна емульсія.

7. Відсутність необхідності в захисних пристроях від перевантаження тиском у споживачів. Потрібна межа тиску повітря встановлюється загальним запобіжним клапаном, що перебуває на джерелах пневмоенергії. Пневмодвигуни можуть бути повністю загальмовані без небезпеки ушкодження й перебувати в цьому стані тривалий час.

8. Безпека для обслуговуючого персоналу при дотриманні загальних правил, що виключають механічний травматизм. У гідро- та електроприводах можливе враження електричним струмом або рідиною при порушенні ізоляції чи розгерметизації трубопроводів.

9. Поліпшення провітрювання робочого простору за рахунок відпрацьованого повітря. Ця властивість особливо корисна в гірничих виробках і приміщеннях хімічних та металообробних виробництв.

10. Нечутливість до радіаційного й електромагнітного випромінювання. У таких умовах електрогідравлічні системи практично непридатні. Ця перевага широко використовується в системах керування космічною, військовою технікою, в атомних реакторах і т.п.

Незважаючи на вищеописані переваги, застосовність пневмопривода обмежується в основному економічними міркуваннями через більші втрати енергії в компресорах і пневмодвигунах, а також інші недоліки, описані нижче.

1. **Висока вартість пневмоенергії.** Якщо гідро- й електроприводи мають ККД відповідно близько 70 і 90 %, то ККД пневмопривода звичайно 5 – 15 % та дуже рідко до 30 %. У багатьох випадках ККД може бути 1 % і менше. Із цієї причини пневмопривод не застосовується в машинах із тривалим режимом роботи й великої потужності, крім умов, що виключають використання електроенергії (наприклад, гірничодобувні машини в шахтах, небезпечних по газу).

2. **Відносно велика вага й габарити пневмомашин** через низький робочий тиск. Якщо питома вага гідромашин, що доводиться на одиницю потужності, в 5 – 10 разів менша від ваги електромашин, то пневмомашини мають приблизно такі ж вагу й габарити, як останні.

3. **Труднощі забезпечення стабільної швидкості руху вихідної ланки** при змінному зовнішньому навантаженні та його фіксації в проміжному положенні. Разом із тим м'які механічні характеристики пневмопривода в деяких випадках є і його перевагою.

4. **Високий рівень шуму**, що досягає 95 – 130 дБ за відсутності засобів для його зниження. Найбільш шумними є поршневі компресори та пневмодвигуни, особливо пневмомолоти й інші механізми ударно-циклічної дії. Найбільш шумні гідроприводи (до них належать приводи із шестеренними машинами) створюють шум на рівні 85–104 дБ, а звичайний рівень шуму значно нижчий, приблизно як в електромашин, що дозволяє працювати без спеціальних засобів шумозниження.

5. **Мала швидкість передачі сигналу** (керуючого імпульсу), що призводить до запізнювання виконання операцій. Швидкість проходження сигналу дорівнює швидкості звуку та залежно від тиску повітря становить приблизно від 150 до 360 м/с. У гідро- й електроприводі відповідно близько 1000 і 300 000 м/с.

Перераховані недоліки можуть бути усунуті застосуванням комбінованих пневмоелектричних або пневмогідролічних приводів.

11.3 Плин повітря

Інженерні розрахунки пневмосистем зводяться до визначення швидкостей і витрат повітря при наповненні й спорожнюванні резервуарів (робочих камер двигунів), а також із його плином по трубопроводах через місцеві опори. Унаслідок стисливості повітря ці розрахунки значно складніші, ніж розрахунки гідравлічних систем, і повною мірою виконуються тільки для особливо відповідальних випадків. Повний опис процесів плинку повітря можна знайти в спеціальних курсах газодинаміки.

Основні закономірності плинку повітря (газу) такі ж, як і для рідин, тобто мають місце ламінарний і турбулентний режими плинку, сталий та несталий, рівномірний і нерівномірний плин через змінний перетин трубопроводу й усі інші кінематичні й динамічні характеристики потоків.

Унаслідок низької в'язкості повітря та відносно великих швидкостей режим плин у більшості випадків турбулентний.

Для промислових пневмоприводів досить знати закономірності сталого характеру плин у повітря. Залежно від інтенсивності теплообміну з навколишнім середовищем розрахунки параметрів повітря виконуються з урахуванням типу термодинамічного процесу, що може бути від ізотермічного (з повним теплообміном і виконанням умови $T = \text{const}$) до адіабатного (без теплообміну).

При більших швидкостях виконавчих механізмів і плин газу через опори процес стиску вважається адіабатним із показником адіабати $k = 1,4$. У практичних розрахунках показник адіабати заміняють на показник політропи (звичайно приймають $n = 1,3 \dots 1,35$), що дозволяє врахувати втрати, обумовлені тертям повітря, та можливий теплообмін.

У реальних умовах неминуче відбувається деякий теплообмін між повітрям і деталями системи й має місце так звана політропна зміна стану повітря. Увесь діапазон реальних процесів описується рівняннями цього стану

$$pV^n = \text{const} , \quad (12.1)$$

де n – показник політропи, що змінюється в межах від $n = 1$ (ізотермічний процес) до $n = 1,4$ (адіабатний процес).

В основу розрахунків плин у повітря покладене відоме рівняння Бернуллі руху ідеального газу

$$\gamma z + p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const} . \quad (12.2)$$

Рівняння, що складаються, виражаються в одиницях тиску, тому їх часто називають "тисками":

z – ваговий тиск;

p – статичний тиск;

$\frac{\rho v^2}{2}$ – швидкісний, або динамічний, тиск.

На практиці часто ваговим тиском нехтують і рівняння Бернуллі набуває такого вигляду

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const} . \quad (12.3)$$

Суму статичного й динамічного тисків називають повним тиском p_0 . Таким чином, одержимо

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = p_0 . \quad (12.4)$$

При розрахунку газових систем необхідно мати на увазі дві принципових відмінності від розрахунку гідросистем.

Перша відмінність полягає в тому, що визначається не об'ємна витрата повітря, а масова. Це дозволяє уніфікувати та порівняти параметри різних елементів пневмосистем за стандартним повітрям ($\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 14,9 \text{ м}^2/\text{с}$ при $p = 101,3 \text{ кПа}$ й $t = 20^\circ\text{C}$). У цьому випадку рівняння витрат записується у вигляді

$$Q_{m1} = Q_{m2} \quad (12.5)$$

$$\text{або } \nu_1 V_1 S_1 = \nu_2 V_2 S_2 . \quad (12.6)$$

Друга відмінність полягає в тому, що при надзвукових швидкостях плин повітря змінюється характер залежності витрати від перепаду тисків на опорі. У зв'язку із цим існують поняття підкритичного й надкритичного режимів плин повітря. Зміст цих термінів пояснюється нижче.

Розглянемо витікання газу з резервуара через невеликий отвір при підтримці в резервуарі постійного тиску (рисунок 12.1). Будемо вважати, що розміри резервуара настільки великі порівняно з розмірами вихідного отвору, що можна повністю знехтувати швидкістю руху газу всередині резервуара, й, отже, тиск, температура й щільність газу всередині резервуара будуть мати значення p_0 , ρ_0 і T_0 .

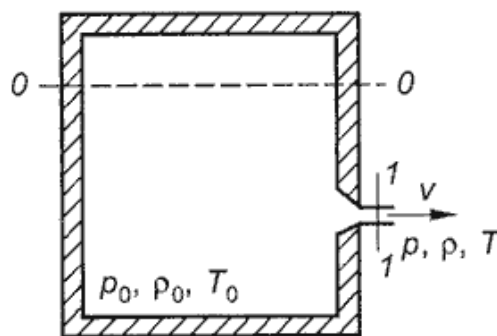


Рисунок 12.1 – Витікання газу з отвору в тонкій стінці

Швидкість витікання газу можна визначати за формулою для витікання нестисливої рідини, тобто

$$v = \sqrt{2gH} = \sqrt{2g \frac{p_0 - p}{\gamma_0}} . \quad (12.7)$$

Масову витрату газу, що витікає через отвір, визначаємо за формулою

$$Q_m = \omega_0 \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_0 \rho_0 \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} , \quad (12.8)$$

де ω_0 – площа перетину отвору;
 k – показник адіабати, $k=1,4$.

Відношення p/p_0 називається ступенем розширення газу. Аналіз формули (12.8) показує, що вираз, який стоїть під коренем у квадратних дужках, перетворюється в нуль при $p/p_0 = 1$ і $p/p_0 = 0$. Це означає, що при деякому значенні відношень тисків масова витрата досягає максимуму Q_{\max} . Графік залежностей масової витрати газу від відношення тисків p/p_0 показаний на рисунку 12.2.

Відношення тисків p/p_0 , при якому масова витрата досягає максимального значення, називається **критичним**. Можна показати, що критичне відношення тисків дорівнює

$$\left(\frac{p}{p_0}\right)_{\text{кр}} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}. \quad (12.9)$$

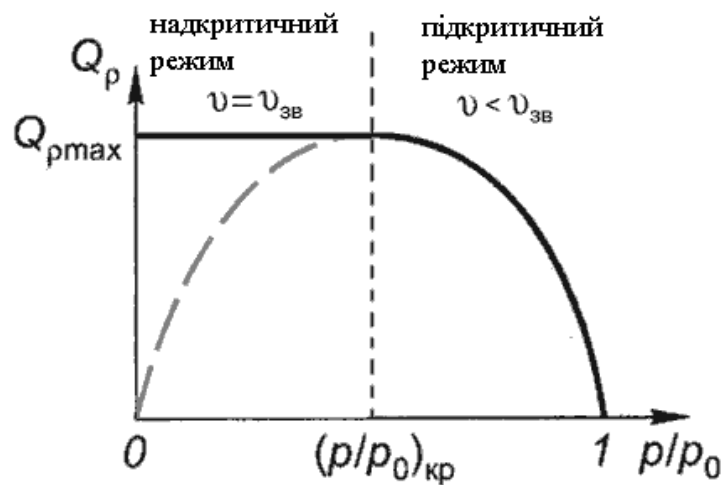


Рисунок 12.2 – Залежність масової витрати газу від відношення тисків

Як видно із графіка, показаного на рисунку 12.2, при зменшенні p/p_0 порівняно з критичним витрата повинна зменшуватися (пунктирна лінія) і при $p/p_0 = 0$ значення витрати має дорівнювати нулю ($Q_m = 0$). Однак у дійсності це не відбувається.

У дійсності при заданих параметрах p_0 , ρ_0 і T_0 витрата й швидкість витікання будуть рости зі зменшенням тиску поза резервуаром p доти, поки цей тиск менше критичного. При досягненні тиском p критичного значення витрата стає максимальною, а швидкість витікання досягає критичного значення, рівного місцевій швидкості звуку. Критична швидкість визначається відомою формулою

$$v_{\text{ср}} = \sqrt{k \frac{p}{\rho}}. \quad (12.10)$$

Після того як на виході з отвору швидкість досягла швидкості звуку, подальше зменшення протитиску p не може привести до збільшення швидкості витікання, тому що, відповідно до теорії поширення малих

збурювань, внутрішній об'єм резервуара стане недоступний для зовнішніх збурювань: він буде "замкнений" потоком зі звуковою швидкістю. Усі зовнішні малі збурювання не можуть проникнути в резервуар, тому що їм перешкоджатиме потік, що має ту ж швидкість, що й швидкість поширення збурювань. При цьому витрата не буде мінятися, залишаючись максимальною, а крива витрати набуде вигляду горизонтальної лінії.

Таким чином, існує дві зони (області) плинину:
підкритичний режим, при якому

$$\left(\frac{p}{p_0}\right)_{\text{êđ}} < \left(\frac{p}{p_0}\right) < 1; \quad (12.11)$$

надкритичний режим, при котрому

$$0 < \left(\frac{p}{p_0}\right) < \left(\frac{p}{p_0}\right)_{\text{êđ}}. \quad (12.12)$$

У надкритичній зоні має місце максимальна швидкість і витрата, що відповідають критичному розширенню газу. Виходячи із цього, при визначенні витрат повітря попередньо визначають за перепадом тиску режим витікання (зону), а потім витрату. Втрати на тертя повітря враховують коефіцієнтом витрати μ , що з достатньою точністю можна обчислити за формулами для нестисливої рідини ($\mu = 0,1 \dots 0,6$).

Остаточна швидкість і максимальна масова витрата в підкритичній зоні з урахуванням стиску струменя визначаються за формулами:

$$v = \varphi \sqrt{\frac{2}{k-1} \frac{p_0}{\rho_0} \left[1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}; \quad (12.13)$$

$$Q_m = \mu \omega_0 \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_0 \rho_0 \left[\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}. \quad (12.14)$$

11.4 Підготовка стисненого повітря

У промисловості використовуються різні конструкції машин для подачі повітря під загальною назвою повітродувки. При створенні надлишкового тиску до 0,015 МПа вони називаються вентиляторами, а при тиску понад 0,115 МПа – компресорами.

Вентилятори належать до лопатевих машин динамічної дії й, крім свого основного призначення – провітрювання, застосовуються в пневмотранспортних системах і низьконапірних системах пневмоавтоматики.

У пневмоприводах джерелом енергії служать компресори з робочим тиском у діапазоні 0,4...1,0 МПа. Вони можуть бути об'ємної (частіше поршневі) або динамічної (лопатевої) дії. Теорія роботи компресорів вивчається в спеціальних дисциплінах.

За видом джерела й способом доставки пневмоенергії розрізняють магістральний, компресорний і акумуляторний пневмоприводи.

Магістральний пневмопривод характеризується розгалуженою мережею стаціонарних пневмоліній, що з'єднують компресорну станцію із цеховими, дільничними споживачами в межах одного чи декількох підприємств. Компресорна станція обладнується декількома компресорними лініями, що забезпечують гарантоване постачання споживачам стисненого повітря з урахуванням можливої нерівномірної роботи останніх. Це досягається установкою проміжних накопичувачів пневмоенергії (ресиверів) як на самій станції, так і на ділянках. Пневмолінії звичайно резервуються, чим забезпечується зручність їхнього обслуговування й ремонту. Типовий комплект пристроїв, що входять у систему підготовки повітря, показаний на принциповій схемі компресорної станції (рисунок 12.3).

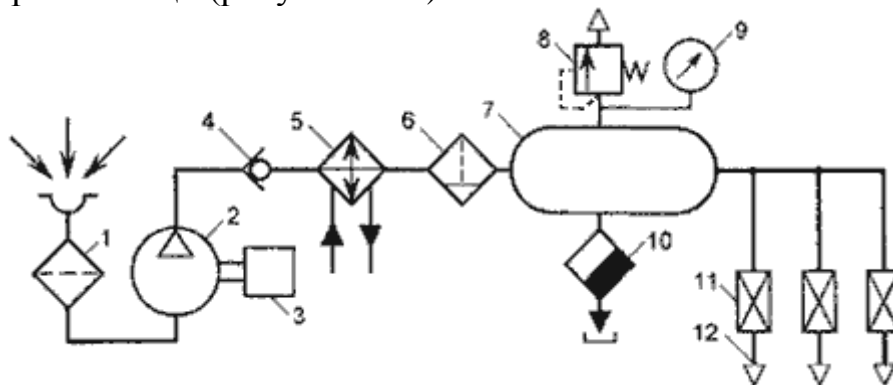


Рисунок 12.3 – Принципова схема компресорної станції

Компресор 2 із привідним двигуном 3 всмоктує повітря з атмосфери через забірний фільтр 1 і нагнітає в ресивер 7 через зворотний клапан 4, охолоджувач 5 та фільтр-вогловідділювач 6. У результаті охолодження повітря водяним охолоджувачем 5 відбувається конденсація 70 – 80 % вологи, що втримується в повітрі, вловлюється фільтром-вогловідділювачем і зі 100-відсотковою відносною вологістю повітря надходить у ресивер 7, що акумулює пневмоенергію та згладжує пульсацію тиску. У ньому відбувається подальше охолодження повітря й конденсація деякої кількості вологи, що у міру нагромадження видаляється разом із механічними домішками через вентиль 10. Ресивер обов'язково обладнується одним або декількома запобіжними клапанами 8 і манометром 9. З ресивера повітря відводиться по пневмолініях 12 через крани 11. Зворотний клапан 4 виключає можливість різкого падіння тиску в пневмережі при відключенні компресора.

Компресорний пневмопривод відрізняється від вищеописаного магістрального своєю мобільністю й обмеженістю кількості одночасно працюючих споживачів. Пересувні компресори найбільш широко використовуються при виконанні різних видів будівельних і ремонтних робіт. За комплектом пристроїв, що входять у систему підготовки повітря, він практично не відрізняється від вищеописаної компресорної станції (водяний охолоджувач замінюється на повітряний). Подача повітря до споживачів здійснюється через гумотканинні рукави.

Акумуляторний пневмопривод через обмежений запас стисненого повітря в промисловості застосовується рідко, але широко використовується в автономних системах керування механізмів із заданим часом дії. На рисунку 12.4 показані кілька прикладів акумуляторного живлення пневмосистем.

Для безперебійної подачі рідини в гідросистему або палива у двигуни внутрішнього згоряння апаратів зі змінною орієнтацією в просторі застосовується наддування бака з рідиною (рисунок 12.4, а) від пневмобалона 1.

Витиснення рідини з бака 5, розділеного мембраною на дві частини, забезпечується постійним тиском повітря, що залежить від настроювання редуційного клапана 3 при ввімкненні електровентилі 2. Граничний тиск обмежується клапаном 4.

Система орієнтації літального апарата (рисунок 12.4, б) складається з керуючих реактивних пневмодвигунів 4, що живляться від кулеподібного пневмобалона 1 через редуційний клапан 2 і електровентилі 3.

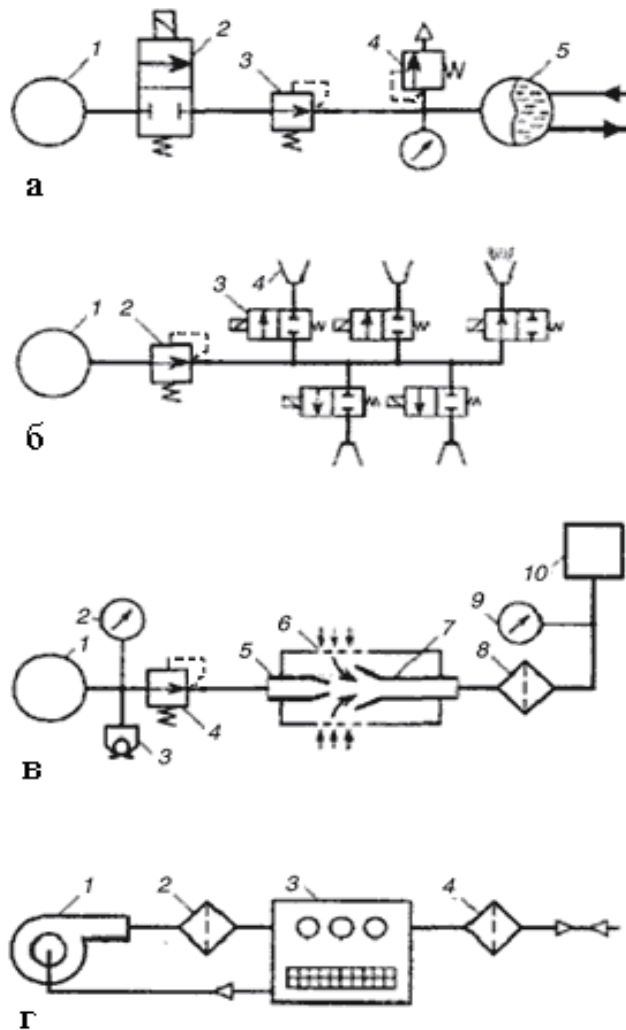


Рисунок 12.4 – Принципові схеми акумуляторного живлення пневмосистем (а, б, в) і замкнутої пневмосистеми (г)

Для живлення систем промислової пневмоавтоматики часто використовується не тільки середній (нормальний) діапазон тиску повітря (0,118...0,175 МПа), а й низький діапазон (0,0012...0,005 МПа). Це дозволяє зменшити витрату стисненого повітря, збільшити прохідний перетин елементів і, отже, знизити ймовірність засмічування пристроїв, що дроселюють, а в деяких випадках одержати ламінарний режим плин повітря з лінійною залежністю $Q = f(\Delta p)$, що досить важливо в пристроях пневмоавтоматики.

За наявності джерела високого тиску можна забезпечити живлення пневмосистеми низького тиску з більшою витратою повітря за допомогою ежектора (рисунок 12.4, в). Від пневмобалона високого тиску 1, обладнаного редуційним клапаном 4, манометром 2 та зарядним клапаном 3, повітря надходить на живильне сопло 5 ежектора. При цьому всередині корпусу ежектора створюється знижений тиск, і з навколишнього середовища через фільтр 6 підсмоктується повітря, що надходить у прийомне сопло 7 більшого діаметра. Після ежектора повітря

вдруге очищається від пилу фільтром 8 та надходить до пристроїв 10 пневмоавтоматики. Манометром 9 контролюється робочий тиск, величина якого може коректуватися редуктором 4.

Усі вищеописані пневмосистеми належать до розімкннутих (безциркуляційних). На рисунку 12.4, г показана замкнута схема живлення системи пневмоавтоматики, що використовується в умовах запиленої атмосфери. Подача повітря до блока пневмоавтоматики 3 здійснюється вентилятором 1 через фільтр 2, причому всмоктувальний канал вентилятора з'єднаний із внутрішньою порожниною герметичного кожуха блока 3, що одночасно через фільтр тонкого очищення 4 сполучається з атмосферою. Часто як вентилятор використовуються побутові електропилососи, здатні створювати тиск до 0,002 МПа.

Повітря, що надходить до споживачів, повинне бути очищеним від механічних забруднень і містити мінімум вологи. Для цього служать фільтри-вологовідділювачі, у яких як фільтрувальний елемент звичайно використовується тканина, картон, повсть, металокераміка й інші пористі матеріали з тонкістю фільтрації від 5 до 60 мкм. Для більш глибокого осушення повітря його пропускають через адсорбенти, що поглинають вологу. Найчастіше для цього використовується силікагель. У звичайних пневмоприводах достатнє осушення забезпечують ресивери й фільтри-вологовідділювачі, але разом із тим повітрю необхідно надавати мастильні властивості, для чого служать маслорозпилювачі гнотового або ежекторного типу.

На рисунку 12.5 показаний типовий вузол підготовки повітря, який складається з фільтра-вологовідділювача 1, редукційного клапана 2 і маслорозпилювача 3.

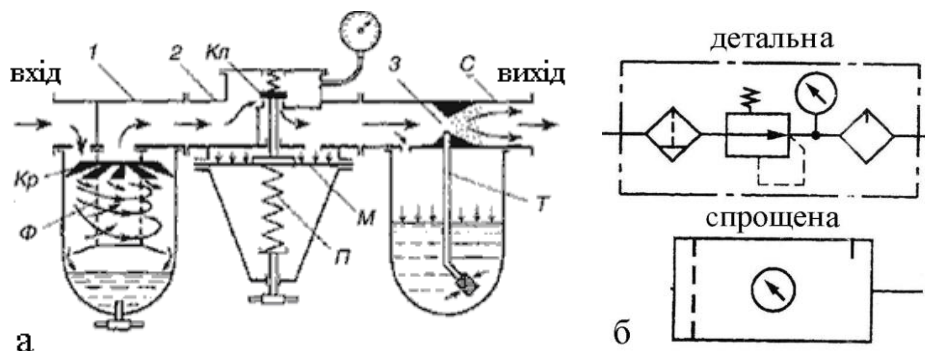


Рисунок 12.5 – Типовий вузол підготовки повітря:
а – принципова схема; б – умовне позначення

Повітря, що надходить на вхід фільтра, одержує обертовий рух за рахунок нерухливої крильчатки Кр. Відцентровою силою частки вологи та механічних домішок відкидаються до стінки прозорого корпусу й осідають у його нижню частину, звідки в міру необхідності видаляються через зливальний кран. Вторинне очищення повітря відбувається в

пористому фільтрі Ф, після якого воно надходить на вхід редуктора, де відбувається дроселювання через зазор клапана Кл, величина котрого залежить від вихідного тиску над мембраною М. Підвищення зусилля стискання пружини П забезпечують збільшення зазору клапана Кл і, отже, вихідного тиску. Корпус маслорозпилювача З виготовляється прозорим та заповнюється через пробку мастилом. Тиск, що створюється на поверхні масла, витісняє його через трубку Т нагору до сопла С, де масло ежектується й розпорошується потоком повітря. У маслорозпилювачах гнотового типу замість трубки Т установлений гніт, по якому масло надходить у розпилювальне сопло за рахунок капілярного ефекту.

11.5 Виконавчі пневматичні пристрої

Виконавчими пристроями пневмоприводів називаються різноманітні механізми, що забезпечують перетворення надлишкового тиску повітря або вакууму на робоче зусилля. Якщо при цьому робочий орган робить рух відносно пневмопристрою, то він називається пневмодвигуном, а якщо руху немає чи він відбувається разом із пневмопристроєм, то він називається пневмопритискачем, або пневмозахватом.

Пневмодвигуни можуть бути, як і гідродвигуни, обертальної чи поступальної дії та називатися відповідно пневмомоторами й пневмоциліндрами. Конструктивне виконання цих пристроїв багато в чому схоже на їхні гідравлічні аналоги. Найбільше застосування одержали шестеренні, пластинчасті й радіально-поршневі пневмомотори об'ємної дії. На рисунку 12.6, а показана схема радіально-поршневого мотора з передачею крутного моменту на вал через кривошипно-шатунний механізм.

У корпусі 1 симетрично розташовані циліндри 2 з поршнями 3. Зусилля від поршнів передається на колінчастий вал 5 через шатуни 4, прикріплені шарнірно до поршнів і кривошипа колінчастого вала. Стиснене повітря підводиться до робочих камер по каналах 8, які по черзі з'єднуються із впускним Вп і вихлопним Вх каналами розподільного золотника 6, що обертається синхронно з валом мотора. Золотник обертається в корпусі розподільного пристрою 7, до якого підведені магістралі впуску й вихлопу повітря.

Радіально-поршневі пневмомотори є відносно тихохідними машинами із частотою обертання вала до 1000...1500 об/хв. Більш швидкохідні шестеренні й пластинчасті мотори (2000...4000 об/хв), але найбільш швидкохідними (до 20000 об/хв і більше) можуть бути турбінні пневмомотори, у яких використовується кінетична енергія потоку стисненого повітря. Зокрема, такі мотори застосовуються для обертання робочих коліс вентиляторів на гірничих підприємствах.

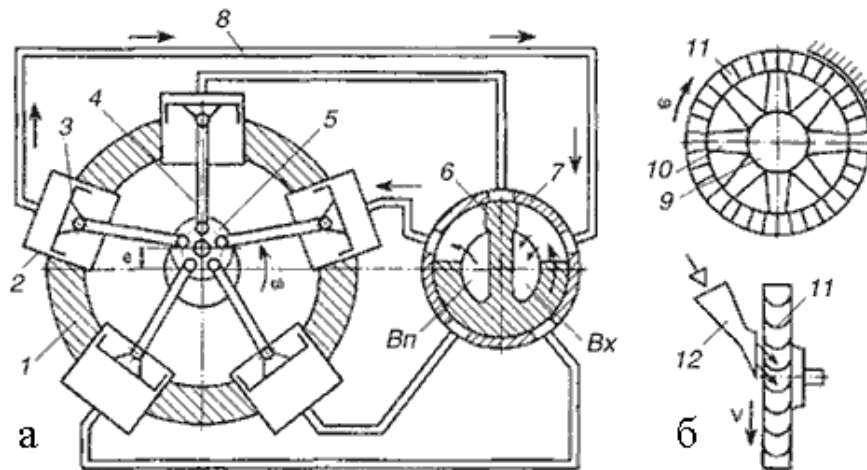


Рисунок 12.6 – Схеми пневмоторів об'ємної (а) і динамічної (б) дії

На рисунку 12.6, б показана схема пневмопривода колеса вентилятора, що складається з маточини 9 із лопатками 10, до яких жорстко прикріплений обертовий обід із лопатками пневмотора 11. Потік стисненого повітря, що витікає із сопла 12 по дотичній до вигнутих лопаток 11, віддає свою енергію й змушує обертатися колесо вентилятора з великою швидкістю. Описаний пристрій можна назвати пневмоперетворювачем, що перетворює потік повітря високого тиску на потік низького тиску з набагато більшою витратою.

Пневмопривод відрізняється більшою розмаїтістю оригінальних виконавчих пристроїв з еластичними елементами у формі мембран, оболонок, гнучких ниток, рукавів і т.п. Вони широко використовуються в затискних, фіксувальних, перемикаючих та гальмових механізмах сучасних автоматизованих виробництв. До них належать мембранні й сильфонні пневмоциліндри з відносно малою величиною робочого ходу штока. Плоска гумова мембрана дозволяє одержати переміщення штока на 0,1...0,5 від її ефективного діаметра. При виконанні мембрани у формі гофрованої панчохи робочий хід збільшується до декількох діаметрів мембрани. Такі пневмоциліндри називаються сильфонними. Вони можуть бути із зовнішнім і внутрішнім підведенням повітря. У першому випадку довжина гофрованої трубки під дією тиску зменшується, у другому збільшується за рахунок деформації гофрів. Як еластичний елемент застосовується гума, гумотканинні й синтетичні матеріали, а також тонколистова сталь, бронза, латунь.

Збільшення швидкості виконання операцій у багатьох випадках досягається застосуванням пневмозахоплювачів, схеми яких показані на рисунку 12.7.

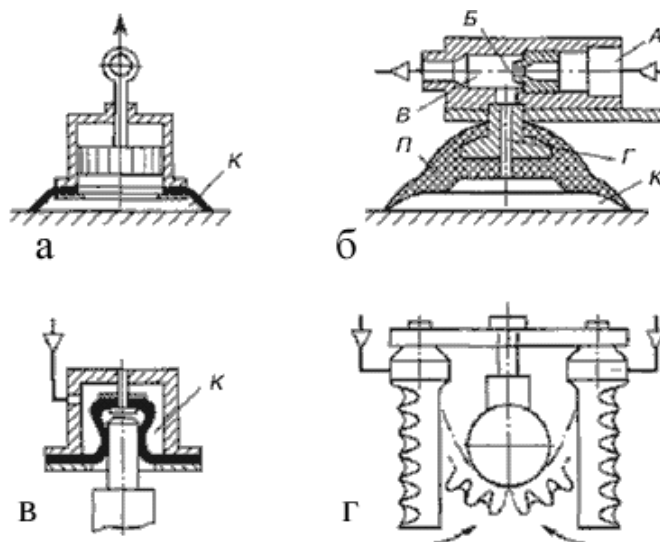


Рисунок 12.7 – Схеми пневмозахоплювачів

Для переміщення листових виробів використовуються пневмоприсоски, що належать до вакуумних захоплювачів безнасосного й насосного типу. У захоплювачах безнасосного типу (рисунок 12.7, а) вакуум у робочій камері К створюється при деформації самих елементів захоплювача, виконаних у вигляді гнучкої тарілки, що прилягає своєю крайкою до деталі, й рухливим поршнем, до якого прикладається зовнішнє зусилля. Величина вакууму при підйомі деталі пропорційна її вазі та звичайно буває не більшою 55 кПа. Для забезпечення кращого притягання, особливо для недостатньо гладкої поверхні деталі, використовують захоплювачі насосного типу, у котрих повітря з робочої камери відсмоктується насосом до глибини вакууму 70...95 кПа.

Часто застосовують прості пристрої ежекторного типу (рисунок 12.7, б), у яких кінетична енергія струменя рідини, пари або повітря використовується для відсмоктування повітря з робочої камери К, що перебуває між присоскою П і деталлю. Стиснене повітря, яке надходить на вхід А, проходить із великою швидкістю через сопло Б ежектора й створює знижений тиск у камері В і каналі Г, що з'єднаний із робочою камерою К.

Для затискача деталей циліндричної форми застосовують пневмозахоплювачі, виконані за схемами (рисунок 12.7 в, г). При підведенні повітря в робочу камеру К пружний циліндричний ковпачок охоплює шийку вала й створює зусилля, достатнє для її затискання. На схемі (рисунок 12.7, г) показаний двосторонній пневмозахоплювач, робочими елементами якого служать сільфони з одностороннім гофром. При створенні надлишкового тиску всередині сільфона гофрована сторона розтягується на більшу довжину, ніж гладка, що викликає переміщення незакріпленої (консольної) сторони трубки в напрямку

охоплюваної деталі. Такими пристроями можна фіксувати деталі не тільки круглої форми, але й з будь-якими фасонними поверхнями.

У ряді випадків виникає потреба в переміщенні робочих органів на більші відстані (до 10...20 м і більше) по прямолінійній або скривленій траєкторії. Застосування звичайних штокових пневмоциліндрів обмежене робочим ходом до 2 м. Конструкції безштокових пневмоциліндрів, що задовольняють ці вимоги, показані на рисунку 12.8.

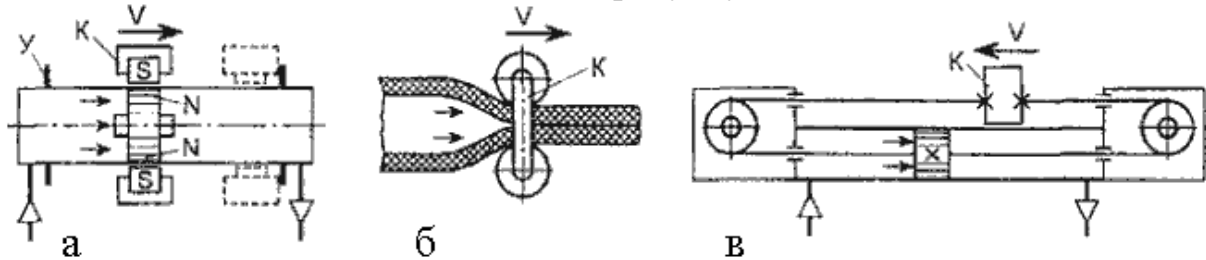


Рисунок 12.8 – Схеми безштокових пневмодвигунів поступального руху

Відсутність твердого штока дозволяє практично у два рази зменшити довжину циліндра у висунутому положенні. На схемі (рисунок 12.8, а) показаний довгоходовий пневмоциліндр із передачею зусилля через потужний постійний магніт. Абсолютно герметична гільза циліндра виконана з немагнітного матеріалу, а її внутрішня порожнина розділяється поршнем на дві камери, до яких підводиться стиснене повітря. У поршні й каретці К, з'єднаній із робочим органом, убудовані протилежні полюси магніту S і N, взаємодія яких забезпечує передачу рушійного зусилля на каретку, що сковзає по напрямних на зовнішній поверхні гільзи. Хід каретки обмежується кінцевими упорами У.

Практично необмежену довжину ходу мають пневмоциліндри з еластичною гільзою (рисунок 12.8, б), охоплюваною двома роликами, з'єднаними кареткою К. Такі пневмоциліндри дуже ефективні для переміщення штучних вантажів по складній траєкторії й у приводах із невеликими робочими зусиллями.

Пневмоциліндр із гнучким штоком показаний на схемі (рисунок 12.8, в). У такій конструкції тягове зусилля передається від поршня на каретку К через гнучкий елемент (звичайно сталевий трос, оздоблений еластичною пластмасою), що охоплює обвідний і натяжний ролики, розташовані на кришках циліндра.

Контрольні запитання

1. Які системи називаються пневматичними?
2. На які групи розділяються пневматичні системи за наявністю й за причиною руху газу?
3. Які існують три основних напрями застосування стисненого повітря?

4. У чому полягають особливості експлуатації пневматичного привода?
5. У чому полягають переваги пневмопривода порівняно з гідро- та електроприводом?
6. У чому полягають недоліки пневмопривода?
7. У чому полягають відмінності розрахунку газових систем від розрахунку гідросистем?
8. Що називається критичним відношенням тисків у розрахунках газових систем?
9. У чому полягає принципова відмінність між вентиляторами і компресорами?
10. Що називається магістральним пневмоприводом?
11. Дайте визначення компресорного пневмопривода.
12. Що називається акумуляторним пневмоприводом?
13. Які пристрої входять до типового вузла підготовки повітря? Його умовне позначення.
14. Що називається виконавчими пристроями пневмоприводів?