

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ПНЕВМОАГРЕГАТІВ

Навчальний посібник

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету



Суми
Сумський державний університет
2020

УДК 62-522.7(075.8)

К 65

Авторський колектив:

М. Г. Прокопов, кандидат технічних наук;
С. М. Ванєєв, кандидат технічних наук, доцент;
В. М. Козін, кандидат технічних наук;
Ю. С. Мерзляков, кандидат технічних наук

Рецензенти:

В. П. Парафійник – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник СКБ ПАТ «Сумське машинобудівне НВО»;
І. О. Ковальов – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету

*Рекомендовано до видання
вченою радою Сумського державного університету
як навчальний посібник
(протокол № 9 від 20 лютого 2020 року)*

Конструкції елементів пневмоагрегатів : навчальний посібник /
К 65 М. Г. Прокопов, С. М. Ванєєв, В. М. Козін, Ю. С. Мерзляков. – Суми :
Сумський державний університет, 2020. – 146 с.
ISBN 978-966-657-827-6

У навчальному посібнику подані загальні відомості про пневматичні пристрої і системи, а також розглянуті питання виробництва стиснутого повітря в компресорах з описом їх принципу дії й конструкції. Особливу увагу в посібнику приділено різним видам пневмодвигунів, їх принципу дії, конструкції, позначенню на принципових схемах. Не залишилися поза увагою пристрої з регулювання подачі, очищення, осушування і транспортування стиснутого повітря, а також безпеки експлуатації пневматичних ліній. У посібнику наведений цілісний і сучасний огляд технології отримання і використання стиснутого повітря в пневмопристроях, що є частинами виконавчих, підсилювальних і передавальних елементів у системах автоматизованого керування та регулювання.

Навчальний посібник може бути корисним для студентів енергетичних спеціальностей, а також усіх тих, хто цікавиться процесами отримання і використання стиснутого повітря в пневмопристроях, їх конструкціями, принципами дії з урахуванням вимог безпеки експлуатації.

УДК 62-522.7(075.8)

ISBN 978-966-657-827-6

© Прокопов М. Г., Ванєєв С. М.,
Козін В. М., Мерзляков Ю. С., 2020
© Сумський державний університет, 2020

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПНЕВМАТИЧНІ ПРИСТРОЇ І СИСТЕМИ.....	7
1.1 Властивості повітря.....	7
1.2 Термодинамічні процеси.....	8
1.3 Основні закономірності течії газів.....	9
1.4 Структура пневматичних систем і пристроїв.....	12
1.5 Виробництво й підготовлення стиснутого повітря.....	13
2 КОМПРЕСОРИ.....	16
2.1 Об'ємні компресори.....	16
2.2 Динамічні компресори.....	21
3 ПНЕВМОДВИГУНИ.....	26
3.1 Пневматичні циліндри.....	26
3.1.1 Пневмоциліндри одnobічної дії.....	27
3.1.2 Пневмоциліндри двобічної дії.....	29
3.1.3 Пневмоциліндри з демпфіруванням у кінці ходу.....	30
3.1.4 Пневмоциліндри з прохідним штоком.....	31
3.1.5 Тандем-пневмоциліндри.....	32
3.1.6 Позичіонування пневмоциліндрів.....	33
3.1.7 Пневмоциліндри з фіксатором штока.....	34
3.1.8 Безштокові пневмоциліндри.....	35
3.2 Захист штока пневмоциліндра від прокручування.....	38
3.3 Монтаж пневмоциліндрів.....	39
3.4 Поворотні пневматичні двигуни.....	40
3.5 Пневмомотори.....	42
3.5.1 Пластинчасті (шиберні) пневмомотори.....	43
3.5.2 Шестеренні пневмомотори.....	45
3.5.3 Поршневі пневмомотори.....	45
3.5.4 Мембранні (крокові) пневмомотори.....	47
3.5.5 Гвинтові пневмомотори.....	48
3.5.6 Турбінні пневмомотори.....	49
3.5.7 Вибір типу пневмомотора.....	53
3.6 Спеціальні пневматичні виконавчі пристрої.....	54
3.6.1 Цангові захвати.....	55
3.6.2 Пневматичні захвати.....	55
3.6.3 Вакуумні захвати.....	56
4 НАПРЯМНА І ПНЕВМОРЕГУЛЮВАЛЬНА АПАРАТУРА.....	59
4.1 Пневматичні розподільники.....	60
4.2 Моностабільні пневморозподільники.....	63
4.3 Бістабільні пневморозподільники (з фіксацією положення).....	72
4.4 Монтаж пневморозподільників.....	74
4.5 Визначення параметрів пневморозподільників.....	76

5 РЕГУЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ.....	78
5.1 Запірні елементи.....	78
5.2 Пристрої регулювання витрати.....	79
5.3 Пристрої регулювання тиску.....	85
5.4 Пневмоклапани послідовності.....	89
6 ПРИСТРОЇ ОЧИЩЕННЯ, ОСУШЕННЯ І ТРАНСПОРТУВАННЯ СТИСНУТОГО ПОВІТРЯ.....	91
6.1 Фільтри.....	91
6.2 Пристрої осушення.....	96
6.3 Ресивери.....	97
6.4 Трубопроводи. З'єднання трубопроводів.....	101
6.5 Мастилорозпилювачі та блоки підготовки повітря.....	107
7 ЕКСПЛУАТАЦІЯ ПНЕВМАТИЧНИХ ПРИВОДІВ.....	112
7.1 Технічне обслуговування пневматичних приводів.....	112
7.2 Пошук і усунення несправностей.....	114
7.3 Вимоги безпеки.....	116
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	123
Додаток А.....	124
Додаток Б.....	127
Додаток В.....	127
Додаток Г.....	128

ВСТУП

З часів індустріалізації технічні рішення зазнали істотних змін, завдяки цьому практично всі галузі промисловості одержали можливість виробляти більше одиниць товару, швидше й ефективніше. У процесах автоматизації використання пневматики стало очевидним двигуном прогресу, знайшовши безліч застосувань у сучасному світі технологій.

Зі сторінок історії світу вимальовується впізнаваний образ: людина дме на ртуть і розпалює вогонь. Це один із найпростіших і в той самий час приголомшливих прикладів пневматичного пристрою – форма життя з її природним «компресором». Наприклад, людські легені здатні переробляти 100 л/хв, або 6 м³/год, виробляючи тиск (0,02 – 0,08) бар. Основоположний принцип дії пневматики – повітря високого тиску, отримуване за допомогою компресорів. Ключ її успіху в тому, що енергія стиснутого повітря здатна надавати механізмам руху, водночас гарантуючи останнім тривалий термін служби. Стиснуте повітря вигідне, оскільки воно потребує менших витрат в обслуговуванні і простих умов зберігання. Іншими словами, пневматика приборкує стиснуте повітря, застосовуючи його для ефективної роботи на благо людства. Незважаючи на те, що стиснуте повітря використовують ще з часів античності, пневматику в промислових секторах почали активно застосовувати лише на початку XIX століття, спочатку з метою очищення за допомогою обдування. Згодом стиснуте повітря стали використовувати на виробництві для реалізації автоматичних циклів. За останні десять років пневматика набула нового імпульсу, зітхнула по-новому, багато в чому завдяки тісній взаємодії з електронікою, пройшовши шлях від мініатюризації модулів до вбудованих промислових комп'ютерів. Сьогодні, об'єднавши пневматику й електроніку буквально в одному корпусі, пневмообладнання приваблює розробників і конструкторів усього світу простотою керування і високою швидкодією. Це стало новим етапом сходження пневматики на олімп промислової автоматизації, який у подальшому дозволив не лише автоматизувати системи, але й наділити їх особливим інтелектом. Завдяки сучасним комунікаційним інтерфейсам, таким як Ethernet, програмовані контролери утворили разом із пневмоостровами компактні модулі, втіливши концепцію дійсно інтелектуальної системи, що здатна спілкуватися, регулювати і взаємодіяти. Нові технології, інтегровані в пневмокомпоненти і системи, вивели промислову автоматизацію на базі стиснутого повітря на принципово новий рівень.

Перед докладними викладками щодо пневматичних пристроїв із метою підвищення сприйняття інформації розглянемо основні поняття зі світу пневмотехніки, оцінимо їх переваги та недоліки.

Пневмоагрегат – це агрегат, що складається з джерела стиснутого повітря, пневматичних пристроїв і пневматичної системи керування.

Пневматичні пристрої поділяють на три основні групи:

- 1) виконавчі;
- 2) розподільні;
- 3) керувальні.

Виконавчі пристрої призначені для перетворення енергії стиснутого повітря на механічну енергію вихідної ланки привода, що впливає на робочий орган машини. У машинобудуванні виконавчими пристроями здебільшого є пневмодвигуни.

Розподільні пристрої призначені для зміни напрямку потоків стиснутого повітря в лініях, що з'єднують пристрої в приводі.

Керувальні пристрої призначені для забезпечення заданої послідовності переміщення виконавчих пристроїв.

Пневматичні системи керування (ПСК) поряд з електричними і гідравлічними є ефективними засобами автоматизації та механізації виробничих процесів. Найбільш часто їх застосовують для затиснення деталей, їх фіксації, в процесах складання, контролю лінійних розмірів, під час транспортування і пакування.

Переваги ПСК над електричними і гідравлічними:

- 1) відносна простота конструкції, експлуатації та обслуговування;
- 2) низька вартість;
- 3) надійність роботи в широкому діапазоні температур, за високої вологості, запиленості;
- 4) пожежо- та вибухобезпечність;
- 5) тривалий термін служби (10 – 20 тисяч годин);
- 6) легкість отримання і простота передавання енергоносія (стиснутого повітря);
- 7) можливість постачання стисненим повітрям великої кількості споживачів від одного джерела;
- 8) відсутність необхідності в захисних пристроях у разі перевантажень.

Основні недоліки ПСК:

- 1) порівняно низька швидкість передавання сигналу на великі відстані;
- 2) складність забезпечення плавного переміщення робочих органів пневматичних виконавчих пристроїв у разі коливання навантаження;
- 3) відносно висока вартість отримання енергоносія (стиснутого повітря).

Рівні тиску (надлишкового), застосовувані в пневматичній техніці:

- 1) високий – (0,2 – 1,6) МПа;
- 2) середній – (0,1 – 0,25) МПа;
- 3) низький – (0,01 – 0,1) МПа.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПНЕВМАТИЧНІ ПРИСТРОЇ І СИСТЕМИ

1.1 Властивості повітря

Робочим тілом у пневмосистемах є *стиснуте повітря*. Воно являє собою механічну суміш азоту, кисню (за об'ємом близько 78 і 21 % відповідно) та інших газів, що містяться в незначній кількості (неон, гелій, криптон, водень, аргон, вуглекислий газ тощо). У повітрі міститься також водяна пара. На практиці під час термодинамічних розрахунків використовують параметри сухого повітря. Поправку на вологість вносять лише за особливих вимог до точності.

Основними термодинамічними параметрами, що характеризують стан повітря, як і інших газів, є тиск p , температура T і питомий об'єм ν (або густина ρ).

Рівняння стану має такий загальний вигляд: $F(p, \rho, T) = 0$. Повітря для пневмосистем підпорядковується законам ідеального газу: Бойля – Маріотта $p\nu = \text{const}$ ($T = \text{const}$); Гей-Люссака $\nu/T = \text{const}$ ($p = \text{const}$); Шарля $p/T = \text{const}$ ($\nu = \text{const}$); усі ці рівняння об'єднані в одне, що є рівнянням стану ідеального газу і називається *рівнянням Менделєєва – Клапейрона* ($p\nu = mRT$, або для одиниці маси газу $p\nu = RT$). Коефіцієнт пропорційності R називається *питомою газовою сталою* ідеального газу масою 1 кг, що здійснює роботу 1 Дж в разі підвищення температури на 1 К. Його значення залежить лише від властивостей газу. Питома та універсальна газові сталі пов'язані співвідношенням $R = \mu R / M = 8314 / M$. Для сухого повітря $R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, молекулярна маса повітря $M = 28,96 \text{ кг/кмоль}$.

Реальний газ відрізняється від ідеального в основному відмінністю сил внутрішнього тертя. Чим більшою є густина реального газу, тим більше він відрізняється від ідеального. Динамічний коефіцієнт в'язкості μ , Па·с, що визначається силами внутрішнього тертя, пов'язаний із кінематичним коефіцієнтом в'язкості ν , $\text{м}^2/\text{с}$, такою залежністю: $\nu = \mu/\rho$.

Властивості повітря в основному залежать від температури й тиску. У таблицях зазвичай властивості повітря та інших газів наводяться за *нормальних фізичних умов*, тобто за температури 0°C ($273,15 \text{ K}$) і тиску 760 мм рт. ст. ($101\,325 \text{ Па}$). За цих умов для повітря:

- показник ізоентропи (адіабати) $k = 1,40$;
- кінематичний коефіцієнт в'язкості $\nu = 13,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- динамічний коефіцієнт в'язкості $\mu = 17,04 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- питома масова ізобарна теплоємність $c_p = 1\,005 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;
- питома масова ізохорна теплоємність $c_v = 718 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Залежність масової ізобарної теплоємності повітря від температури має вигляд, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$:

$$c_p = 4,19 \cdot (0,24 + 0,95 \cdot 10^{-5} t). \quad (1.1)$$

Взаємозв'язок теплоємностей c_p і c_v визначається *рівнянням Майєра*:

$$c_p = c_v + R. \quad (1.2)$$

Залежність динамічної в'язкості газів від температури виражається *формулою Сазерленда*:

$$\mu = \mu_0 \frac{273 + C}{T + C} \left(\frac{T}{273} \right)^{3/2}, \quad (1.3)$$

де μ_0 – динамічна в'язкість газу за температури 0°C ;

C – стала, що залежить від природи газу (для повітря $C = 111$).

1.2 Термодинамічні процеси

Термодинамічним процесом називають зміну стану системи, що характеризується зміною термодинамічних параметрів.

Під час опису термодинамічних процесів використовують такі величини, як *теплоємність, внутрішню енергію, ентальпію, ентропію*.

Теплоємність характеризує кількість теплоти, необхідної для нагрівання речовини на 1°C (1 K). На практиці найчастіше використовують *питому масову теплоємність* – кількість теплоти, необхідної для нагрівання 1 кг речовини на 1 K .

Теплоємність залежить від характеру процесу, за якого підводиться теплота. Для 1 кг речовини розрізняють питому масову теплоємність за сталого тиску (питому масову ізобарну теплоємність) c_p і питому масову теплоємність за сталого об'єму (питому масову ізохорну теплоємність) c_v . Відношенням цих теплоємностей є *показник адіабати* (ізоентропи) газу, він також є показником ступеня ізоентропного процесу:

$$k = c_p / c_v. \quad (1.4)$$

Теплоємність залежить також від температури, тому розрізняють *істинну теплоємність*, що належить до конкретної температури, і *середню теплоємність*, що належить до різниці температур. Часто в пневмоагрегатах коливання температури відносно незначні і теплоємність наближено можна вважати величиною сталою.

Внутрішня енергія U – це власна енергія нерухомого тіла (системи). Вона залежить лише від його внутрішнього стану і вміщує енергію хаотичного (теплого) руху всіх мікрочастинок (молекул, атомів, іонів тощо), енергію взаємодії цих частинок, внутрішньоядерну енергію і т. ін. Внутрішню енергію тіла або системи можна визначити як суму кінетичної енергії всіх молекул, атомів та інших мікрочастинок і потенціальної енергії їх взаємодії одна з одною. У термодинамічних розрахунках використовують не абсолютне значення внутрішньої енергії, а її зміну в різних процесах. Внутрішню енергію одиниці маси речовини називають *питомою внутрішньою енергією*. Внутрішня

енергія ідеального газу складається лише з кінетичної енергії його молекул і залежить від температури, Дж:

$$dU = mc_v dT. \quad (1.5)$$

Ентальпією H системи називають функцію стану, що дорівнює сумі внутрішньої енергії і добутку тиску на об'єм, який займає газ, Дж:

$$H = U + pV, \quad (1.6)$$

або для одиниці маси газу, Дж/кг:

$$h = u + p\nu. \quad (1.7)$$

Ентропією S системи є функція її стану. Зміна ентропії є ознакою обміну енергією системи з навколишнім середовищем у формі теплоти, Дж/К:

$$dS = dQ/T, \quad (1.8)$$

де Q – кількість теплоти, Дж.

Перший закон термодинаміки – це закон збереження і перетворення енергії щодо термодинамічних систем. Він формулюється так: підведена до системи теплота Q витрачається на зміну внутрішньої енергії U системи і на здійснення роботи зміни об'єму (зовнішньої роботи) системи L :

$$dQ = dU + dL, \quad (1.9)$$

або в питомих величинах, Дж/кг:

$$dq = du + dl, \quad (1.10)$$

де $dl = pd\nu$; l – питома зовнішня робота газу, Дж/кг.

З рівняння першого закону термодинаміки, як окремі випадки, можуть бути одержані рівняння для всіх основних елементарних процесів: ізохорного, ізобарного, ізотермічного, адіабатного, політропного. Ці процеси відбуваються за сталого значення теплоємності, причому найбільш загальним випадком є політропний процес, що характеризується сталим показником політропи:

$$n = (c_p - c) / (c_v - c). \quad (1.11)$$

З рівняння (1.11) теплоємність політропного процесу буде дорівнювати

$$c = c_v (n - k) / (n - 1). \quad (1.12)$$

У рівнянні адіабати (ізоентропи) $p\nu^k = \text{const}$ показник адіабати для повітря $k \approx 1,4$. У рівнянні політропи $p\nu^n = \text{const}$ показник політропи n для різних процесів може набувати будь-яких числових значень, але в кожному конкретному процесі є сталою величиною.

1.3 Основні закономірності течії газів

В елементах пневмоагрегатів зазвичай здійснюється стаціонарний рух одного або декількох потоків газу. Для визначення параметрів цих потоків застосовують основні рівняння термодинаміки і механіки одновимірного руху.

Рівняння нерозривності потоку: за сталого руху газу масова витрата однакова в усіх перерізах каналу:

$$\dot{m} = \rho w f = \text{const}, \quad (1.13)$$

де w – швидкість течії газу; f – площа поперечного перерізу каналу.

Рівняння I закону термодинаміки для відкритої однопотокової системи: теплота, що підводиться до потоку ззовні, витрачається на збільшення ентальпії робочого тіла, вироблення технічної роботи і зміну кінетичної та потенціальної енергії положення потоку:

$$q_{зовн} = (h_2 - h_1) + l_{мех} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + g(z_2 - z_1), \quad (1.14)$$

де z_1 і z_2 – висота центра ваги поперечного перерізу потоку в перерізах 1–1 і 2–2;

$q_{зовн}$ – теплота, що підводиться до 1 кг робочого тіла з навколишнього середовища;

$l_{мех}$ – технічна робота, що здійснюється 1 кг робочого тіла.

Рівняння збереження механічної енергії (рівняння Бернуллі): підведена ззовні технічна робота витрачається на збільшення потенціальної енергії тиску, зміну кінетичної та потенціальної енергії положення потоку, а також покриття втрат:

$$-l_{мех} = \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\rho} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + l_{мер}. \quad (1.15)$$

За відсутності технічної роботи та незначної зміни густини робочого тіла рівняння Бернуллі записується у вигляді

$$\frac{w_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gz_1 = \frac{w_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + gz_2 + l_{мер}. \quad (1.16)$$

Витікання газу з необмеженого об'єму. Під час ізоентропного руху газу за умови витікання з необмеженого об'єму (початкова швидкість дорівнює нулю) масова витрата визначається за формулою, якою часто користуються під час розрахунків пневмосистем:

$$\dot{m} = \varphi f_2 p_1 \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (1.17)$$

де p_1 і p_2 – відповідно тиск газу в необмеженому об'ємі й у вихідному перерізі короткого каналу або сопла, через яке відбувається витікання; φ – коефіцієнт витрати; f_2 – площа вихідного перерізу звужуваного сопла або циліндричного каналу; T_1 – абсолютна температура газу, що міститься в необмеженому об'ємі; R – питома газова стала.

Коефіцієнт витрати φ є відношенням дійсної витрати повітря до теоретичної, за яку зазвичай беруть витрату газу при ізоентропному процесі витікання за такого самого відношення тисків. Він ураховує зміну витрати внаслідок взятих припущень і зазвичай визначається експериментально.

За певного відношення тисків, яке називають *критичним*,
 $\left(\frac{p_{2кр}}{p_1}\right) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$, витрата досягає максимального значення. За $k=1,4$ (для повітря) $\left(\frac{p_{2кр}}{p_1}\right) \approx 0,528$.

Процес витікання газу із звужуваного сопла за відношення тисків, меншого, ніж критичне, називають *докритичним* і витрату визначають за формулою (1.17). Якщо відношення тисків більше від критичного, то процес називають *критичним* (або *трансзвуковим*) і витрату визначають за формулою, кг/с:

$$\dot{m}_* = \frac{\varphi f_2 p_1 J}{\sqrt{RT_1}}, \quad (1.18)$$

де $J = f(k) = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$ – стала, що залежить від природи газу.

Для повітря:

$$\dot{m}_* = 0,0404 \varphi f_2 p_1 / \sqrt{T_1}, \quad (1.19)$$

де \dot{m}_* – у кг/с; f_2 – у м²; p_1 – у Па; T_1 – у К.

У разі використання комбінованих сопел (типу сопло Лаваля) і відношенні тисків, більшому від критичного, отримують *надкритичний* режим витікання.

Розрізняють два види режимів руху: *ламінарий* (шари потоку рухаються рівномірно, не змішуючись) і *турбулентний* (частинки потоку мають як поздовжню, так і поперечну складові швидкості, що призводить до перемішування потоку). Перехід від одного виду руху в каналі до іншого відбувається за певних умов, що характеризуються *критичним числом Рейнольдса*, яке під час руху в каналах дорівнює $Re_{кр} = 2320$. У загальному випадку число Рейнольдса визначають за формулою

$$Re = \frac{2r_2 w}{\nu} = \frac{2r_2 w \rho}{\mu}, \quad (1.20)$$

де w – середня за перерізом каналу швидкість руху; r_2 – гідравлічний радіус, тобто відношення площі поперечного перерізу каналу до його периметра.

Для круглого перерізу

$$Re = w \rho d / \mu, \quad (1.21)$$

де d – діаметр каналу.

Умовно вважають, що за $Re < Re_{кр}$ має місце ламінарний режим руху, за $Re > Re_{кр}$ – турбулентний. Перехідний режим руху в теорії пневмоагрегатів зазвичай не розглядають.

1.4 Структура пневматичних систем і пристроїв

Пневматична система – це технічна система, що складається з пристроїв, які перебувають у безпосередньому контакті з робочим газом (повітрям).

Енергію стиснутого повітря промислових пневматичних систем використовують для надання руху механізмам і машинам, автоматичного керування технологічними процесами, піскоструминного очищення, перемішування розчинів, розпилення фарб, транспортування сипких матеріалів, дуття в доменні печі тощо. Найширшого застосування енергія стиснутого повітря набула в пневмоприводах.

Промислові пневмоприводи класифікуються за різними ознаками, наведеними на рисунку 1.1.

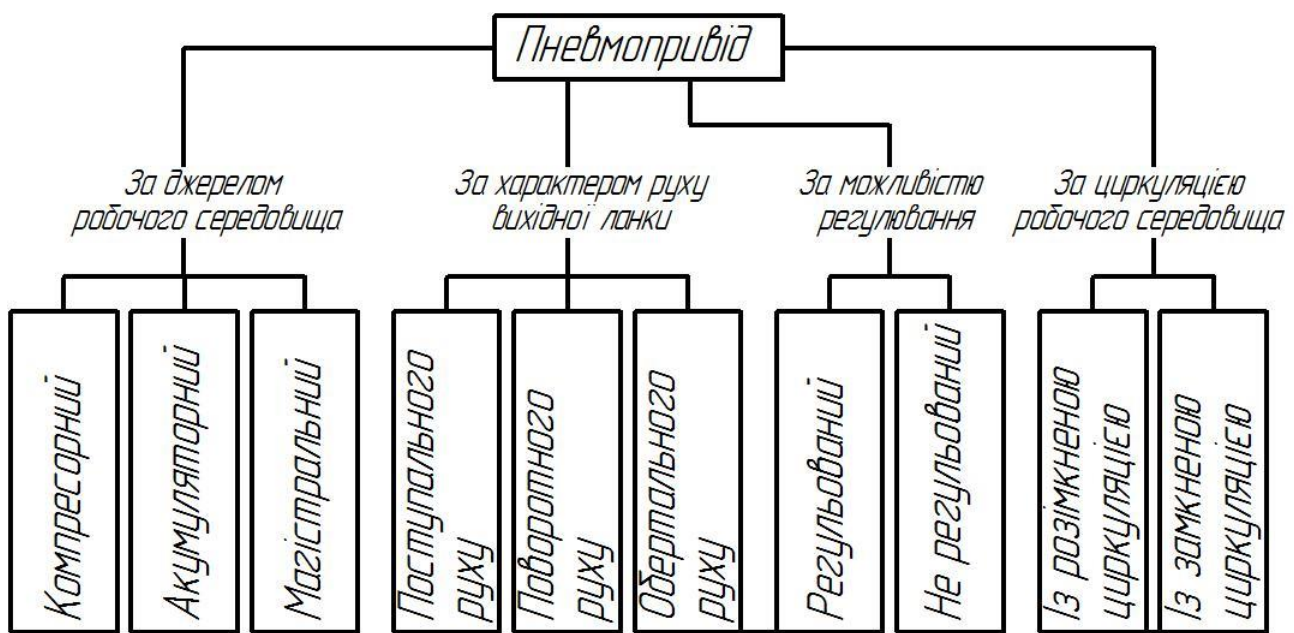


Рисунок 1.1 – Класифікація пневмоприводів

У *компресорному пневмоприводі* стиснуте повітря подається в пневмодвигун компресором. В *аккумуляторному приводі* стиснуте повітря надходить до пневмодвигуна з пневмоаккумулятора, попередньо зарядженого від зовнішнього джерела, що не входить до складу привода. Найбільш широкого використання в промисловості набули *магістральні пневмоприводи*, в яких стиснуте повітря подається до пневмодвигунів від пневмомагістралей (заводської, цехової тощо), що не входить до складу привода.

Елементи, що входять до складу пневмопривода, наведені на рисунку 1.2.

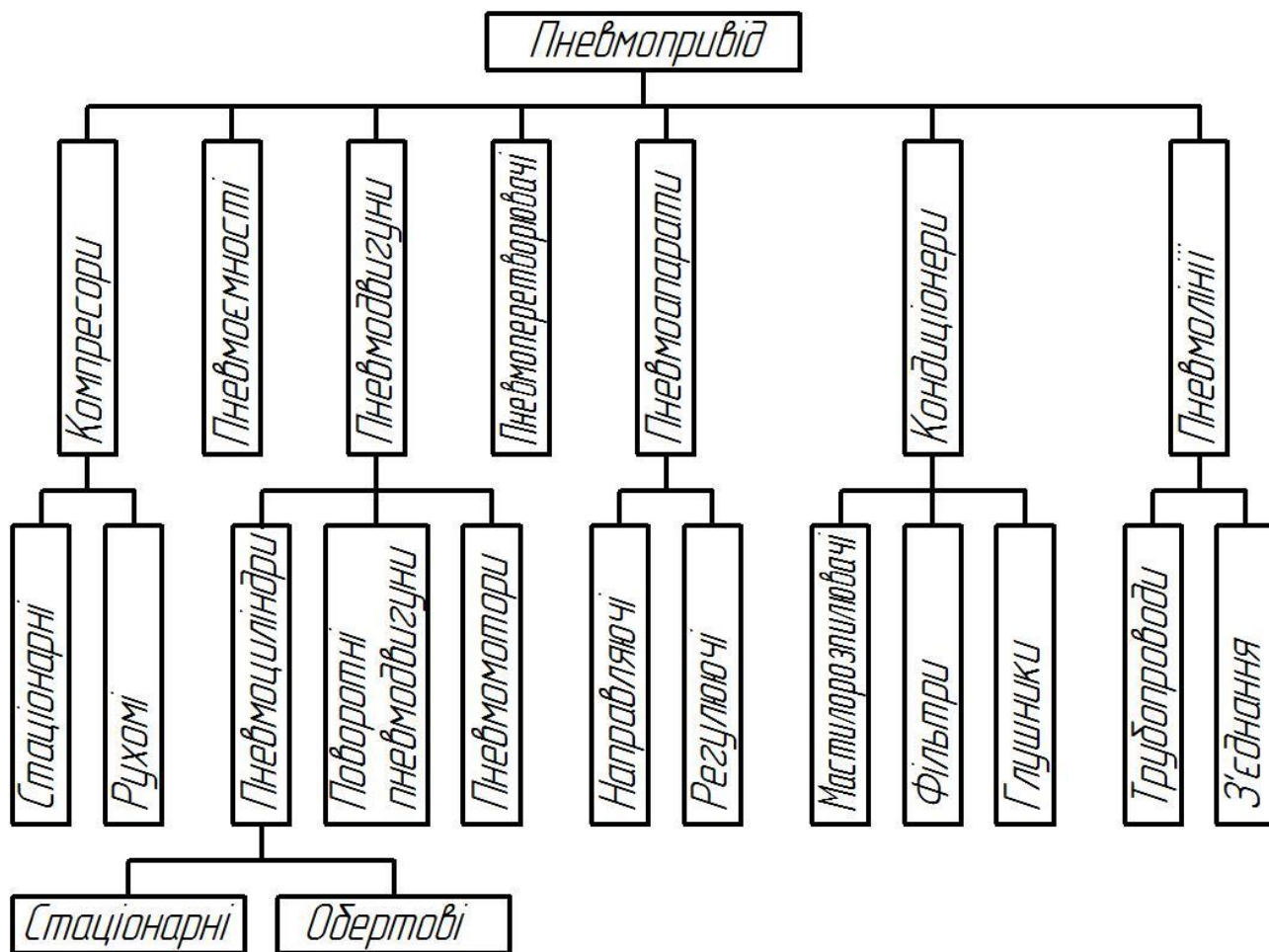


Рисунок 1.2 – Основні елементи пневмопривода

1.5 Виробництво і підготовки стиснутого повітря

На виробництво стиснутого повітря витрачається близько 20 % від усієї електроенергії, що споживається промисловістю. Тому воно є одним із найбільш вартісних енергоносіїв, використовуваних у сучасному виробництві. На підприємствах, де широко використовують пневматичні приводи і системи, зазвичай існує *центральна мережа живлення стиснутим повітрям*. Діапазон тисків у ній, який використовують як у нашій країні, так і за кордоном, становить (0,4 – 1,0) МПа ((4 – 10) бар).

Для того щоб перетворити повітря з довкілля на робоче тіло пневматичного привода, над ним необхідно провести ряд послідовних дій: стиснути до необхідного значення тиску, осушити та очистити. Для нормальної роботи пневмоприводів необхідно, щоб забрудненість стиснутого повітря не перевищувала допустимого рівня. Основні забруднювачі повітря – вода і компресорне мастило в рідкому й пароподібному станах, а також тверді та газоподібні речовини.

Джерелом води, що міститься в стиснутому повітрі, є водяна пара, яка засмоктується компресором разом з атмосферним повітрям. Для характеристики вологовмісту (вологості) повітря використовують поняття *абсолютної і відносної вологості*.

Абсолютна вологість $f_{абс}$ ($кг/м^3$) – це маса водяної пари, що міститься в $1 м^3$ повітря.

Відносна вологість повітря – це відношення абсолютної вологості повітря за даної температури $f_{абс}$ до його максимально можливої абсолютної вологості за тієї самої температури $f_{абс. max}$:

$$\varphi = \frac{f_{абс}}{f_{абс. max}} = \frac{p_n}{p_s}, \quad (1.22)$$

де p_n – парціальний тиск водяної пари за температури t ; p_s – тиск насичення водяної пари за тієї самої температури.

Вологовміст – це відношення маси водяної пари до маси сухого повітря в загальному об'ємі вологого повітря, $кг/кг$:

$$d = \frac{M_n}{M_{с.в}} = \frac{\rho_n}{\rho_{с.в}} = 0,622 \frac{\varphi p_s}{B - \varphi p_s}, \quad (1.23)$$

де B – атмосферний тиск; φ – відносна вологість повітря.

Здатність деякого сталого об'єму стиснутого повітря утримувати пару води залежить від температури і не залежить від тиску (рис. 1.3).

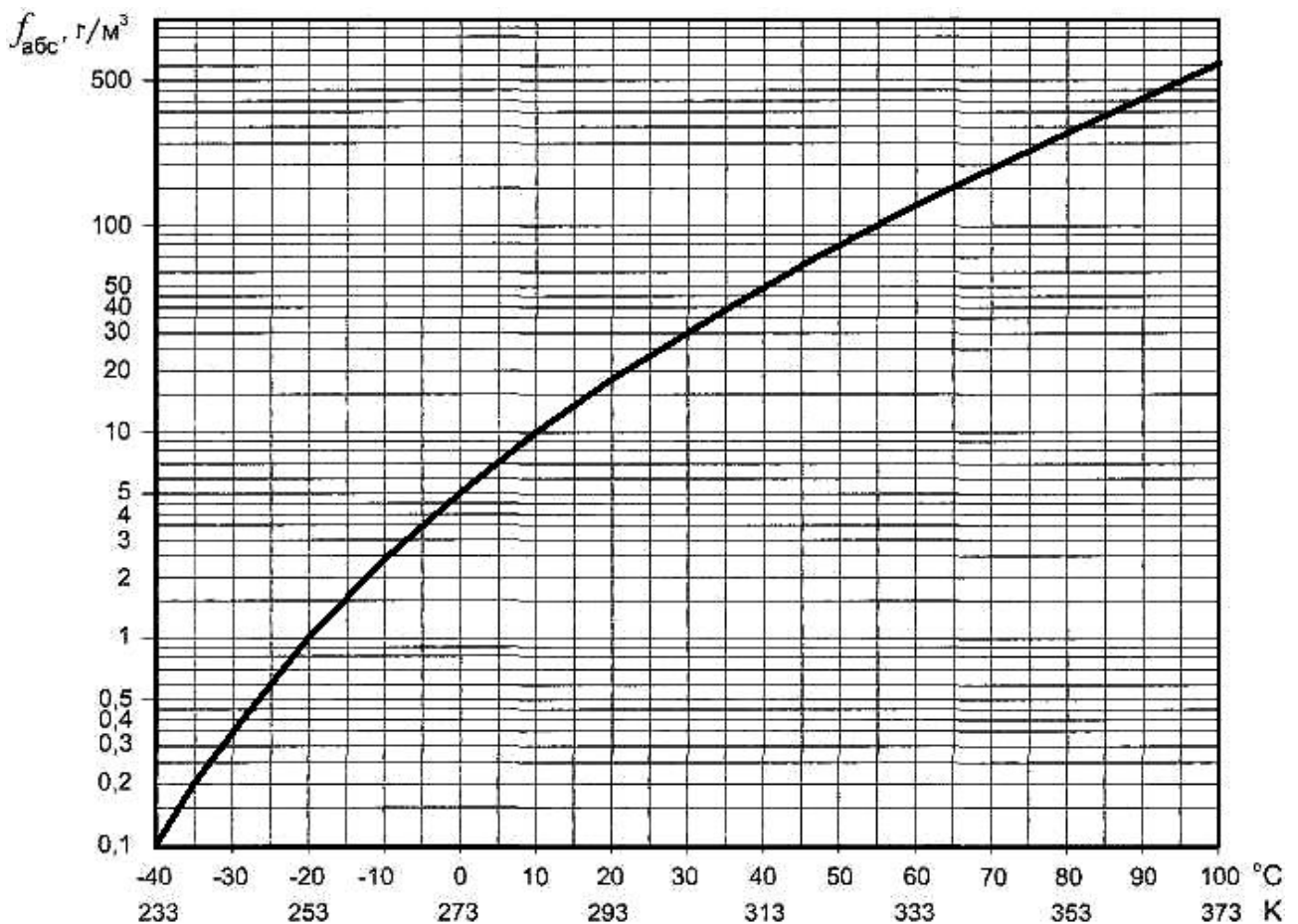


Рисунок 1.3 – Залежність абсолютної вологості повітря від температури

У разі зниження температури повітря насичується водяною парою, його відносна вологість зростає. На момент, коли відносна вологість досягає значення 100 % (стан насичення), починається конденсація надлишкової

кількості водяної пари і з'являється вода (конденсат). Температура, за якої має місце це явище, називається *температурою точки роси*. За більш високої температури конденсації водяної пари не спостерігається. Тому температуру точки роси часто зазначають як межу вмісту в повітрі водяної пари.

Джерелами забруднення стиснутого повітря мастилом можуть бути мастильні матеріали компресорів і пневматичних пристроїв, пара та розпилена в доквіллі мастило. У стиснутому повітрі мастило зазвичай перебуває в пароподібному і рідкому станах. Гранична концентрація пари мастила в повітрі, як і пари води, зменшується зі зниженням температури і підвищенням тиску. Потрапляння в трубопровід мастильних матеріалів компресорів зазвичай є основною причиною забруднення стиснутого повітря.

Якісним вважається таке стиснуте повітря, в якому вміст пари води і мастила настільки низький, що виключається утворення крапель і льоду в елементах і пристроях за будь-яких можливих температур доквілля, а рівень вмісту пилу не призводить до закупорювання їх найвужчих ділянок (див. додаток В).

Таким чином, для отримання якісного стиснутого повітря до джерела живлення стисненим повітрям повинні входити:

- компресор;
- фільтр для очищення повітря від пилу;
- масловіддільник;
- пристрої осушення та охолодження стиснутого повітря;
- ресивер (ємність для створення резервного запасу повітря).

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 З яких елементів складаються пневмоагрегати?
- 2 Які основні термодинамічні параметри характеризують стан повітря?
- 3 Яким законам ідеального газу підпорядковується повітря для пневмосистем?
- 4 Що таке ентальпія, ентропія? Як співвідносяться ці терміни з першим і другим законами термодинаміки?
- 5 Який фізичний зміст має рівняння нерозривності потоку?
- 6 Що показує коефіцієнт витрати?
- 7 Що визначає критичний тиск при витіканні газу з необмеженого об'єму? Яке значення критичного тиску для повітря?
- 8 У чому полягає відмінність компресорного, акумуляторного і магістрального пневмоприводів?
- 9 З яких основних елементів складається пневмопривод?
- 10 Що таке абсолютна і відносна вологість повітря?

2 КОМПРЕСОРИ

За фізичним принципом дії розрізняють компресори об'ємного і динамічного типів. Класифікація компресорів за конструктивним виконанням набагато ширша (рис. 2.1).

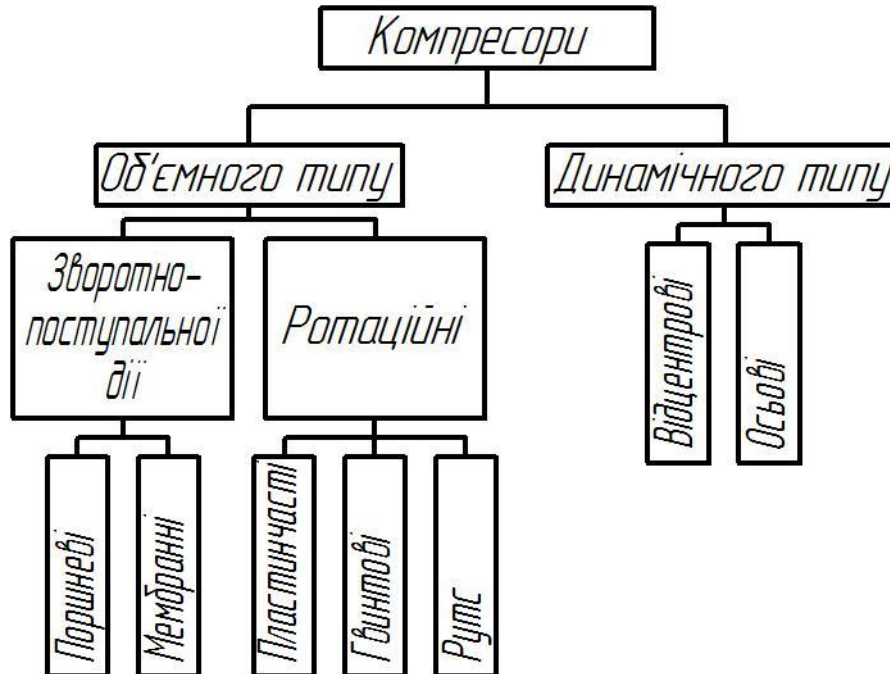


Рисунок 2.1 – Класифікація компресорів

В об'ємних компресорах, що працюють за принципом витіснення, повітря замикають у робочій камері і потім зменшують його об'єм, унаслідок цього збільшується тиск. Потім робоча камера з'єднується з відповідним (нагнітальним) трубопроводом.

У динамічних компресорах повітря надходить на робочий орган, що «повідомляє» йому кінетичну енергію, яка в проточній частині компресора перетворюється на потенціальну енергію тиску.

Для отримання високих тисків за невеликої продуктивності використовують компресори об'ємного типу (за винятком компресорів Рутса), а для отримання великих витрат за відносно малого тиску – компресори динамічного типу.

2.1 Об'ємні компресори

Найбільш широкого використання набули *поршневі компресори*.

Існує безліч типів поршневих компресорів. Вони бувають простої й подвійної дії, одно- і багатоступеневі, одно- та багатопциліндрові, з повітряним і водяним охолодженням.

Основними деталями поршневого компресора простої дії (рис. 2.2) є: циліндр 2 з нагнітальним 7 і всмоктувальним 1 клапанами в кришці 6;

поршень 3; кривошипно-шатунний механізм 5, що перетворює обертальний рух приводного вала 4 на зворотно-поступальний рух поршня.

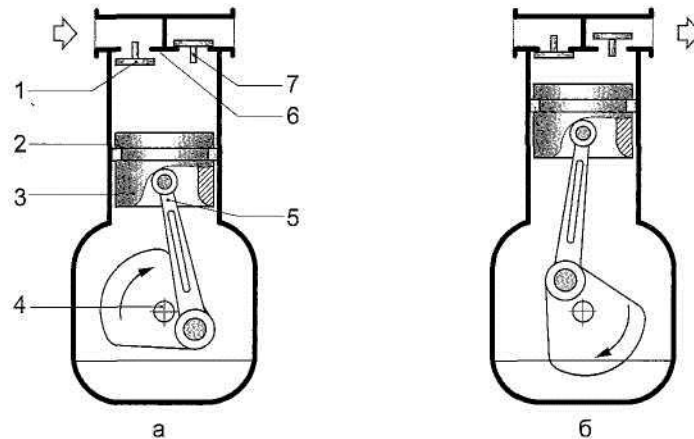


Рисунок 2.2 – Поршневий компресор простої дії:

а – зворотний хід; б – прямий хід;

1 – всмоктувальний клапан; 2 – циліндр; 3 – поршень; 4 – приводний вал;
5 – кривошипно-шатунний механізм; 6 – клапанна кришка; 7 – нагнітальний клапан

Під час руху поршня до нижньої «мертвої точки» (зворотний хід – рис. 2.2 а) робоча камера компресора, утворена замкненим об'ємом між поршнем 3 і кришкою 6 циліндра, збільшується, і в ній створюється вакуум. Під дією атмосферного тиску відкривається всмоктувальний клапан 1, через який у циліндр надходить повітря. У цей час нагнітальний клапан 7 утримується в закритому положенні під дією вакууму в робочій камері і високого тиску в нагнітальному трубопроводі. Після досягнення поршнем 3 крайнього нижнього положення починається процес його руху до верхньої «мертвої точки» (прямий хід – рис. 2.2 б). Об'єм робочої камери починає зменшуватися, тиск у ній зростає, і всмоктувальний клапан закривається. Нагнітальний клапан відкривається тоді, коли тиск у циліндрі перевищить тиск на лінії нагнітання. Повний цикл такого компресора відбувається за два ходи поршня – зворотний і прямий, тобто за один оборот приводного вала.

Для збільшення продуктивності іноді застосовують поршневі компресори подвійної дії (рис. 2.3).

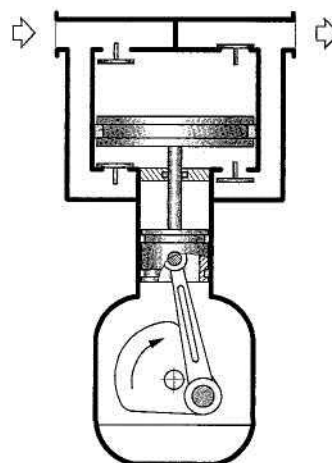


Рисунок 2.3 – Поршневий компресор подвійної дії

Компресор, виконаний за такою конструктивною схемою, має дві робочі камери при одному поршні, а всмоктувальні й нагнітальні клапани встановлені в обох кришках. Під час ходу поршня донизу у верхній робочій камері відбувається процес усмоктування, а в нижній – процес нагнітання. Під час руху поршня вгору стиснуте повітря подається на напірну лінію з верхньої робочої камери, в той час як процес усмоктування здійснюється в нижній. Продуктивність компресора подвійної дії практично вдвічі вища від продуктивності компресора традиційної конструкції за однакових об'ємів робочих камер.

Одноступеневі компресори дозволяють отримати стиснуте повітря з надлишковим тиском до 1,3 МПа (13 бар), а їх продуктивність може досягати 20 тис. м³/год.

Для досягнення більш високих значень тиску стиснутого повітря використовують поршневі компресори багатоступеневого виконання. Двоступеневий компресор (рис. 2.4) дозволяє отримати стиснуте повітря з надлишковим тиском до 10 МПа.

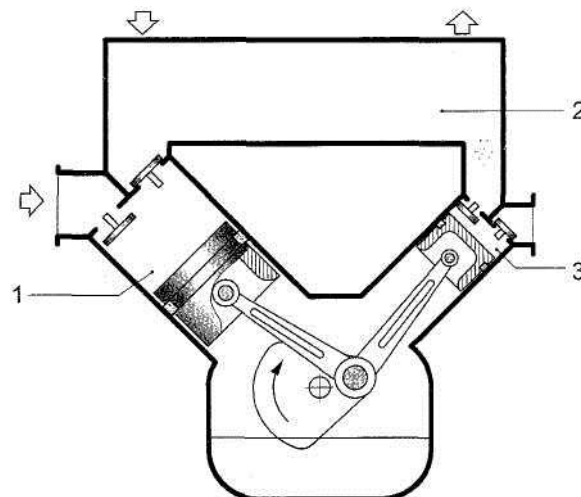


Рисунок 2.4 – Двоступеневий поршневий компресор простої дії:
1 – перший ступінь; 2 – охолоджувач; 3 – другий ступінь

Всмоктуване повітря попередньо стискається в першому ступені 1, проходить проміжне охолодження, а потім піддається стисненню у другому ступені 3. Збільшення ступеня стиснення повітря забезпечується тим, що об'єм робочої камери другого ступеня менший, ніж першого. Необхідність охолодження стиснутого повітря виникає у зв'язку з інтенсивним нагріванням повітря в процесі стиснення, особливо якщо ступінь стиснення значний, а також із метою зменшення питомої роботи стиснення. Для цього в конструкцію компресора вводять охолоджувач 2.

Поршневі компресори подають повітря в нагнітальний трубопровід нерівномірно, окремими порціями. Ступінь нерівномірності збільшується ще й унаслідок того, що швидкість руху поршня не постійна, а змінюється за синусоїдальним законом. З метою згладжування нерівномірності подання повітря,

а отже, і пульсацій тиску на лінії нагнітання застосовують багатопоршневі компресори, ходи поршнів яких зрушені за фазою.

Всі розглянуті конструкції мають один істотний недолік: у картер поршневих компресорів заливають мастило, призначене для змащування поверхонь. Високі температури в поршневому просторі компресорів і на початковій ділянці лінії живлення призводять до пароутворення і часткового термічного розкладання мастила. В результаті частина мастила окиснюється і у вигляді нагару і лакоподібної плівки осідає на внутрішніх порожнинах компресорів і трубопроводів, а легкі фракції у вигляді пари й дрібнодисперсної фази переносяться повітрям у систему.

Стиснуте повітря, що не містить пари мастила, можна отримати без застосування мастилоутримувальних фільтрів за допомогою мембранного компресора (рис. 2.5).

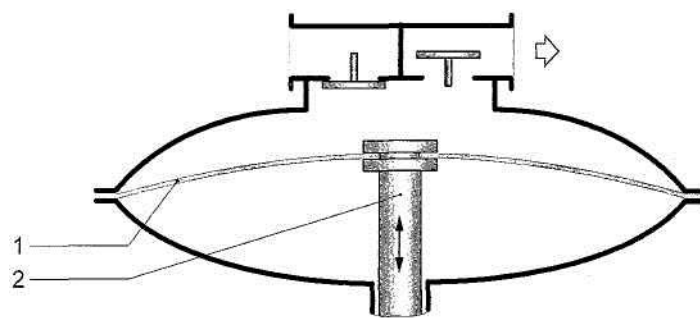


Рисунок 2.5 – Мембранний компресор:

1 – гнучка мембрана; 2 – шток

У мембранному компресорі процес отримання стиснутого повітря відбувається в принципі так само, як і в поршневому, з тією лише відмінністю, що в ньому рухомий поршень замінений жорстко закріпленою гнучкою мембраною 1. Замкнений об'єм змінюється за рахунок деформації мембрани під час зворотно-поступального руху штока 2.

Тиск повітря в мембранних компресорах обмежений міцністю мембрани і не перевищує 0,4 МПа.

Основний недолік мембранних компресорів – необхідність періодичної зміни мембрани через вихід її з ладу.

Ротаційні компресори, як і поршневі, працюють із примусовим виштовхуванням стиснутого повітря, проте в їх конструкції відсутні клапани й кривошипно-шатунний механізм. На рисунку 2.6 зображений ротаційний пластинчастий компресор.

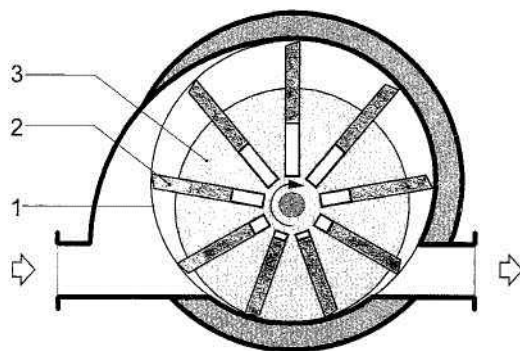


Рисунок 2.6 – Пластинчастий (шиберний) компресор:
1 – циліндричний статор (корпус); 2 – пластина; 3 – ротор

У машинах такого типу внаслідок ексцентричного розміщення ротора 3 в циліндричному статорі 1 між ними утворюється серпоподібна порожнина. У радіальних пазах ротора 3 розміщені рухомі пластини 2, які під дією відцентрової сили, що виникає під час обертання ротора, висуваються з пазів і щільно притискаються до внутрішньої циліндричної поверхні статора 1 (часто застосовують ще додаткове примусове підтискання пластин за допомогою пружин або шляхом підведення до торців пластин стиснутого повітря від лінії нагнітання). Пластини, що обертаються, поділяють простір між ротором і статором на робочі камери, об'єм яких змінюється за кутом повороту ротора. За один оборот ротора об'єм робочих камер спочатку збільшується (в цьому разі пластини висуваються з пазів), а потім зменшується (в цьому разі пластини ховаються в пази). У тому місці, де під час обертання ротора об'єм робочих камер збільшується, розміщений вхідний патрубок, а на ділянці, де їх об'єм зменшується – вихідний. Ступінь стиснення, а отже, й значення тиску на виході пластинчастого компресора (до 0,8 МПа) значно менші, ніж поршневого, але його конструктивне виконання набагато простіше.

Основні елементи конструкції *гвинтового компресора* – два зчеплених гвинти (рис. 2.7) – ведучий 1 і ведений 2. Під час обертання гвинтів їх гвинтові лінії, взаємно замикаючись, відсікають деякий об'єм повітря в камері всмоктування, переміщують його вздовж осі гвинтів і в кінцевому підсумку витісняють у камеру нагнітання. Повітря через компресор рухається поступально і плавно, без завихрення, як гайконоарізкою під час обертання гвинта.

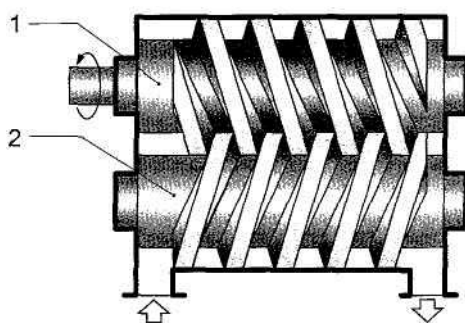


Рисунок 2.7 – Гвинтовий компресор:
1 – ведучий гвинт; 2 – ведений гвинт

Процес переміщення повітря відбувається по всій довжині гвинтів безперервно, і за постійної частоти обертання вала компресора забезпечується рівномірне, без пульсацій, подання. Недолік гвинтових компресорів – досить складна технологія виготовлення гвинтів, а перевага – рівномірність подання повітря і, отже, відсутність коливань рівня тиску на лінії нагнітання. Гвинтові компресори забезпечують тиск стиснутого повітря до 2,5 МПа, а витрата повітря в них досягає 30 тис. м³/год.

На рисунку 2.8 зображений компресор типу Рутс, що також належить до ротаційних компресорів.

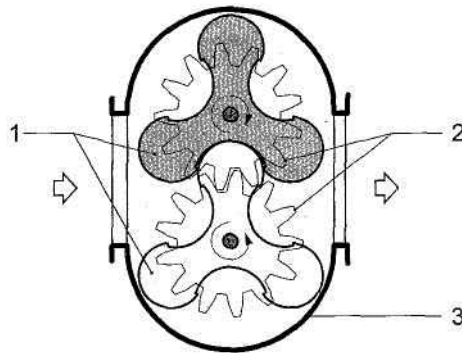


Рисунок 2.8 – Компресор типу Рутс:
1 – витискувач; 2 – синхронізувальні шестерні; 3 – корпус

Робочими органами такого компресора є два спеціально спрофільовані витискувачі 1, що синхронно обертаються. Повітря, потрапляючи в робочі камери, утворені між витискувачами і корпусом 3, переноситься із зони всмоктування в зону нагнітання. Робочі органи не зчеплені один з одним. Синхронізація їх обертання здійснюється шестернями 2, розміщеними в спеціальному відділенні корпусу і зчепленими між собою. Між самими витискувачами, а також між витискувачами й корпусом є гарантовані зазори, і ця особливість конструкції обумовлює відносно невеликі значення вихідного тиску. Практична відсутність у робочій камері третьових поверхонь забезпечує можливість досягнення великої продуктивності завдяки високій частоті обертання роторів.

2.2 Динамічні компресори

У відцентрових компресорах (турбокомпресорах) основним елементом конструкції є розміщене в спіральному відводі робоче колесо 2, що являє собою диск зі спеціально спрофільованими лопатями (рис. 2.9).

Основними елементами відцентрового компресора є корпус і ротор з установленими на ньому робочими колесами 2. У корпусі закріплюються дифузори 3, а в багатоступеневих машинах – поворотні коліна і зворотні напрямні апарати (ЗНА) 4. Складовими частинами корпусу є всмоктувальна 1 і збірна 5 камери. Ступенем відцентрового компресора називається комплекс елементів компресора, що складається з робочого колеса і дифузора (в багатоступеневому компресорі до складу ступеня входять також поворотне коліно і ЗНА). До першого ступеня відносять також всмоктувальну камеру, до

останнього ступеня компресора відносять збірну камеру, яку можна виконувати кільцевою або у вигляді спірального відведення (завитка).

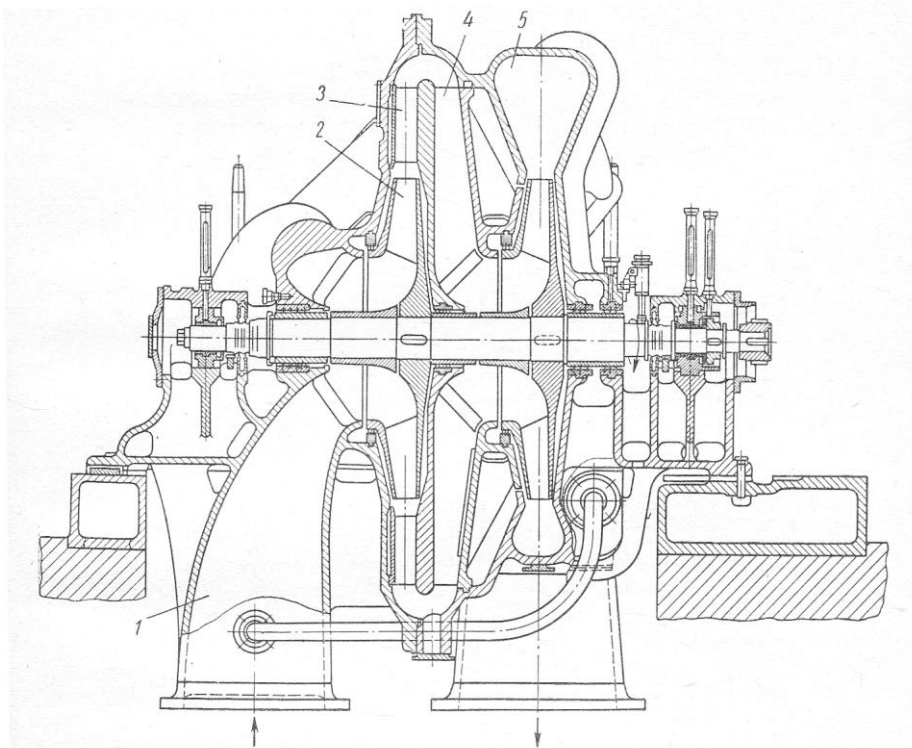


Рисунок 2.9 – Двоступеневий відцентровий компресор:

- 1 – спіральне відведення; 2 – робоче колесо; 3 – дифузор;
4 – зворотний напрямний апарат; 5 – збірна камера

Стиснутий газ по всмоктувальному трубопроводу підводиться до всмоктувальної камери 1, в якій організоване осьове підведення газу до робочого колеса 2. Далі газ надходить до каналів, утворених лопатями робочого колеса, і під дією відцентрових сил рухається до його периферії. Під час руху газу в міжлопатевих каналах робочого колеса за рахунок енергії, що передається від лопатей, збільшується швидкість газу і підвищується тиск. Робоче колесо 2 є єдиним елементом ступеня, в якому енергія підводиться до газу з довкілля. В усіх інших (нерухомих) елементах ступеня відбувається лише перетворення енергії, отриманої в робочому колесі. У дифузорі 3 відбувається перетворення кінетичної енергії потоку газу на потенціальну енергію тиску. Після виходу з дифузора в одноступеневій машині або після останнього ступеня в багатоступеневій машині газ надходить до збірної камери 5, необхідної для збирання потоку газу, подальшого підвищення його тиску і підведення його до нагнітального трубопроводу. У багатоступеневих компресорах для підведення газу до наступного ступеня застосовують зворотний напрямний апарат 4. Зазвичай відцентрові компресори виготовляють багатоступеневими, тобто з декількома робочими колесами, що встановлюються на одному валу. Основна перевага компресорів цього типу – велика продуктивність (до $1 \text{ млн} / \text{м}^3 / \text{год}$).

Аналогічна перевага характерна й для *осьових компресорів* (рис. 2.10).

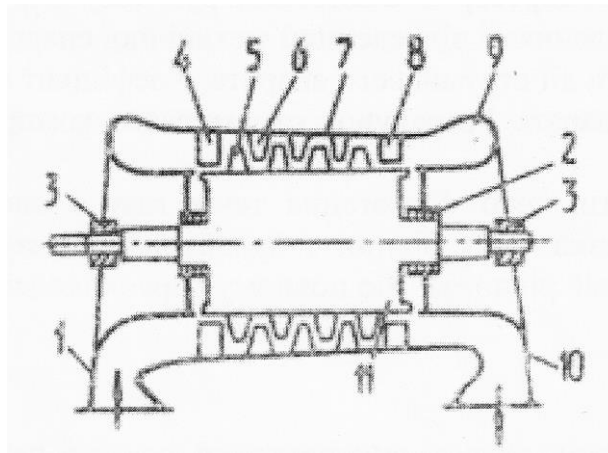


Рисунок 2.10 – Багатоступеневий осьовий компресор:

- 1 – вхідний патрубок; 2 – ущільнення; 3 – підшипники; 4 – вхідний напрямний апарат;
 5 – робочі лопаті; 6 – напрямні лопаті; 7 – корпус; 8 – напрямний апарат;
 9 – дифузор; 10 – вихідний патрубок; 11 – обертовий ротор

Потік повітря в них має осьовий напрямок. Основними конструктивними елементами багатоступеневого осьового компресора є корпус 7, у якому закріплені вхідний патрубок 1, ущільнення 2, вхідний напрямний апарат 4, напрямні лопаті 6, напрямний апарат 8, дифузор 9, вихідний патрубок 10 та обертовий ротор 11, на поверхні якого закріплені робочі лопаті 5, а на шийках установлені підшипники 3. Осьові компресори створюють тиск повітря до 0,4 МПа, а їх продуктивність досягає значень понад 50 тис. м³/год.

Вироблення стиснутого повітря супроводжується значним споживанням електроенергії. Наприклад, при отриманні 10 м³ стиснутого повітря під тиском 0,6 МПа з використанням поршневого компресора витрати електроенергії становлять 0,76 – 0,98 кВт · год, а з використанням турбокомпресора – 0,82 – 1,77 кВт · год. Водночас чим вища продуктивність компресора, тим нижчі витрати електроенергії на кожний 1 м³ стиснутого повітря. Отже, вартість вироблення стиснутого повітря залежить від типу компресора та його продуктивності. Нескладний розрахунок засвідчує, що стиснуте повітря необхідно витратити економно й не допускати непотрібних витоків через нещільності в пневматичних агрегатах та особливо у трубопроводах.

На принципових пневматичних схемах умовне графічне позначення компресора, яким би не було його конструктивне виконання, згідно з чинними стандартами має такий вигляд (рис. 2.11 а).

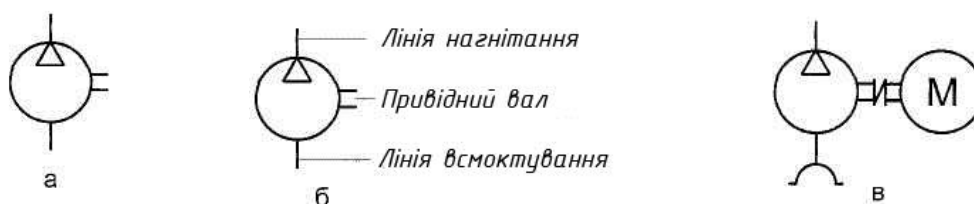


Рисунок 2.11 – Умовне графічне позначення компресора:

- а – загальне позначення компресора;
 б – позначення ліній нагнітання і всмоктування, приводного вала;
 в – позначення привода компресора і повітрязбірника (найпростіша компресорна установка)

Незафарбований трикутник своєю вершиною, що лежить на колі, вказує напрямок руху потоку стиснутого повітря (рис. 2.11 б).

Зображення найпростішої компресорної установки, що складається з повітрозбірника на лінії всмоктування, компресора, лінії нагнітання, приводного електродвигуна і з'єднувальної муфти, має такий вигляд (рис. 2.11 в).

Для того щоб продуктивність компресора відповідала споживанню стиснутого повітря, необхідно регулювати тиск, що розвивається компресором, у діапазоні від максимального до мінімального. На практиці для регулювання в пневмосистемах застосовують різні види:

1 *Регулювання за навантаженням.* Рівень тиску в напірній магістралі регулюється шляхом зміни частоти обертання приводного двигуна компресора.

2 *Регулювання періодичним відключенням.* У разі досягнення заданого максимального рівня тиску приводний двигун компресора відключається. Включення двигуна відбувається в разі зменшення величини тиску до мінімально допустимого значення. Щоб забезпечити необхідну періодичність включень-відключень компресора, необхідно мати резервний запас стиснутого повітря на його виході, створюваний за допомогою ресивера. З метою запобігання витіканню повітря з ресивера в атмосферу через непрацюючий компресор на виході з останнього (в напірній магістралі) встановлюють зворотний клапан (рис. 2.12).

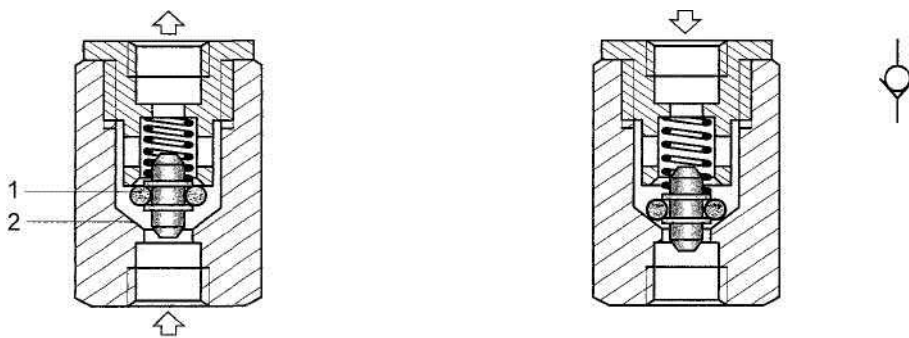


Рисунок 2.12 – Зворотний клапан
(конструкція та умовне графічне позначення на схемах):
1 – запірний елемент; 2 – сідло

Зворотний клапан призначений для пропускання потоку повітря лише в одному напрямку. У цьому разі запірний елемент 1 відтискається від сідла 2 клапана потоком повітря. Якщо повітря подається у зворотному напрямку, клапан закривається під дією створюваного ним тиску і вбудованої пружини.

3 *Регулювання холостим ходом.* Розрізняють регулювання на вході, на виході й коротким замиканням.

Регулювання на вході виконують такими способами:

а) припиненням подання, здійснюється шляхом перекриття всмоктувальної магістралі компресора;

б) всмоктувальним клапаном компресора, утримуваним відкритим за допомогою вбудованого привода, що не дозволяє повітря в робочій камері стискатися (рис. 2.13).

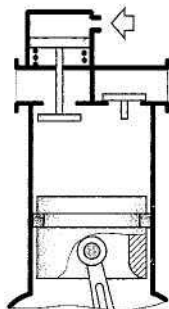


Рисунок 2.13 – Керування примусовим відтисненням всмоктувального клапана компресора

Регулювання на виході полягає в тому, що на лінії нагнітання компресора встановлюють пристрій розвантаження, через який стиснуте повітря починає стравлюватися в атмосферу в разі досягнення максимально допустимого тиску.

Регулювання коротким замиканням (байпасування) полягає в тому, що вхід компресора з'єднують із виходом, отже, компресор працює «сам на себе».

Компресорні установки розміщують у приміщеннях, що забезпечують захист від шуму, створюваного обладнанням, розміщеним на основних виробничих площах. Місце встановлення повинне забезпечувати вільний доступ до компресора для його обслуговування та експлуатації. Для того щоб звести до мінімуму гідравлічні опори, всмоктувальні трубопроводи виконують за можливості короткими й такими, що мають великі прохідні перерізи. Всмоктуване повітря повинне бути сухим, холодним і не містити пилу, тому повітрозбірники рекомендується розміщувати на висоті 4–6 м над рівнем землі.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1 У чому полягає принципова відмінність компресорів об'ємного і динамічного принципів дії?

2 В якому з компресорів (поршневого або мембранного) можна отримати більший перепад тисків?

3 Які основні елементи поршневого компресора?

4 У чому полягає перевага відцентрового компресора порівняно з поршневим?

5 Переваги та недоліки пластинчастого компресора?

6 Переваги та недоліки гвинтового компресора?

7 Які способи регулювання продуктивності поршневих компресорів, що працюють на пневмомережі?

3 ПНЕВМОДВИГУНИ

У пневмосистемах енергія тиску стиснутого повітря перетворюється на механічну енергію виконавчих механізмів під впливом повітря на їх робочі органи, якими можуть бути поршень, лопать або мембрана. Зусилля, що розвивається виконавчим механізмом, пропорційне тиску в ньому, а швидкість руху вихідної ланки визначається витратою стиснутого повітря.

Широка гама конструктивних рішень виконавчих механізмів дає можливість здійснювати безліч різноманітних операцій.

Виконавчими механізмами в пневмосистемах зазвичай є *пневмодвигуни*.

За способом перетворення енергії стиснутого повітря пневмодвигуни поділяють на:

– *об'ємні*, коли енергія стиснутого повітря перетворюється на механічну роботу шляхом збільшення об'єму робочої камери (поршневі, шестеренні, ротаційні, лопатеві, гвинтові, крокові);

– *турбінні*, що перетворюють енергію стиснутого повітря на кінетичну енергію потоку, а останню – на механічну роботу (пневмодвигуни з осьюовою, відцентровою, струменево-реактивною, вихровою турбінами);

– *реактивні* (ракетні), що перетворюють потенціальну енергію стиснутого повітря на механічну роботу шляхом створення реактивної тяги (реактивні двигуни поступального руху).

Залежно від виду руху вихідної ланки пневмодвигуни можна поділити на двигуни з:

– *прямолінійним рухом вихідної ланки* (пнеumoциліндри, мембранні виконавчі механізми);

– *поворотним рухом вихідної ланки* (поршневі й шиберні (лопатеві) поворотні пневмодвигуни);

– *багатооборотним обертовим рухом вихідної ланки* (поршневі пневмодвигуни обертової дії, шестеренні, пластинчасті, турбінні, гвинтові, вихрові, струменево-реактивні пневмомотори).

Як окрему групу можна виділити спеціальні пневматичні виконавчі механізми – вакуумні захвати, цангові захвати тощо.

Усі перелічені типи механізмів мають власні переваги й недоліки і відповідно характеризуються деякою кращою сферою застосування.

3.1 Пневматичні циліндри

Пневматичні циліндри (пнеumoциліндри) – це найбільш часто використовувана конструкція; вони мають широкий діапазон основних параметрів:

– діаметр поршня (2,5 – 320,0) мм;

– робочий хід (1 – 2 000) мм (у безштокових конструкціях до 10 м);

– зусилля, що розвивається (2 – 50 000) Н;

– швидкість руху вихідної ланки (0,02 – 1,50) м/с.

За функціональними можливостями пневмоциліндри поділяють на два базові типи:

- *пневмоциліндри одnobічної дії*, в яких подання стиснутого повітря здійснюється для виконання робочого ходу в одному напрямку;
- *пневмоциліндри двобічної дії*, в яких корисна робота здійснюється як під час прямого, так і під час зворотного ходу поршня.

3.1.1 Пневмоциліндри одnobічної дії

Пневмоциліндри одnobічної дії застосовують як виштовхувачі, відсікачі, в затискних конструкціях тощо. Робочий хід у них здійснюється під дією стиснутого повітря, а у вихідну позицію шток повертається під дією вбудованої пружини або від зовнішнього навантаження (рис. 3.1).

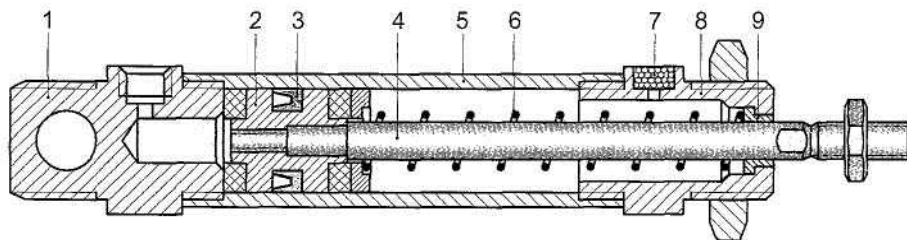


Рисунок 3.1 – Пневмоциліндр одnobічної дії:

1 – задня кришка; 2 – поршень; 3 – ущільнення; 4 – шток; 5 – корпус; 6 – поворотна пружина; 7 – фільтроелемент; 8 – передня кришка; 9 – напрямна втулка

На рисунку 3.1 циліндричний корпус 5 по обидва боки закритий кришками 1 і 8. У задній кришці 1 виконаний отвір для підведення повітря, а передня кришка 8 має декомпресійний отвір з умонтованим фільтроелементом 7. Поршень 2 поділяє внутрішній простір корпусу (гільзи) на дві порожнини: штокову і поршневу. Шток 4 жорстко з'єднаний із поршнем. Порожнини розмежовані ущільненням 3 (манжетою). Передня кришка 8 має напрямну втулку 9, що є опорою ковзання штока, що передає зусилля від поршня на зовнішній об'єкт. Поворотна пружина 6 змонтована всередині циліндра і охоплює шток.

Робочий хід пневмоциліндра здійснюється під час подання стиснутого повітря в поршневу порожнину; зворотний хід відбувається під дією вбудованої пружини 6, що обумовлює менше споживання повітря порівняно з пневмоциліндрами двобічної дії аналогічних розмірів. Крім того, в пневмоциліндрах одnobічної дії не потрібно повністю герметизувати штокову порожнину, що постійно з'єднана з атмосферою, а відсутність додаткових ущільнень знижує втрати на тертя.

Пневмоциліндри одnobічної дії застосовують у тих випадках, коли необхідне передавання зусилля лише в одному напрямку, а повернення відбувається безперешкодно, а також тоді, коли з міркувань безпеки повинне забезпечуватися втягнуте положення штока в разі відключення живлення (зниження тиску стиснутого повітря в пневмережі). Сфера застосування

пневмоциліндрів однобічної дії обмежена недоліками, властивими даній конструкції:

- робоче зусилля знижене внаслідок протидії пружини (приблизно на 10 %);
- мале зусилля під час зворотного ходу (приблизно 10 % від робочого);
- обмежене переміщення штока (зазвичай не більше ніж 100 мм);
- збільшені поздовжні габарити (додається довжина стиснутої пружини).

Існує велика кількість конструктивних виконань пневмоциліндрів однобічної дії, наприклад мембранні пневмоциліндри (рис. 3.2).

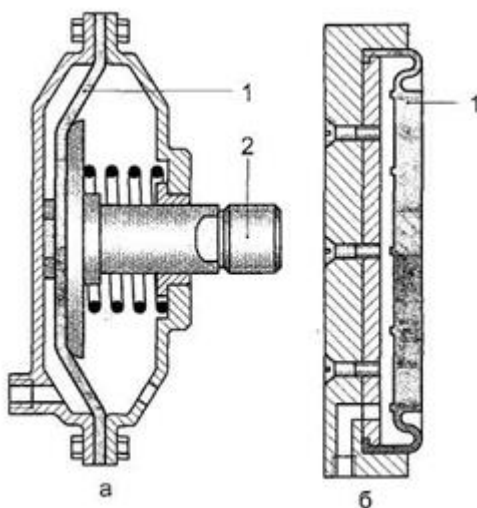


Рисунок 3.2 – Мембранний пневмоциліндр однобічної дії:

а – пневмоциліндр зі штоком; б – пневмоциліндр без штока;

1 – пружна мембрана; 2 – шток

Принцип дії мембранного пневмоциліндра (рис. 3.2 а) аналогічний принципу дії поршневого пневмоциліндра однобічної дії. Конструктивні відмінності полягають у тому, що рухомий поршень замінений жорстко затисненою пружною мембраною 1, виготовленою з гуми, прогумованої тканини або пластика. Завдяки великій площі мембрани такі пневмоциліндри розвивають зусилля до 25 000 Н, але в цьому разі хід штока 2 обмежений. Мембранні пневмоциліндри характеризуються істотно меншими поздовжніми габаритами і простотою монтажу; вони недорогі, і в них відсутні рухомі ущільнення.

Мембранний пневмоциліндр однобічної дії, показаний на рисунку 3.2 б, призначений для затиснення деталей для їх подальшого механічного оброблення. У такому пневмоциліндрі відсутній шток, а зусилля передається безпосередньо через мембрану 1, робочий хід якої становить 1 – 5 мм.

На принципових пневмосхемах пневмоциліндри однобічної дії незалежно від конкретного конструктивного виконання позначаються символами, наведеними на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Умовні графічні позначення пневмоциліндрів
однобічної дії:

- а – пневмоциліндр із робочим ходом при висуванні штока;
- б – пневмоциліндр із робочим ходом при втягуванні штока

На рисунку 3.3 а показане умовне графічне позначення пневмоциліндра однобічної дії, в якому робочий хід здійснюється при висуванні штока, а на рисунку 3.3 б – при його втягуванні.

3.1.2 Пневмоциліндри двобічної дії

Пневмоциліндри двобічної дії застосовують у тих випадках, коли необхідно передавати робоче зусилля при лінійних переміщеннях в обох напрямках, наприклад, під час переміщення, встановлення, підймання та опускання робочих органів машин і при інших виробничо-технологічних операціях.

Принципова відмінність пневмоциліндрів двобічної дії від тих, що розглядалися вище, полягає в тому, що в них як прямий, так і зворотний хід поршня здійснюється під дією стиснутого повітря при його почергово змінному поданні в одну з порожнин, у той час як інша з'єднана з атмосферою (рис. 3.4).

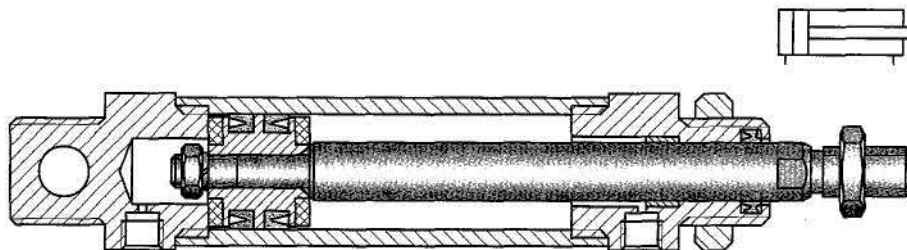


Рисунок 3.4 – Пневмоциліндр двобічної дії
(конструкція та умовне графічне позначення на схемах)

Переміщення штока в будь-якому напрямку є робочим і може здійснюватися під навантаженням. Під час зворотного ходу поршня штокова порожнина перебуває під надлишковим тиском, що пов'язано з необхідністю встановлення додаткових ущільнень на поршні і на передній кришці для запобігання витіканням стиснутого повітря по штоку.

У поршневих пневмоциліндрах однобічної і двобічної дії практично всі елементи, а також способи їх закріплення однакові.

Конструктивне виконання пневмоциліндрів може бути різним залежно від їх типорозміру та сфери застосування. Найбільш поширеним способом закріплення корпусних деталей пневмоциліндрів із діаметром поршня до 25 мм (іноді – до 63 мм) є завальцьовування гільзи в кришках (рис. 3.5 а). Така конструкція має істотний недолік – пневмоциліндри не підлягають ремонту.

Якщо діаметр поршня понад 32 мм, то традиційним способом закріплення залишається стягування кришок і гільзи шпильками (рис. 3.5 б). Зручні в експлуатації і практично не мають обмежень щодо діаметра поршня пневмоциліндри, кришки яких з'єднані болтами до суцільновитягнутої спрофільованої гільзи (рис. 3.5 в).

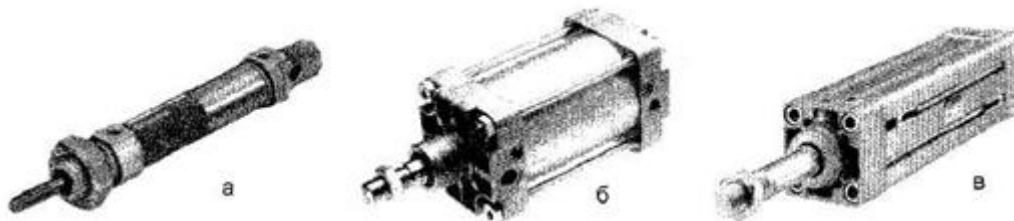


Рисунок 3.5 – Способи закріплення кришок пневмоциліндрів:

- а – завальцьовуванням гільзи в кришках; б – стягуванням кришок і гільзи шпильками; в – стягуванням суцільновитягнутої спрофільованої гільзи та кришок болтами

Технологія виробництва суцільновитягнутих гільз-корпусів за необхідності дозволяє виконувати в них канали для підведення повітря, пази для датчиків положення поршня; надавати конфігурацію, зручну для монтажу та обслуговування.

3.1.3 Пневмоциліндри з демпфіруванням у кінці ходу

Однією з переваг цих пневмоциліндрів є висока – до 1,5 м/с (а в ударних циліндрах до 10 м/с) – швидкість руху вихідної ланки. У разі досягнення кінцевого положення, коли поршень «сідає» на кришку, розвиваються значні ударні зусилля, що супроводжується характерним стукотом. Такі удари є не лише причиною виникнення шуму, а й призводять до передчасного зношування і навіть поломки елементів конструкції. Уникнути передчасного виходу з ладу пневмоциліндра можна шляхом установлення на поршні еластичних (наприклад, гумових) демпферів (рис. 3.4). Однак такий спосіб демпфірування виявляється недостатньо ефективним, якщо мають місце значні інерційні навантаження.

У таких випадках застосовують пневмоциліндри двобічної дії з повітряним демпфіруванням у кінці ходу (рис. 3.6).

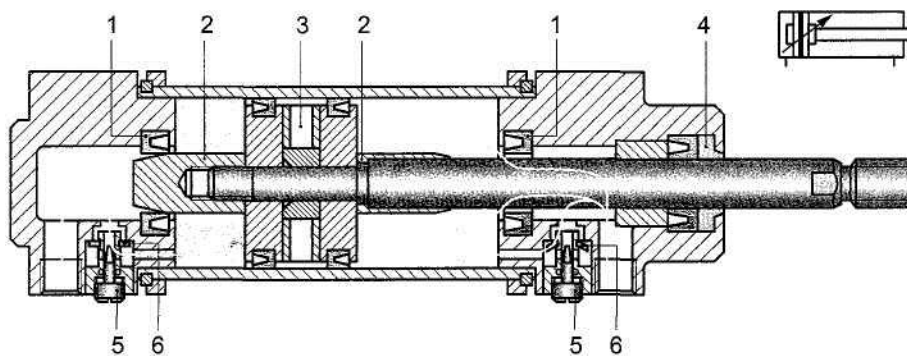


Рисунок 3.6 – Пневмоциліндр двобічної дії з демпфіруванням у кінці ходу (конструкція та умовне графічне позначення на схемах):

- 1 – ущільнювальні манжети; 2 – втулки демпфера; 3 – кільцевий постійний магніт; 4 – брудознімальне кільце; 5 – дросель; 6 – зворотний клапан

Розширення функціональних можливостей таких циліндрів досягається шляхом уведення в традиційну конструкцію додаткових елементів. По обидва боки поршня встановлюють втулки демпфера 2, а в кришках циліндра – ущільнювальні манжети 1 і дроселі 5 зі зворотним клапаном 6. Стиснуте повітря, що підводиться до циліндра, вільно надходить до відповідної порожнини, зокрема й через убудований зворотний клапан 6. Поршень рухається до віддаленої від нього на цей момент кришки з максимальною швидкістю до того часу, поки втулка демпфера 2 не дійде до ущільнювальних манжет 1. Водночас відбувається «замикання» деякого об'єму повітря, відведеного з циліндра в порожнину, яка щойно була з'єднана з атмосферою. Тепер повітря з цієї порожнини може витіснитися в атмосферу лише через отвір малого діаметра в дроселі 5, величину прохідного перерізу якого можна змінювати. Між кришкою і поршнем утворюється «повітряна подушка». Під час подальшого руху поршня повітря в замкненому об'ємі починає стискатися, тиск зростає, що призводить до гальмування поршня, ступінь якого тим більший, чим меншим є прохідний переріз дроселя. У кінцевому підсумку поршень упирається в кришку без удару, м'яко.

У разі зміни напрямку руху стиснуте повітря вільно надходить під поршень через зворотний клапан 6, що утворює разом із дроселем 5 єдиний вузол; це забезпечує швидке зрушення циліндра з місця.

За дуже великих інерційних навантажень або високих швидкостей руху поршня додатково встановлюють зовнішні гідравлічні амортизатори.

Необхідно зазначити, що пневмоциліндр, показаний на рисунку 3.6, істотно відрізняється від вищерозглянутих конструкцій тим, що в ньому, крім установлених регульованих демпферів, змонтований на поршні кільцевий постійний магніт 3, магнітне поле якого поширюється за межі гільзи і може реєструватися за допомогою спеціальних датчиків. Таким чином, забезпечується можливість контролю певних функціонально важливих положень вихідної ланки пневмоциліндра.

Для захисту штока від зовнішніх забруднювачів у прохідній (передній) кришці практично всіх пневмоциліндрів встановлюють брудознімальне кільце 4.

Наявність у пневмоциліндрі регульованих демпфувальних пристроїв відображається в умовному графічному позначенні стилізованим зображенням втулок демпферів, перекреслених стрілкою, а наявність постійного магніту – жирною лінією на зображенні поршня (рис. 3.6).

Описана конструкція пневмоциліндрів завдяки своїй простоті й функціональним можливостям є найбільш поширеною і її можна назвати типовою або навіть традиційною.

Пневмоциліндрам двобічної дії властивий ряд недоліків, що обмежують сферу їх застосування:

- зусилля при прямому і зворотному ходах поршня різні внаслідок неоднаковості його площ у штоковій та поршневій порожнинах;
- шток розміщений консольно, причому розмір консолі різний в утягнутому і висунутому положеннях;
- шток добре сприймає лише осьове навантаження, а радіальне – погано.

3.1.4 Пневмоциліндри з прохідним штоком

У пневмоциліндрах із прохідним, або двобічним, штоком (рис. 3.7) обидві робочі порожнини штокові, а площі поршня однакові з обох боків. Шток спирається не на одну опору в кришці, як у раніше розглянутих конструкціях, а на дві – в кожній із кришок.

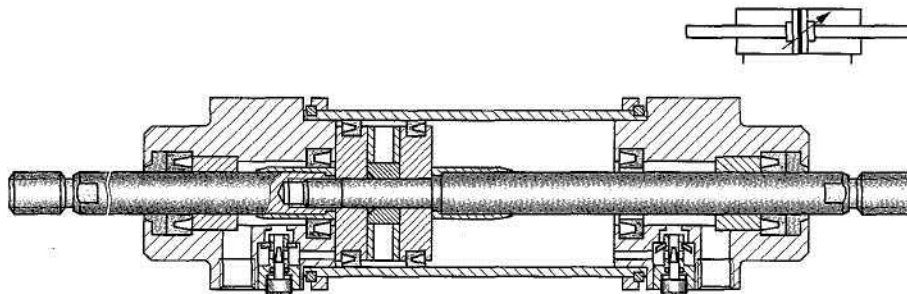


Рисунок 3.7 – Пневмоциліндр із прохідним (двобічним) штоком (конструкція та умовне графічне позначення на схемах)

Подібна конструкція має ряд переваг:

- можливість здійснення робочих переміщень із боку обох торців пневмоциліндра;
- навантаження на шток сприймається двома опорами, що збільшує термін служби пневмоциліндра;
- однаковість площ поршня в обох робочих порожнинах, що забезпечує однакові робочі зусилля під час руху його в будь-якому напрямку.

До недоліків пневмоциліндрів із прохідним штоком відносять збільшений майже вдвічі порівняно з традиційною конструкцією поздовжній габарит пневмоциліндра за рахунок збільшення довжини штока.

Застосовують також пневмоциліндри, в яких прохідний шток виконаний порожнистим, що дозволяє використовувати його як частину трубопроводу, що в деяких випадках є зручним конструктивним рішенням.

3.1.5 Тандем-пневмоциліндри

У випадках, коли необхідно одержати значні зусилля, а поперечний розмір монтажного простору недостатній для встановлення пневмоциліндра відповідного діаметра, застосовують тандем-пневмоциліндри (рис. 3.8).

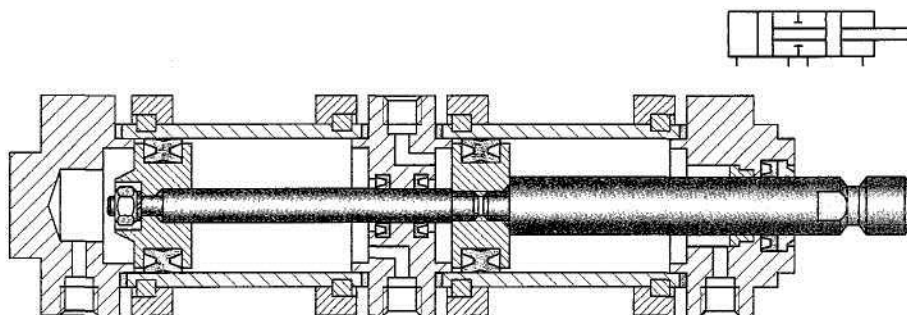


Рисунок 3.8 – Тандем-пневмоциліндр (конструкція та умовне графічне позначення на схемах)

Тандем-пневмоциліндр, або здвоєний пневмоциліндр, – це, по суті, два пневмоциліндри двобічної дії, що об'єднані в одному корпусі і мають спільний шток. Порівняно з традиційними пневмоциліндрами того самого діаметра зусилля, що розвиваються тандем-пневмоциліндрами, фактично вдвічі більші внаслідок додавання зусиль, утворених одночасно на обох поршнях.

Якщо необхідно збільшити зусилля, що розвивається пневмоциліндром, у три – чотири рази, застосовують секційні пневмоциліндри, послідовно з'єднані між собою. Наявність в їх корпусах розподільних каналів дозволяє підводити стиснуте повітря до порожнин усіх пневмоциліндрів лише через два зовнішні приєднання.

Поздовжній габарит тандем-пневмоциліндрів як мінімум удвічі більший, ніж у традиційних пневмоциліндрах. У конструкції, зображеній на рисунку 3.9, цей недолік відсутній.

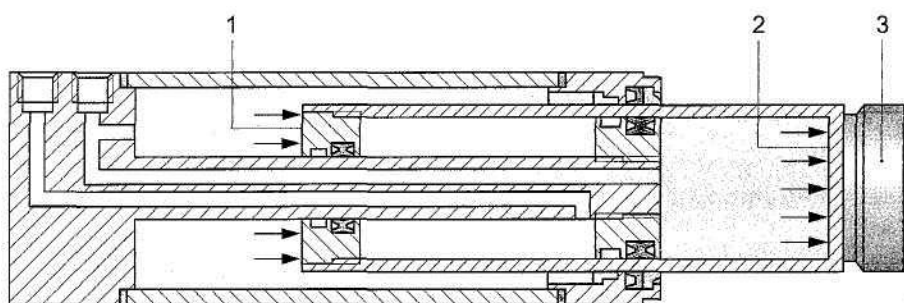


Рисунок 3.9 – Компактний тандем-пневмоциліндр:

1 – зовнішній торець порожнистого штока; 2 – внутрішній торець порожнистого штока;
3 – шток-поршень

У такому пневмоциліндрі зусилля збільшується вдвічі лише при висуванні штока-плунжера 3, тому що в цьому разі стиснуте повітря впливає на один зовнішній 1 і один внутрішній 2 торці. При втягуванні штока циліндр розвиває незначні зусилля.

3.1.6 Позичіонування пневмоциліндрів

Традиційні конструкції пневмоциліндрів дозволяють забезпечити дві точки позиціонування штока і відповідно пов'язаних із ними об'єктів – «шток втягнутий» і «шток висунутий». Сфера ефективного застосування пневмоциліндрів значно розширюється, якщо реалізуються зупинення та утримання їх вихідних ланок у деяких заданих проміжних точках із допустимими позиційними похибками. Залежно від пропонованих вимог – кількості точок позиціонування вихідної ланки, частоти їх зміни (режиму роботи), необхідної точності відпрацювання приводом заданого переміщення – використовують пневматичні механізми різної структури і з різними принципами керування рухом вихідної ланки.

Для того щоб забезпечити деяку задану кількість точок позиціонування (більше ніж дві), застосовують багатопозиційні пневмоциліндри, які складаються з двох або більше пневмоциліндрів із різними робочими ходами.

На рисунку 3.10 зображені дві конструкції багатопозиційних пневмоциліндрів, перша з яких (рис. 3.10 а) забезпечує три, а друга (рис. 3.10 б) – чотири точки позиціонування.

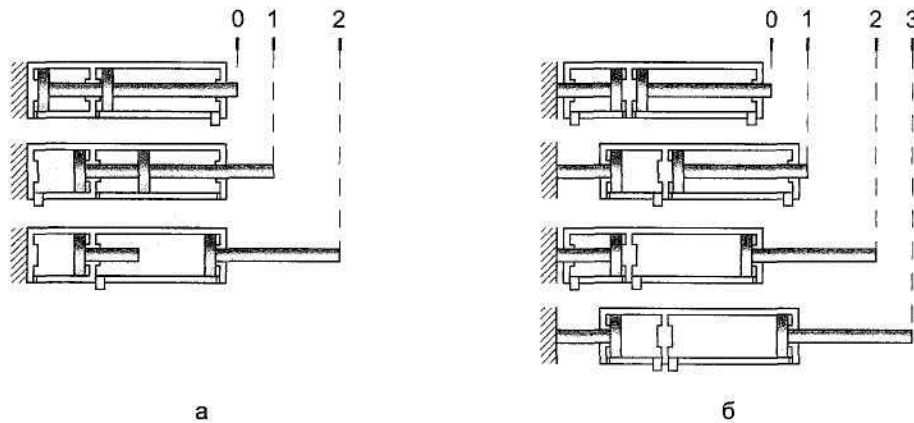


Рисунок 3.10 – Багатопозиційні пневмоциліндри:
а – на три точки позиціонування; б – на чотири точки позиціонування

Під час роботи корпус чотирьохпозиційного пневмоциліндра переміщається, і, отже, пневмоциліндр повинен бути укомплектований під час монтажу рухомими з'єднаннями для пневмошлангів.

Кількість точок позиціонування можна збільшити, якщо комбінувати не два, а більше пневмоциліндрів. У цьому разі необхідно враховувати, що подібні конструкції можуть функціонувати нестабільно, якщо штоки різних циліндрів рухаються в протилежних напрямках.

3.1.7 Пневмоциліндри з фіксатором штока

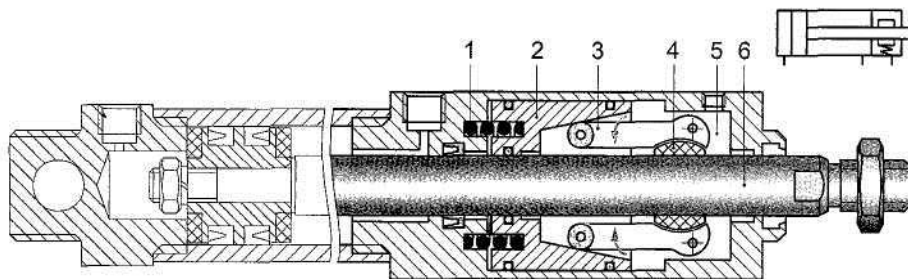


Рисунок 3.11 – Пневмоциліндр із фіксатором штока
(конструкція та умовне графічне позначення на схемах):
1 – пружина; 2 – поршень; 3 – важіль; 4 – гальмівний башмак;
5 – робоча порожнина; 6 – шток

Шляхом механічного утримання штока за допомогою спеціальних пристроїв (рис. 3.11) можна отримати практично необмежену кількість точок позиціонування.

На рисунку 3.11 шток 6 утримується розрізним гальмівним башмаком 4, який обтискує шток під дією вбудованої пружини 1. Розблокування штока 6 здійснюється під час подання стиснутого повітря в робочу порожнину 5 фіксатора. Водночас поршень 2, стискаючи пружину 1, звільняє елементи конструкції 3, притискає гальмівний башмак 4 до штока 6. Фіксатори дозволяють надійно утримувати шток пневмоциліндра під навантаженням навіть у разі раптового зниження тиску в пневмомережі.

3.1.8 Безштокові пневмоциліндри

Якщо потрібні значні (до декількох метрів) переміщення об'єктів, застосування пневмоциліндрів традиційного виконання складне або неможливе. З метою забезпечення великого ходу необхідний шток відповідної довжини, що обумовлює різке збільшення поздовжнього габариту пневмоциліндра. Значні розміри консольної частини штока у висунутому положенні можуть стати причиною втрати стійкості під навантаженням.

Завдання здійснення значних за величиною переміщень за обмежень у габаритах можна було б вирішити за допомогою телескопічних циліндрів. Однак станом на сьогодні циліндри, широко використовувані в гідрофікованих будівельних і підйомно-транспортних машинах (наприклад, для піднімання кузовів самоскидів), практично не набули застосування в пневмоприводах.

Шток призначений лише для передавання зусилля від поршня до зовнішнього об'єкта, тому безштокові конструкції, в яких зусилля передається безпосередньо від поршня, мають очевидні переваги, основна з яких полягає в як мінімум дворазовому зменшенні поздовжнього габариту порівняно з пневмоциліндром традиційної конструкції з такою самою величиною ходу.

Очевидно, що переваги безштокових пневмоциліндрів виявляються в основному за великих величин робочого ходу.

Одним із конструктивних рішень, що дозволяють відмовитися від штока в його традиційному значенні, є пневмоциліндр із гнучким штоком (рис. 3.12).

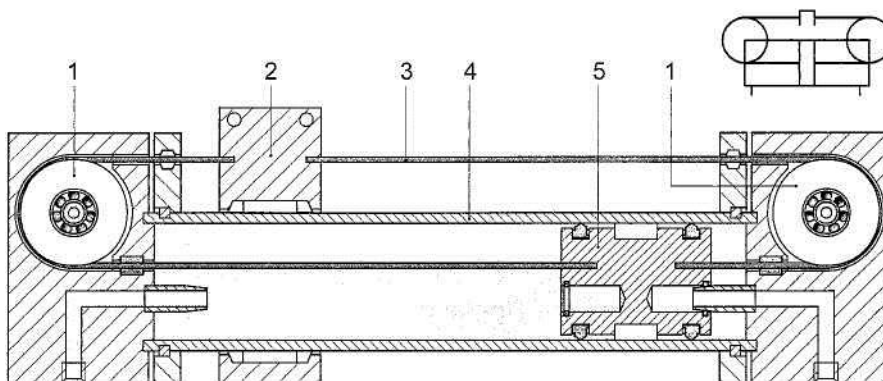


Рисунок 3.12 – Пневмоциліндр із гнучким штоком (конструкція та умовне графічне позначення на схемах):

1 – ролики; 2 – каретка; 3 – трос; 4 – циліндр; 5 – поршень

Жорсткий шток у цій конструкції замінений покритим нейлоном металевим тросом 3 (або стрічкою із синтетичного матеріалу), що охоплює ролики 1, розміщені в кришках пневмоциліндра. У середині гільзи циліндра 4 трос 3 жорстко з'єднаний із поршнем 5, а зовні – з кареткою 2, до якої кріпиться переміщуваний об'єкт.

Таке технічне рішення, незважаючи на свою відносну простоту, не набуло великого поширення.

У пневмоциліндрах із магнітною муфтою (рис. 3.13) зусилля, що розвиваються поршнем, передаються на зовнішню каретку за рахунок сил магнітної взаємодії.

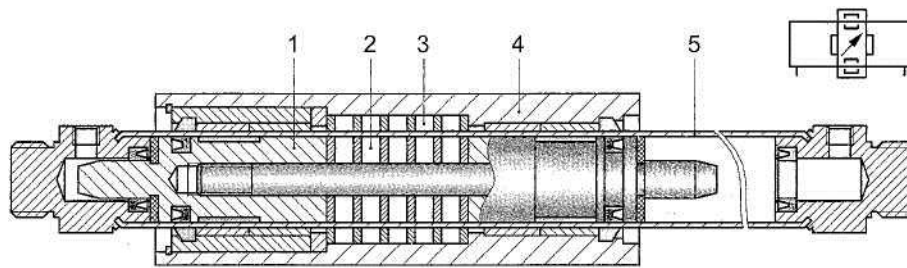


Рисунок 3.13 – Пневмоциліндр із магнітною муфтою (конструкція та умовне графічне позначення на схемах):

1 – поршень; 2, 3 – постійний магніт; 4 – каретка; 5 – гільза

Поршень 1 має набір кільцевих постійних магнітів 2, що взаємодіють із кільцевими магнітами 3, розміщеними в каретці 4, яка охоплює гільзу 5. Якщо гільза виконана з немагнітного матеріалу і є тонкостінною, то рух поршня (1-ша півмуфта) супроводжується синхронним переміщенням каретки (2-га півмуфта), до якої приєднано зовнішній об'єкт (навантаження).

Порівняно з конструкціями, в яких зусилля з поршня на навантаження передається механічним шляхом, у пневмоциліндрах із магнітною муфтою за однакових значень діаметра циліндра і тиску живлення зусилля, що розвивається, приблизно на 20 % менше. Такі пневмоциліндри чутливі до перевантажень, що можуть призвести до «розривання» муфти.

Установивши додаткові магнітні кільця, можна збільшити силу магнітного зчеплення поршня з кареткою, проте в цьому разі зростає поздовжній габарит поршня і всієї конструкції в цілому.

Особливості конструктивного виконання пневмоциліндрів із магнітною муфтою (нежорсткий зв'язок між поршнем і кареткою, ексцентричне положення навантаження) накладають обмеження на величини осьових та радіальних навантажень і місцезнаходження точок їх застосування, а також на допустиме співвідношення швидкості й маси переміщуваних об'єктів.

На сьогодні набули великого поширення безштокові пневмоциліндри, в яких зусилля механічно передається на навантаження безпосередньо поршнем (рис. 3.14).

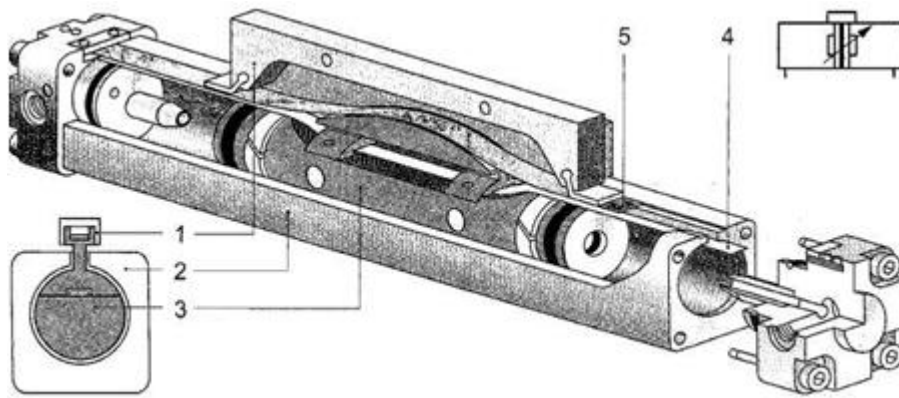


Рисунок 3.14 – Пневмоциліндр зі стрічковим ущільненням (конструкція та умовне графічне позначення на схемах):

1 – каретка; 2 – гільза; 3 – поршень;
4 – металева або синтетична стрічка; 5 – захисна стрічка

Гільза 2 пневмоциліндра має наскрізний поздовжній паз (по всій довжині гільзи). Через цей паз поршень 3 механічно з'єднується із зовнішньою кареткою 1 (тобто поршень виконаний заодно з нею). З метою герметизації гільзи паз з її внутрішнього боку закритий металевою або синтетичною стрічкою 4, закріпленою в кришках. Для того щоб просунути поршень через паз, частину стрічки, що знаходиться між ущільненнями поршня, просовують через тіло останнього під вузькою його частиною. Під час роботи пневмоциліндра стрічка, що є нерухомою відносно його корпусних деталей, ковзає в тілі поршня, відкриваючи паз у гільзі лише там, де перебуває поршень. Для запобігання потраплянню забруднювачів із довкілля всередину гільзи 3 поздовжній паз закритий із зовнішнього боку захисною стрічкою 5, пропущеною через каретку 1.

Під час роботи в умовах значних радіальних навантажень безштокові пневмоциліндри для розвантаження обладнують спеціальними напрямними (рис. 3.15 а) або виконують каретку так, щоб вона передавала навантаження на гільзу-корпус (рис. 3.15 б). Подібне конструктивне виконання дозволяє забезпечити високу точність напрямку руху каретки, захист приєднаного об'єкта від прокручування і деяке зростання значення корисного навантаження на привод.

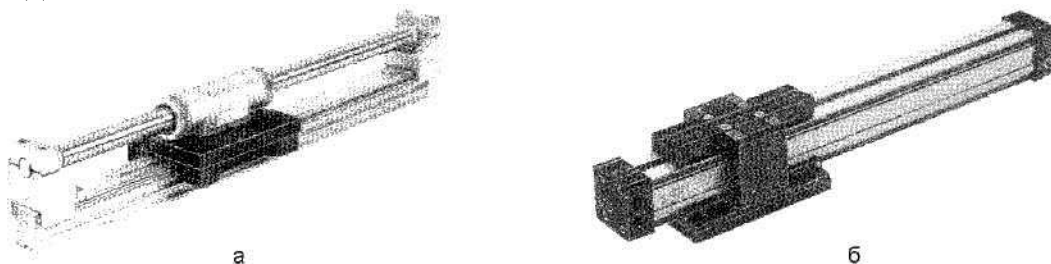


Рисунок 3.15 – Виконання безштокових пневмоциліндрів, що працюють в умовах значних радіальних навантажень:

а – з напрямними; б – з гільзою-корпусом

3.2 Захист штока пневмоциліндра від прокручування

Під час зворотно-поступального руху штока в стандартних пневмоциліндрах має місце деяке його прокручування відносно осі руху, що обумовлено наявністю мікронерівностей на поверхні самого штока, а також на напрямних і ущільненнях. У зв'язку з цим безпосередньо на штоку пневмоциліндра можна закріплювати інструмент (наприклад, фарбопульт), що потребує однозначної орієнтації в просторі. З метою усунення цього недоліку, особливо у тих випадках, коли до штока прикладається крутний момент, застосовують різні конструкції, в яких шток захищений від прокручування (рис. 3.16).

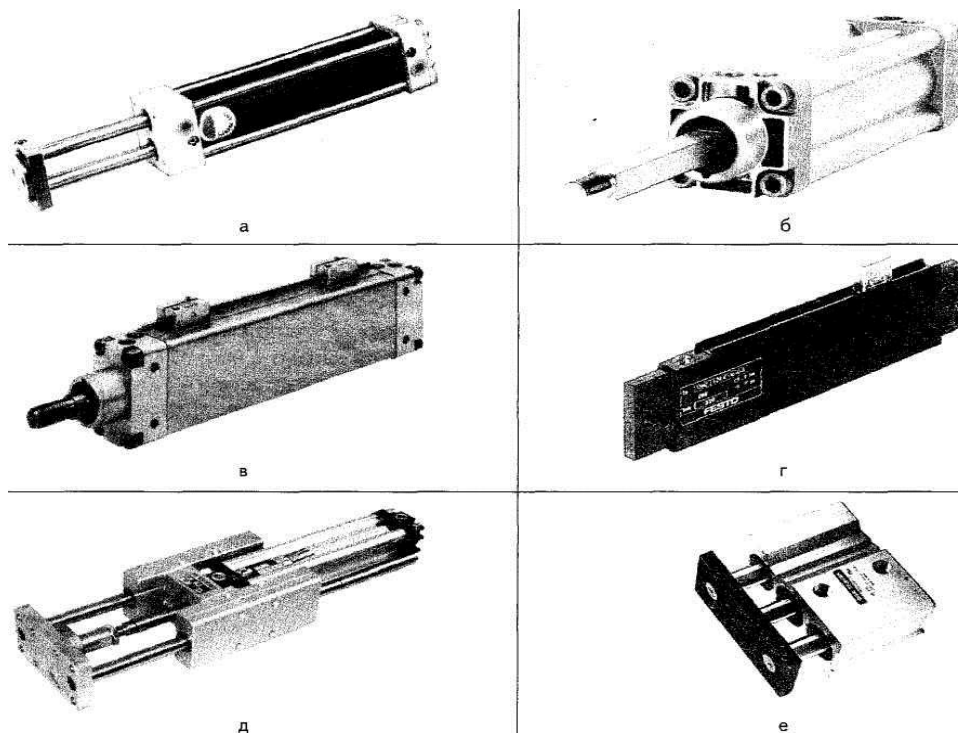


Рисунок 3.16 – Конструкції пневмоциліндрів зі штоком без прокручування:

- а – двоштокова; б – шток квадратного перерізу; в – з овальним поршнем;
- г – із прямокутним поршнем; д – із зовнішніми напрямними;
- е – з напрямними, виконаними разом із гільзою

Крутний момент у таких конструкціях може сприйматися: штоком (рис. 3.16 а, б); поршнем (рис. 3.16 в, г); напрямними (рис. 3.16 д, е).

За невеликих значень крутних моментів можуть використовуватися конструкції з двома штоками (рис. 3.16 а) або з квадратним штоком (рис. 3.16 б). Більш високі значення крутних моментів сприймають пневмоциліндри з овальним (рис. 3.16 в) або прямокутним (рис. 3.16 г) поршнем. Крім того, завдяки прямокутному профілю гільзи такі циліндри дозволяють забезпечувати високу щільність монтажу. Якщо пневмоциліндри працюють в умовах значних за величиною крутних моментів, їх забезпечують або зовнішніми напрямними (рис. 3.16 д), або напрямними, виконаними в одному корпусі із гільзою (рис. 3.16 е).

3.3 Монтаж пневмоциліндрів

Різні умови роботи пневмоциліндрів обумовлюють неоднакові способи їх монтажу. Спосіб монтажу істотно впливає на експлуатаційні показники пневмопривода і веденого механізму. Тому його необхідно обирати так, щоб:

- на штоку не виникали радіальні навантаження;
- шток не втратив стійкість у повністю висунутому положенні.

Для нерухомого та для рухомого способів монтажу (рис. 3.17) виготовляють різні елементи кріплення.

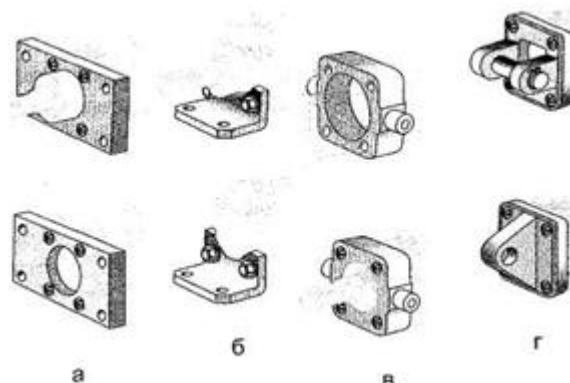


Рисунок 3.17 – Елементи кріплення пневмоциліндрів:
а – фланець; б – лапа; в – цапфа; г – поворотна вісь або вушко

У випадках нерухомого монтажу, за винятком випадку безпосереднього кріплення пневмоциліндрів, на обладнанні застосовують фланці (рис. 3.17 а) і лапи (рис. 3.17 б). Для забезпечення рухомості пневмоциліндра під час роботи використовують цапфи (рис. 3.17 в), поворотні осі або вушка (рис. 3.17 г).

З'єднання штока з механізмом також виконують різними способами (рис. 3.18).



Рисунок 3.18 – Елементи з'єднань штоків
пневмоциліндрів із веденими механізмами:
а – внутрішня різь на кінці штока; б – вилкоподібна головка;
в – серезка; г – з'єднувальна муфта

Нерухомі з'єднання реалізуються за допомогою зовнішньої (рис. 3.18 а) або внутрішньої різі на кінці штока.

Розходження траєкторій руху кінця штока і монтажної ланки веденого механізму призводить до появи радіальних зусиль на штоку й відповідно прискореного зношування гільзи, поршня, штока, напрямних втулок та ущільнень. Якщо при жорсткому способі закріплення штока внаслідок умов експлуатації або особливостей конструктивного виконання устаткування неможливо запобігти виникненню радіальних навантажень на шток, необхідно

застосовувати рухомі перехідні елементи кріплення – вилкоподібні головки (рис. 3.18 б), шарнірні наконечники – серезки (рис. 3.18 в) або з'єднувальні муфти (рис. 3.18 г).

Серезки, що містять кульовий елемент, дозволяють прокрутити осі приєднувального отвору на кілька градусів, а муфти допускають також і радіальне зсування штока та веденого механізму на кілька десятих часток міліметра.

Необхідно мати на увазі, що гранично допустимі осьові навантаження на шток залежать від способу монтажу. Хоча напруження в штоку від чистого стиснення незначні, за великих робочих ходів можлива втрата стійкості внаслідок поздовжнього вигинання. Стійкість штока перевіряється за узагальненою формулою Ейлера.

Під час монтажу необхідно додержуватися заходів, що виключають можливість пошкодження циліндрів (особливо штоків) і потрапляння забруднювачів на їх внутрішні поверхні. Місця встановлення пневмоциліндрів повинні бути доступними для обслуговування в процесі експлуатації.

3.4 Поворотні пневматичні двигуни

У конструкціях дорожніх і деяких інших мобільних машин існує коло завдань, де необхідне не лінійне переміщення вихідної ланки виконавчого механізму, а її прокручування на заданий кут у діапазоні від 0 до 360 градусів. Для цього застосовують поворотні пневматичні двигуни (пневмодвигуни), найчастіше поршневі або шиберні – пластинчасті (рис. 3.19).

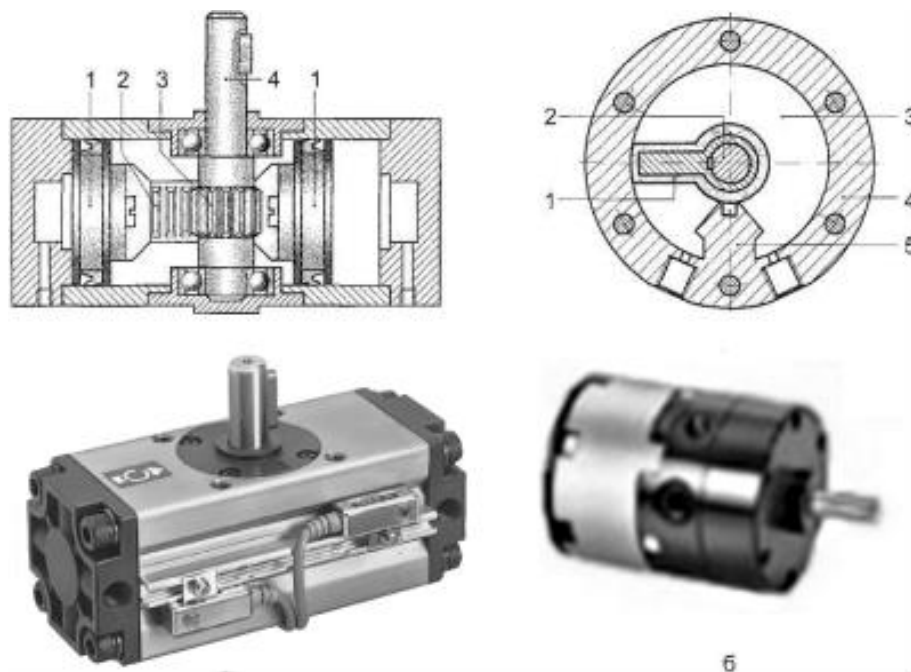


Рисунок 3.19 – Поворотні пневмодвигуни:

- а– поршковий поворотний пневмодвигун із рейковою передачею:
1 – поршень; 2 – шток-рейка; 3 – шестерня; 4 – вихідний вал;
- б – пластинчастий (шиберний) поворотний пневмодвигун: 1 – пластина (шибер);
2 – вихідний вал; 3 – циліндрична розточка; 4 – корпус; 5 – обмежувач

Поршневий поворотний пневмодвигун із рейковою передачею (рис. 3.19 а) виконують на базі передачі «шестерня – рейка». Шестерня 3, що встановлюється на вихідному валу 4, входить у зачеплення зі штоком-рейкою 2, який жорстко зв'язаний із поршнями 1 двох різноспрямованих циліндрів однобічної дії.

Під час подавання стиснутого повітря в робочу порожнину одного з пневмоциліндрів поршні 1 разом зі штоком-рейкою 2 здійснюють прямолінійний рух, який за допомогою рейкової передачі перетворюється на обертальний (у межах одного оберту) рух вала 4. Вал пов'язаний з об'єктом, який необхідно повернути на деякий кут (наприклад, із захоплювальним пристроєм промислового робота).

Очевидно, що поршневі пневмодвигуни можна виконувати так, щоб у кінці робочого ходу відбувалося демпфірування, а поршні були забезпечені магнітними вставками з метою забезпечення можливості безконтактного опитування їх положення. У деяких конструкціях передбачається також регулювання кута повороту.

Максимальний крутний момент, що розвивається поршневими поворотними пневмодвигунами, зазвичай не перевищує $150 \text{ Н} \cdot \text{м}$ (за діаметра поршнів 100 мм).

Пластинчастий (шиберний) поворотний пневмодвигун (рис. 3.19 б) улаштований так, що стиснуте повітря впливає на жорстко закріплену на вихідному валу 2 пластину 1 (шибер), розміщену всередині циліндричної розточки 3 в корпусі 4. Для того щоб запобігти перетіканню повітря з однієї робочої порожнини двигуна в іншу, пластину виконують із гумовим або пластмасовим покриттям. Кут повороту шибера залежить від розмірів корпусного обмежувача 5 і в стандартних конструкціях становить 90 , 180 або 270 градусів. Для встановлення довільного кута повороту такі пневмодвигуни обладнують зовнішніми пересувними упорами. Вони розвивають крутний момент до $250 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

На принципових пневматичних схемах поршневі й пластинчасті (шиберні) пневмодвигуни позначають подібними символами (рис. 3.20).

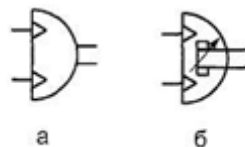


Рисунок 3.20 – Умовне графічне позначення поворотних пневмодвигунів:
а – загальне; б – з демпфіруванням у кінці ходу

Оскільки зупинення обертальної маси без демпфірування або за наявності перевантажень створює небезпеку пошкодження шестерні або лопаті, то, вибираючи відповідний поворотний двигун, дуже важливо правильно врахувати моменти інерції технологічних об'єктів, яким надають обертального руху. Значення їх повинні бути меншими від зазначених у промислових каталогах як гранично допустимі для обраного типорозміру пневмодвигуна.

3.5 Пневмомотори

Пневмодвигуни обертальної дії, або пневмомотори, призначені для перетворення потенціальної енергії стиснутого повітря на механічну роботу і забезпечують необмежений обертальний рух вихідного вала. Як і інші пристрої, що працюють на стиснутому повітрі, пневмомотори мають ряд переваг, які в багатьох випадках роблять їх використання найкращим з економічної і технічної точок зору. До цих переваг відносять:

- простоту регулювання швидкості обертання і крутного моменту;
- можливість повного гальмування під навантаженням без шкоди для конструкції і робочих якостей пневмомотора;
- відсутність перегрівання;
- значний ресурс роботи;
- повну вибухобезпечність;
- нечутливість до несприятливих факторів зовнішнього середовища (пил, волога тощо);
- простоту монтажу.

Існує досить багато варіантів конструктивного виконання пневмомоторів (рис. 3.21), однак не всі вони набули широкого використання.

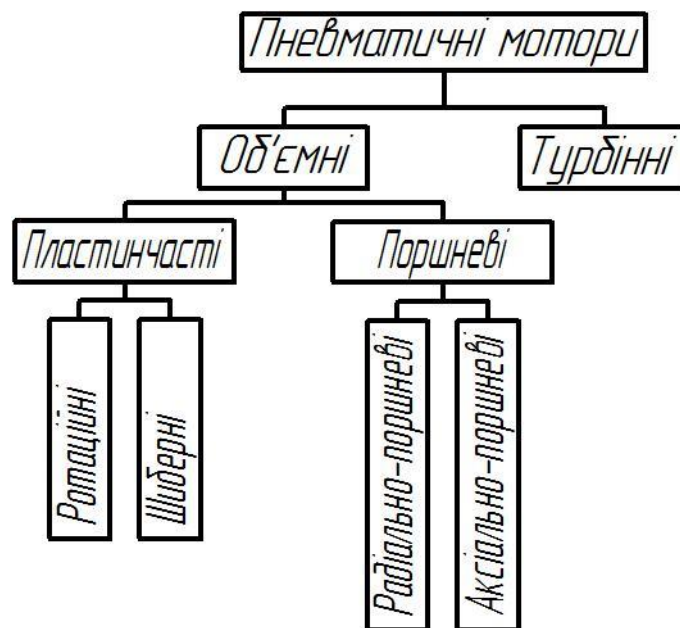


Рисунок 3.21 – Класифікація пневмомоторів

Під час експлуатації пневмомотора істотне значення має такий стаціонарний режим, за якого досягається максимальна продуктивність машини. Цьому режиму відповідають статичні характеристики крутного моменту M , потужності N і загального ККД, що визначаються теоретично або експериментально за постійної частоти обертання n (рис. 3.22).

Як бачимо з рисунка 3.22, потужність пневмомотора досягає максимального значення N_{\max} за частоти обертання $n_0 \sim 0,5n_{x.x}$ (де $n_{x.x}$ –

частота обертання під час холостого ходу), крутний момент має найбільше значення M_{\max} за частоти обертання, що наближається до нуля.

Номінальною частотою обертання пневмомотора вважають таке її значення, за якого має місце максимум ККД мотора. Для об'ємних двигунів загального призначення $n_{\text{ном}} = (0,30 - 0,35) \cdot n_{\text{х.х}}$, і найбільша економічність роботи пневмомотора досягається за номінальної частоти обертання, а найбільша технічна ефективність – за максимальної потужності.

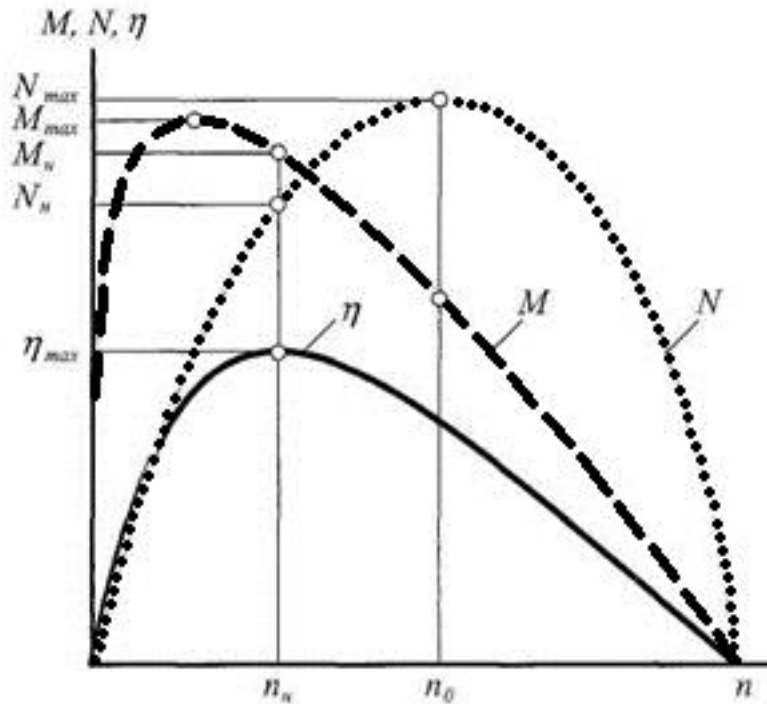


Рисунок 3.22 – Основні робочі характеристики пневмомоторів

У паспортних характеристиках пневмомоторів зазвичай зазначають максимальну потужність і відповідну їй частоту обертання за робочого тиску стиснутого повітря, а також номінальну частоту обертання.

Робочий процес будь-якого пневмомотора є зворотним відносно робочого процесу компресора відповідного типу. Якщо в компресорі здійснюється процес перетворення механічної енергії обертального руху приводного вала на потенціальну енергію стиснутого повітря на виході, то в пневмомоторі, навпаки, енергія стиснутого повітря, що надходить на вхід, перетворюється на механічну енергію обертання вала.

3.5.1 Пластинчасті (шиберні) пневмомотори

Принципова конструктивна схема шиберного (пластинчастого) пневмомотора (рис. 3.23) практично не відрізняється від раніше розглянутої конструктивної схеми пластинчастого компресора.

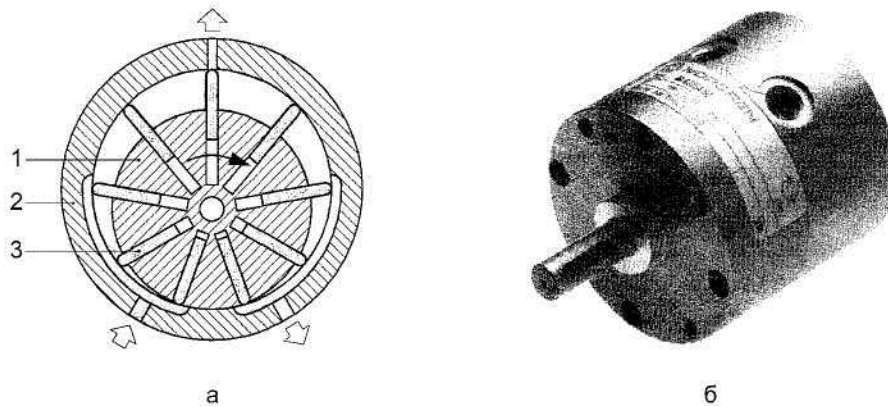


Рисунок 3.23 – Ротаційний (шиберний) пневмомотор:
 а – конструкція; б – зовнішній вигляд; 1 – ротор; 2 – статор; 3 – пластина

Під час подавання стиснутого повітря в робочу камеру пневмомотора виникають сили, які діють на пластини 3, що обмежують об'єм камери. Внаслідок ексцентричного розміщення ротора 1 відносно статора 2 площі пластин різні, тому розрізняються за величиною й сили, що діють на них. У точці, після проходження якої об'єми робочих камер починають зменшуватися, виконано отвір для скидання відпрацьованого повітря. Від рівнодійної усіх прикладених сил виникає крутний момент, що приводить до повороту ротора, в процесі якого збільшуються об'єми частини робочих камер, завдяки цьому стиснуте повітря, що міститься в цих камерах, розширюється. Робота розширення, виконувана водночас, перетворюється на додаткову механічну енергію обертання ротора.

Від кількості пластин пневмомотора залежать його коефіцієнт корисної дії (ККД), умови пуску і швидкість розгону (прийомистість), а також рівномірність обертання. Стандартні конструкції мають 3–5 пластин, в особливих випадках їх кількість збільшують до 10. Випускаються як реверсивні, так і нереверсивні пластинчасті пневмомотори.

До недоліків пластинчастих пневмомоторів відносять необхідність значного змащування і невисоку герметичність робочих камер, що призводить до виникнення витоків повітря, а отже, – до зниження ККД; низьку надійність роботи у зв'язку зі швидким зношуванням лопатей (за даними праці [8], заміна лопатей виконується кожні 200 – 250 год роботи машини); обмежена швидкість ковзання торцевих поверхонь лопатей по циліндричній поверхні корпусу. Діапазон потужностей пластинчастих пневмомоторів становить 0,05 – 20 кВт, діапазон частот обертання 30 – 20 000 об/хв.

Часто до конструкції пластинчастого пневмомотора входять додаткові вузли: редуктор (зазвичай планетарний), що забезпечує необхідну споживачеві частоту обертання, і відцентровий регулятор. Останній дозволяє обмежити частоту обертання на холостому ході та забезпечити в певних межах її сталість у разі коливань навантаження.

Пластинчасті пневмомотори широко використовують у різноманітних спеціальних пристроях і пристосуваннях, що працюють на стиснутому повітрі.

3.5.2 Шестеренні пневмомотори

У корпусі 3 шестеренного пневмомотора розміщені дві зчеплені шестерні 1 і 2 (зубчасті колеса), причому одна з них закріплена на вихідному валу або виконана разом із ним, а інша вільно обертається на опорах, установлених у корпусі (рис. 3.24).

Стиснуте повітря, що подається в робочу камеру, діє на бічні поверхні зубців шестерень. Зусилля, які виникають у цьому разі, що дорівнюють добутку тиску стиснутого повітря на площу бічної поверхні зубця, спричиняють прокручування шестерень, одна з яких обертається за годинниковою стрілкою, а інша – в протилежному напрямку. Шестерні можуть мати прямі, косі або шевронні зубці. У разі застосування косозубих або шевронних шестерень об'єми робочих камер змінюються в процесі повороту, у зв'язку з цим виникає можливість використовувати роботу розширення стиснутого повітря.

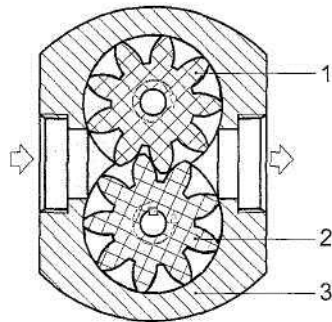


Рисунок 3.24 – Шестеренний пневмомотор:
1, 2 – шестерні; 3 – корпус

Шестеренні пневмодвигуни прості за конструкцією, легко переносять перевантаження, є надійнішими за поршневі пневмодвигуни внаслідок меншої кількості деталей, більш довговічними, тому що їх довговічність визначається такими самими умовами, що й довговічність звичайних зубчастих передач, але вони мають підвищену питому витрату робочого тіла, сильний шум під час роботи, велику масу і габарити. У праці [8] наведені дані щодо зміни технічних параметрів шестеренного пневмодвигуна в процесі роботи: через 975 годин роботи його потужність знижується на 28 %, а витрата стиснутого повітря підвищується на 33 %.

Максимальна номінальна потужність шестеренних пневмомоторів досягає 70 кВт (для моторів із шевронними шестернями – 330 кВт), номінальна частота обертання зазвичай не перевищує 1 000 – 3 000 об/хв.

Сфера застосування шестеренних пневмомоторів досить широка.

3.5.3 Поршневі пневмомотори

У поршневих пневмомоторах поршню за рахунок енергії тиску стиснутого повітря «повідомляється» поступальний рух, а потім він перетворюється механічним шляхом на обертальний рух вихідного вала. Поршневі пневмомотори поділяють на радіально-поршневі, в яких поршні

рухаються перпендикулярно до осі вихідного вала, та аксіально-поршневі з поршнями, що рухаються паралельно осі вихідного вала. Найбільшого поширення набули радіально-поршневі пневмомотори.

Радіально-поршневі пневмомотори

Конструктивна схема радіально-поршневого пневмомотора показана на рис. 3.25.

Стиснуте повітря одночасно подається до двох робочих камер пневмомотора, наприклад, 1 і 2, через крановий розподільник 5, установлений на вихідному валу. Водночас відповідні поршні, переміщаючись до нижньої «мертвої точки», передають зусилля на колінчастий вал через свої шатуни. Після повороту вала, а разом із ним і розподільника на деякий кут стиснуте повітря подається в робочі камери 2 і 3, а відпрацьоване повітря з камер 4 і 1 скидається в атмосферу також через крановий розподільник. Далі цей цикл повторюється. Зазвичай радіально-поршневі пневмомотори мають від 4 до 6 поршнів.

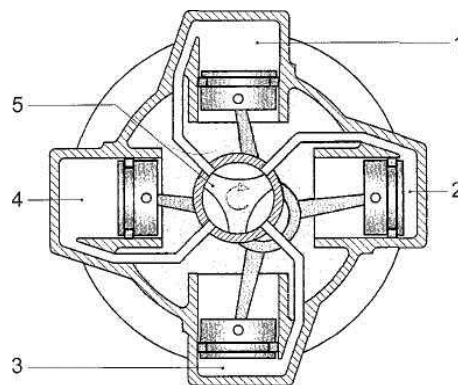
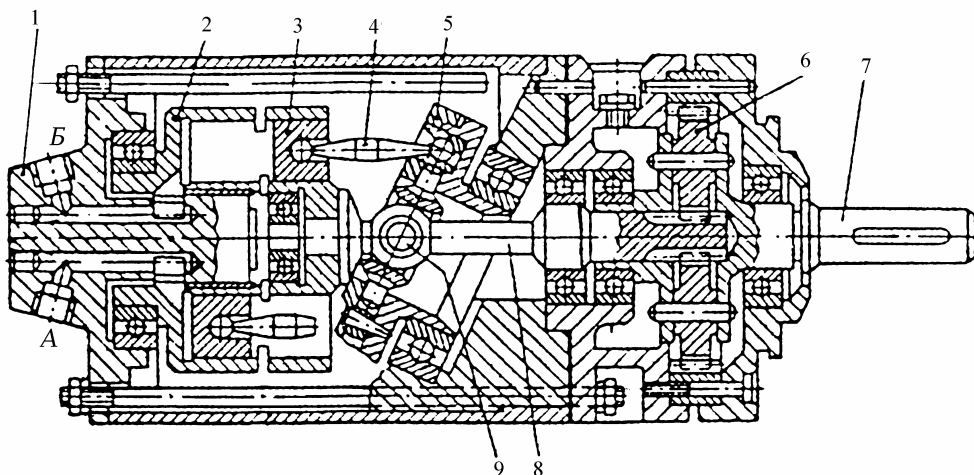


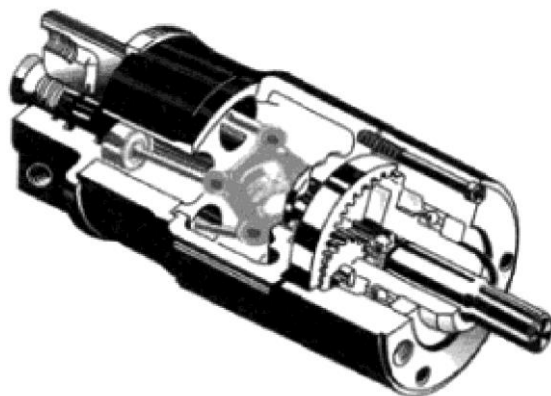
Рисунок 3.25 – Радіально-поршневий пневмомотор:
1, 2, 3, 4 – робочі камери; 5 – розподільник

Аксіально-поршневі пневмомотори

В аксіально-поршневих пневмомоторах поршні рухаються паралельно осі вихідного вала. Конструктивна схема аксіально-поршневого пневмомотора із зубчастим редуктором і його зовнішній вид подані на рисунку 3.26.



а – конструкція



б – зовнішній вигляд

Рисунок 3.26 – Аксіально-поршневий пневмомотор:

1 – кришка; 2 – циліндровий блок; 3 – поршень; 4 – шток; 5 – похила планшайба; 6 – шестерня; 7 – вихідний вал; 8 – шліцьовий вал; 9 – карданний шарнір

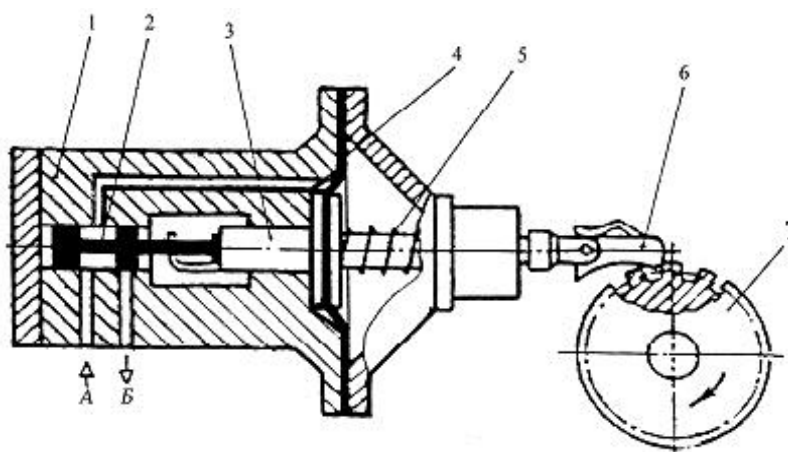
Поршневі пневмомотори мають відносно високий ККД, забезпечують значну величину крутного моменту, а отже, якнайкраще підходять у тих випадках, якщо необхідно долати значні навантаження. Діапазон потужностей становить $0,2 - 25 \text{ кВт}$ для радіально-поршневих і $0,1 - 3 \text{ кВт}$ – для аксіально-поршневих пневмомоторів.

До недоліків поршневих пневмомоторів необхідно віднести складність конструктивного виконання, тихохідність до 1500 об/хв для радіально-поршневих і до 3000 об/хв для аксіально-поршневих пневмомоторів), низьку надійність і нестабільність характеристик внаслідок швидкого зношування циліндропоршневої та золотникової (за наявності) груп, великі габарити й вагу, підвищені вимоги до очищення та осушення робочого тіла. У разі замерзання і заклинювання рухомих частин можуть створюватися аварійні ситуації. Відповідно до даних [8] поршневий пневмодвигун, що серійно випускається, має термін служби золотника, поршневого і мастилознімного поршневих кілець 384 год , а через 800 годин роботи його потужність знижується на 25% , витрата стиснутого повітря підвищується на 25% .

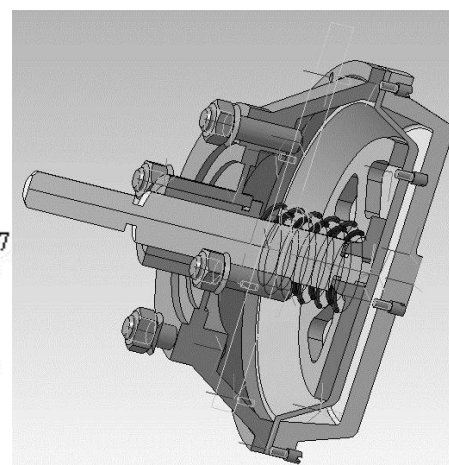
Поршневі пневмомотори застосовують у великих підйомниках, приводах різних транспортних засобів.

3.5.4 Мембранні (крокові) пневмомотори

За допомогою мембранного пневмомотора (рис. 3.27) можна отримати крокове (імпульсне) обертання виконавчого органу. Принцип його дії такий. Під час подавання стиснутого повітря у вхідний канал А мембрана 5 прогинається вправо і переміщує штовхач 6, що прокручує зубчасте колесо 7 виконавчого механізму на певний кут. Разом із мембраною 4 переміщається пов'язаний із нею шток 3. Він з'єднаний також і з плунжером 2, який у кінці ходу мембрани перекриває канал А і відкриває вихідний канал Б, що випускає повітря в атмосферу. Внаслідок з'єднання порожнини зліва від мембрани з атмосферою надлишковий тиск стиснутого повітря знижується до нуля, під дією пружини 5 шток 3, штовхач 6 і плунжер 2 повертаються до початкового положення, знову відкриваючи канал А і закриваючи канал Б. Під мембрану 4 знову почне надходити стиснуте повітря, і цикл повороту повториться.



а – конструкція



б – зовнішній вигляд

Рисунок 3.27 – Мембранний пневмомотор:

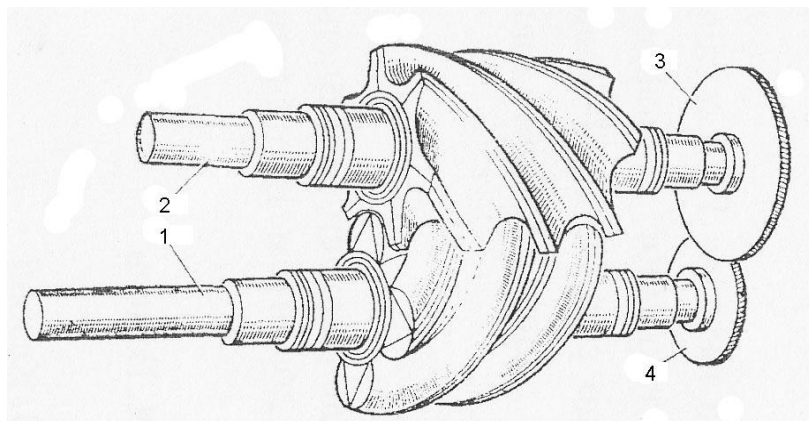
1 – корпус; 2 – плунжер; 3 – шток; 4 – мембрана;
5 – пружина; 6 – штовхач; 7 – зубчасте колесо

Мембранні пневмомотори мають високий крутний момент за низької швидкості обертання і різке його зменшення в разі збільшення швидкості, тому вони широко використовуються у приводах клапанної арматури, де максимальні зусилля потрібні в початковий момент відкриття клапана, а потім необхідні зусилля різко зменшуються.

3.5.5 Гвинтові пневмомотори

Гвинтові пневмомотори за конструкцією аналогічні гвинтовим компресорам.

На рисунку 3.28 показані елементи конструкції гвинтового пневмомотора. Гвинт 1 із вихідним валом – чотиризахідний, профіль його зубців утворений опуклими півколами; гвинт 2 має шість зубців, профіль яких виконаний у вигляді ввігнутих півкіл. Синхронізувальні косозубі колеса 3 і 4 оберігають від силового контакту між гвинтами, що запобігає їх зношуванню, в цьому разі можна не вимагати якісного їх змащування. Внаслідок спірального розміщення зубців процес взаємодії гвинтів відбувається безперервно, тому що крутний момент, який розвивається, є плавним, без пульсацій. Вібрації під час роботи мотора відсутні.



а – конструкція



б – зовнішній вигляд

Рисунок 3.28 – Елементи конструкції гвинтового пневмомотора:

1 – гвинт із вихідним валом; 2 – гвинт без вала; 3, 4 – синхронізувальні косозубі колеса

Відсутність силового контакту гвинтів, відносно малий діаметр гвинтів, застосування підшипників кочення забезпечують частоту обертання валів у гвинтових пневмомоторах до 15 000 об/хв. Гвинтові пневмомотори довговічні, компактні, швидкохідні, розвивають плавний крутний момент, мають відносно високий ККД, не вимагають змащування під час роботи, однак висока складність їх виготовлення і, як наслідок, висока вартість стримують широке використання моторів цього типу промисловістю.

3.5.6 Турбінні пневмомотори

У турбінних пневмомоторах кінетична енергія потоку стиснутого повітря перетворюється на механічну енергію обертання вихідного вала.

Серед турбінних пневмомоторів можна виділити мотори на основі класичних відцентрових і осьових турбін, а також порівняно нові пневмомотори з використанням струминно-реактивної і вихрової турбін.

Турбінні пневмомотори порівняно з двигунами об'ємного типу (поршневими, ротаційними, шестеренними, лопатевими, гвинтовими, мембранними) мають спільну рухому частину – робоче колесо, що здійснює простий обертальний рух (у разі застосування передавального механізму обертальний рух здійснюють також деталі цього механізму), тому їх надійність і довговічність є значно вищими, адже визначаються надійністю й довговічністю лише підшипникових вузлів. Наслідком відсутності зношування деталей проточної частини турбінних пневмомоторів, крім підвищеної надійності, є стабільність вихідних характеристик. Крім того, турбінні пневмомотори мають малі габарити та вагу (об'єм турбінного двигуна (компактність) і вага в декілька разів менші за відповідні показники об'ємних двигунів), «суху» (безмасляні) робочу порожнину, вони прості й безпечні в обслуговуванні, здатні розвивати значні потужності.

Турбінний пневмомотор з осьовою турбіною

На рисунку 3.28 показана конструктивна схема турбінного пневмомотора з осьовою турбіною.

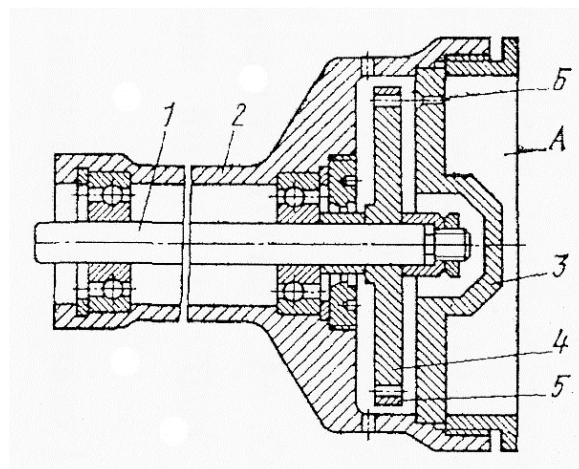


Рисунок 3.28 – Турбінний пневмомотор з осьовою турбіною:

- 1 – вихідний вал; 2 – корпус; 3 – сопловий апарат;
- 4 – робоче колесо; 5 – бандажне кільце

Робоче колесо 4 з вихідним валом 1 обертається на двох кулькових підшипниках, убудованих у корпус 2. Лопаті робочого колеса охоплюються бандажним кільцем 5. Стиснуте повітря надходить до порожнини А і через сопла або отвори Б у сопловому апараті 3 подається до міжлопатеєвих каналів робочого колеса, під час проходження яких змінюється напрямок його руху, в результаті цього розвивається сила, прикладена до лопатей, і створюється крутний момент; таким чином, стиснуте повітря віддає частину своєї енергії турбінному колесу.

Основними недоліками турбінних пневмомоторів, виконаних на базі класичних відцентрових та осьових турбін, є складність виготовлення й реверсування через наявність спеціально профільованих соплових й робочих лопатей апаратів складної форми, висока швидкохідність, зменшення економічності за мінімальних витрат робочого тіла. З метою зменшення швидкохідності турбіни виконують або парціальними, тобто такими, що підводять газ до колеса на частині його кола, або двоступеневими; в першому випадку знижується ККД (в окремих випадках для турбін із поодинокими соплами ККД зменшується до 30 – 20 %, у другому випадку ускладнюється конструкція).

Турбінні пневмомотори з використанням відцентрових та осьових турбін дозволяють отримувати дуже високі частоти обертання 20 000 – 400 000 *об/хв* вихідного вала і невеликий крутний момент на ньому порівняно з частотами й моментами, що досягаються під час використання турбінних пневмомоторів об'ємного типу, тому їх застосовують там, де необхідна висока частота обертання і постійний режим роботи: для привода пневмошпинделів і пневмоінструмента (зокрема, в малих високошвидкісних шліфувальних машинках для тонкого оброблення).

Турбінний пневмомотор зі струминно-реактивною турбіною

Основними перевагами струминно-реактивної турбіни (рис. 3.29, 3.30) перед класичними турбінами (відцентровими та осьовими) є: простота конструкції (особливо у реверсивному виконанні), низька собівартість виготовлення, виробнича технологічність, відсутність складних профільованих лопатей елементів газового тракту, низька інерційність, можливість ефективного спрацювання в одному ступені великого відношення тисків, висока надійність роботи на забрудненому та вологому робочому тілі, особливо за малих витрат і низьких температур, що зумовлено суцільним (одноканальним) газовим трактом (у класичних турбінах у цих умовах газовий тракт, розділений лопатями на безліч малорозмірних каналів, може перемерзати або забиватися).

На рисунку 3.29 показана конструктивна схема реверсивної струминно-реактивної турбіни, на рисунку 3.30 – струминно-реактивний пневмодвигун (пневмомотор) із використанням цієї турбіни.

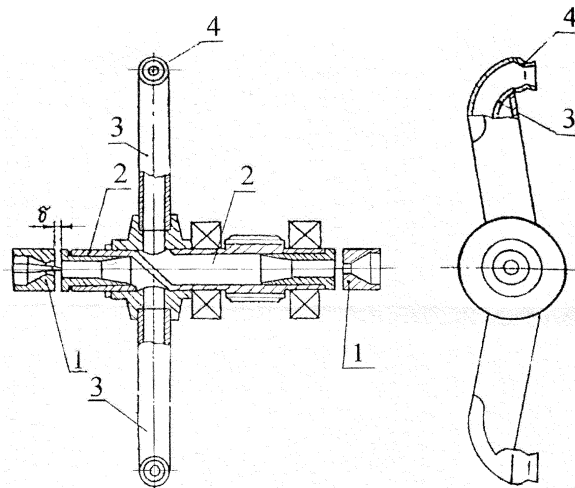


Рисунок 3.29 – Конструктивна схема реверсивної струминно-реактивної турбіни:
1 – живильне сопло; 2 – порожнистий ротор; 3 – газовий тракт; 4 – тягове сопло



Рисунок 3.30 – Струминно-реактивний пневмодвигун
(пневмомотор зі струминно-реактивною турбіною)

Газ через живильне сопло 1 підводиться до порожнистого вала ротора 2 і далі по газовому тракту 3 – до тягового сопла 4. У тяговому соплі потенціальна енергія стиснутого газу перетворюється на кінетичну енергію струменя, який, витікаючи з надзвуковою швидкістю з тягового сопла, створює реактивну силу і відповідно крутний момент на валу турбіни.

За малих діаметрів робочого колеса (до 0,2 м) і великих відношень тисків ККД струминно-реактивної турбіни може наближатися до ККД класичної турбіни. Крім того, ротор струминно-реактивної турбіни має менший момент інерції порівняно з ротором класичної турбіни, що дозволяє отримати більш динамічну систему, збільшує швидкодію.

До недоліків струминно-реактивної турбіни можна віднести низький ККД (в основному через значний аеродинамічний опір обертання ротора в оточуючому середовищі), швидкохідність (максимум ККД перебуває в області

порівняно високих частот обертання), можливість ефективної роботи лише за порівняно великих відношень тисків (більше ніж 3).

Пневмомотори зі струминно-реактивною турбіною застосовують як виконавчі пристрої в приводах кульових кранів великих прохідних перерізів, використовуваних у газовій промисловості, в різноманітних системах керування і автоматичного регулювання.

Турбінний пневмомотор із вихровою турбіною

Вихрова турбіна (див. рис. 3.31, 3.32) порівняно з осью або відцентровою простіша конструктивно, більш технологічна і дешевша щодо виготовлення. В області низьких витрат, малих потужностей, коли потрібні невеликі габарити і вага, вихрова турбіна за інших однакових умов (знімаються потужність, габарити, ККД) дозволяє виключити основний недолік класичних турбін – високооборотність. Оптимальна частота обертання вихрової турбіни менша за оптимальну частоту обертання класичної турбіни. Вихровий пневмомотор має більш високе відношення пускового моменту до номінального (за цим показником він поступається лише поршневому пневмомотору). ККД вихрових турбін, що був отриманий на цей час, становить 30 – 40 %. До недоліків вихрових пневмомоторів можна віднести відносно низький ККД і підвищену чутливість до зазорів між робочим колесом та корпусом.

На рисунку 3.31 а показана конструктивна схема вихрової пневматичної турбіни із зовнішнім периферичним каналом, на рисунку 3.31 б – із периферично-бічним каналом, а на рисунку 3.32 – пневмомотор із вихровою турбіною. Турбіна складається із сопла 1, робочого колеса 5 та корпусу 3, в якому виконані робочий канал 2 і вихідний отвір. Між соплом і вихідним отвором установлений відсікач (роздільник) 6.

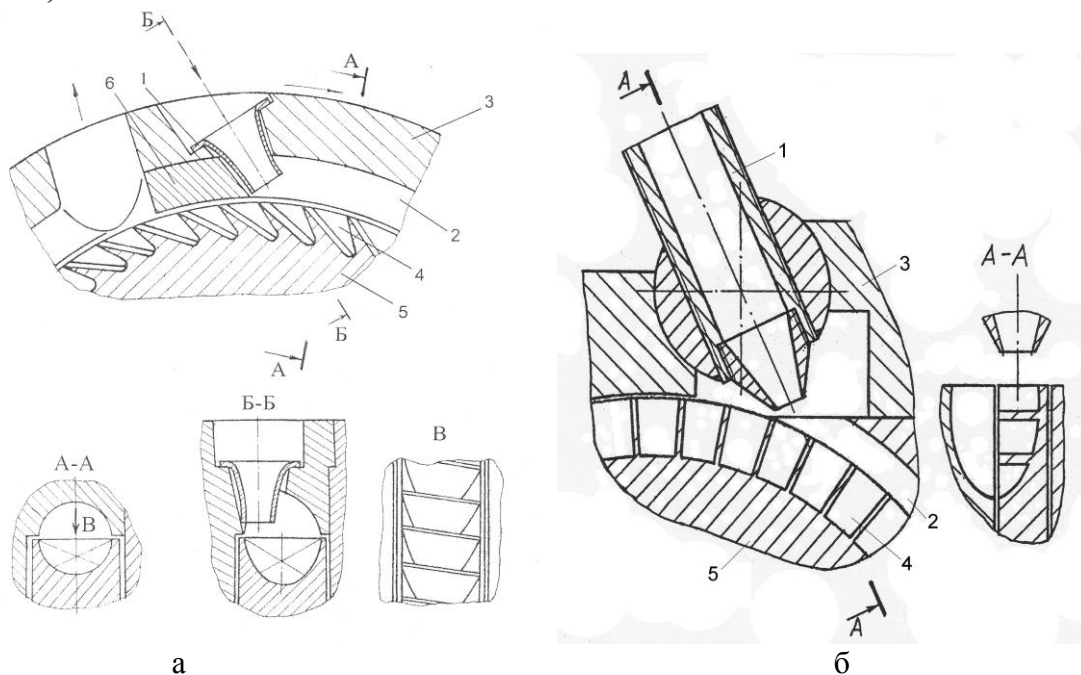


Рисунок 3.31 – Конструктивна схема вихрового ступеня:

а – із зовнішнім периферичним каналом; б – із периферично-бічним каналом;
1 – сопло; 2 – робочий канал; 3 – корпус; 4 – міжлопатевий канал; 5 – робоче колесо; 6 – відсікач

Турбіна працює таким чином: робоче тіло через сопло 1 надходить до проточної частини, утвореної каналом 2, корпусом 3 і міжлопатевими каналами 4 робочого колеса 5, що обертається в корпусі з малими радіальними й торцевими зазорами. Потенціальна енергія стиснутого газу перетворюється на кінетичну частково у соплі, а частково у каналі корпусу і міжлопатевих каналах робочого колеса. Під час взаємодії потоку газу з лопатями робочого колеса відбувається перетворення кінетичної енергії на механічну роботу на валу турбіни. З проточної частини газ відводиться через вихідний отвір. Частинки газу в проточній частині турбіни рухаються спіралеподібними траєкторіями від входу до виходу машини, багаторазово взаємодіючи з лопатями робочого колеса і поступово віддаючи йому енергію.

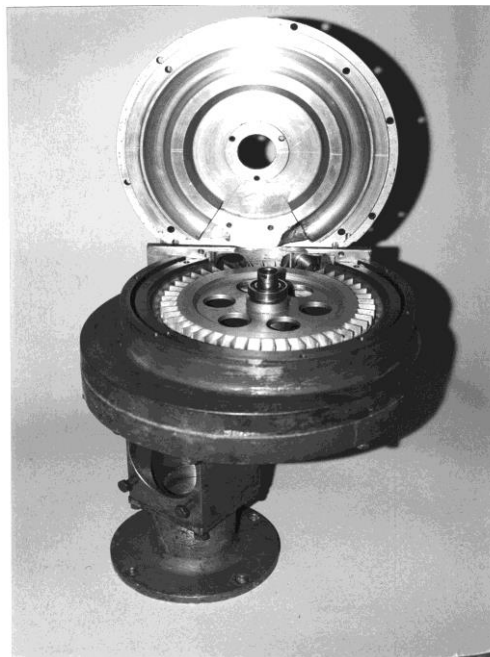


Рисунок 3.32 – Зовнішній вигляд пневмомотора з вихровою турбіною

Вихрові пневмомотори застосовують у пневмоінструменті, в турбогенераторах невеликої потужності (зокрема, як аварійні турбогенератори на газорозподільних станціях магістральних газопроводів).

3.5.7 Вибір типу пневмомотора

Жоден із розглянутих типів пневмомоторів не є бездоганним, придатним для будь-якого випадку. Кожен із них має власні переваги й недоліки, і вибір типу мотора в кожному конкретному випадку повинен супроводжуватися всебічним оцінюванням його особливостей, зокрема й економічним аналізом. Іноді буває вигідно втратити ККД, але виграти в масі та розмірах або ж програти в розмірах, але виграти в довговічності тощо.

Найбільшу частоту обертання здатні розвивати турбінні пневмомотори, найменшу – мембранні, поршневі, шестеренні. Радіально-поршневі двигуни рекомендується застосовувати за робочих швидкостей обертання нижче від

25 – 30 % швидкості холостого обертання, тому що за цієї швидкості вони краще регулюються і менше споживають повітря.

Пластинчасті, гвинтові й турбінні мотори розвивають стабільний крутний момент, а в мембранних, поршневих і шестеренних моторах момент пульсуючий.

Найбільш високий адіабатний ККД і найменші втрати стиснутого повітря мають поршневі й мембранні мотори. ККД пластинчастих і шестеренних моторів набагато нижчий за рахунок значних втрат повітря в доквілля. Знижує ККД також установлення глушників шуму. ККД турбінних двигунів високий лише за великих потужностей. Витрата повітря на одиницю потужності менша в тих моторів, які працюють із частковим розширенням стиснутого повітря, тому витрата повітря для прямозубих і косозубих шестеренних моторів перевищує витрату для інших типів. Витрата повітря для турбінних двигунів малої потужності є досить значною.

Найбільш низьку масу на одиницю потужності мають пластинчасті, турбінні та аксіально-поршневі мотори, внаслідок цього вони є основними типами для привода ручного інструменту. Турбінні й пластинчасті мотори відрізняються від інших мінімальними розмірами.

У пневмомоторах легко здійснюється регулювання крутного моменту і частоти обертання шляхом зміни тиску та витрати повітря.





Всі типи моторів, окрім мембранних і шестеренних із шевронними зубцями, можуть бути виконані реверсивними. Однак мотори з реверсуванням менш потужні та споживають більше повітря.

Часто застосовують пневмомотори з шестеренними редукторами, що підвищує крутний момент на величину передавального відношення і зменшує ефект впливу зміни навантаження на частоту обертання.

Мотори не мають жорсткої характеристики і за зміни навантаження змінюють частоту обертання. Вони можуть бути зупинені під навантаженням у будь-який час без небезпеки пошкодження або нагрівання їх деталей.

Пневмомотори незалежно від їх конструктивного типу позначають на принципових пневматичних схемах, як показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Умовні позначення пневмомоторів на принципових пневматичних схемах

Пневмомотор	Нерегульований	Регульований
Нереверсивні		
Реверсивні		

3.6 Спеціальні пневматичні виконавчі пристрої

Існує цілий ряд пневматичних виконавчих пристроїв, які не можна однозначно віднести до жодного з раніше описаних типів, у зв'язку з цим такі пристрої називають *спеціальними*. Розглянемо найбільш поширені конструкції.

3.6.1 Цангові захвати

Цангові захвати широко використовують в автоматизованому станковому та іншому обладнанні для надійного затиснення та утримання тіл обертання в процесі роботи з ними (рис. 3.33).

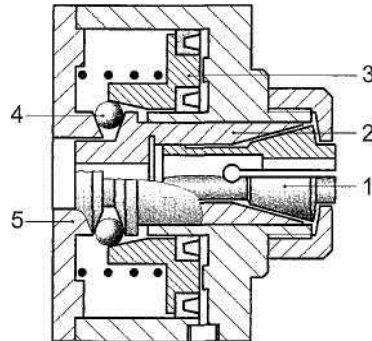


Рисунок 3.33 – Пневматичний цанговий захват:
1 – цанга; 2 – затискна втулка; 3 – поршень; 4 – кулька; 5 – корпус

Цанговий захват складається з таких основних деталей: цанги 1, затискної втулки 2, кільцевого поршня 3 з пружиною, кульок 4 і корпусу 5.

Під час подавання стиснутого повітря у захват поршень 3, стискаючи поперетальну пружину, переміщується вліво і вдавлює кульки 4 в клиновий зазор між корпусом 5 і затискною втулкою 2, яка також зміщується вправо, стискаючи пелюстки цанги 1 і здійснюючи затискання деталі.

Для розтиснення заготовки стиснуте повітря з поршневої порожнини скидають в атмосферу, водночас поршень повертається у вихідне положення, звільняючи кульки. У результаті цього цанга розтискується, зміщуючи затискну втулку у вихідну позицію.

3.6.2 Пневматичні захвати

Практично будь-який робот-маніпулятор забезпечений захоплювальним пристроєм, призначеним для того, щоб захопити будь-який об'єкт, утримувати його під час переміщення й орієнтування в просторі, після цього відпустити в потрібній точці. На рисунку 3.34 показана конструкція пневматичного затискача з паралельним рухом пальців-захватів.

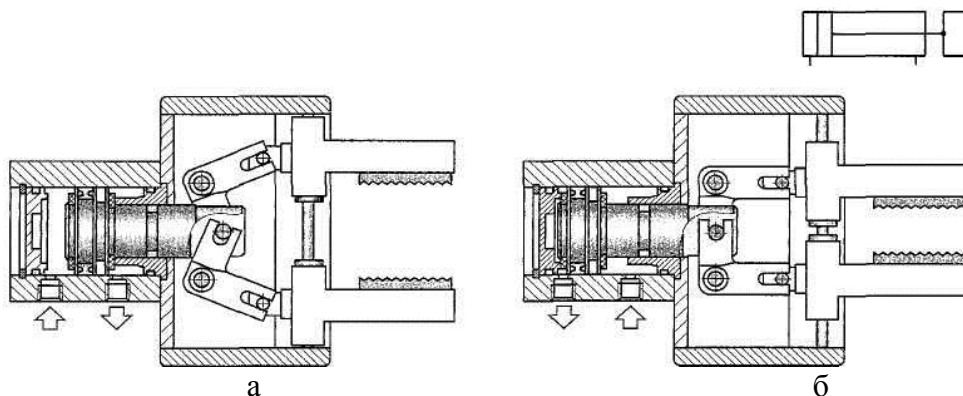


Рисунок 3.34 – Пневматичний захват із паралельним рухом пальців
(конструкція та умовне графічне позначення):
а – розчеплене положення; б – зчеплене положення

Під час подавання стиснутого повітря в поршневу порожнину пневмоциліндра двобічної дії шток висувається і через кулісний механізм розводить пальці-захвати (рис. 3.34 а). Під час зворотного ходу поршня пальці зводяться (рис. 3.34 б).

За конструктивним виконанням захвати поділяють на паралельні (рис. 3.35 а), поворотні (рис. 3.35 б) і триточкові (рис. 3.35 в).

Зазвичай конструкції захватів реалізують утримання об'єкта як за зовнішніми, так і за внутрішніми поверхнями, а в їх приводні поршні з метою забезпечення контролю спрацювання захоплення встановлюють постійний магніт.

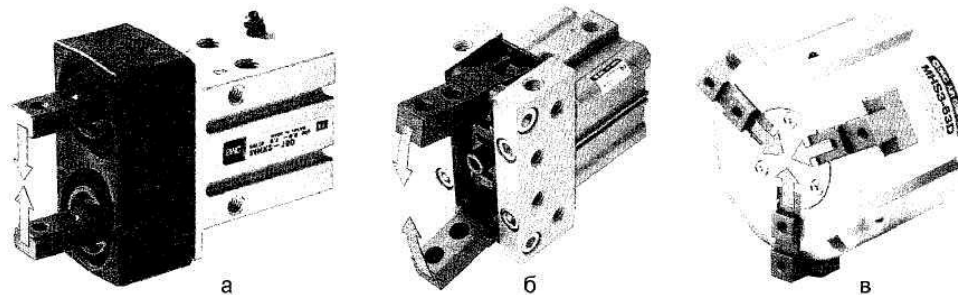


Рисунок 3.35 – Пневматичні захвати:
а – паралельні; б – поворотні; в – триточкові

3.6.3 Вакуумні захвати

У вакуумних захватах об'єкт утримується під дією розрідження, створюваного в порожнині між еластичним захватом (присоском) та поверхнею самого об'єкта (рис. 3.36 а), водночас для утримання вакууму в захваті важливо, щоб об'єкт був досить гладким і щільним. У заводських мережах для створення вакууму використовують вакуум-насоси. За цих умов присосок вакуумного захвату повинен керуватися апаратурою, здатною працювати з тисками, нижчими від атмосферного.

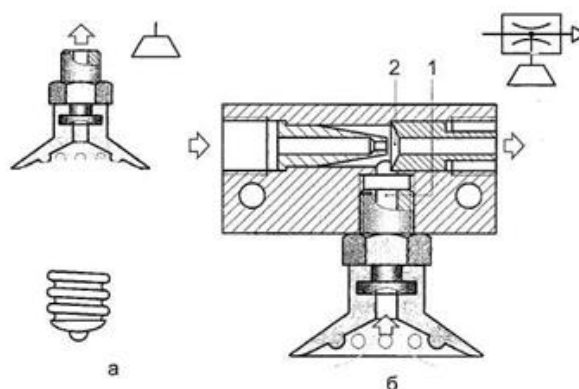


Рисунок 3.36 – Вакуумний захват
(конструкція та умовне графічне позначення на схемах):
а – з присоском; б – з ежектувальним пристроєм

У разі якщо необхідно забезпечити вакуум на конкретній ділянці технологічного обладнання, застосовують ежектори (рис. 3.36 б), що дозволяють створювати вакуум у робочому каналі до $-0,09 \text{ МПа}$ ($-0,9 \text{ бар}$) за тиску на вході $0,7 \text{ МПа}$ (7 бар). Принцип дії ежектора полягає в зниженні тиску на тих ділянках трубопроводу, де повітря рухається з великими швидкостями (відповідно до рівняння Бернуллі). Під час проходження каналом 2 стиснуте повітря ежектуює (залучає до потоку) повітря з камери 1, в результаті цього в ній виникає розрідження.

Крім типових конструкцій ежекторів (рис. 3.37 а), виробники елементів промислової пневмоавтоматики випускають ежекторні головки з примусовим відштовхуванням деталі від присоска за допомогою стиснутого повітря після завершення операції захоплення (рис. 3.37 б), а також компактні ежектори з електромагнітним керуванням процесом захоплення і відштовхування заготовки (рис. 3.37 в).

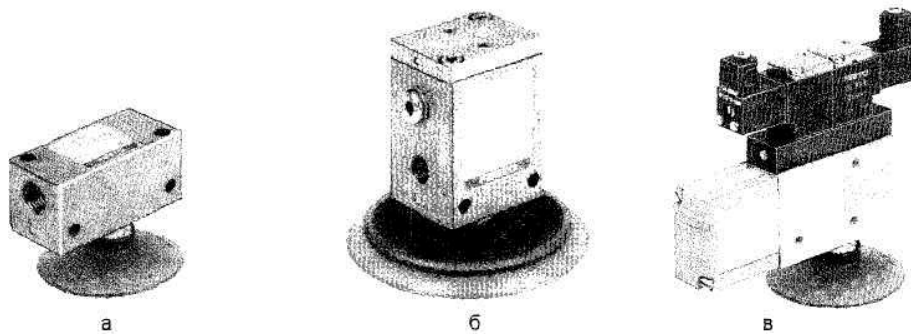


Рисунок 3.37 – Зовнішній вигляд ежектора:

а – типова конструкція; б – з примусовим відштовхуванням деталі;
в – з електромагнітним керуванням процесом захоплення і відштовхування заготовки

Очевидно, що зусилля, з яким об'єкт утримується у вакуумних захватах, залежить не лише від глибини вакууму, а й від площі присоска (або сумарної площі кількох присосків).

Для підтримання вакууму в системі в разі виходу з ладу одного або навіть декількох вакуумних захватів застосовують обмежувачі витрати стиснутого повітря – вакуумні клапани (рис. 3.38).

У разі пошкодження присоска або його контакту з неочищеною поверхнею захоплюваного об'єкта підпружинений запірний елемент 2 притискається до сідла 1 клапана за допомогою повітряного потоку, тим самим різко обмежуючи можливість надходження повітря до вакуумної системи. У результаті цього в систему через дросельний отвір запірної частини 2 проникає лише невелика частина повітря, завдяки цьому вакуум в інших захватах зберігається.

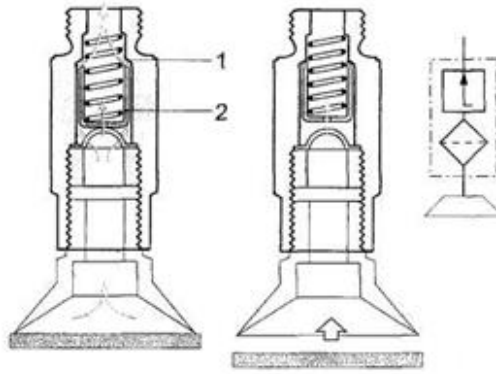


Рисунок 3.38 – Вакуумний клапан
(конструкція та умовне графічне позначення на схемах):
1 – сідло клапана; 2 – дросельний отвір запірною елемента

З метою забезпечення надійного функціонування декількох присосків, установлених на одній лінії, кожна з них повинна бути забезпечена вакуумним клапаном.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Для вирішення яких технічних завдань застосовують пневмодвигун?
- 2 За допомогою якого елемента шток пневмоциліндра одnobічної дії повертається у вихідне положення після спрацьовування?
- 3 Які переваги й недоліки мембранного пневмоциліндра?
- 4 Для чого застосовують демпфер у пневмоциліндрі?
- 5 В яких випадках застосовують тандем-пневмоциліндри і компактний тандем-пневмоциліндр?
- 6 Які переваги пневмоциліндра з фіксатором штока порівняно з пневмоциліндрами інших типів?
- 7 Як реалізується захист штока пневмоциліндра від прокручування?
- 8 За допомогою якого пневматичного пристрою здійснюють повертання його на заданий кут?
- 9 Які типи пневмомоторів ви знаєте?
- 10 За якими параметрами обирають пневмомотор?

4 НАПРЯМНА І РЕГУЛЮВАЛЬНА ПНЕВМОАПАРАТУРА

Функціональне призначення напрямної та регулювальної пневмоапаратури полягає в керуванні енергією стиснутого повітря, що надходить від джерела (компресорної станції) до споживача (виконавчих механізмів).

У напрямних і регулювальних пристроях вплив на потік стиснутого повітря здійснюється за допомогою рухомих запірно-регулювальних елементів (ЗРЕ). Призначення ЗРЕ незалежно від конструктивного виконання полягає в зміні величини прохідного перерізу каналу, через який рухається повітряний потік; у цьому разі така зміна може бути як дискретною (канал закритий – канал відкритий), так і плавно-безперервною. Дискретний режим роботи характерний для напрямної і запірної апаратури, а в регулювальній апаратурі ЗРЕ постійно перебуває в «плаваючому» режимі.

Залежно від способу впливу ЗРЕ на потік стиснутого повітря практично всі пристрої, що належать до напрямної і регулювальної підсистем пневмоприводів, поділяють на два великі класи: *апаратуру клапанного типу* та *апаратуру золотникового типу* (рис. 4.1).

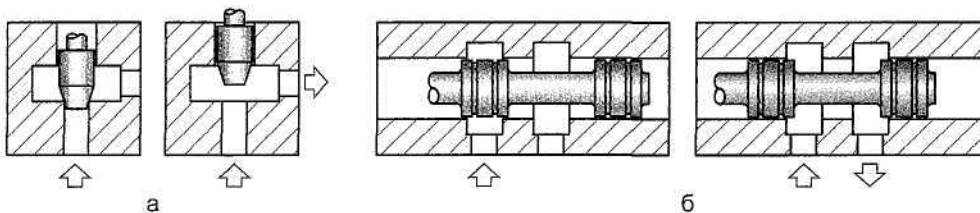


Рисунок 4.1 – Принцип дії запірно-регулювального елемента:
а – клапанного типу; б – золотникового типу

Від типу конструктивного виконання апарата (клапанний або золотниковий) залежать характеристики процесу його перемикання (зусилля, довжина ходу ЗРЕ), ступінь герметичності, рівень вимог до чистоти робочого середовища і необхідність змащування.

В апаратурі клапанного типу ЗРЕ переміщується вздовж осьової лінії потоку. Переваги такого конструктивного рішення очевидні: забезпечення повної герметичності при відсіканні однієї пневмолінії від іншої, знижена чутливість до впливу забруднювачів, можливість роботи без мастила, а також висока швидкодія (незначне переміщення ЗРЕ приводить до істотної зміни площі прохідного перерізу).

До недоліків апаратури клапанного типу можна віднести необхідність докладання значних зусиль для переміщення ЗРЕ, що пов'язано з необхідністю подолання сил, що виникають від тиску стиснутого повітря на ЗРЕ, або сил опору пружин, що притискають ЗРЕ до сідла клапана.

В апаратурі золотникового типу ЗРЕ переміщується перпендикулярно до осьової лінії потоку. Зусилля, обумовлене тиском стиснутого повітря на ЗРЕ (золотник), не приводить до якого-небудь його зміщення, тому що сили тиску

на торці золотника зрівноважені (золотник розвантажений). Для переміщення ЗРЕ необхідно подолати лише сили тертя між ним і корпусом.

Для повного відкриття робочого каналу золотник необхідно перемістити як мінімум на величину діаметра каналу (на що потрібно витратити певний час). Зазор між золотником і розточкою корпусу є «вузьким» місцем з огляду на можливість засмічення зазору й заклинювання золотника.

Для керування невеликими за величиною витрати потоками стиснутого повітря необхідно використовувати переважно апаратуру клапанного типу; а апаратуру золотникового типу – для керування потоками повітря з великою витратою.

4.1 Пневматичні розподільники

Пневматичні розподільники (пневморозподільники) відносять до напрямної апаратури, вони призначені для керування напрямком руху потоків стиснутого повітря. Керування здійснюється шляхом зміни (при перемиканні) схеми з'єднання внутрішніх каналів розподільника з вхідним і вихідними приєднувальними отворами. Функціональні можливості розподільників характеризуються рядом параметрів: кількістю робочих каналів, кількістю позицій перемикання, нормальною позицією, способом керування і пропускною здатністю.

Кожна позиція розподільника (можлива схема внутрішніх з'єднань) позначається квадратом, в якому показані шляхи потоку стиснутого повітря (рис. 4.2).

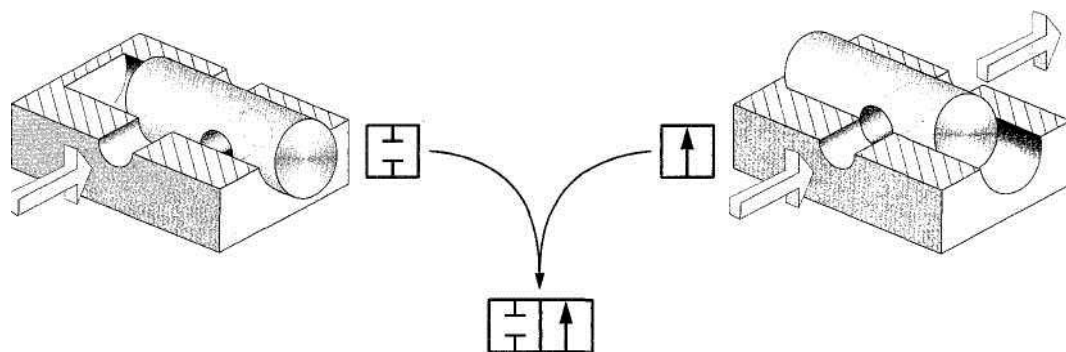


Рисунок 4.2 – Принцип формування умовного графічного позначення розподільників

На рисунку 4.2 рухомий запірний елемент може займати дві дискретні позиції, що відповідають двом станам пневморозподільника:

- 1) «прохід повітря закритий»;
- 2) «прохід повітря відкритий».

У цьому разі запірний елемент може комутувати між собою дві лінії:

- 1) лінію живлення (вхід);
- 2) лінію споживача (вихід).

Відповідно цей розподільник можна назвати дволінійним і двопозиційним, що й відображається в його умовному графічному позначенні.

Для характеристики можливості розподільників із комутації каналів застосовують дробове цифрове позначення, де в чисельнику зазначають кількість комутуваних ліній, а в знаменнику – кількість можливих позицій. Відповідно до цього принципу апарат на рисунку 4.2 буде називатися *2/2-пневморозподільником*.

На принципових схемах розподільники зображують так, щоб лінії зв'язку (зовнішні пневматичні лінії) були підведені до того квадрата, який позначає вихідну позицію розподільника.

У зв'язку з тим що в пневматичних приводах на відміну від гідравлічних не потрібно мати в наявності зворотної зливної магістралі, то відпрацьоване повітря можна скидати безпосередньо в атмосферу.

Для керування пневмоциліндрами одnobічної дії застосовують пневморозподільник, що має можливість комутування ліній живлення, споживача і вихлопу (рис. 4.3).

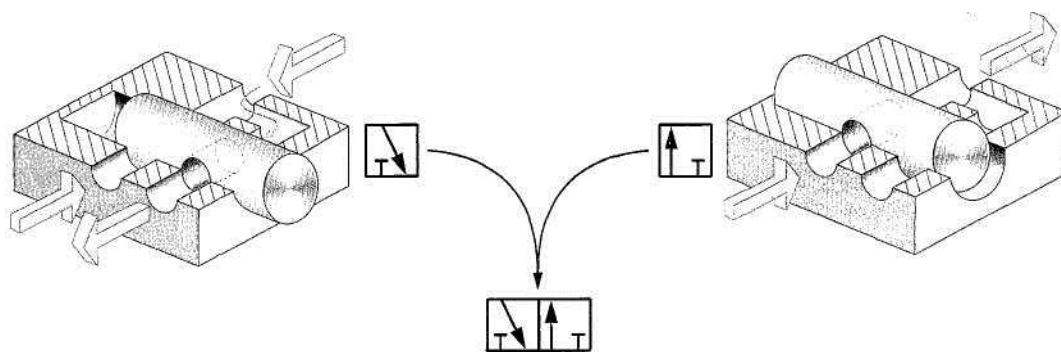


Рисунок 4.3 – Модель та умовне графічне позначення 3/2-пневморозподільника

3/2-пневморозподільник комутує між собою три робочих лінії (рис. 4.4): 1 – лінію живлення; 2 – лінію споживача і 3 – лінію вихлопу. Водночас сам розподільник може займати дві позиції: живлення перекрите, споживання пов'язане з вихлопом; стиснуте повітря надходить для споживання, вихлоп перекритий.



Рисунок 4.4 – Керування пневмоциліндром одnobічної дії 3/2-пневморозподільника

Очевидно, що для керування пневмоциліндрами двобічної дії будуть потрібні більш складні розподільники, тому що в цьому разі потрібно забезпечувати перерозподіл потоків стиснутого повітря між двома робочими порожнинами виконавчого механізму і скидання з них відпрацьованого повітря (рис. 4.5).

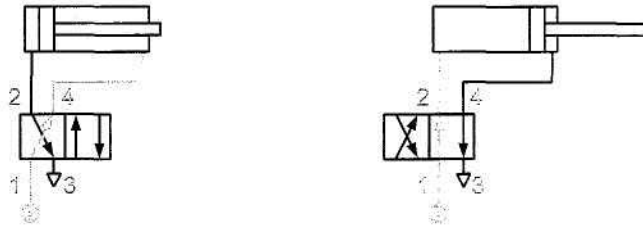


Рисунок 4.5 – Керування пневмоциліндром двобічної дії 4/2-пневморозподільника

Чотирилінійний двопозиційний пневморозподільник (4/2-пневморозподільник) дозволяє по черзі подавати стиснуте повітря з магістралі високого тиску 1 по робочих каналах 2 або 4 в одну з порожнин пневмоциліндра з одночасним з'єднанням іншої з атмосферою 3.

На практиці для керування пневмоциліндрами двобічної дії найбільш широко використовують 5/2-пневморозподільники (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 – Керування пневмоциліндром двобічної дії 5/2-пневморозподільника

Хоча 5/2-пневморозподільники мають більш складне графічне позначення, вони більш прості за конструктивним виконанням, а їх функціональні можливості дещо ширші, ніж у 4/2-пневморозподільників, що обумовлено наявністю не одного, а двох випускних клапанів 3 і 5, окремих для кожної робочої порожнини циліндра.

Для вирішення більш складних завдань керування пневмоциліндрами використовують трипозиційні розподільники, що мають більш широкі функціональні можливості. Це пов'язано з тим, що такі розподільники дозволяють здійснити не два, а три варіанти комутації пневмоліній.

Нумерація каналів, використана на наведених вище схемах, не є випадковою, а відповідає стандартам, відповідно до яких для позначення робочих і керувальних каналів пневматичних апаратів та пристроїв застосовують певну буквену або цифрову індексацію (табл. 4.1).

Наведена в таблиці 4.1 індексація може бути проставлена на принципових пневматичних схемах. Цими індексами маркують приєднувальні отвори в корпусах пневмоапаратів, що дозволяє коректно здійснити монтаж пневмосистем.

Перемикання пневморозподільників з однієї позиції на іншу здійснюється переміщенням їх ЗРЕ за допомогою зовнішніх керувальних впливів.

Розрізняють такі види керування розподільниками: ручне, ножне механічне, пневматичне, електричне, комбіноване.

Таблиця 4.1 – Індксація (маркування) ліній (приєднувальних отворів) пневмоапаратів

Найменування лінії	Буквена індксація	Цифрова індксація
Лінія живлення (вхід)	P	1
Лінія споживання (вихід)	A, B	2, 4
Лінія вихлопу (скидання повітря в атмосферу)	R, S	3, 5
Лінія керування	X, Y, Z	10, 12, 14

Одна й та сама базова модель пневморозподільника може бути забезпечена різними керувальними елементами.

Під час читання принципових пневматичних схем необхідно мати на увазі, що керувальний сигнал, що подається зліва, перемикає розподільник у позицію, відмічену в умовному графічному позначенні цього апарата лівим квадратом, а сигнал, що подається справа, – у позицію, позначену квадратом справа.

На відміну від робочих пневмоліній, для яких використовують одноцифрові індекси, лінії керування пневмоапаратів позначають двозначними числами.

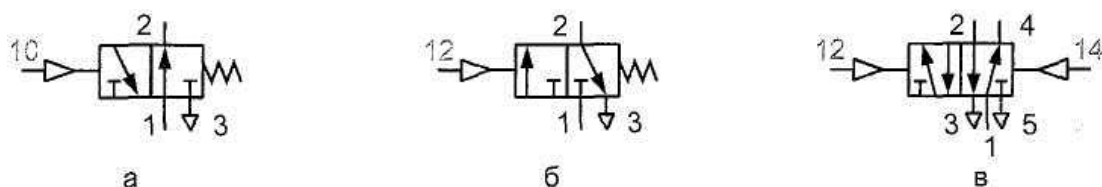


Рисунок 4.7 – Індксація ліній керування пневморозподільників

Перша цифра в подібному двозначному позначенні збігається з індексом лінії живлення, а друга – з індексом лінії споживача, на яку буде надходити стиснуте повітря після подання керувального сигналу. Так, індекс 12 (рис. 4.7 б, в) на лінії керування свідчить про те, що за наявності на цій лінії пневматичного сигналу керування стиснуте повітря буде надходити до споживача по робочій лінії 2. Для того щоб комутувати лінію споживача 4 з лінією живлення 1, керувальний сигнал необхідно подати на лінію 14 (рис. 4.7 в).

Індекс 10 (рис. 4.7 а) проставляється на лініях керування нормально відкритих пневморозподільників і означає, що в разі надходження на цю лінію сигналу керування подавання стиснутого повітря споживачеві припиниться (обнулиться).

4.2 Моностабільні пневморозподільники

Пневморозподільники, які перемикаються в нормальну позицію за допомогою зворотних пружин, називають *моностабільними*. Нормальний для такої конструкції стан – нейтральна (вихідна) позиція.

На рисунку 4.8 наведена конструкція моностабільного нормально закритого 2/2-пневморозподільника з механічним керуванням.

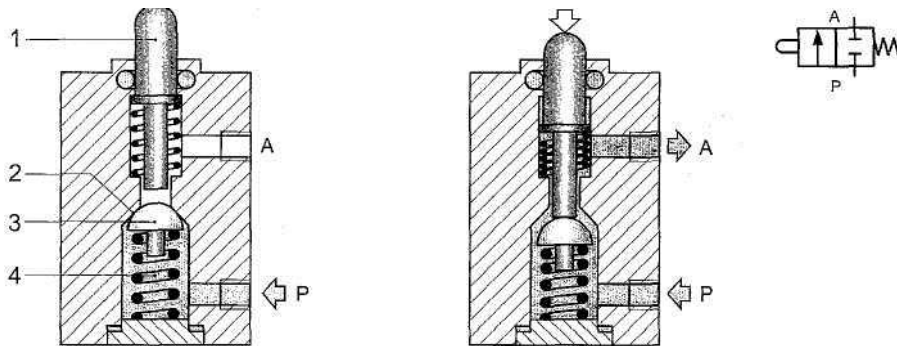


Рисунок 4.8 – Нормально закритий 2/2-пневморозподільник з механічним керуванням (конструкція та умовне графічне позначення на схемах):

1 – штовхач; 2 – сідло; 3 – ЗРЕ; 4 – пружина

У вихідній позиції запірно-регулювальний елемент 3 пневморозподільника, виконаний у вигляді півсфери, під дією пружини 4 і тиску живлення притиснутий до сідла 2, отже, перекриває подавання стиснутого повітря до каналу споживача А, тобто пневморозподільник нормально закритий. За наявності зовнішнього керувального впливу, величина якого повинна бути достатньою для подолання зусилля від зворотних пружин і тиску, що діє на клапан 3, штовхач 1 знімає клапан 3 із сідла 2, і пневморозподільник займає позицію, в якій канали живлення Р і споживача А з'єднуються між собою. На рисунку 4.9 зображені два варіанти конструктивного виконання нормально закритого 3/2-пневморозподільника з механічним керуванням. Відмінність між ними полягає в тому, що в одному (рис. 4.9 б) закладена можливість приєднання до лінії вихлопу R (наприклад, можна вкрутити глушник), а в іншому (рис. 4.9 а) таку дію здійснити неможливо.

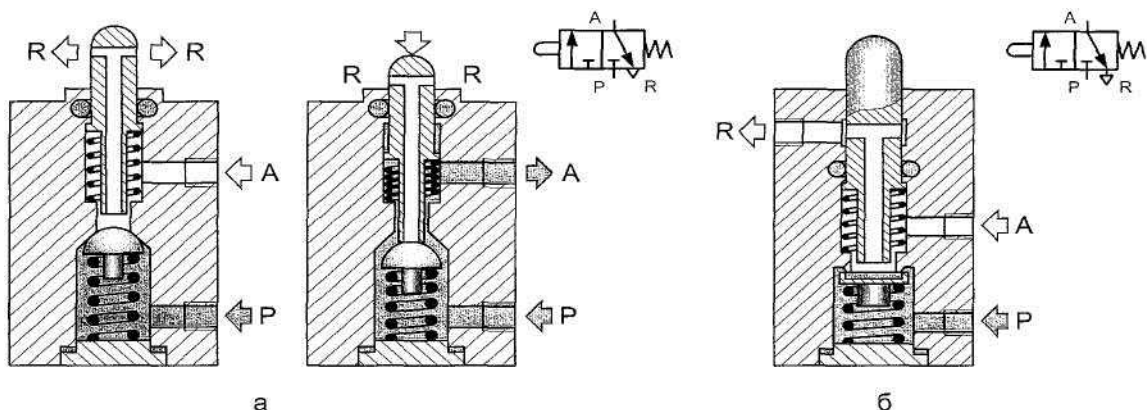


Рисунок 4.9 – Нормально закриті 3/2-пневморозподільники з механічним керуванням (конструкція та умовне графічне позначення на схемах) із можливістю приєднання до лінії вихлопу R (а) і без неї (б)

Ця відмінність відображається в умовному графічному позначенні пневморозподільників: якщо виключена можливість приєднання до отвору вихлопу, то трикутник, який свідчить про скидання повітря в атмосферу, примикає впритул до позначення пневморозподільника; в іншому випадку він відділяється від останнього вертикальною лінією.

Обидва пневморозподільники спрацьовують двома етапами: під час руху штовхача на момент його контакту з клапаном перекривається виконаний у ньому канал вихлопу, і лише під час подальшого руху з'єднуються канали живлення Р і споживача А.

Приблизно за такою самою схемою працює й нормально відкритий 3/2-пневморозподільник (рис. 4.10).

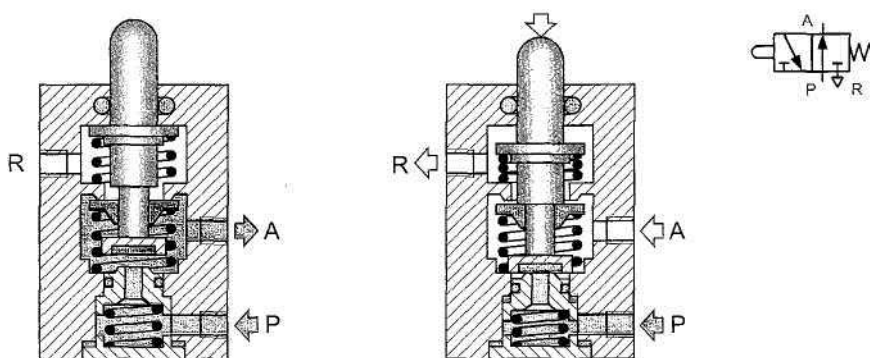


Рисунок 4.10 – Нормально відкритий 3/2-пневморозподільник із механічним керуванням (конструкція та умовне графічне позначення на схемах)

Ця конструкція має два дискових клапани, причому в початковому положенні верхній відсікає канал вихлопу R, а через відкритий нижній канал повітря проходить із каналу живлення Р до каналу споживача через канал А.

Рух штовхача донизу супроводжується двоступеневим спрацьовуванням пневморозподільника. На першому місці нижній клапан, жорстко зв'язаний із штовхачем, опускається на підпружинене сідло, перекриває подавання стиснутого повітря. Верхній клапан також залишається підтиснутим до власного сідла аж до моменту контакту з буртиком штовхача. Лише після цього внаслідок подальшого спільного руху штовхача з нижнім клапаном і його сідлом верхній клапан відкривається, і встановлюється з'єднання споживача з вихлопом (другий ступінь).

Альтернативою складним за конструктивним виконанням розподільникам клапанного типу є *золотникові розподільники*.

Належність до класу апаратів клапанного або золотникового типу не відображається в умовному графічному позначенні пневматичних розподільників, хоча ці типи апаратури істотно відрізняються за функціональними можливостями.

Так, 3/2-пневморозподільник золотникового типу (рис. 4.11) можна використовувати і як нормально закритий (індексація каналів, що пояснює схему комутації, подана без дужок), і як нормально відкритий (індексація подана в дужках).

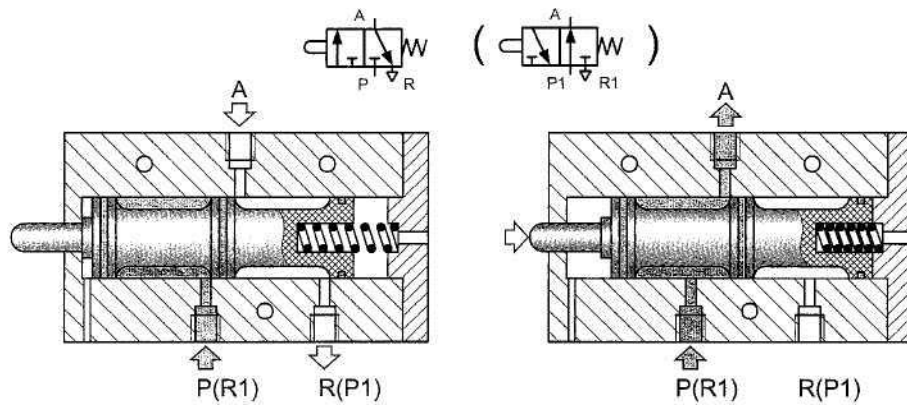


Рисунок 4.11 – Нормально закритий 3/2-пневморозподільник золотникового типу з механічним керуванням (конструкція та умовне графічне позначення на схемах)

Подача стиснутого повітря в канали Р або R не призводить до виникнення на золотнику зусиль, що спричиняють його зміщення з нормальної позиції, тому в обох випадках золотник залишається гідравлічно розвантаженим.

Якщо спробувати використати нормально закритий пневморозподільник клапанного типу (див. рис. 4.10) як нормально відкритий (шляхом подавання стиснутого повітря в канал R), то в цьому разі відбудеться самовільне відкриття клапана, і повітря почне надходити в усі канали одночасно.

Зазвичай пневморозподільники, в конструкції яких закладена можливість використання їх як нормально відкритих або нормально закритих, мають два альтернативні позначення на бирці, яку виробники встановлюють на кожному апарат.

Золотникові розподільники зазвичай дозволяють пропускати через себе повітря і в зворотному напрямку – з каналу А в канал R або (під час перемикання) Р. Якщо на принциповій пневматичній схемі важливо відобразити цю властивість золотникового розподільника, стрілки на його умовному графічному позначенні, що вказують шляхи потоку повітря, зображують двобічними.

У тих випадках, коли стиснуте повітря подається до виконавчих механізмів безпосередньо від пневморозподільників із механічним або ручним керуванням, мають на увазі пряме керування (рис. 4.12).

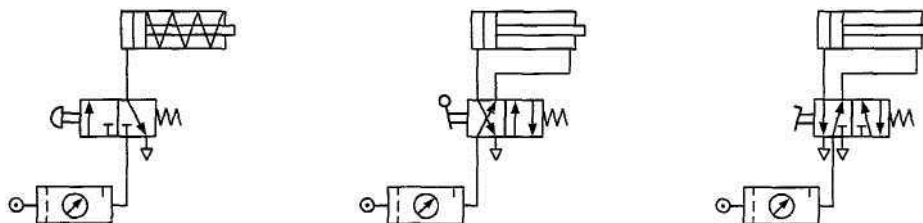


Рисунок 4.12 – Пряме керування пневмоциліндрами

Пневморозподільники, що керують виконавчими механізмами, також називають *виконавчими*.

Пневматичне керування розподільниками використовують у тих випадках, коли необхідно здійснювати дистанційне керування їх роботою. Для того щоб розподільник був із пневматичним керуванням, у конструкцію вводять поршень 1, переміщення якого і приводить до руху запірника 2 (рис. 4.13).

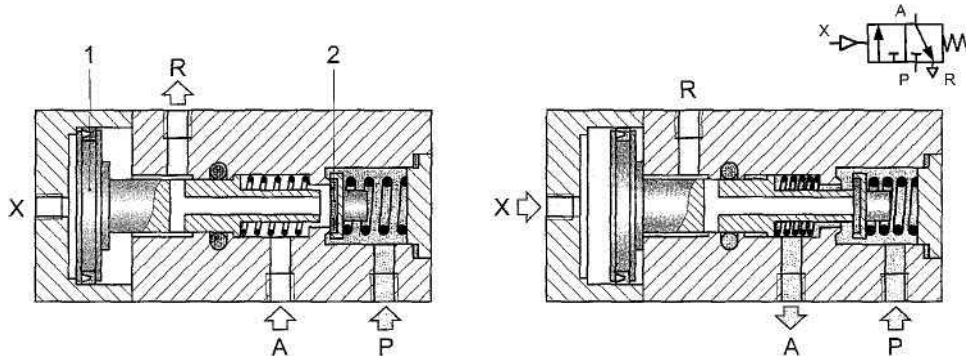


Рисунок 4.13 – Нормально закритий 3/2-пневморозподільник із пневматичним керуванням (конструкція та умовне графічне позначення на схемах)

Розглянемо схему керування пневмоциліндром однобічної дії з використанням розподільника з пневматичним керуванням (рис. 4.14).

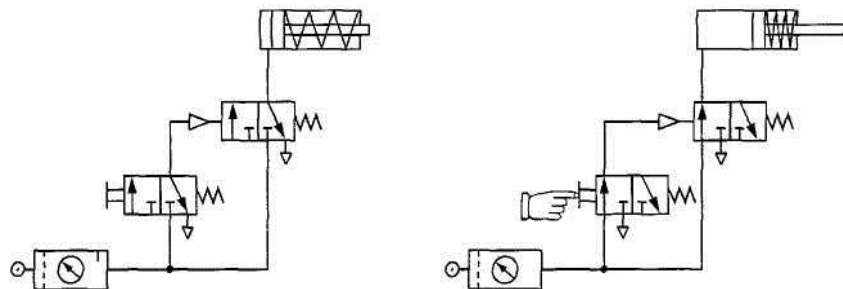


Рисунок 4.14 – Непряме керування пневмоциліндром однобічної дії (виконавчий розподільник – нормально закритий)

У запропонованій схемі пневморозподільник із ручним керуванням (пневмокнопка) керує роботою пневмоциліндра шляхом подавання сигналу на виконавчий розподільник із пневматичним керуванням.

Схема дещо видозміниться, якщо виконавчий пневморозподільник буде нормально відкритим (рис. 4.15).

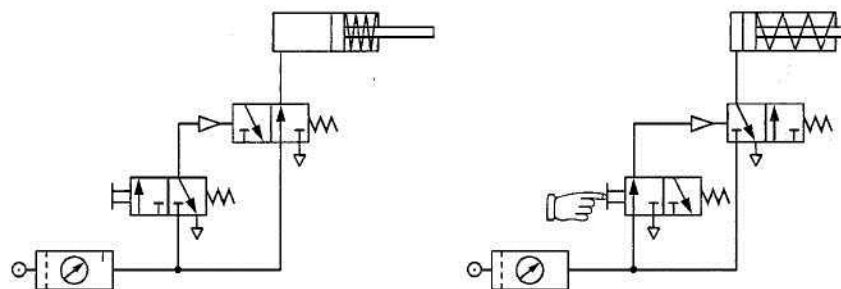


Рисунок 4.15 – Непряме керування пневмоциліндром однобічної дії (виконавчий розподільник – нормально відкритий)

У моностабільного пневморозподільника повернення запірно-регулювального елемента до початкового положення може здійснюватися не лише за допомогою механічних пружин, а й під дією тиску стиснутого повітря (пневматичної пружини) (рис. 4.16).

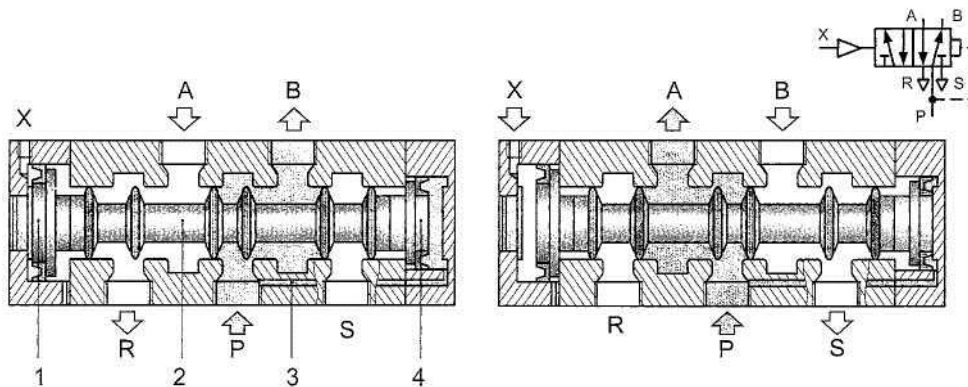


Рисунок 4.16 – 5/2-пневморозподільник із пневматичним керуванням і поверненням (конструкція та умовне графічне позначення на схемах):
1 – лівий поршень; 2 – золотник; 3 – канал; 4 – правий поршень

У вихідній позиції золотник 2 перебуває в крайньому лівому положенні, тому що на його правий поршень 4 через спеціальний канал 3, пов'язаний із лінією живлення, подається стиснуте повітря. У разі надходження сигналу до каналу X золотник 2 зміститься вправо, оскільки площа лівого поршня 1 значно більша від площі правого поршня 4.

У деяких конструкціях повернення ЗРЕ до вихідного положення здійснюється під дією одночасно і механічної, і пневматичної пружин. Таке поєднання забезпечує більш високу стабільність і надійність перемикання пневморозподільника.

У тих випадках, коли є технологічні обмеження на величину керувальних сигналів, застосовують розподільники з пневматичним підсиленням керувального сигналу (пілотним керуванням) (рис. 4.17).

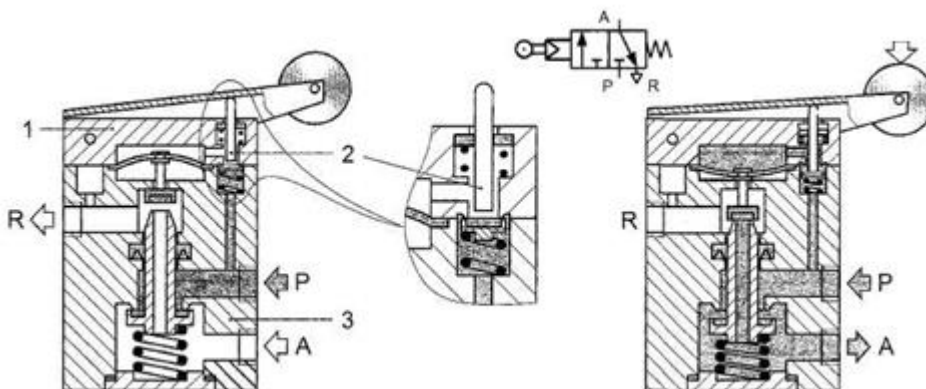


Рисунок 4.17 – 3/2-пневморозподільник із пневматичним підсиленням керувального сигналу (конструкція та умовне графічне позначення на схемах):
1 – керувальна головка з роликом; 2 – допоміжний (пілотний) розподільник;
3 – основний пневморозподільник

У таких конструкціях (у даному разі це шляховий вимикач) зусилля перемикання прикладається до невеликого допоміжного (пілотного) розподільника 2, функцією якого є подавання пневматичного сигналу керування на основний пневморозподільник 3, який безпосередньо здійснює комутацію зовнішніх пневмоліній. Оскільки площа клапана пілотного розподільника невелика, то зусилля, необхідне для перемикання останнього, мінімальне.

Розглянута конструкція дозволяє трансформувати нормально закритий пневморозподільник у нормально відкритий. Для цього потрібно розгорнути керувальну головку з роликком 1 на 180° і подавати стиснуте повітря до каналу R.

У тих випадках, якщо потрібно контролювати будь-який об'єкт під час його руху лише в певному напрямку, застосовують розподільники з керуванням від важеля, що «ламається», з роликком (рис. 4.18).

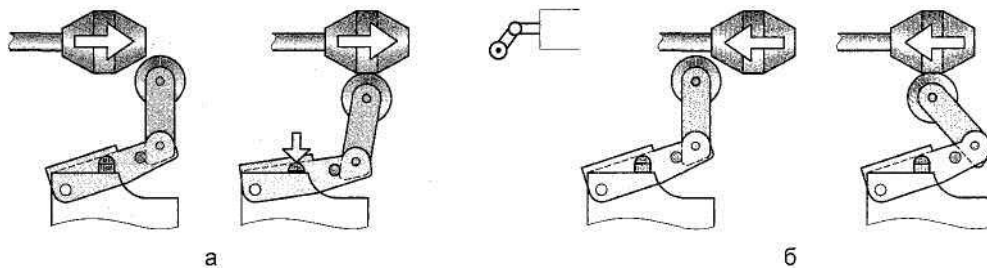


Рисунок 4.18 – Принцип дії важеля, що «ламається», з роликком:
а – прямий рух штока; б – зворотний рух штока

Конструкція важеля виконана так, що він впливає на штовхач пневморозподільника лише в тому разі, якщо рух штока пневмоциліндра або іншого контрольованого об'єкта відбувається в певному напрямку (рис. 4.18 а). Пневморозподільник не спрацьовує під час руху об'єкта в протилежному напрямку, оскільки важіль із роликком прокручується на осі («ламається») і не передає керувального впливу на штовхач (рис. 4.18 б).

Керування складними об'єктами з пневматичними приводами базується переважно на електричних та електронних системах, що мають широкі можливості складання, оброблення інформаційних і формування керувальних електричних сигналів, а також високу швидкодію. Незалежно від елементної бази керувальних систем (релейно-контактна або мікропроцесорна техніка) у силовій частині привода застосовують пневматичні розподільники з електромагнітним керуванням. Робота подібних пневморозподільників ґрунтується на властивості електромагнітних котушок, що під напругою, втягувати розміщений у них якір.

Запірно-регулювальний елемент у таких апаратах розміщують безпосередньо на торцях якоря, який поміщають у гільзу, шляхом угвинчення в корпус. Зовні гільза охоплюється приводною електромагнітною котушкою (рис. 4.19).

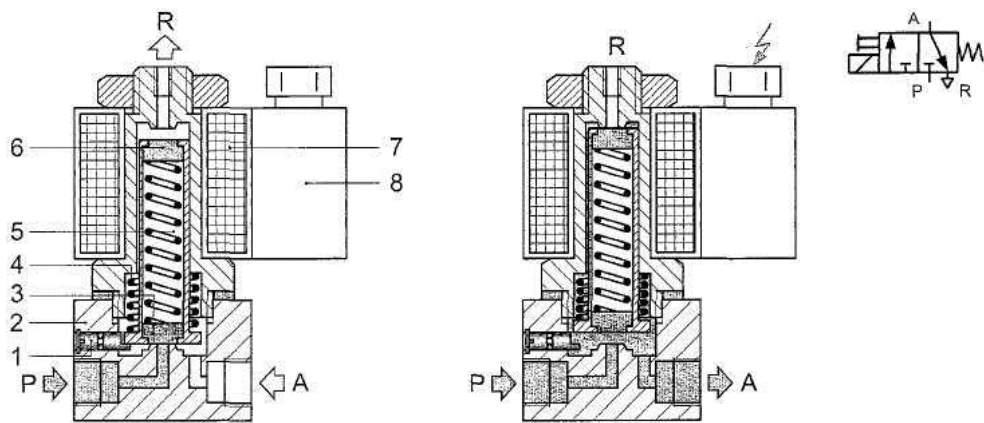


Рисунок 4.19 – 3/2-пневморозподільник з електромагнітним керуванням і ручним дублюванням (конструкція та умовне графічне позначення на схемах):

1 – поворотний пристрій; 2 – корпус; 3, 6 – сідло клапана;
4 – пружина; 5 – якір; 7 – котушка; 8 – конектор

Якщо електромагнітна котушка 7 знеструмлена, якір 5 притиснутий пружиною 4 до сідла клапана 3, перекриваючи канал Р, за яким підводиться стиснуте повітря; вихідний канал А з'єднаний з атмосферою через пази на зовнішній поверхні якоря. Напруга на котушку 7 подається через з'єднувальний елемент – конектор 8, водночас якір 5, долаючи зусилля пружини 4, піднімається до сідла клапана 6, закриваючи канал R виходу повітря в атмосферу і відкриваючи канал, з'єднаний з отвором для підведення стиснутого повітря. Стиснуте повітря подається на лінію споживача (канал А).

Пневморозподільники з електромагнітним приводом мають зазвичай ручне дублювання, використовуване під час пусконаладжувальних робіт або пошуку відмови (якщо розподільник спрацьовує від елемента ручного керування, це свідчить про те, що не працює котушка). Включають пневморозподільник натисканням або поворотом спеціального пристрою (рис. 4.19, поз. 1), що механічно піднімає якір із сідла клапана. Після перевірки працездатності розподільника елемент ручного керування необхідно виставити в положення, що не перешкоджає вільному переміщенню якоря.

До моностабільних пневморозподільників, відносять велику кількість трипозиційних розподільників. Зазвичай нормальною для них є середня позиція, в яку вони виставляються за допомогою двох пружин, що центрують їх запірно-регулювальний елемент. Так, використовуючи 5/3-пневморозподільник із двобічним пневматичним керуванням і закритою центральною позицією, можна забезпечити зупинення пневмоциліндра в будь-якому проміжному положенні (рис. 4.20).

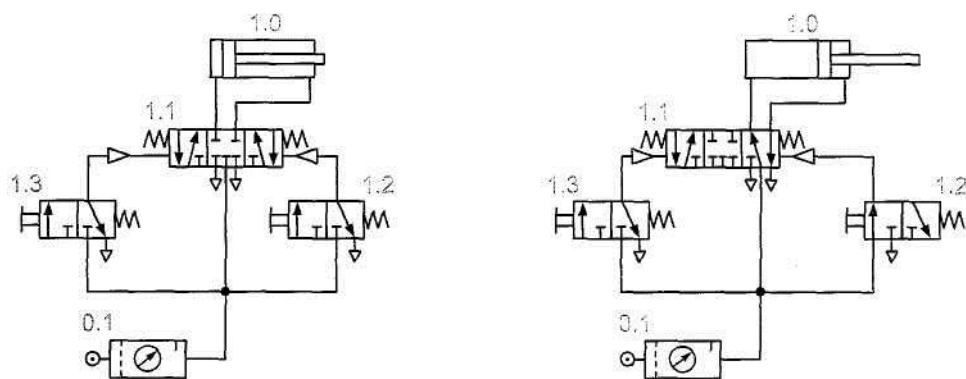


Рисунок 4.20 – Використання 5/3-пневморозподільника для позиціонування пневмоциліндрів

У разі натискання на одну з пневмокнопок, наприклад 1.3, шток циліндра 1.0 почне переміщатися, а при відпусканні він зупиниться, оскільки виконавчий розподільювач 1.1 займе центральну позицію, в якій усі лінії перекриті (у цьому разі точність позиціонування циліндра буде досить низькою).

На принципових пневмосхемах умовного графічного позначення кожного пневмопристрою присвоюють буквено-цифрове позиційне позначення згідно з ГОСТом 2.704-76 або цифровий індекс, що формується за певними правилами (табл. 4.2).

Індекси всіх елементів, які керують виконавчим механізмом 1.0, починаються з цифри 1, які керують виконавчим механізмом 2.0 – з цифри 2 і т. ін. Це означає, що де б «територіально» на схемі не був розміщений елемент (наприклад, 1.10), він буде перебувати під керуванням відповідного виконавчого механізму (в нашому випадку – 1.0).

Таблиця 4.2 – Цифрова індексація пневматичних пристроїв

Найменування пристрою	Індекс
Апаратура підготовки стиснутого повітря	0.1, 0.2, 0.3, ...
Виконавчі механізми (ВМ)	1.0, 2.0, 3.0, ...
Виконавчі розподільники	1.1, 2.1, 3.1, ...
Пристрої, що подають сигнали на висунення штока циліндра (після точки – парне число)	1.2, 1.4, 1.6, ... (для 1-го ВМ) 2.2, 2.4, 2.6, ... (для 2-го ВМ)
Пристрої, що подають сигнали на втягування штока циліндра (після точки – непарне число)	1.3, 1.5, 1.7, ... (для 1-го ВМ) 2.3, 2.5, 2.7, ... (для 2-го ВМ)
Регулятори швидкості та пристрої, розміщені між виконавчими механізмами і виконавчими розподільниками (будуть розглянуті нижче)	1.01, 1.02, ..., 2.01, 2.02, ...

У тих випадках, коли неможливо додержуватися правила використання парних і непарних цифр після точки залежно від типу команди (втягування або висунення штока циліндра), застосовують наскрізну індексацію.

4.3 Бістабільні пневморозподільники (з фіксацією положення)

Двопозиційні пневморозподільники, які після зняття керувального зовнішнього впливу залишаються у позиції, що визначається цим впливом, називають *бістабільними* (з пам'яттю позиції останнього перемикання). Повернення їх у вихідну позицію здійснюється після подання протилежного за значенням керувального сигналу. Як приклад розглянемо відсічний нормально закритий 3/2-пневморозподільник із ручним керуванням (рис. 4.21), призначений для подання стиснутого повітря в пневмосистему і скидання з неї.

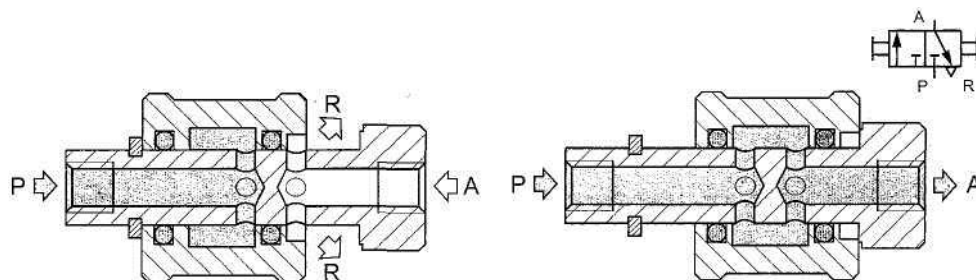


Рисунок 4.21 – Відсічний нормально закритий 3/2-пневморозподільник з ручним керуванням (конструкція та умовне графічне позначення на схемах)

Цей розподільник може перебувати в одній із двох можливих позицій перемикання як завгодно довго, оскільки в його конструкції відсутні елементи, що однозначно визначають положення запірно-регулювального елемента.

У бістабільних розподільників з пневматичним керуванням, що входять до складу пневмопривода, вихідна позиція визначається не особливостями конструкції, а зв'язками з елементами, що керують цими апаратами.

Для пояснення вищезазначеного розглянемо, наприклад, дві схеми керування воротами з пневматичним приводом (рис. 4.22).

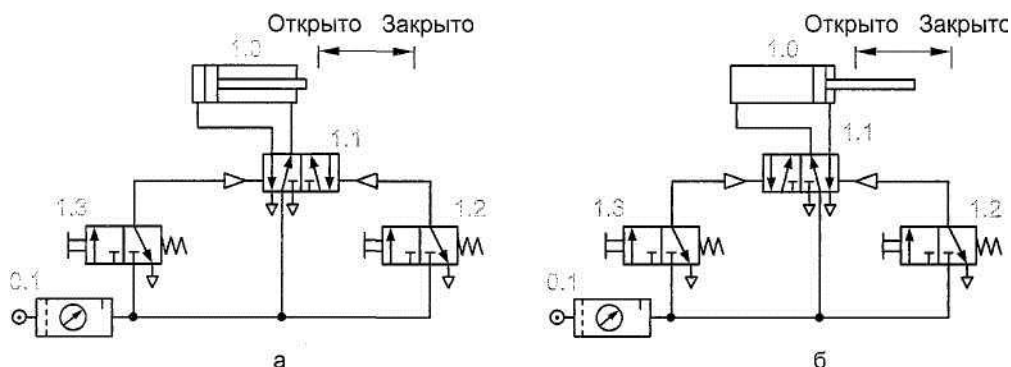


Рисунок 4.22 – Використання бістабільності 5/2-пневморозподільника для керування пневмоциліндром із двома варіантами вихідної позиції пневморозподільника: з втягнутим (а) і з висунутим (б) штоком

Незважаючи на те, що на схемі рисунка 4.22 а вихідна позиція бістабільності пневморозподільника 1.1 забезпечує втягнуте положення штока пневмоциліндра, а на схемі рисунка 4.22 б – висунуте, ми маємо справу, по суті,

не з двома схемами, як може здатися на перший погляд, а з однією і тією самою, але такою, що описує різні вихідні стани пневмопривода. Очевидно, що після короткочасного натискання на пневмокнопку 1.2 схема рисунка 4.22 а трансформується у схему рисунка 4.22 б, а схема рисунка 4.22 б після короткочасного впливу на кнопку 1.3 – у схему рисунка 4.22 а.

Бістабільні пневморозподільники здатні «запам'ятовувати» останній поданий сигнал керування. Дійсно, і в 4/2-пневморозподільнику з плоским золотником (рис. 4.23 а), і в 5/2-пневморозподільнику (рис. 4.23 б) навіть після зняття сигналу на лінії керування X перемикальний елемент залишається в крайньому правому положенні до того часу, поки не надійде команда на лінію керування Y.

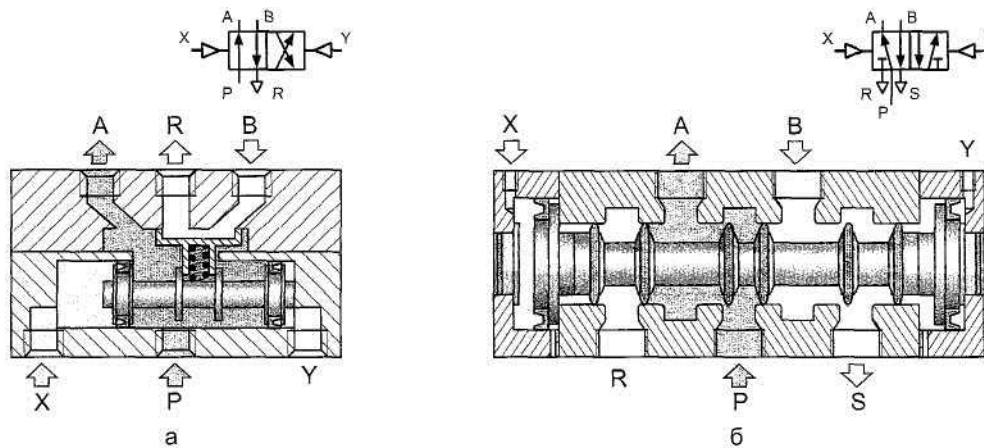


Рисунок 4.23 – Бістабільні пневморозподільники з пневматичним керуванням (конструкція та умовне графічне позначення):

а – 4/2-пневморозподільник з плоским золотником; б – 5/2-пневморозподільник

Завдяки тому, що площі керувальних поршнів бістабільних пневморозподільників однакові, тоді у разі, якщо в обох каналах керування розподільника наявні сигнали, він буде встановлюватися в позицію, що визначається сигналом, який надійшов першим. Цю властивість бістабільних пневморозподільників часто використовують у пневматичних системах керування.

Якщо пневморозподільники, в яких органи керування ЗРЕ утримуються у робочих позиціях силами тертя, встановлюють на машинах із підвищеним рівнем вібрації, то їх положення повинно бути строго горизонтальним. В іншому разі може статися мимовільне перемикання ЗРЕ у нижню позицію.

Бістабільні пневморозподільники з електропневматичним керуванням, по суті, є комбінацією двох пілотних електрокерованих 3/2-пневморозподільників 1 і базового розподільника 2 з двобічним пневматичним керуванням. Стиснуте повітря підводиться до пілотних розподільників, розміщених зазвичай на торцях базового розподільника, спеціальними каналами 3, виконаними в корпусі останнього і з'єднаних із каналом живлення Р (рис. 4.24).

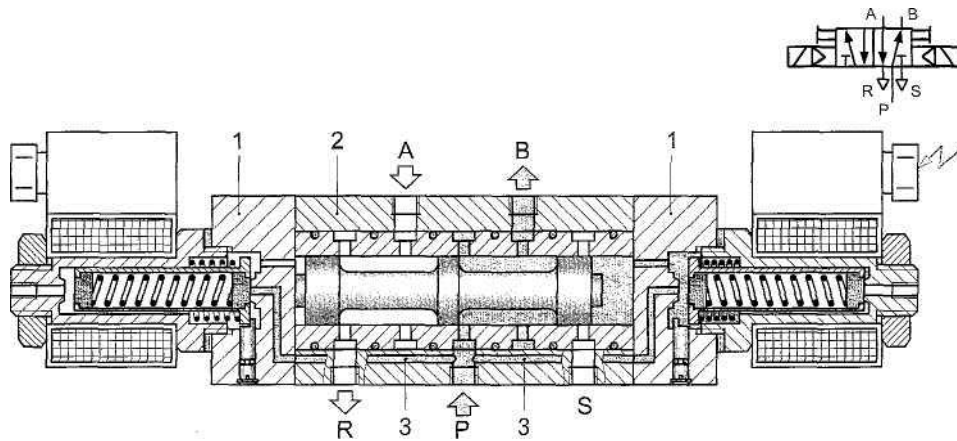


Рисунок 4.24 – Бістабільний 5/2-пневморозподільник з електропневматичним керуванням (конструкція та умовне графічне позначення на схемах):

1 – електрокерований 3/2-пневморозподільник; 2 – базовий розподільник із двобічним пневматичним керуванням; 3 – канал

При живленні напругою однієї з електромагнітних котушок спрацьовує відповідний пілотний розподільник, пропускаючи стиснуте повітря до торця ЗРЕ основного розподільника, що призводить до перемикання останнього.

Іноді розподільники такого типу називають *імпульсними*, оскільки для їх спрацьовування досить подати короткочасний (імпульсний) керувальний сигнал.

4.4 Монтаж пневморозподільників

Способи монтажу пневматичних розподільників зумовлюються їх монтажно-комунікаційними параметрами, тобто варіантами приєднання зовнішніх пневмоліній, кріплення окремих апаратів і їх компонування в єдину систему.

Монтаж може бути *індивідуальним* і *груповим*. Під час індивідуального монтажу кожен апарат закріплюють і приєднують до системи без спільних комунікаційних і монтажних деталей, трубопроводів або каналів у корпусних деталях машин, вузлів, пристосувань тощо.

Індивідуальний монтаж може бути *нарізним* (трубним) або *стиковим*. Під час нарізного монтажу (рис. 4.25 а) пневморозподільники встановлюють на корпусних деталях машин і підключають до пневматичної системи за допомогою з'єднань, що вгвинчуються безпосередньо в нарізні отвори, що передбачені в корпусі розподільника.

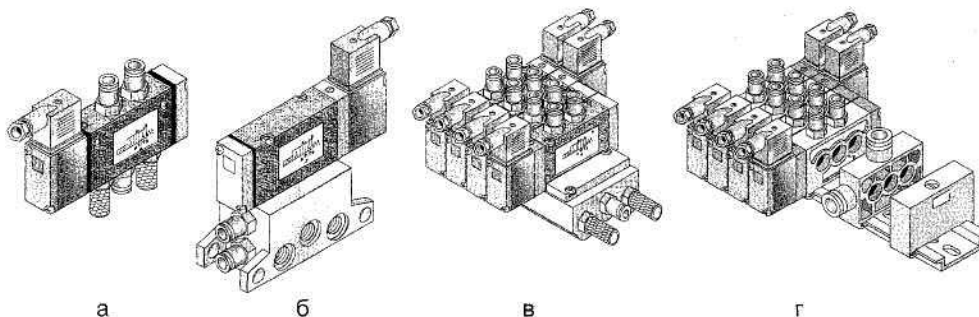


Рисунок 4.25 – Способи монтажу пневморозподільників:
а – нарізний; б – стиковий; в – блоковий; г – модульний

Під час *стикового* монтажу (рис. 4.25 б) пневморозподільники, всі приєднані отвори яких розміщені з одного боку, встановлюють на спеціальні монтажні плити, через які здійснюється їх комутація з пневмосистемою і фіксація на технологічній установці. Такий спосіб монтажу дозволяє замінювати розподільники без демонтажу трубопроводів.

Якщо місця встановлення пневморозподільників не регламентовані, то розміщують їх якомога ближче до виконавчого механізму, що дозволяє підвищити швидкодію, зменшити непродуктивні втрати стиснутого повітря і сумарну довжину трубопроводів. Зокрема, чим ближче розподільник установлений до пневмоциліндра двобічної дії, тим на більшу відстань (від блока підготовки повітря до пневморозподільника) прокладають один трубопровід, а не два (від розподільника до циліндра).

Пневморозподільники з ручним керуванням, приводом яких є важіль, рукоятка тощо, монтують так, щоб орган керування:

1) переміщувався в напрямках, що збігаються з відповідними напрямками руху механізму, і в будь-якій позиції був у межах досяжності оператора у звичайному робочому положенні останнього;

2) не створював перешкод власними переміщеннями робочим рухам оператора;

3) у зв'язку з особливостями свого розміщення не примушував оператора вчиняти будь-які дії в безпосередній близькості від обертових або рухомих частин механізмів.

Під час групового монтажу апарати закріплюють і під'єднують до системи за допомогою спільних або уніфікованих монтажних і комунікаційних деталей. Розрізняють *блоковий* і *модульний* груповий монтаж. Так, *блоковий* монтаж (рис. 4.25 в) здійснюють шляхом установлення пневморозподільників стикового виконання на спільну багатомісну плиту, в якій виконані канали живлення і вихлопу. Якщо передбачається подальший розвиток пневматичної системи, то встановлюють плиту з резервними посадковими місцями, які закривають спеціальними заглушками.

Для *модульного* монтажу (рис. 4.25 г) характерне формування спільних каналів живлення і вихлопу при стикуванні бічних площин розподільників або монтажних плит. Окремі модулі з'єднують у блоки за допомогою стяжок або кінцевих плит. Ущільнювальні кільця круглого поперечного перерізу встановлені в циліндричних розточуваннях приєднаних отворів, що забезпечують герметичність з'єднань підвідних і відвідних каналів. Перевага такого способу монтажу полягає в тому, що в разі зміни конфігурації системи допускається збільшення або скорочення кількості модулів, які утворюють блок, без порушення роботи компонентів, що входять до його складу.

Найбільш часто в складних системах з електропневматичними розподільниками застосовують *блоковий* монтаж. До того ж пневморозподільники разом з електронними блоками об'єднують у так звані *пневматичні острови* (рис. 4.26), які керуються промисловими контролерами або функціонують автономно. Компактність розміщення пневморозподільників

значно спрощує пусконаладжувальні та ремонтні роботи і полегшує їх комунікацію з електронною системою керування.

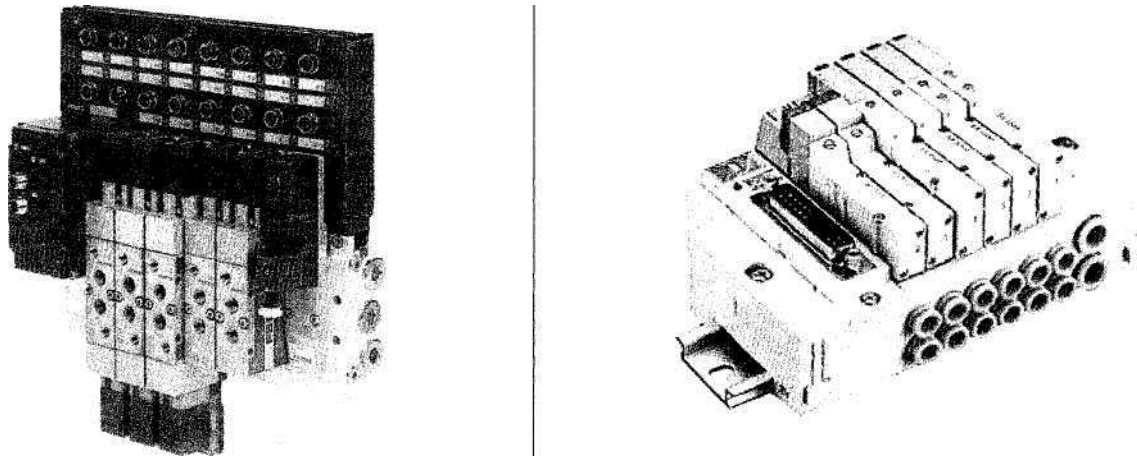


Рисунок 4.26 – Пневматичні острови

4.5 Визначення параметрів пневморозподільників

Вибір пневморозподільника полягає в підборі типорозміру, що задовольняє необхідні параметри: схему комутацій потоків, вид керування, спосіб монтажу, габаритні розміри, пропускну здатність (витратні характеристики) тощо.

Для того щоб спростити процедуру підбору пневморозподільника, виробники пневматичного обладнання зазначають у технічній документації дані щодо їх пропускну здатності.

У цей час застосовують три способи задавання витратних характеристик.

1 Витратна характеристика виражається величиною об'ємної витрати Q_n , л/хв, за технічних нормальних умов ($t_n = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $p_n = 101,3\text{ кПа}$).

Схема установки для продування пневморозподільників з метою визначення їх пропускну здатності (видаткової характеристики) подана на рисунку 4.27.

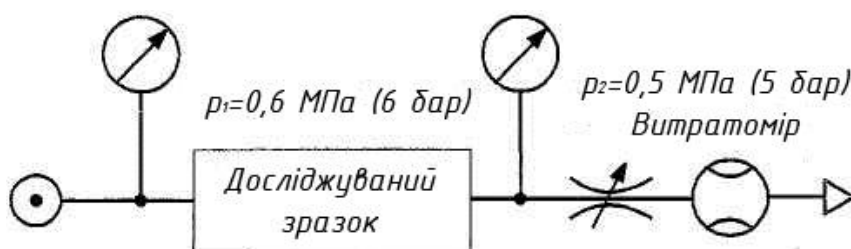


Рисунок 4.27 – Схема установки для визначення пропускну здатності пневморозподільників

2 Витратна характеристика задається параметром, що характеризує опір розподільника. Для цього застосовують пропускну здатність K_v , $\text{м}^3/\text{год}$, що є витратою рідини з густиною $1\text{ кг}/\text{дм}^3$ (наприклад, води), яку пропускає розподільник (або інший пристрій) при перепаді тиску на ньому $1\text{ кгс}/\text{см}^2$.

За кордоном застосовують також параметр пропускної здатності C_v , який являє собою витрату води в американських або англійських галонах за одну хвилину при перепаді тиску 1 *psi* (фунт-сила на квадратний дюйм).

3 Витратну характеристику подають у вигляді графіка, що відображає залежність об'ємної витрати повітря (за нормальних технічних умов) через пневморозподільник від перепаду тиску на ньому за певного тиску на вході, або серією графіків для різних тисків на вході.

Хоча розміри приєднуваних отворів не характеризують пропускної здатності пневморозподільників, для орієнтовного підбирання необхідного типорозміру розподільника можна скористатися даними таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Орієнтовне співвідношення номінальних витрат і розмірів приєднувальних отворів пневморозподільників

Діаметр поршня циліндра, <i>мм</i>	Розмір приєднуваних отворів	Умовний прохід, <i>мм</i>	Нормальна номінальна витрата, <i>мм</i>
До 12	M3	1,5	До 80
12 – 25	M5	2,5	До 200
25 – 50	G1/8	3,5	До 500
50 – 100	G1/4	7,0	До 1140
150 – 200	G1/2	12,0	До 3000
200 – 320	G3/4, G1	18,7	До 6000

Завершуючи розгляд пневморозподільників, необхідно пояснити, чому вони віднесені до основних керувальних елементів пневматичних САУ. Справа в тому, що розподільник як конструктивний елемент наявний не лише в напрямній і регулювальній підсистемах, а й у логіко-обчислювальній та інформаційній. Водночас він може або складати конструктивну частину елемента кожної з цих підсистем, або сам бути таким елементом. Як би там не було, розуміння принципів дії і будови розподільників є основою уявлення про роботу пневматичної системи в цілому.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Для чого необхідна регулювальна пневматика?
- 2 Який принцип дії 3/2-пневморозподільника?
- 3 Який принцип дії 5/2-пневморозподільника?
- 4 У чому полягає відмінність моностабільного та бістабільного пневморозподільників?
- 5 За яким принципом підбирають пневморозподільник?

5 РЕГУЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

5.1 Запірні елементи

До запірних елементів у пневмоавтоматиці відносять пристрої, що забезпечують повне перекриття потоку стиснутого повітря, – *зворотні клапани, пневмозамки, вентилі*.

Зворотні клапани встановлюють у тих лініях пневматичної системи, де необхідно забезпечити вільне проходження потоку стиснутого повітря в одному напрямку і повне його перекриття – у зворотному (рис. 5.1).

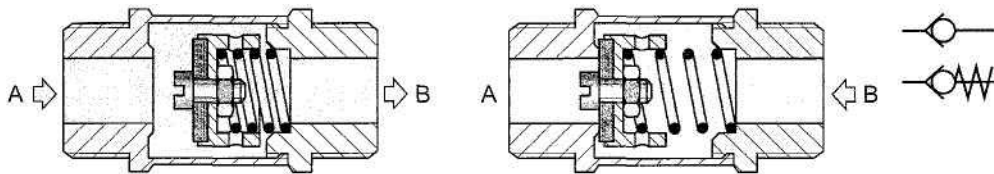


Рисунок 5.1 – Зворотний клапан
(конструкція та умовне графічне позначення на схемах)

Герметичне закриття клапана під час руху потоку у зворотному напрямку забезпечується не лише вбудованою пружиною, а й впливом тиску стиснутого повітря на його запірно-регулювальний елемент.

Символ пружини включають в умовне графічне позначення зворотного клапана в тому разі, якщо необхідно підкреслити таке: клапан відкривається за умови, що тиск на вході перевищує тиск на виході і тиск пружини.

Зворотні клапани, які під час подання керувального сигналу на вбудований в їх корпус приводний механізм можуть бути примусово відкриті, називають *пневмозамками* (рис. 5.2).

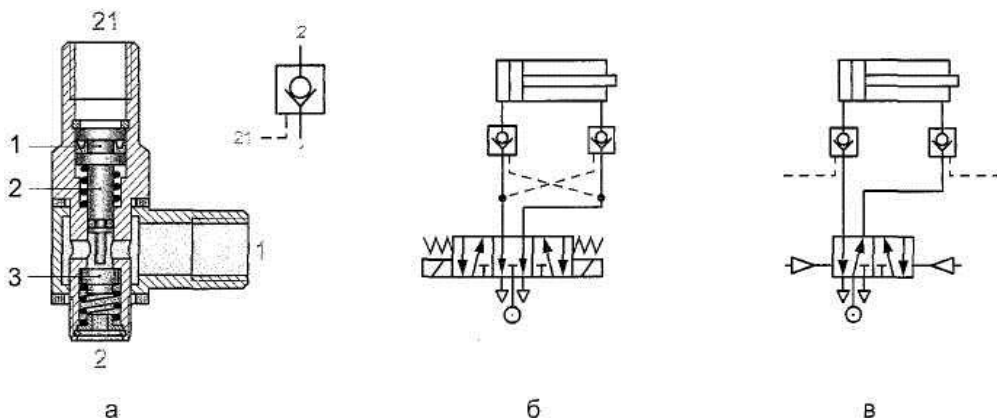


Рисунок 5.2 – Конструкція пневмозамка і його умовне графічне позначення на схемах (а), приклади його застосування (б, в)

Через пневмозамок повітря вільно проходить із каналу 1 у канал 2 (рис. 5.2 а), тоді як у зворотному напрямку – лише за наявності сигналу в каналі керування 21. До того ж у другому випадку шток 2 мініциліндра, площа

поршня 1 якого більша за площу клапана 3, примусово знімає клапан 3 із сідла, тим самим забезпечуючи можливість проходження повітря з каналу 2 у канал 1.

Зазвичай пневмозамки застосовують у системах позиціонування, тобто з метою зупинення й утримання пневмоциліндрів у будь-якому проміжному положенні, а також для запобігання самовільного опускання штоків вертикально встановлених пневмоциліндрів. У схемі з 5/3-пневморозподільником (рис. 5.2 б) обидва пневмозамки в початковому стані закриті, оскільки їх канали керування з'єднані з атмосферою через розподільник. Під час перемикання розподільника один із пневмозамків (розміщений на лінії скидання відпрацьованого повітря) відкривається автоматично, тому що до його каналу керування надходить сигнал із лінії, по якій стиснуте повітря подається до циліндра.

У фрагменті схеми з 5/2-пневморозподільником, показаному на рисунку 5.2 в, пневмозамки відкриваються під час подання зовнішнього керувального сигналу.

Для замикання магістральних трубопроводів або відсікання окремих гілок пневмосистеми застосовують різні вентиля. У кульових вентилях (рис. 5.3) потік стиснутого повітря повністю перекривається при повороті запірно-регулювального елемента (кулі з виконаним у ньому наскрізним отвором) на 90° .

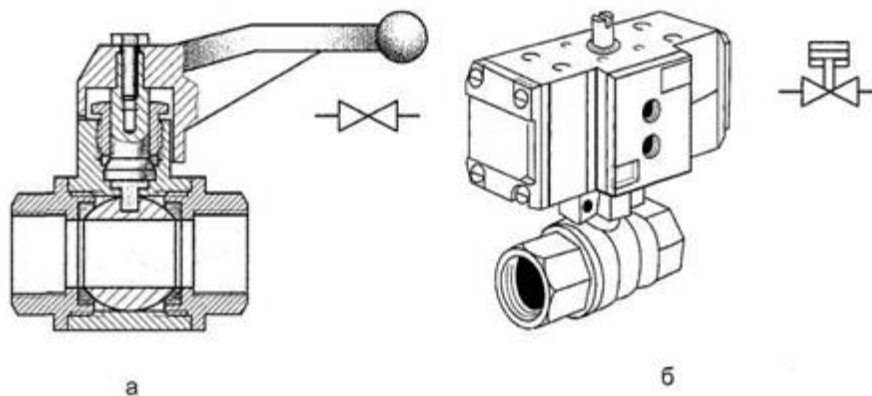


Рисунок 5.3 – Кульові вентиля (конструкція та умовне графічне позначення на схемах):
а – з ручним керуванням; б – з пневматичним керуванням

Вентилі з пневматичним керуванням широко використовують в автоматизованих виробництвах, які мають розгалужену мережу трубопроводів, наприклад, у харчовій, хімічній та інших галузях промисловості.

5.2 Пристрої регулювання витрати

Витрату стиснутого повітря у пневмоприводах регулюють із метою керування швидкостями руху вихідних ланок виконавчих механізмів.

Найпростішим пневматичним елементом, що дозволяє регулювати витрату повітря, є *дросель*. *Дросель* – це пристрій, що забезпечує істотне зменшення площі прохідного перерізу каналу, яким рухається стиснуте повітря. Установлення

дроселя на пневмолінії призводить до виникнення додаткового місцевого опору руху потоку повітря, що й зумовлює зменшення витрати.

По суті, дросель – це щілина деякої довжини, що має певні розміри прохідного перерізу. Водночас площа останнього залежно від конструктивного виконання дроселя або залишається сталою, або може змінюватися шляхом обертання регулювального гвинта. Відповідно дросель буде мати назву або *постійного* (рис. 5.4 а), або *регульованого* (рис. 5.4 б).

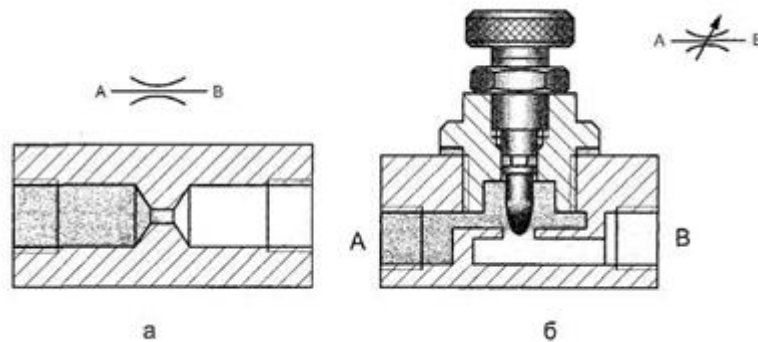


Рисунок 5.4 – Пневмодроселі
(конструкція та умовне графічне позначення на схемах):
а – постійний; б – регульований

Якщо довжина щілини перевищує її діаметр, дросель називають *ламінарним*, в іншому разі – *турбулентним*.

У разі встановлення дроселя у трубопроводі витрата повітря зменшуватиметься під час протікання потоку в будь-якому з двох можливих напрямків. Якщо виникає необхідність регулювання витрати лише в одному з них і забезпечення вільного проходження потоку стиснутого повітря у зворотному, то на пневмолінію встановлюють дросель зі зворотним клапаном (рис. 5.5).

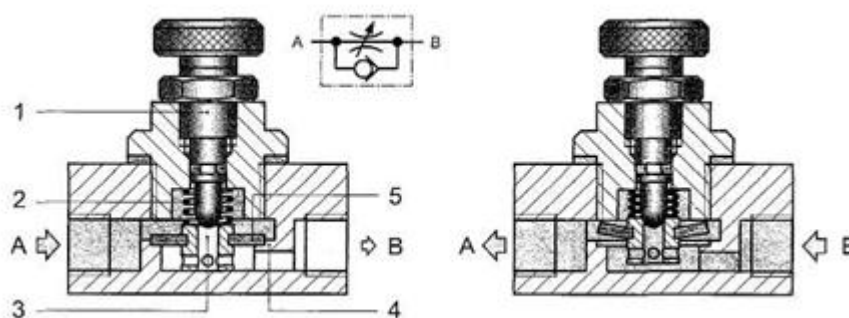


Рисунок 5.5 – Пневмодроселі зі зворотним клапаном
(конструкція та умовне графічне позначення на схемах):
1 – регулювальний гвинт; 2 – пружина; 3 – дроселювальний отвір;
4 – сідло; 5 – тарілчастий зворотний клапан

У нормальному стані тарілчастий зворотний клапан 5, у центральній частині якого виконано дроселювальний отвір 3, притиснутий до сідла 4

пружиною 2. У разі якщо стиснуте повітря надходить із каналу А до каналу В, воно проходить лише через цей отвір, прохідний переріз якого (а отже, і витрату) можна змінювати за допомогою регулювального гвинта 1. Рух повітря у зворотному напрямку супроводжується підйманням зворотного клапана із сідла, що дозволяє потоку безперешкодно проходити з каналу В до каналу А.

Таким чином, потік повітря дроселюється під час руху через дросель зі зворотним клапаном в одному напрямку і вільно проходить через зворотний клапан під час руху у протилежному напрямку.

Зазвичай на корпусах пневматичних дроселів зі зворотним клапаном наявне умовне графічне позначення, на якому розміщення зворотного клапана щодо приєднувальних отворів строго відповідає його позиції в реальній конструкції. Іноді позначення замінюють стрілкою, що вказує напрямок дроселювання потоку.

Розглянемо приклади використання дроселів і дроселів зі зворотним клапаном для регулювання швидкості руху штока пневмоциліндра одnobічної дії (рис. 5.6).

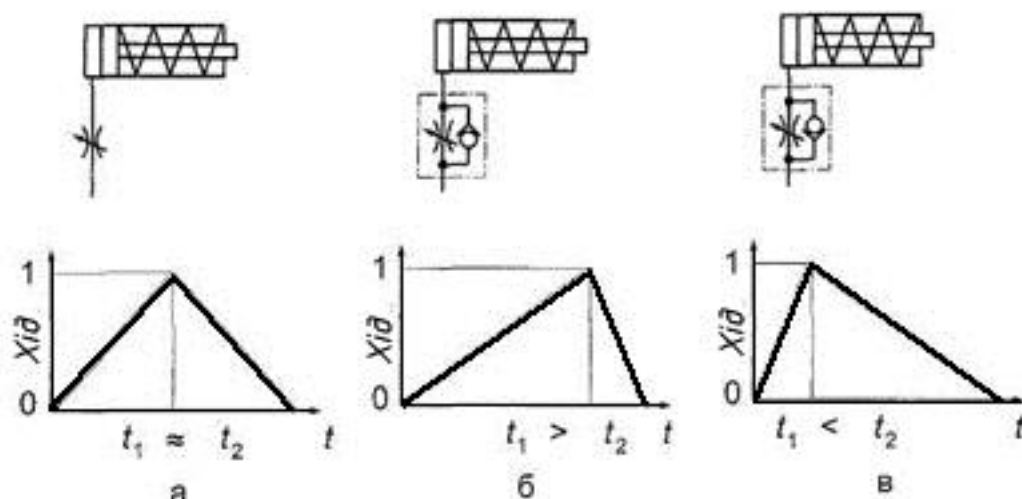


Рисунок 5.6 – Регулювання швидкості руху штока пневмоциліндра одnobічної дії:

а – встановлення дроселя без зворотного клапана; б – встановлення дроселя із закритим зворотним клапаном; в – встановлення дроселя із відкритим зворотним клапаном

У разі встановлення регульованого дроселя без зворотного клапана (рис. 5.6 а) швидкості прямого і зворотного ходів взаємозв'язані, оскільки потоки повітря, що надходять до циліндра і виходить із нього, проходять через один і той самий переріз дроселювальної щілини.

Для регулювання швидкості висування штока (рис. 5.6 б) необхідно застосовувати дросель зі зворотним клапаном, причому останній повинен бути закритий під час надходження повітря до циліндра. Для регулювання швидкості втягування штока (рис. 5.6 в) дросель необхідно встановлювати так, щоб повітря вільно надходило до циліндра через зворотний клапан і виходило з нього через дросель.

Керувати швидкістю вихідної ланки пневмоциліндрів двобічної дії можна шляхом дроселювання повітря на лінії нагнітання (регулювання на вході) або вихлопу (регулювання на виході). Для прикладу розглянемо регулювання швидкості прямого ходу.

Під час дроселювання повітря, що надходить (регулювання на вході – рис. 5.7 а), робоча порожнина заповнюється повільно, настільки ж повільно зростає і тиск у ній. У зв'язку з цим тиск у робочій порожнині сильно залежить від коливань значень навантажувального зусилля, а сприйняття циліндром попутного навантаження (напрямок дії якого збігається з напрямком руху штока) стає практично неможливим.

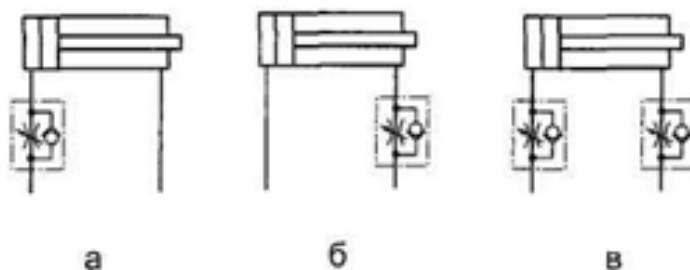


Рисунок 5.7 – Регулювання швидкості руху штока пневмоциліндра двобічної дії:

а – регулювання на вході; б – регулювання на виході; в – регулювання на вході та виході

Із цієї причини швидкість руху штока пневмоциліндра двобічної дії регулюється переважно дроселюванням повітря, що виходить з виконавчого механізму (регулювання на виході – рис. 5.7 б). Стиснуте повітря за такої схеми ввімкнення дроселя зі зворотним клапаном вільно надходить до поршневої порожнини циліндра, тоді як до штокової порожнини створюється «підпирання», що гальмує поршень. У цьому разі в обох робочих порожнинах підтримується високий рівень тиску, що забезпечує плавний хід поршня, який практично не залежить від коливань значення навантажувального зусилля.

Для незалежного регулювання швидкостей прямого і зворотного ходів дроселі зі зворотними клапанами встановлюють в обох пневмолініях, приєднаних до циліндра (рис. 5.7 в). За такої схеми встановлення стиснуте повітря вільно проходить до робочої порожнини циліндра через зворотні клапани і виходить через дроселі, що чинять опір відпрацьованому повітрю.

На поданій схемі (рис. 5.5 в) обидва дроселі зі зворотним клапаном регулюють швидкість прямого ходу циліндра, в той час як швидкість зворотного ходу регулюванню не піддається.

Часто дроселі як пристрої регулювання швидкості руху вихідної ланки встановлюють безпосередньо на цьому механізмі або на виконавчому розподільнику. У таких випадках застосовують вкрутні конструкції (рис. 5.8).

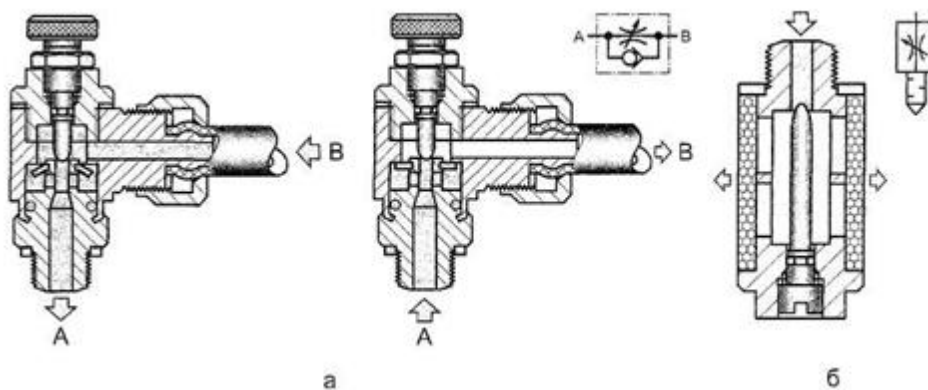


Рисунок 5.8 – Вкрутні дроселі
(конструкція та умовне графічне позначення на схемах):
а – дросель зі зворотнім клапаном; б – вихлопний дросель

Застосування вихлопних дроселів стає неефективним, якщо лінія підведення повітря від пневморозподільника до виконавчого механізму має значну довжину. Цей факт пояснюється тим, що об'єм, в якому стискається повітря (вихлопна порожнина циліндра і трубопровід), виявляється настільки великим, що переміщення поршня вже не спричинює в ньому підвищення тиску настільки, наскільки це необхідно для забезпечення ефективного регулювання швидкості руху вихідної ланки.

На принципових пневмосхемах, при використанні позиційних позначень у вигляді цифрових індексів, пристроям, що регулюють швидкість, присвоюють тризначні індекси. Розділені крапкою перші дві цифри цих індексів свідчать про виконавчий механізм, швидкість руху якого регулюється (рис. 5.9). В індексі парна цифра після крапки означає, що пристрій задіюється в процесі висування штока циліндра, а непарна – у процесі втягування.

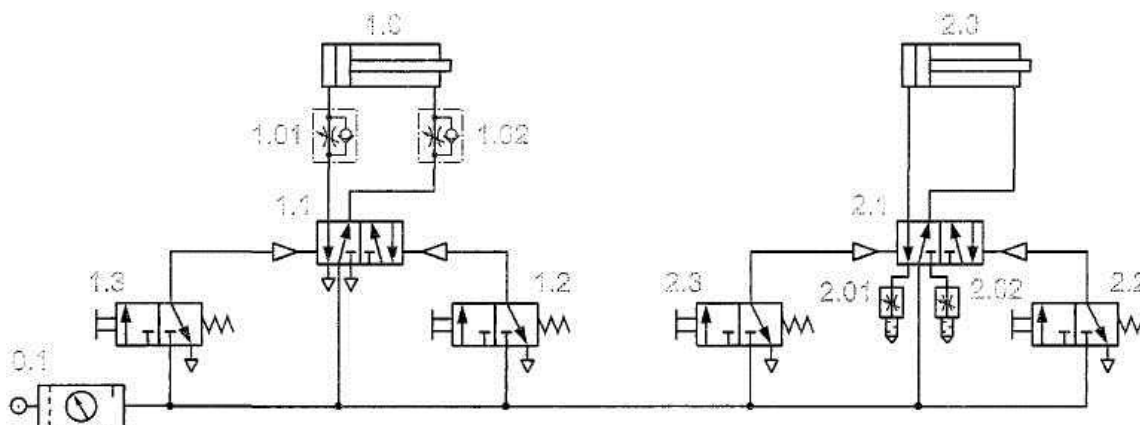


Рисунок 5.9 – Регулювання швидкості руху штока пневмоциліндрів

На перший погляд можна зробити однозначний висновок про те, що виконавчий механізм буде рухатися з максимально можливою швидкістю, якщо в його вихлопній магістралі відсутні дроселювальні пристрої. Однак не можна забувати, що пневмолінії є гідравлічними опорами на шляху стиснутого повітря. Для того щоб відпрацьоване повітря було скинуте в атмосферу, його

необхідно «продавити» як мінімум через трубопроводи і виконавчий розподільник. Тому очевидно таке: максимально можливу швидкість виконавчий механізм розвине лише в тому разі, якщо скидання повітря в атмосферу буде здійснюватися безпосередньо за його робочою порожниною. Реалізувати цей варіант можна шляхом застосування клапана швидкого вихлопу (рис. 5.10), який, з одного боку, вільно пропускає стиснуте повітря до виконавчого механізму, а з іншого – скидає відпрацьоване повітря безпосередньо в атмосферу.

Під час подання стиснутого повітря до каналу А запірний елемент зміщується у бік отвору вихлопу R і перекриває його, звільняючи шлях до каналу В. Подання повітря до каналу В супроводжується перекриванням каналу А (тобто відсіканням приєднаних пневмоліній) і скиданням відпрацьованого повітря в атмосферу через канал R. (Звернемо увагу, що умовне графічне позначення клапана швидкого вихлопу чітко відображає принцип його функціонування).

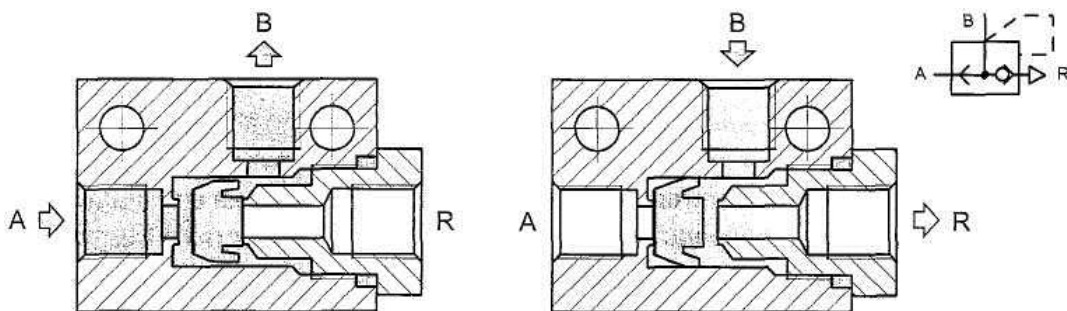


Рисунок 5.10 – Клапан швидкого вихлопу (конструкція та умовне графічне позначення на схемах)

Клапани швидкого вихлопу на принципових пневматичних схемах також позначають тризначними цифровими індексами (рис. 5.11).

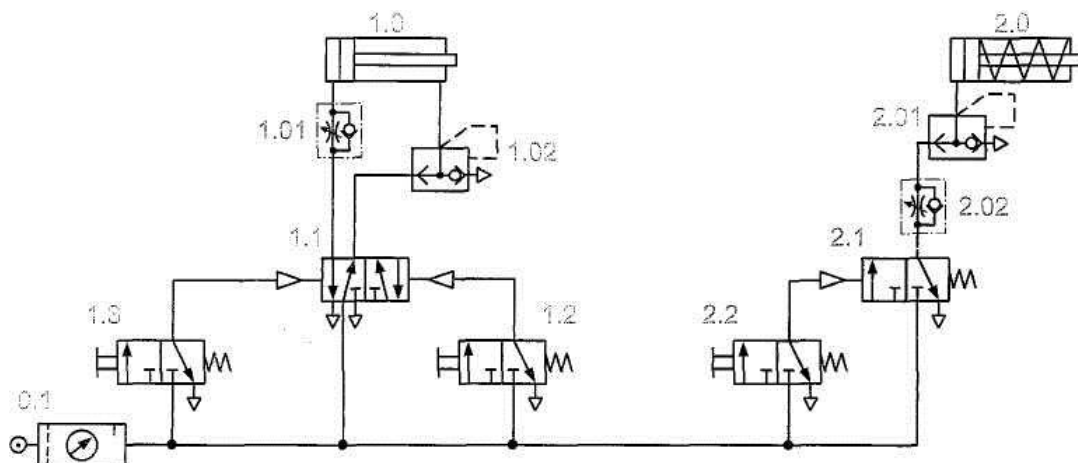


Рисунок 5.11 – Принципова пневматична схема з клапанами швидкого вихлопу

Регулювання швидкості руху виконавчих механізмів не обмежується лише використанням дроселів і клапанів швидкого вихлопу. Існує безліч схемних рішень із застосуванням клапанів тиску, додаткових ємностей, зовнішніх гальмівних пристроїв тощо.

5.3 Пристрої регулювання тиску

Підтримання необхідного тиску в робочих порожнинах виконавчих механізмів забезпечує сталість зусилля або швидкості руху вихідної ланки, що розвивається ними. Це є обов'язковою вимогою при створенні багатьох технологічних установок.

Завдання регулювання тиску в пневматичних системах вирішуються за допомогою клапанів тиску: *запобіжних* і *редукційних*.

Призначення *запобіжних* клапанів (рис. 5.12 а) полягає в запобіганні підвищенню тиску в контрольованих точках понад заданого рівня шляхом автоматичного скидання частини стиснутого повітря в атмосферу. Запобіжні клапани встановлюють на спеціальних патрубках, приєднаних до трубопроводів або безпосередньо на пневматичних ємностях у місцях, зручних для огляду, монтажу та експлуатації. При встановленні у пневматичних системах клапани налаштовують на заданий тиск і пломбують.

Призначення *редукційних* пневмоклапанів (рис. 5.12 б, в) – підтримувати відносно стабільний рівень тиску на виході (нижче від величини тиску живлення) незалежно від коливань тиску, що мають місце у системі подання повітря перед клапаном, а також за зміни витрати повітря за клапаном. Редукційні клапани монтують зазвичай у конкретних точках виробничих установок або вони входять до складу блоків підготовки повітря.

Принципові відмінності між двома розглянутими типами клапанів полягають у такому: запобіжні клапани контролюють тиск «перед собою», а редукційні – «за собою»; запобіжні клапани є нормально закритими, тоді як редукційні – нормально відкритими (рис. 5.12).

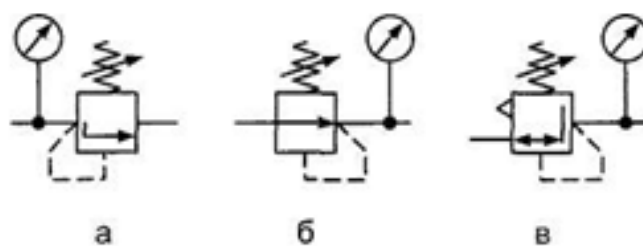


Рисунок 5.12 – Пневмоклапани тиску:

а – запобіжний; б – редукційний дволінійний; в – редукційний трілінійний

При виборі клапанів тиску необхідно враховувати такі технічні характеристики: діапазон робочих тисків, діапазон температур, номінальну витрату, розміри приєднувальних отворів.

Традиційні варіанти використання клапанів тиску в пневматичних системах подані на рисунку 5.13.

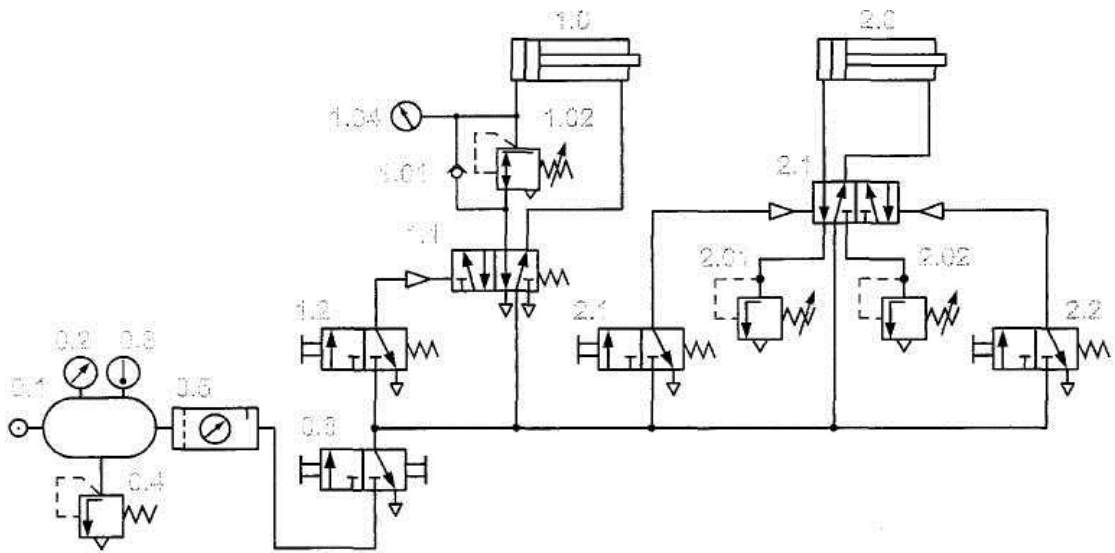


Рисунок 5.13 – Приклад використання пневмоклапанів тиску

Запобіжний клапан 0.4 обмежує рівень тиску в ресивері 0.1, а клапани 2.01 і 2.02 створюють «підпирання» в робочих порожнинах пневмоциліндра 2.0. За допомогою цих клапанів фактично регулюється швидкість руху штока циліндра 2.0. Подібна схема регулювання забезпечує стабільність швидкісних характеристик за зміни величини навантаження.

Редукційний клапан 1.02 підтримує на постійному рівні зусилля, що розвивається пневмоциліндром 1.0 за прямого ходу. Для забезпечення вільного повернення пневмоциліндра 1.0 у вихідне положення, паралельно редукційному клапану 1.02 встановлюють зворотний клапан 1.01.

Звернемо увагу, що запобіжні клапани 2.01 і 2.02 відрізняються за конструктивним виконанням від клапана 0.4, оскільки до їх вихлопного отвору можна підключити нарізні з'єднання або пневмоглушники (рис. 5.14).

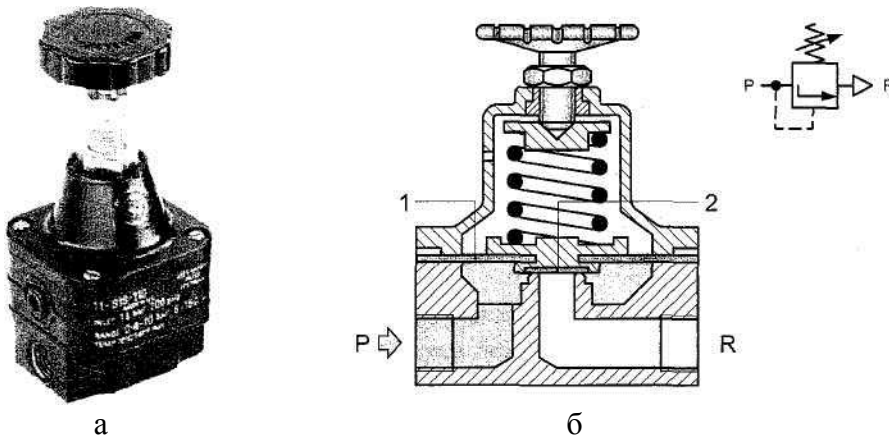


Рисунок 5.14 – Запобіжний пневмоклапан

(конструкція та умовне графічне позначення на схемах):

а – зовнішній вигляд; б – конструкція; 1 – мембрана; 2 – тарілчастий клапан

Запобіжний клапан обмежує рівень тиску стиснутого повітря, що підводиться до каналу Р і впливає на підпружинену мембрану 1 (рис. 5.14 б), у жорсткому центрі якої встановлений тарілчастий клапан 2, що перекриває

прохід до каналу R. У разі якщо тиск стає достатнім для подолання зусилля пружини, клапан відкривається, пропускаючи стиснуте повітря до каналу R.

Крім клапанів тиску з налаштуванням рівня контрольованого тиску, існують також клапани тиску із зовнішнім дистанційним керуванням (рис. 5.15).

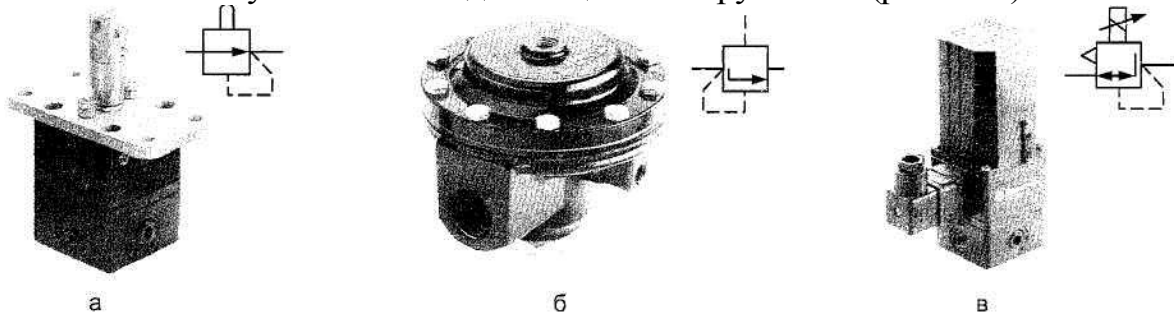


Рисунок 5.15 – Пневмоклапани тиску із зовнішнім керуванням (зовнішній вигляд і умовне графічне позначення на схемах) за різних типів керування:
а – механічного; б – пневматичного; в – пропорційного

Керування може бути:

- 1) *механічним* – рівень тиску залежить від положення деякого технологічного об'єкта, з яким орган керування клапаном пов'язаний кінематично (рис. 5.15 а);
- 2) *пневматичним* – рівень контрольованого тиску задається значенням тиску в певній точці пневматичної системи (рис. 5.15 б);
- 3) *пропорційним* – клапан регулює тиск пропорційно заданій силі струму або напрузі (рис. 5.15 в).

Клапани з пропорційним керуванням є найбільш універсальними з точки зору можливостей автоматизації керування складними технологічними об'єктами, оскільки на відповідний аналоговий електричний сигнал можна перетворити і переміщення, і тиск, а також інші фізичні величини. Крім того, застосування клапанів тиску з пропорційним керуванням дозволяє здійснювати програмне керування рівнем тиску в пневматичній системі за допомогою промислових логічних контролерів.

У ряді випадків для зменшення габаритів установок, оснащених пневмоприводами, доцільно перейти на роботу з тиском, рівень якого вищий, ніж в основній мережі. З цією метою застосовують *підсилювачі тиску* (рис. 5.16).

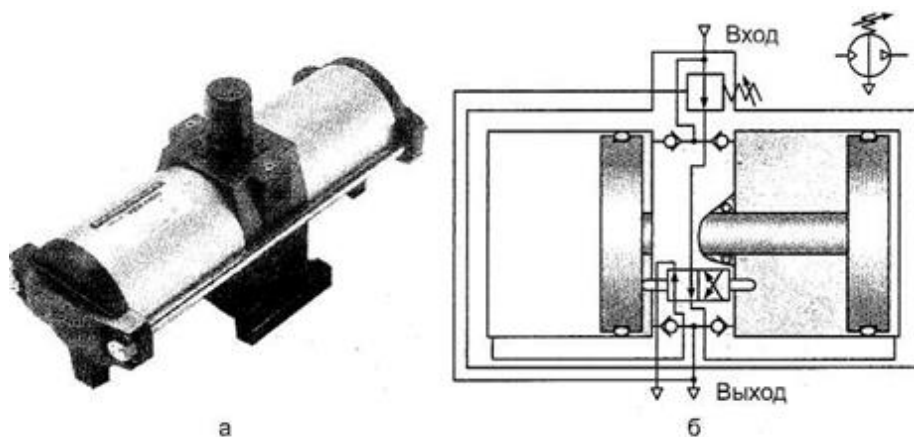


Рисунок 5.16 – Підсилювач тиску:
а – зовнішній вигляд; б – конструкція та умовне позначення

Підсилювач тиску фактично являє собою двопоршневий компресор із пневматичним приводом. Поршні переміщуються під дією стиснутого повітря, що надходить по черзі в одну з приводних (безштокових) камер. Реверсування руху поршнів здійснюється у разі досягнення ними «мертвих точок» за допомогою вбудованого 4/2-пневморозподільника з двобічним механічним керуванням. Рівень тиску на виході задається за допомогою регулятора тиску і контролюється через канал зворотного зв'язку.

Тиск, що розвивається підсилювачем, зазвичай не перевищує тиску в пневмережі більше ніж удвічі, водночас витрата стиснутого повітря, що витрачається на роботу підсилювача, становить близько 120 % від витрати на його виході.

За необхідності з метою згладжування пульсацій тиску на виході підсилювача встановлюють ресивер (рис. 5.17 а).

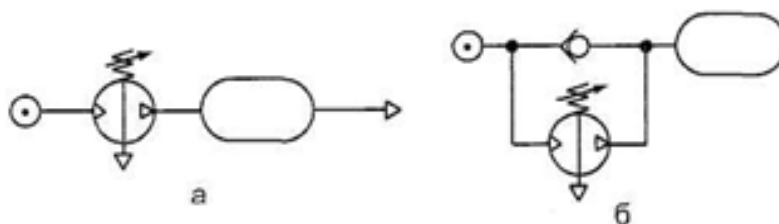


Рисунок 5.17 – Установлення підсилювача тиску з ресивером:
а – послідовне; б – паралельне

Якщо підсилювач працює на ресивер (замкнений об'єм), то для прискорення наповнення останнього паралельно підсилювачу вбудовують зворотний клапан (рис. 5.17 б). Водночас підсилювач починає працювати в той момент, коли тиск у ресивері стає таким, що дорівнює тиску в пневмережі.

Подання стиснутого повітря до пневматичної підсистеми в момент її під'єднання до мережі супроводжується раптовим підвищенням тиску. Це може привести до різкого переміщення виконавчих механізмів і ведених частин механізмів у разі повернення в початкове положення. У результаті опорні конструкції сприймають значні ударні навантаження, що може призвести до виходу обладнання з ладу. Для забезпечення плавного підвищення тиску в пневмосистемах до заданого рівня застосовують спеціальні блоки (рис. 5.18).

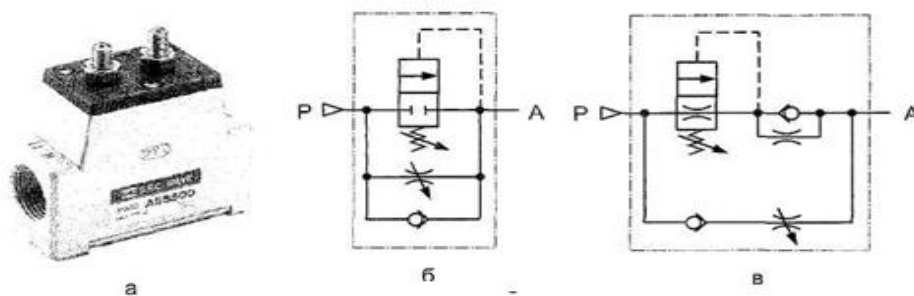


Рисунок 5.18 – Блок плавного підвищення тиску і схемні рішення з його монтажу в пневмережі:
а – зовнішній вигляд; б – з можливістю плавного регульованого підвищення тиску й різкого скидання повітря; в – з можливістю плавного нерегульованого підвищення тиску та плавного скидання тиску

Блоки плавного підвищення тиску (рис. 5.18 а) можуть бути виконані на основі різних схемних рішень залежно від умов функціонування конкретних установок. Так, блок, виконаний за схемою, зображеною на рисунку 5.18 б, дозволяє здійснювати плавне зростання тиску в системі через регульований дросель. У разі досягнення заданого рівня тиску спрацьовує клапан послідовності, що забезпечує подальше вільне надходження повітря до системи. Скидання повітря із системи здійснюється різко (через зворотний клапан).

Схемне рішення, зображене на рисунку 5.18 в, дозволяє здійснювати плавне нерегульоване підвищення тиску в системі до необхідного рівня через нерегульований дросель клапана послідовності і плавне скидання (через регульований дросель) повітря із системи.

Часто для зручності експлуатації такі блоки монтують у складі блоків підготовки повітря.

5.4 Пневмоклапани послідовності

Крім контролю положення виконавчих механізмів або кінематично пов'язаних із ними рухомих частин машин, нерідко потрібно також формувати керувальні сигнали на основі інформації про значення тиску в певних точках пневматичної системи. У таких випадках говорять про керування за тиском.

Пристрої, що перетворюють аналогово-пневматичний сигнал на вході при досягненні ним заданої величини на дискретний пневматичний сигнал на виході, називають *клапанами послідовності*, або реле тиску з пневматичним виходом (рис. 5.19).

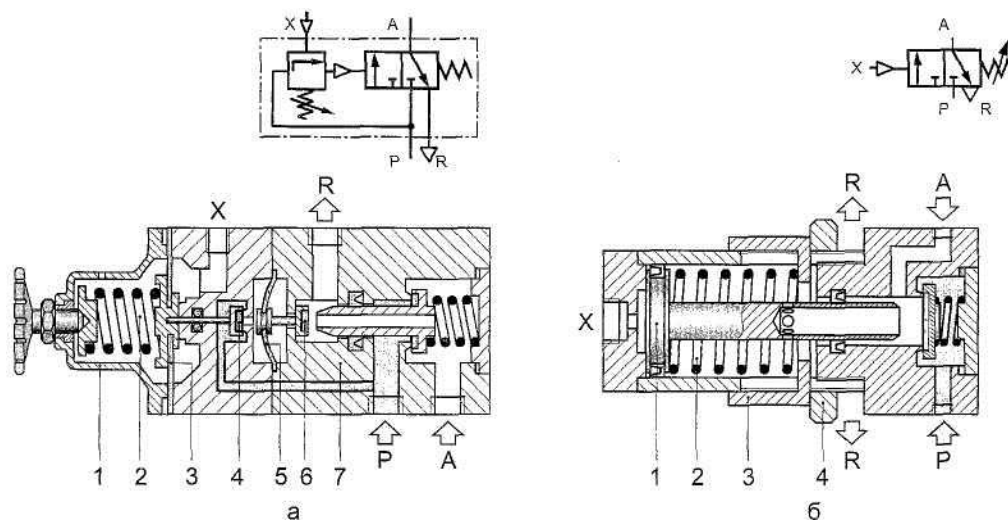


Рисунок 5.19 – Пневмоклапани послідовності

(конструкція та умовне графічне позначення на схемах):

а – комбінація запобіжного клапана із зовнішнім керуванням і 3/2-пневморозподільника з пневматичним керуванням, увімкнених послідовно:

1 – запобіжний клапан; 2 – налаштовувальна пружина; 3, 5 – мембрана;

4 – пілотний клапан; 6 – перемикальний елемент; 7 – розподільник;

б – 3/2-пневморозподільник із пневматичним керуванням: 1 – приводний поршень;

2 – пружина; 3 – регулювальна втулка; 4 – регулювальна гайка

Умовні графічні позначення пневмоклапанів послідовності можуть відрізнятися залежно від їх конструктивного виконання. Так, клапан послідовності, показаний на рисунку 5.19 а, є комбінацією запобіжного клапана із зовнішнім керуванням 1 і 3/2-пневморозподільника з пневматичним керуванням 7, що ввімкнені послідовно. Це відображається на його умовному позначенні. Нагадаємо: штрихпунктирна лінія, що охоплює позначення декількох пневматичних елементів, свідчить про те, що ці елементи не є самостійними апаратами, а входять до складу пристрою, що їх об'єднує.

Тиск у каналі керування Х повинен бути таким, щоб зусилля, що виникає на мембрані 3, було достатнім для подолання зусилля налаштовувальної пружини 2. У разі виконання цієї умови, відкривається пілотний клапан 4, і стиснуте повітря починає надходити до мембрани 5 перемикального елемента 6 розподільника 7. При спрацьовуванні цього елемента відбувається перемикання пневморозподільника 7, у результаті чого в каналі А з'являється сигнал. Зусилля налаштовувальної пружини можна змінити шляхом прокручування регулювального гвинта.

Клапан, зображений на рисунку 5.19 б, виконаний на базі 3/2-розподільника з пневматичним керуванням. Поріг спрацьовування клапана налаштовують шляхом зміщення регулювальної втулки 3, на яку спирається пружина 2 приводного поршня 1. Переміщення втулки 3 супроводжується зміною зусилля попереднього стиснення пружини 2, що створюється обертанням регулювальної гайки 4.

Необхідно звернути увагу на те, що активна площа приводного поршня 1 (на яку впливає контрольований тиск) різко збільшується під час його руху з місця з вихідної позиції. Це означає, що навіть поступове підвищення тиску в каналі Х до деякого порогового значення (величини налаштування) призводить не до плавного переміщення керувального поршня, а до його різкого переходу у висунуте положення, що забезпечує чітке перемикання пневморозподільника.

При виборі клапанів послідовності необхідно брати до уваги такі технічні характеристики:

- діапазон тисків (максимальна і мінімальна величини тиску);
- точність налаштування;
- стабільність роботи (здатність зберігати налаштування тиску спрацьовування за багаторазових переходів);
- величина гістерезису (різниця між тиском увімкнення і тиском вимкнення);
- номінальна витрата повітря, що проходить через клапан.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Як працює і для чого необхідний зворотний клапан?
- 2 Які переваги має кульовий вентиль?
- 3 За допомогою яких пристроїв регулюють витрату повітря у пневмосистемах?
- 4 За рахунок яких пристроїв регулюється тиск у пневмосистемі?
- 5 Для чого застосовують пневмоклапани послідовності?

6 ПРИСТРОЇ ОЧИЩЕННЯ, ОСУШЕННЯ І ТРАНСПОРТУВАННЯ СТИСНУТОГО ПОВІТРЯ

6.1 Фільтри

Для забезпечення надійності й безвідмовності роботи пневматичних систем у цілому і кожного з їх елементів окремо необхідне очищене стиснуте повітря. Забруднювачі повітря (пил, окалина, іржа, а також конденсат і компресорні мастила) різко знижують показники безвідмовності елементів пневматичних систем, призводять до порушення технологічних процесів. Унаслідок забруднення стиснутого повітря зношування збільшується у 2–7 разів, а кількість виходів із ладу елементів пневмосистем із тієї самої причини становить до 80 % від загальної кількості відмов.

Тверді забруднювачі. Для очищення повітря від механічних включень застосовують фільтри. Концентрація, дисперсний склад і природа твердих забруднювачів стиснутого повітря залежать від:

а) режимів експлуатації та обслуговування трубопроводів і пневмопристроїв;

б) забруднення повітряного басейну в зоні всмоктування компресора.

Обов'язковість установа фільтра на лінії всмоктування компресора обумовлена вимогою безпеки роботи самого компресора. Зазвичай фільтр має корпус 1, в якому розміщується, власне, фільтрувальний елемент 2, виконаний у вигляді змінного стакана (рис. 6.1 а).

Умовне графічне позначення фільтра на принципових пневматичних схемах і його зображення на лінії всмоктування компресора подані на рисунку 6.1 б і в.

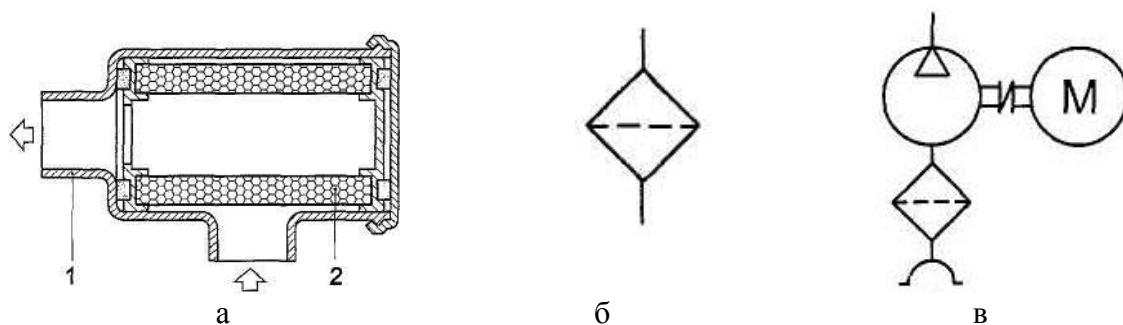


Рисунок 6.1 – Фільтр повітряний: конструкція (а) та умовне позначення самостійне (б) і на всмоктувальній лінії компресора (в):

1 – корпус; 2 – фільтрувальний елемент

Як матеріали для фільтрувальних елементів застосовують папір, фетр, поролон, целюлозну вату, пористу кераміку, металокераміку, металеві сітки та ін. Розміри частинок, що затримуються фільтром, залежать від геометричних розмірів комірок фільтрувального матеріалу і коливаються залежно від вимог, що застосовуються до стиснутого повітря: максимальний розмір становить 80 мкм і більше, мінімальний – 0,5 мкм.

Основна кількість твердих забруднювальних речовин надходить до стиснутого повітря під час передавання його трубопроводами і з'єднаннями. Ці забруднювачі на 95 – 98 % складаються з іржі й окалини, а також із продуктів зношування поршневих кілець компресорів і рухомих деталей пневмоапаратів. У разі порушення технології виготовлення і монтажу трубопроводів до них потрапляють частинки ущільнювальних матеріалів та промисловий пил. На трубопроводах, що пересуваються під тиском, установлюють *напірні* фільтри (рис. 6.2 а). Окрім традиційної фільтрації для очищення повітря в таких фільтрах використовують сили інерції. Оскільки швидкість руху повітря в трубопроводах досягає 40 м/с, то різка зміна траєкторії потоку в корпусі фільтра призводить до викидання з нього частинок забруднювачів, що мають більшу інертність.

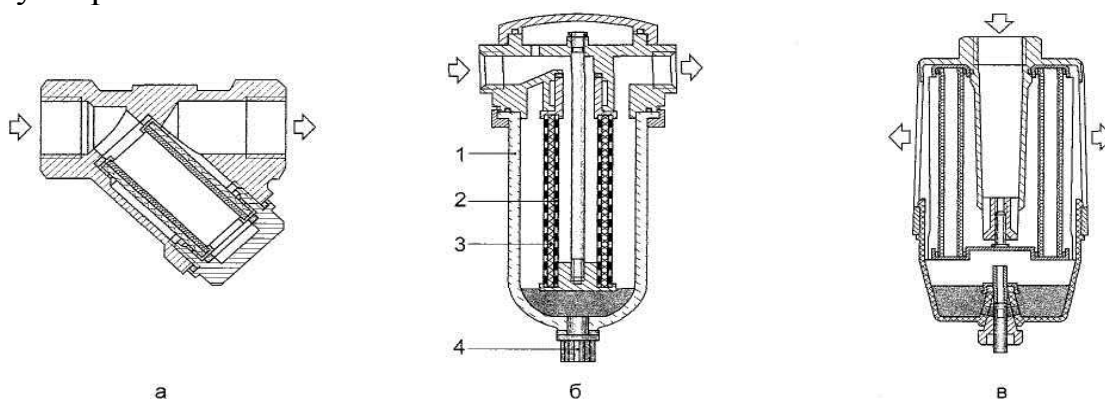


Рисунок 6.2 – Фільтри:

- а – напірний; б – коалесцентний; в – фільтр-глушник;
 1 – стакан фільтра; 2 – грубоволокнистий шар фільтроелемента;
 3 – дрібнопористий шар фільтроелемента; 4 – кран

Мастило. Найбільш складно під час очищення стиснутого повітря видалити з потоку компресорне мастило, що міститься у вигляді аерозолі з частинками розміром від 0,01 мкм до 1 мкм. Через малий розмір ці частинки не можна відокремити від повітря шляхом використання сил інерції. Їх ефективне видалення забезпечують фільтри контактної дії, або *коалесцентні* (рис. 6.2 б).

Проходячи через перший, дрібнопористий, шар фільтроелемента 3 (наприклад, через боросилікатне волокно), частинки мастила з'єднуються у великі краплини (явище коалесценції). Розширення стиснутого повітря у наступному, грубоволокнистому, шарі фільтроелемента 2 і на виході призводить до значного зниження швидкості потоку, і краплинки мастила під дією власної ваги опускаються на дно стакана 1 фільтра, в якому розміщений кран 4 для періодичного відведення водомасляного конденсату. Такі фільтри забезпечують уловлювання не менше ніж 99,99 % частинок аерозолів.

У деяких галузях промисловості, наприклад електронній, неприпустима наявність аерозолів у відпрацьованому повітрі, тому що це призводить до погіршення якості продукції або взагалі унеможливорює здійснення технологічного процесу. У таких випадках застосовують спеціальні пристрої – *фільтри-глушники* (рис. 6.2 в). Конструктивно вони є більш складними від звичайних, мають великі габарити, тому їх встановлюють на загальному для

всієї пневмосистеми вихлопному трубопроводі. Умовне графічне позначення фільтра-глушника на пневматичних схемах наведене на рисунку 6.3.

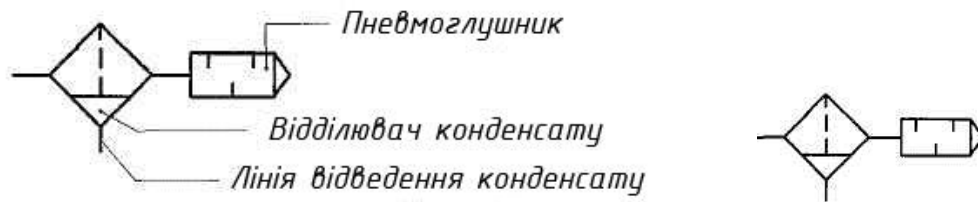


Рисунок 6.3 – Умовне графічне позначення фільтра-глушника

Вода. Температура повітря у процесі його стиснення в компресорі підвищується на $100 - 130^{\circ}\text{C}$, і одночасно значно знижується відносна вологість. За відносної вологості всмоктуваного повітря 80 % стиснуте повітря на виході з компресора має значення вологості 6 – 10 %. Унаслідок теплообміну з довкіллям стиснуте повітря під час руху трубопроводами охолоджується, відбуваються його перенасичення водяною парою і виділення краплинної вологи (конденсату). Для очищення стиснутого повітря від краплинної вологи і твердих частинок застосовують *фільтри-осушники*. Конструктивне виконання та умовне графічне позначення фільтра-вологовіддільника показані на рисунку 6.4. Стиснуте повітря, підведене до вхідного каналу в корпусі 1, потрапляє на крильчатку 2, де йому надають спадного обертального руху. Краплини води і мастила, а також великі тверді частинки під дією відцентрових сил відкидаються до стінок стакану 3 і опускаються донизу у відокремлену заслінкою 5 спокійну зону. Далі повітря надходить на вихід з апарата. Водночас у фільтроелементі 4 утримуються більш дрібні включення, що містяться в повітрі.

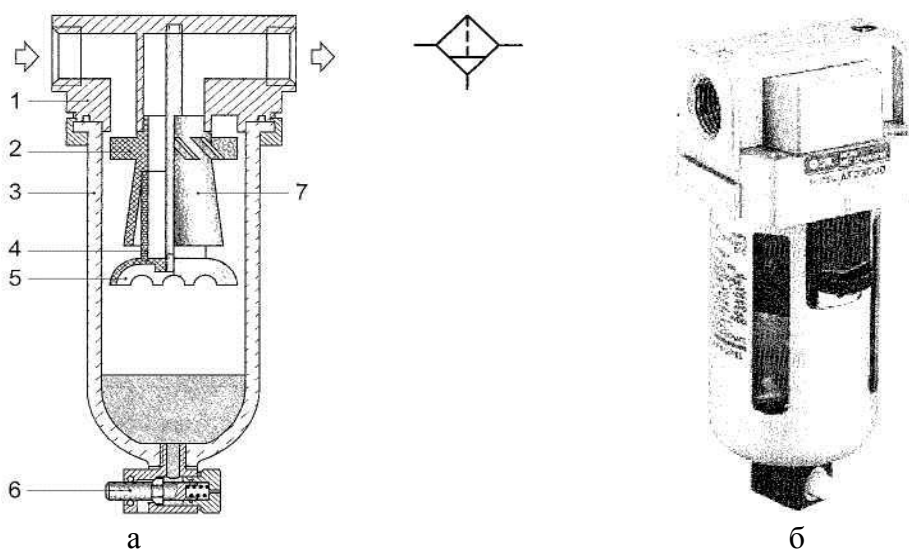


Рисунок 6.4 – Фільтр-осушник:

а – конструкція; б – зовнішній вигляд; 1 – корпус; 2 – крильчатка; 3 – стакан;
4 – фільтроелемент; 5 – заслінка; 6 – клапан; 7 – дефлектор

Для запобігання повторному потраплянню забруднювачів, що видаляються в результаті дії відцентрових сил із повітря, фільтроелемент захищений дефлектором 7. Прозорість матеріалу стакана дозволяє стежити за кількістю конденсату, який повинен періодично відводитися через керований вручну клапан 6. Рівень конденсату не повинен підніматися вище від заслінки, тому що в цьому разі конденсат почне підхоплюватися повітряним потоком, що надходить на фільтроелемент. Це призведе до швидкого його засмічення.

Оскільки у разі засмічення фільтрів зростає опір руху повітря, то фільтроелементи періодично замінюють або відновлюють їх пропускну здатність. Очищати фільтроелементи можна за допомогою таких дій: пропусканням стиснутого повітря в напрямку, протилежному напрямку руху повітря під час роботи фільтра; промиванням у розчинниках; ультразвуковим очищенням. Для регенерації фільтрів із пористої кераміки і металокераміки можна використовувати розчини різних кислот із подальшим їх промиванням і нейтралізацією. Відновленню не підлягають паперові, тканинні, волокнисті та інші фільтроелементи.

У процесі експлуатації на внутрішніх поверхнях фільтрів-вологорозподільників осідає водомастильна емульсія, що може призвести до порушення їх нормальної роботи. Промивати пристрій потрібно за допомогою розчинів, що не руйнують ущільнення і поверхні деталей (бензин, спирт, уайт-спірит, теплий мильний розчин).

Фільтри-вологовіддільники необхідно монтувати в пневмосистемах лише у вертикальному положенні. Напрямок руху потоку стиснутого повітря через пристрій зазначається стрілкою на корпусі.

Для спрощення процесу експлуатації фільтрів-вологовіддільників застосовують автоматичні пристрої відведення конденсату поплавкового типу – автоматичні конденсатовідвідники. Їх виконують у вигляді окремих пристроїв, які залежно від конструктивного виконання або під'єднують до дна стакана фільтра-вологовіддільника зовні, або розміщують безпосередньо в стакані (рис. 6.5). У вихідному положенні (тиск у стакані відсутній) підпружинений поршень 4 зі зливним клапаном на штоку 6 перебуває у своєму нижньому положенні, канал зливу 5 відкритий. При поданні стиснутого повітря в стакан поршень 4 під дією тиску, що чиниться на його нижню поверхню, переміщується вгору, стискаючи пружину 3, і канал 5 перекривається. При досягненні такого рівня конденсату, коли виштовхувальна сила подолає вагу поплавця 2, останній спливає, відкриваючи повітряний клапан керування 1 поршнем 4. У результаті цього тиск починає діяти на верхню поверхню поршня. Через різницю розмірів нижньої і верхньої поверхонь поршень 4 опускається, відкриваючи канал для зливання конденсату 5. У разі зниження рівня конденсату поплавець 2 опускається, і керувальний клапан 1 перекриває доступ стиснутого повітря до порожнини над поршнем.

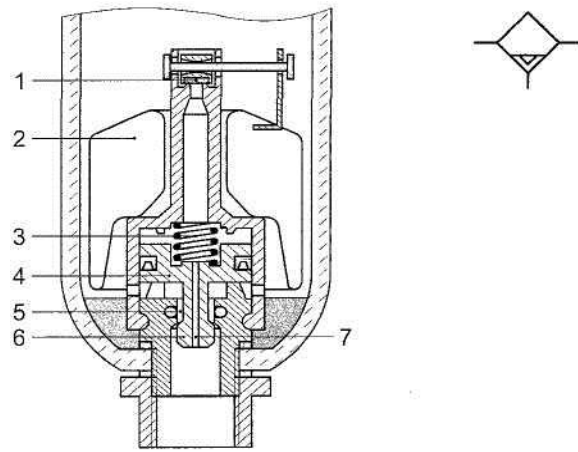


Рисунок 6.5 – Автоматичний конденсатовідвідник
(конструкція та умовне графічне позначення на схемах):
1 – керувальний клапан; 2 – поплавець; 3 – пружина; 4 – поршень;
5 – зливний канал; 6 – шток; 7 – дросельний отвір

Зливання конденсату триватиме доти, поки тиск стиснутого повітря в цій порожнині, що з'єднана з порожниною стакана через дросельний отвір 7 у поршні 4, не знизиться до значення меншого, ніж тиск у стакані, після чого поршень 4 переміститься у верхнє положення, і зливний канал 5 буде перекрито. Умовне графічне позначення фільтра-вологівіддільника, забезпеченого автоматичним конденсатовідвідником, подано на рисунку 6.6.

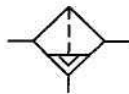


Рисунок 6.6 – Умовне графічне зображення
фільтра-вологівіддільника з автоматичним відведенням конденсату

Ефективна робота очисних пристроїв для очищення стиснутого повітря можлива лише в певному діапазоні витрат, зазначеному в керівництві з експлуатації.

Для зниження ймовірності утворення конденсату в пневмолініях джерело стиснутого повітря забезпечують пристроями охолодження і осушення, які встановлюють безпосередньо за компресором. Зазвичай стиснуте повітря, яке нагнітається компресором, надходить до теплообмінника, де охолоджується до 25 – 40 °С, що призводить до конденсації частини вологи. У деяких випадках потрібне гаряче повітря, для отримання якого застосовують підігрівники.

Умовні графічні позначення теплообмінника й підігрівника з природним охолодженням і обігріванням відповідно подані на рисунку 6.7.

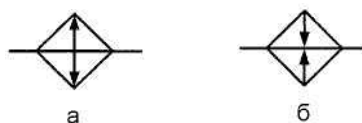


Рисунок 6.7 – Умовні графічні позначення теплообмінника і підігрівника:
а – охолоджувача; б – підігрівника

Стрілки на умовних графічних позначеннях свідчать про відведення (охолоджувач, рисунок 6.7 а) або підведення (підігрівник, рисунок 6.7 б) теплоти до повітряної магістралі.

6.2 Пристрої осушення

Залежно від вимог до ступеня осушення повітря для конкретних споживачів застосовують різні пристрої осушення (рис. 6.8): *рефрижераторні, абсорбційні, адсорбційні*.

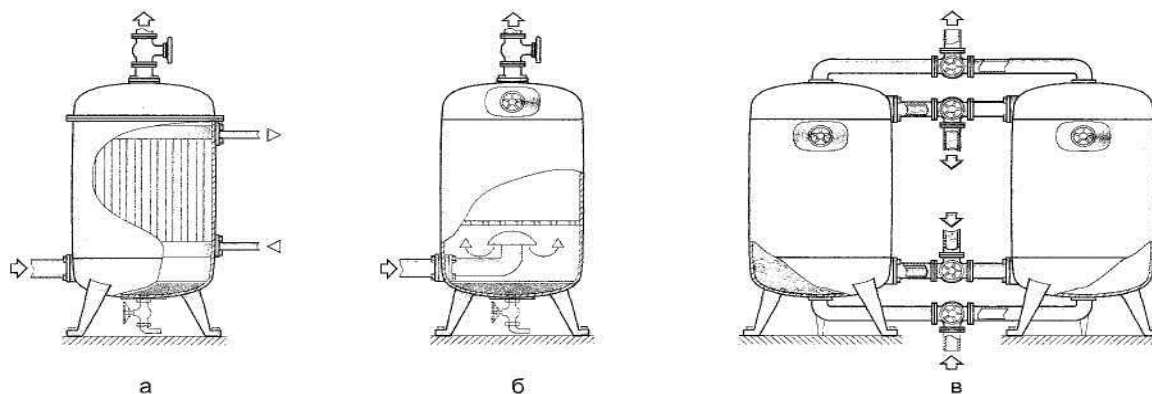


Рисунок 6.8 – Пристрої осушення стиснутого повітря:

а – апарат рефрижераторної установки; б – апарат абсорбційної установки;
в – апарат адсорбційної установки

Отримати осушене стиснуте повітря з точкою роси $2 - 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ дозволяють рефрижераторні установки, до складу яких входить резервуар з охолоджувальним радіатором (рис. 6.8 а). Повітря охолоджується, проходячи через такий резервуар, за рахунок циркуляції холодоагенту (фреон, аміак тощо). Осушення повітря здійснюється за допомогою примусової конденсації вологи на радіаторі. Конденсат, що збирається в нижній частині установки, повинен періодично відводиться з неї шляхом приєднання до дренажної системи.

В абсорбційних осушниках повітря надходить знизу до резервуара, заповненого спеціальною абсорбувальною (поглинальною, хімічно зв'язувальною вологою) речовиною – *флюсом*, і виходить із верхньої частини резервуара (рис. 6.8 б). Суміш флюсу і води в желеподібному стані стікає в нижню частину установки і регулярно повинна видалятися з неї. Згодом флюс витрачається і його доводиться замінювати новим. Це є недоліком подібного технічного рішення. Проте абсорбційний спосіб осушення характеризується простотою установки, незначним механічним зношуванням, відсутністю витрати зовнішньої енергії. Після абсорбційного осушення точка роси стиснутого повітря знижується до мінус $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

За необхідності більш глибокого осушення стиснутого повітря застосовують адсорбційні осушники (рис. 6.8 в), що дозволяють знизити точку роси до мінус $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Як осушувальні речовини в них використовують *адсорбенти* – речовини, що осаджують вологу на власній поверхні (активоване вугілля, активний оксид алюмінію – алюмогель, силікагель тощо). Адсорбенти

здатні відновлювати власні вологопоглинальні властивості після регенерації, що полягає в їх примусовому осушенні, наприклад, за допомогою теплого повітря. До складу установки входять два паралельно встановлених адсорбери. Система кранів на трубопроводах дозволяє вмикати установку так, щоб під час роботи в режимі осушення повітря одного з адсорберів інший перебував у режимі регенерації.

Виготовляють адсорбційні осушники різної продуктивності, що дозволяє задовольнити потреби щодо сухого стиснутого повітря як все підприємство (рис. 6.9 а), так і окремих цех (рис. 6.9 б) або конкретну технологічну установку (рис. 6.9 в).

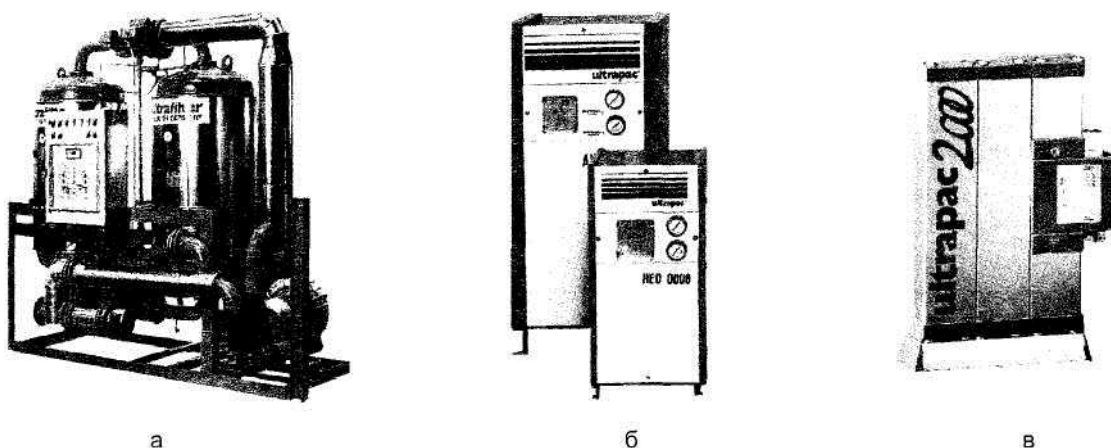


Рисунок 6.9 – Адсорбційні установки великої (а), середньої (б) і малої (в) продуктивності

Режими роботи адсорберів перемикаються автоматично з періодичністю, яка визначається параметрами конкретної установки. За нормальних умов експлуатації сушильний агент необхідно замінювати кожні 2 – 3 роки.

Умове графічне позначення пристроїв осушення показано на рисунку 6.10.

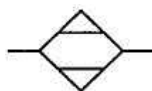


Рисунок 6.10 – Умове графічне позначення повітроосушника

6.3 Ресивери

Вирівнювання коливань тиску в мережі при споживанні стиснутого повітря і створення резервного запасу повітря здійснюються шляхом використання спеціальних ємностей (повітрозбірників) – ресиверів (рис. 6.11). Об'єм ресивера вибирають залежно від режиму роботи компресорної установки. Його величина повинна становити не менше ніж половину об'єму повітря, що всмоктується компресором упродовж однієї хвилини.

Відбирання стиснутого повітря з ресивера в систему здійснюють із верхньої його частини, тому в нижній частині з часом накопичується конденсат, для відведення якого застосовують пристрої автоматичного або ручного зливання.

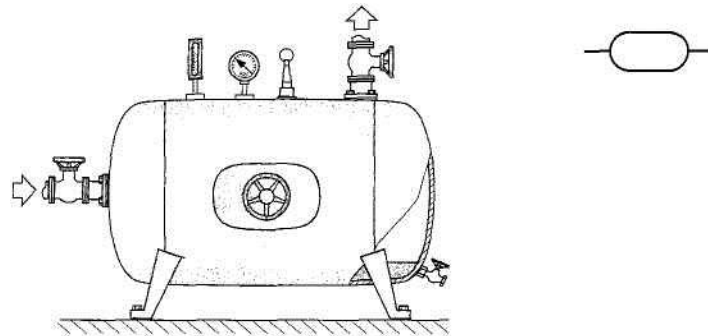


Рисунок 6.11 – Ресивер (конструкція та умовне графічне позначення на схемах)

Акумулявання енергії стиснутого повітря в ресивері дозволяє періодично вимикати компресор від пневмомережі (переводити в режим розвантаження). Зазвичай це виконується автоматично, якщо тиск у ресивері досягає значення, на яке налаштований установлений на ньому електричний датчик тиску. Якщо тиск знижується до рівня, меншого від граничного значення, датчик видає сигнал на ввімкнення компресора, і він працює під навантаженням не постійно, а періодично, залежно від витрати стиснутого повітря в пневмомережі.

Оскільки ресивер є ємністю, що перебуває під тиском, то для забезпечення безпеки експлуатації його обладнують *запобіжним пневмоклапаном*, призначеним для автоматичного скидання стиснутого повітря в атмосферу при підвищенні тиску понад встановлене значення (рис. 6.12).

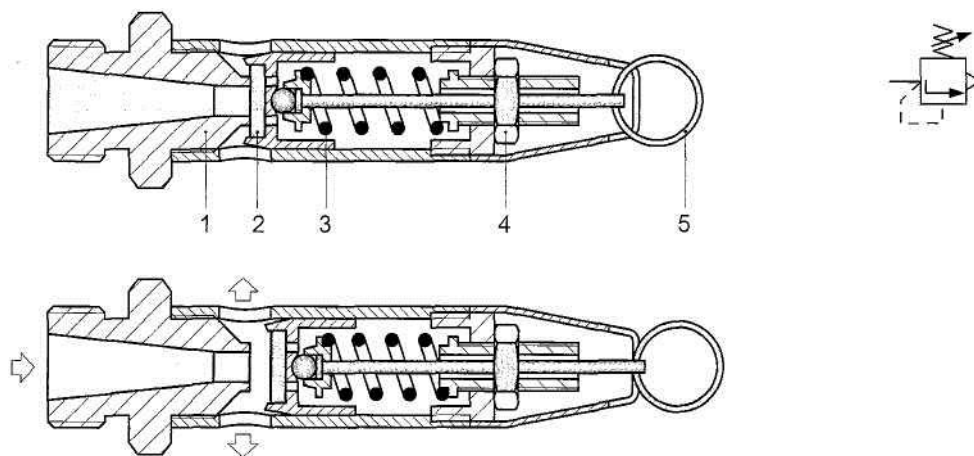


Рисунок 6.12 – Запобіжний пневмоклапан

(конструкція та умовне графічне позначення на схемах):

1 – сідло; 2 – тарілчастий клапан; 3 – пружина; 4 – гайка; 5 – кільце

У нормальному стані ЗРЕ – тарілчастий клапан 2 – притиснутий до сідла 1 пружиною 3, силу стиснення якої налаштовують за допомогою спеціально передбаченої гайки 4. У разі підвищення тиску під клапаном понад значення, що визначається налаштуванням пружини, тарілчастий клапан відходить від сідла, забезпечуючи вільний вихід повітря аж до того моменту, поки тиск знизиться до рівня, меншого від номінального значення спрацьовування клапана, після чого останній закривається. Справність клапана можна перевірити продуванням,

використовуючи кільце 5 для примусового його відкриття. Функціональне призначення і принцип дії запобіжного пневмоклапана відображені в його умовному графічному позначенні (рис. 6.13).

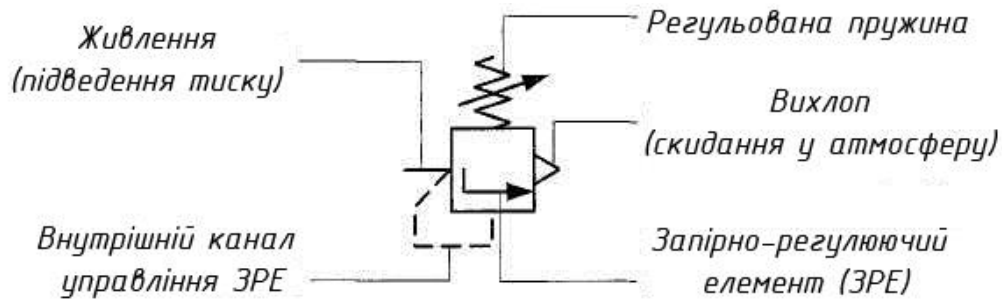


Рисунок 6.13 – Умовне графічне позначення регульованого запобіжного клапана

Зображення квадрата з розміщеною усередині нього лінією зі стрілкою позначає, що положення ЗРЕ апарата залежить від параметрів потоку стиснутого повітря (тиску). Стрілка показує напрямок руху потоку. Лінія зі стрілкою (ЗРЕ) не з'єднує на умовному графічному позначенні лінію живлення з вихлопом (позначений трикутником), і це свідчить про те, що в нормальному стані апарат закритий, тобто стиснуте повітря, що підводиться до апарата, не проходить через нього. Уже згадана лінія зі стрілкою на кінці зрушена на умовному графічному позначенні відносно осі «живлення – вихлоп» донизу, в бік дії пружини (в реальному клапані ЗРЕ притиснутий до сідла пружиною). Для того щоб ця лінія «поєднала» лінію живлення з вихлопом, їй необхідно «подолати силу стиснення пружини» (що і відбувається із ЗРЕ у реальному клапані). Стиснуте повітря «підводиться до стрілки» (до ЗРЕ у реальному клапані) від лінії живлення «каналом керування», наявність якого свідчить про те, що апарат реагує на значення вхідного тиску (реагує на тиск «перед собою»).

На практиці часто застосовують запобіжні клапани, в конструкції яких не закладена можливість регулювання сили попереднього стиснення пружини. У таких випадках символ, що позначає пружину, зображують без перетинання його стрілкою (рис. 6.14).

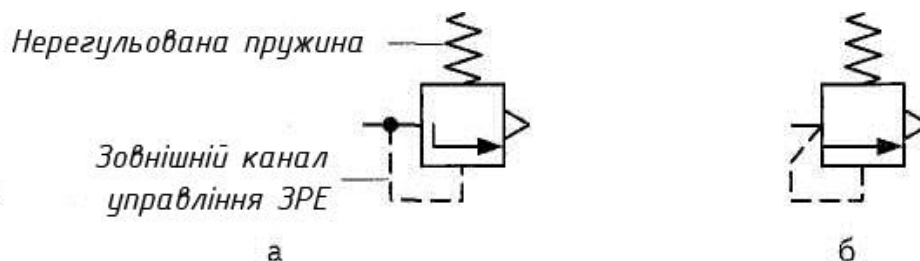


Рисунок 6.14 – Умовне графічне позначення нерегульованого запобіжного пневмоклапана:

- а – ЗРЕ під час свого руху завжди з'єднаний із каналом живлення;
- б – ЗРЕ під час свого руху завжди не з'єднаний із каналом живлення

Лінія зі стрілкою може не мати перпендикулярного до неї відрізка у своїй початковій точці (рис. 6.14 б); цей відрізок (рис. 6.14 а) означає, що ЗРЕ під час свого руху завжди з'єднаний із каналом живлення.

Параметри стиснутого повітря (температуру і тиск), що перебуває в ресивері, контролюють установленими на ньому *термометром* і *манометром*. Умовні графічні позначення цих пристроїв подані на рисунку 6.15.



Рисунок 6.15 – Умовне графічне позначення:
а – термометра; б – манометра

Існують різноманітні конструктивні рішення пристроїв контролю тиску, але найбільш часто застосовують стрілкові манометри, чутливим елементом яких є стальна пружна трубка (трубка Бурдона) (рис. 6.16).

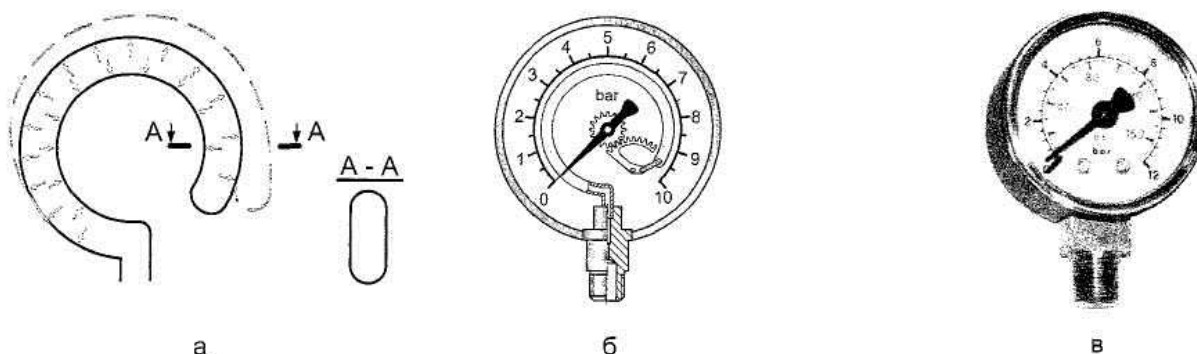


Рисунок 6.16 – Стрілковий манометр із трубкою Бурдона:
а – трубка Бурдона; б – конструкція манометра; в – зовнішній вигляд манометра

Через спеціальний штуцер, приєднаний до контрольованої точки пневмосистеми, в трубку подається стиснуте повітря. Під впливом тиску трубка розпрямляється (рис. 6.16 а), повертаючи зубчасте колесо через тягу і зубчастий сектор, зчеплений з останнім. Колесо жорстко з'єднане зі стрілкою, яка також переміщається відносно шкали з рисками, що відповідають певним значенням тиску в трубці (рис. 6.16 б, в).

Манометри, що входять до складу пневмопривода, повинні мати червону риску, нанесену поверх поділки, яка відповідає максимально допустимому робочому тиску.

Варіанти розміщення пристроїв очищення й осушення стиснутого повітря в пневмережі з нецентралізованим (а) і централізованим (б) осушенням подані на рисунку 6.17.

Група пневматичних пристроїв, умовні графічні позначення яких на схемі охоплюються замкненою штрихпунктирною лінією, утворює єдиний функціональний блок. На наведених схемах таким блоком є компресорна станція.

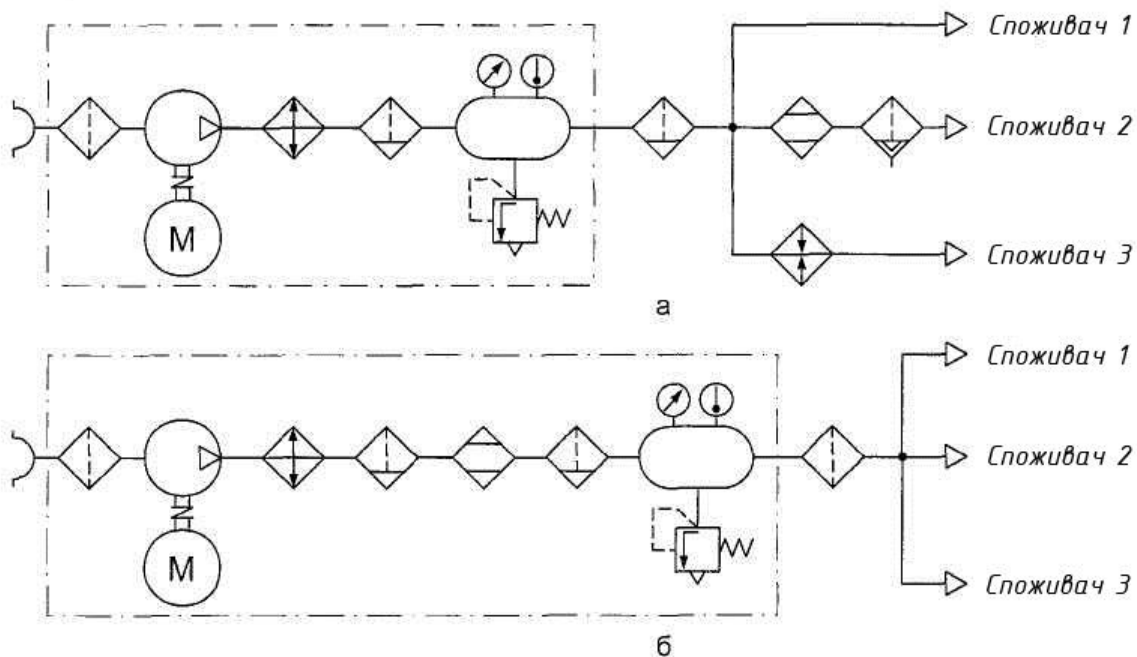


Рисунок 6.17 – Варіанти схем розміщення пристроїв очищення й осушення в пневмосистемах:

- а – для пневмомережі з нецентралізованим осушенням;
- б – для пневмомережі з централізованим осушенням

На принципових пневматичних схемах машин і установок, що працюють від заводської мережі стиснутого повітря, розгорнуте зображення джерела живлення не показують, а використовують умовне графічне позначення у вигляді незамальованого трикутника або кола з точкою в центрі.

6.4 Трубопроводи. З'єднання трубопроводів

Вибір типу і матеріалу трубопроводу залежить від робочого тиску, температури й агресивності навколишнього і робочого середовищ, виду з'єднань труб, умов монтажу, ваги і вартості труб. Водночас трубопроводи можуть бути гнучкими і жорсткими.

Діаметри трубопроводів повинні бути такими, щоб втрати тиску стиснутого повітря на шляху від джерела до споживача не перевищували 100 кПа (1 бар). Вибирають діаметри трубопроводів на основі необхідних значень витрати повітря під певним тиском, довжин трубопроводів, тиску в ресивері, значень і характеру місцевих гідравлічних опорів.

Під час монтажу трубопроводів повинні забезпечуватися не лише міцність і щільність з'єднань, надійність кріплення на опорах, а й можливість видалення з них вологи, здійснення продування і промивання. З цією метою у трубопроводах передбачають контрольні ділянки, що знаходяться у місцях найбільш імовірного скупчення мастильних відкладень, а також ділянки з ускладненим промиванням (вертикальних і з місцевим зниженням швидкості руху повітря).

Трубопроводи необхідно прокладати на найкоротшій відстані з мінімальною кількістю перегинів і перетинів.

Для того щоб усі споживачі стиснутого повітря забезпечувалися рівномірно, магістральні трубопроводи на промислових підприємствах окільцьовують. Це зменшує втрати енергії, а також дозволяє ремонтувати окремі ділянки трубопроводів, не вимикаючи всієї системи. Необхідно уникати утворення западин, тому що це призводить до накопичення води, мастила і бруду.

Необхідність у гнучких трубопроводах виникає, коли потрібно підводити стиснуте повітря до розміщених на різних машинах і механізмах пневматичних пристроїв, для яких характерна наявність відносних переміщень. Переваги гнучких трубопроводів (шлангів) із синтетичних матеріалів (поліхлорвінілу, поліаміду, поліуретану та ін.) полягає у високій антикорозійній стійкості, зручності й простоті монтажу, а також у більш низькій вартості порівняно з металевими трубами. Під час монтажу шлангів необхідно враховувати, що вони можуть працювати лише на вигинання, а робота на кручення для них неприпустима. Приклади правильного та неправильного монтажу шлангів подані на рисунку 6.18 (неправильні варіанти перекреслені).

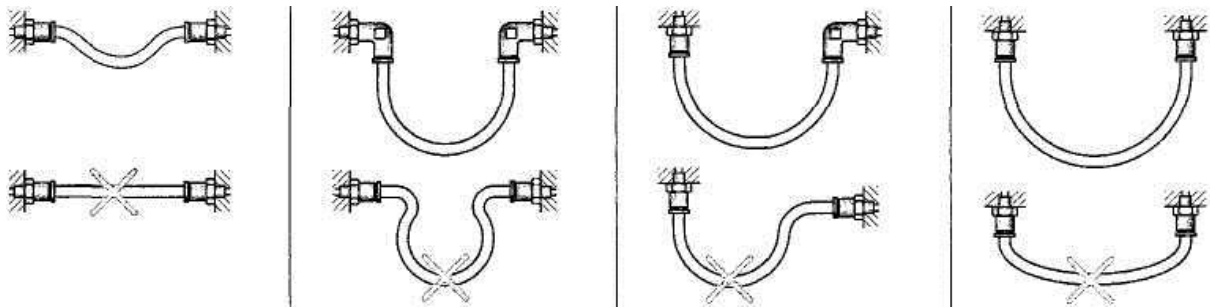


Рисунок 6.18 – Монтаж гнучких трубопроводів (шлангів)

Шланги монтують так, щоб їх ділянки поблизу арматури не зазнавали вигинання, не терлися один об один та об деталі конструкції під час роботи пневмопривода.

Частина мастила, що потрапляє до стиснутого повітря, осідає на стінках повітропроводів. Водночас з нагрітого мастила випаровуються леткі компоненти, в результаті чого утворюється шар коксоподібних відкладень – нагар. Застосовують два способи очищення трубопроводів від нагару:

- 1) промивання водою і продування стисненим повітрям;
- 2) хімічне очищення.

Умовні графічні позначення трубопроводів показані на рисунку 6.19.

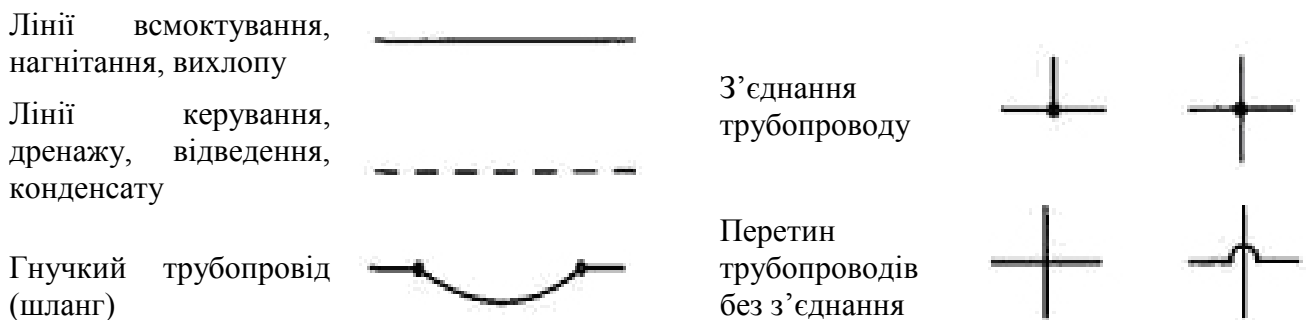


Рисунок 6.19 – Умовні графічні позначення трубопроводів

На монтажних, а іноді й на принципових пневматичних схемах поряд з умовним графічним позначенням трубопроводів проставляють буквено-цифрові позначення, які зазначають діаметр і матеріал конкретної ділянки труби.

З'єднання трубопроводів. Для з'єднання окремих труб у трубопроводі і під'єднання до них пневматичних пристроїв і апаратів використовують *нерознімні і рознімні з'єднання*.

Нерознімні з'єднання застосовують переважно в магістральних трубопроводах, що не підлягають демонтажу. Виконують їх за допомогою зварювання (для сталевих труб) або паяння (для труб із кольорових металів).

Для стикування трубопроводів між собою і з елементами пневматичних систем застосовують *кінцеві і проміжні з'єднання*. Для труб із внутрішнім діаметром до 40 мм застосовують *нарізні з'єднання*, для труб більшого діаметра – *фланцеві*.

Фланцеві з'єднання прості щодо виготовлення і монтажу, не мають обмежень за значеннями діаметрів з'єднуваних труб і кількості операцій монтажу-демонтажу. Для жорсткого зв'язку з трубами застосовують плоскі приварні фланці (рис. 6.20 а), а якщо під час монтажу необхідний розворот фланців або труб, то використовують накидні фланці, які одягають на трубу з привареним до неї ніпелем (рис. 6.20 б).



Рисунок 6.20 – Фланцеві з'єднання трубопроводів, що мають:
а – плоский приварний фланець; б – накидний фланець

Герметизація місця з'єднання забезпечується за допомогою кільця ущільнювача, що встановлюється в проточці на торці фланця або ніпеля, або за допомогою прокладок, які стискаються під час затягування.

Широкий спектр варіантів нарізних з'єднань пов'язаний із застосуванням різних матеріалів труб, різних способів зчленування труб із деталями з'єднання, з вимогою забезпечення рухомості або нерухомості з'єднання, з необхідністю здійснення переходу від одного діаметра труби до іншого, з'єднання із зовнішньою або внутрішньою різьгою тощо.

Для тонкостінних металевих труб найбільш широко використовують з'єднання з розвальцюванням труби (рис. 6.21 а) та із врізним кільцем (рис. 6.21 б), які допускають багаторазовий монтаж-демонтаж (до 15 – 20 разів) без порушення герметичності.



Рисунок 6.21 – З’єднання тонкостінних металевих труб:
 а – з розвальцьованням труби; б – із врізним кільцем; 1 – конічна різь; 2 – штуцер; 3 – накидна гайка; 4 – ніпель

З’єднання для розвальцьованої труби (рис. 6.21 а) складається зі штуцера 2, що має приєднувальну циліндричну або конічну різь 1, ніпеля 4 і накидної гайки 3. Трубу з попередньо надітим на неї ніпелем розвальцьовують у вигляді розтруба, який надягається на конічну частину штуцера. Ніпель із трубою і штуцер стягуються разом за допомогою накидної гайки, до того ж у місці контакту утворюється щільне з’єднання.

З’єднання врізним кільцем (рис. 6.21 б) не вимагає застосування спеціального інструмента та попереднього оброблення кінця труби. Під час закручування гайки кільце, деформуючись, врізається в поверхню труби, що перешкоджає її вислизанню і забезпечує необхідну герметичність з’єднання. При використанні таких з’єднань висувають підвищені вимоги до точності геометричних розмірів і якості зовнішньої поверхні труби.

Для запобігання витіканням по приєднуваній різі з’єднання використовують гумові та пластмасові кільця. Без цих кілець можна обійтися, якщо застосовується конічна різь або циліндрична з тефлоновим покриттям чи зі вставками з полімерних матеріалів.

Спосіб монтажу гнучких трубопроводів залежить від їх розмірів, тиску й умов експлуатації в кожному конкретному випадку. Для надійного приєднання еластичних труб застосовують в основному два конструктивних рішення:

- 1) з’єднання з фігурним наконечником штуцера і накидною гайкою (рис. 6.22 а);
- 2) швидкокорознімне з’єднання з цанговим затискачем (рис. 6.22 б).



Рисунок 6.22 – З’єднання для гнучких трубопроводів:
 а – з’єднання з фігурним наконечником штуцера і накидною гайкою;
 б – швидкокорознімне з’єднання з цанговим затискачем

У першому випадку герметичність з’єднання забезпечується закріпленням шланга між потовщенням наконечника штуцера і накидною гайкою; у другому – кільцем ущільнювача, що охоплює шланг по зовнішньому діаметру. Якщо під час монтажу з’єднання з накидною гайкою потрібні деякі витрати часу, то для

швидкорознімного з'єднання з цанговим затискачем монтаж зводиться до простого введення шланга в затиск. Демонтаж такого з'єднання здійснюється при натисканні на вільний торець цанги. З'єднання з цанговим затискачем мають зазвичай менші поперечні розміри, тому що в них відсутні зовнішні поверхні під гайковий ключ, а частина каналу виконана із внутрішнім шестигранником під відповідний ключ.

Застосування вищерозглянутих прямих з'єднань призводить до різкого перегинання шланга в разі, якщо він підводиться до площини приєднання під малим кутом. Уникнути цього можна шляхом використання кутових з'єднань – L-подібних (рис. 6.23 а) або трійників (рис. 6.23 б).

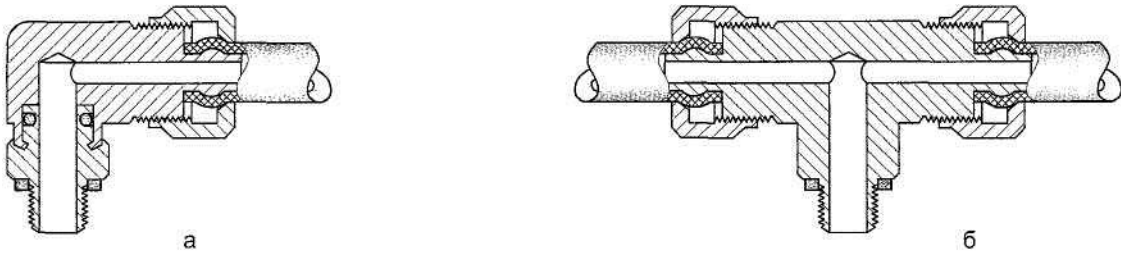


Рисунок 6.23 – Кутові з'єднання для гнучких трубопроводів:
а – L-подібне; б – трійник

Якщо для зручності прокладання гнучких трубопроводів вихід з'єднання повинен бути орієнтований у просторі певним чином, застосовують конструкції, в яких забезпечена можливість прокручування однієї частини з'єднання відносно іншої (рис. 6.24). Для того щоб запобігти виходу повітря між рухомими частинами з'єднання, встановлюють ущільнювальне гумове кільце.

Для зручного розведення декількох різноспрямованих трубопроводів від однієї точки з'єднання використовують багатосекційні розвідні колектори (рис. 6.24).

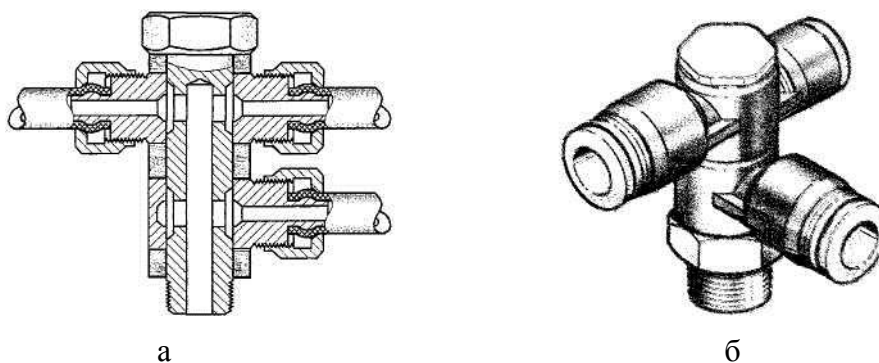


Рисунок 6.24 – Багатосекційний розвідний колектор:
а – конструкція; б – зовнішній вигляд

Секції стягують між собою через ущільнення порожнистим болтом, який, по суті, є приєднувальним елементом. Передбачена можливість повороту секцій по осі болта, що дозволяє відводити трубопроводи в потрібних напрямках без перегинів.

У тих випадках, якщо необхідно роз'єднати трубопровід без втрати герметизації в підвідній його частині, застосовують швидкорознімні муфти (рис. 6.25).

У підвідну частину такої муфти – розетку 1 – вмонтований зворотний клапан 2, який не дозволяє виходити повітрю, якщо муфта перебуває у роз'єднаному стані. Зворотний клапан примусово відкривається штекером 7 (відповідною частиною муфти) під час встановлення останнього в розетку 1. З'єднання «розетка – штекер» надійно утримується в замкненому стані за допомогою кульок 3, замкнених у проточці штекера 6 підпружиненою фіксувальною втулкою 5. Роз'єднання муфти здійснюється шляхом зсування фіксувальної втулки 5 у бік підвідної частини трубопроводу. Водночас кульки 3 отримують можливість радіального переміщення у проточці 4 і не утримують штекер 7, який унаслідок цього виштовхується з розетки пружиною зворотного клапана 2.

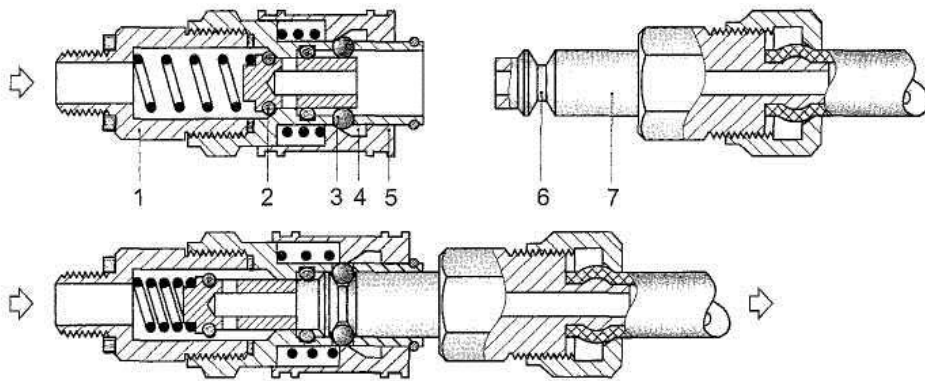


Рисунок 6.25 – Швидкорознімна муфта:

1 – розетка; 2 – зворотний клапан; 3 – кулька; 4 – проточка розетки;
5 – фіксувальна втулка; 6 – проточка штекера; 7 – штекер

Якщо під час демонтажу трубопроводу необхідно зберегти його герметичність по обидва боки з'єднання, то застосовують муфти, в яких зворотні клапани вмонтовані й у розетку, й у штекер. У разі замикання такої муфти зворотні клапани відтискають один одного, з'єднуючи тим самим трубопроводи.

Для компактної комутації великої кількості шлангів діаметрами 1,5 – 4,0 мм застосовують багатоканальні з'єднання. Зазвичай ці з'єднання, що використовуються як виходи із шаф керування, об'єднують у собі від 5 до 32 рознімів (рис. 6.26).

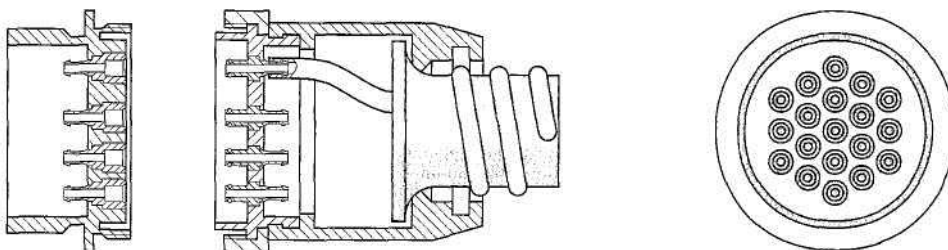


Рисунок 6.26 – Багатоканальне рознімне з'єднання

В одному багатоканальному з'єднанні можуть бути встановлені штекери і розетки під трубопроводи, що мають різні діаметри і перебувають під різним тиском.

На монтажних схемах застосовують такі умовні графічні позначення типу з'єднання трубопроводів (рис. 6.27).

Місце приєднання: не з'єднане приєднання		Штуцерне нарізне з'єднання	
Загальне позначення рознімного з'єднання		Швидкознімне з'єднання без запірного елемента: не з'єднане з'єднане	
Фланцеве з'єднання		Швидкознімне з'єднання із запірним елементом: не з'єднане з'єднане	

Рисунок 6.27 – Умовні графічні позначення з'єднань трубопроводів

6.5 Мастилорозпилювачі та блоки підготовки повітря

Якщо рухомі частини пневмоциліндрів, пневмомоторів або інших пневматичних пристроїв потребують постійного зовнішнього змащування, то до третьових поверхонь найбільш просто подавати мастильний матеріал із потоком повітря, що проходить через них. Пристрої, що забезпечують введення мастила в потік повітря, називають *мастилорозпилювачами*. Їх установлюють зазвичай у блоці підготовки повітря за фільтром-вологорозділювачем і редукційним клапаном.

Для того щоб мастило переносилося потоком стиснутого повітря трубопроводами, на значні відстані, його вводять у вигляді аерозолу. Мастилорозпилювачі поділяють за особливостями функціонування та якістю отриманого масляного туману на два типи: *одноразового* і *дворазового розпилення* (рис. 6.28).

У мастилорозпилювач одноразового розпилення (рис. 6.28 а) потік стиснутого повітря спрямовується із входу апарата безпосередньо на вихід. Частина повітря через зворотний клапан 3 потрапляє в стакан 4 і починає витісняти мастило по мастилозабірній трубці 5 в оглядовому ковпачку-крапельниці 1, через який здійснюється візуальний контроль за поданням мастила. Витрата мастила регулюється гвинтом 2, обертання якого супроводжується зміною прохідного перерізу мастиложивильного каналу. За ежектувальною трубкою 6 відбувається підсмоктування мастила з ковпачка 1 в основний потік, у разі потрапляння до якого воно розпорошується. Оскільки основна частина розпорошеного мастила змочує внутрішню поверхню трубопроводу, то на відстані 1,5 – 2 м від мастилорозпилювача починається утворення тонкої мастильної плівки, яка переміщується в напрямку руху потоку повітря. У зв'язку з цим мастилорозпилювачі одноразового розпилення рекомендується встановлювати безпосередньо перед змащувальним

пневмоапаратом або вище від нього, щоб мастило могло надходити самопливом.

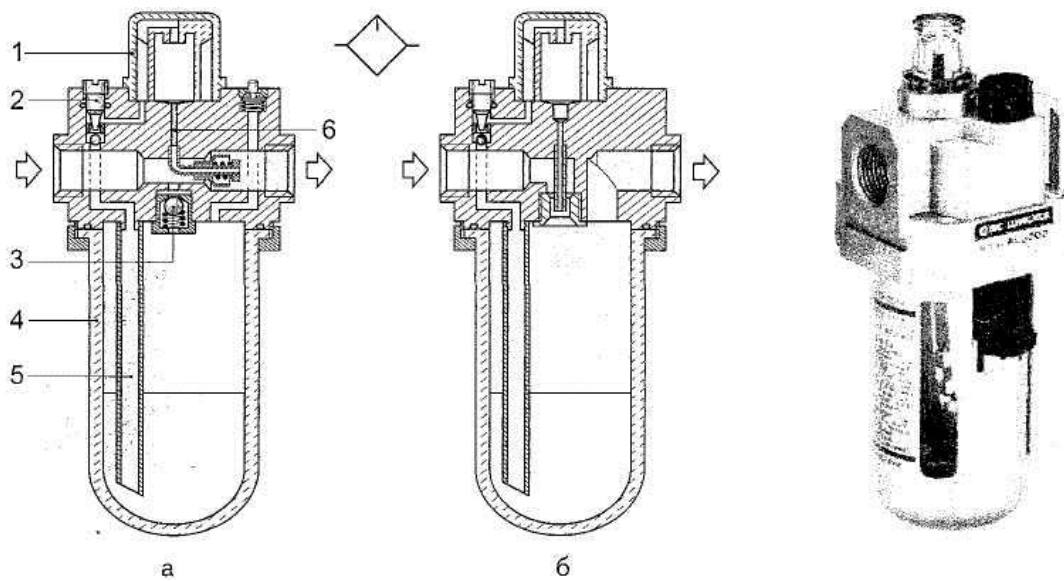


Рисунок 6.28 – Масилорозпилювачі
(конструкція та умвне графічне позначення на схемах):

а – одноразового розпилення; б – дворазового розпилення;

1 – оглядовий ковпачок-крапельниця; 2 – гвинт; 3 – зворотний клапан; 4 – стакан;
5 – мастилозабірна трубка; 6 – ежектувальна трубка

За необхідності транспортування мастила на відстані до 30 м застосовують маслорозпилювачі дворазового розпилення (рис. 6.28 б). У цих пристроях розпоршене мастило не подається відразу на вихід, а надходить до стакана, з якого у вихідний канал потрапляють лише його частинки розміром менше ніж 3 мкм. Зазвичай такі масилорозпилювачі застосовують у складних пневмоприводах із великою кількістю пневмопристроїв.

У каталогах елементів промислової пневмоавтоматики наводять такі дані щодо масилорозпилювачів:

- номінальну витрату;
- діапазон робочих тисків;
- об'єм мастила або ємності для мастила;
- габаритні і приєднувальні розміри;
- матеріали конструктивних елементів.

Марки і кількість внесених мастильних матеріалів повинні зазначатися в інструкції з експлуатації для конкретного пневматичного пристрою. Якщо така інформація відсутня, рекомендується заправляти масилорозпилювачі мінеральними мастилами, в'язкість яких не перевищує $35 \text{ мм}^2/\text{с}$ (сСт) за температури 50°C ; до того ж витрата мастила повинна становити 1 – 10 крапель на 1 м^3 стиснутого повітря. Забороняється заправляти у масилорозпилювачі компресорні мастила!

Для зручності обслуговування масилорозпилювачі встановлюють послідовно з фільтрами-вологівіддільниками і редуційними пневмоклапанами та об'єднують у спільні функціональні блоки – блоки підготовки повітря (рис. 6.29).

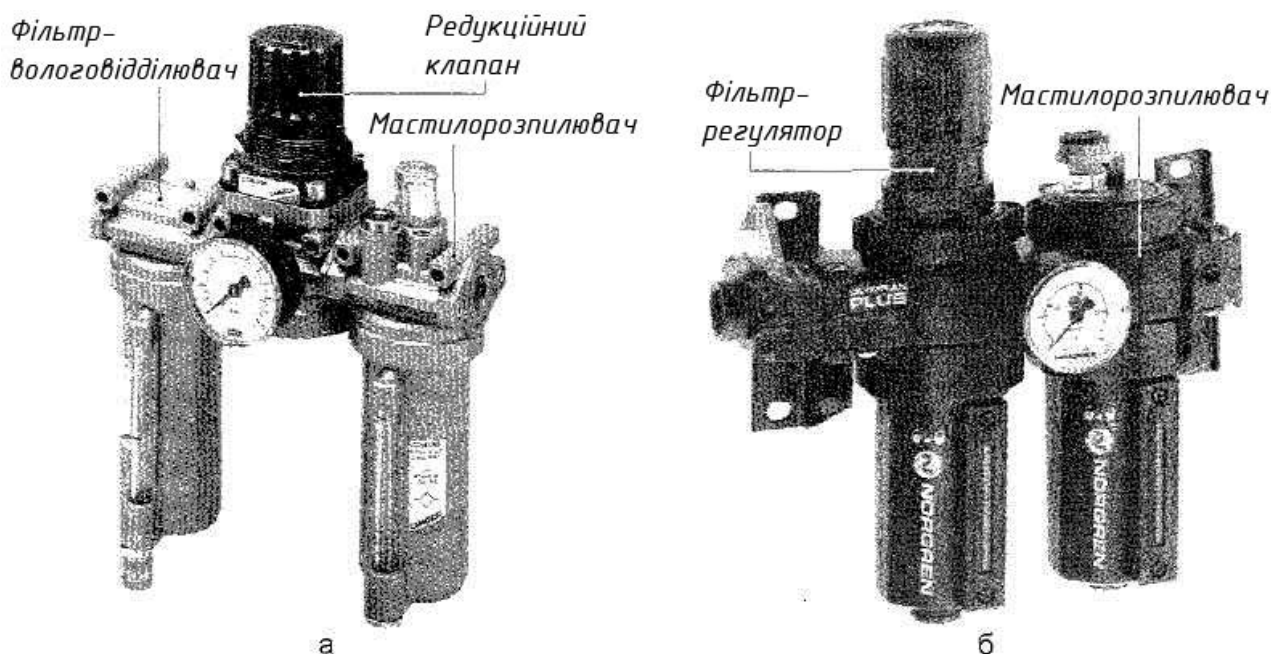


Рисунок 6.29 – Блоки підготовки повітря:
 а – фільтр-осушник – редуційний клапан – мастилорозпилювач;
 б – фільтр-регулятор – мастилорозпилювач

Залежно від того, чи складається блок підготовки повітря з окремих пристроїв або виконаний у вигляді моноблока, його умовні графічні позначення на принципових пневмосхемах будуть дещо відрізнятися (рис. 6.30).

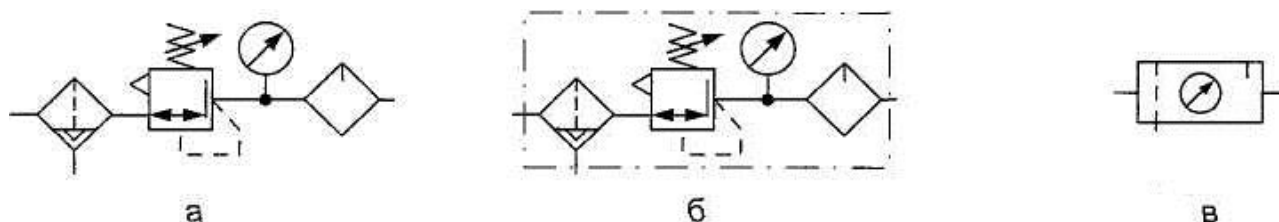


Рисунок 6.30 – Умовні графічні позначення блоків підготовки повітря:
 а – блок підготовки повітря, що складається з окремих пристроїв; б – моноблокове виконання, розгорнуте позначення; в – моноблокове виконання, спрощене позначення

На рисунку 6.30 а показане позначення блока підготовки повітря, що складається з окремих пристроїв. На принциповій пневмосхемі кожному з них присвоюють номер для внесення до специфікації. На рисунку 6.30 б показане розгорнуте позначення блока підготовки повітря, виконаного у вигляді моноблока, а на рисунку 6.30 в – його спрощене позначення.

Для пневмоприводів, що експлуатуються в тяжких умовах і з високою циклічністю роботи за жорстких вимог до надійності, застосовують більш складні системи змащування з регенерацією і циркуляцією мастила. У таких випадках використовують фільтри-масловіддільники, які встановлюють на загальній лінії скидання відпрацьованого стиснутого повітря (лінії вихлопу). Відокремлене від повітря мастило за допомогою спеціальних насосів повторно подається до мастилорозпилювачів, що дозволяє зменшити його витрату у 8 – 10 разів.

Хоча тим або іншим способом можна вирішити проблему подання зовнішнього мастила до пневмопристрою, зручніше і вигідніше застосовувати апаратуру, яка здатна працювати на повітрі, що не містить мастила.

Для нормального функціонування подібних пристроїв упродовж усього їх життєвого циклу необхідно внести консистентне мастило під час складання. Таке технічне рішення можливе завдяки застосуванню нових матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя для виготовлення корпусних та рухомих деталей, а також спеціальних полімерів для ущільнень. Такі пневмоприводи мають ряд істотних переваг: не потрібні спеціальні змащувальні пристрої; довкілля не забруднюється парами мінеральних масел під час скидання відпрацьованого стиснутого повітря; експлуатація та обслуговування не викликають труднощів. Використовувати стиснуте повітря з розпорошеним мастилом у таких пневмоприводах не рекомендується, оскільки тоді буде відбуватися вимивання мастила. Після роботи на повітрі, що містить мастило, експлуатація таких пристроїв на сухому повітрі не допускається.

Якщо деякі елементи пневмопривода потребують зовнішнього змащування (найчастіше – виконавчі механізми), а деякі – не потребують (наприклад, апарати системи керування), то в блок підготовки повітря вбудовують модуль відведення, який розміщують перед мастилорозпилювачем (рис. 6.31).

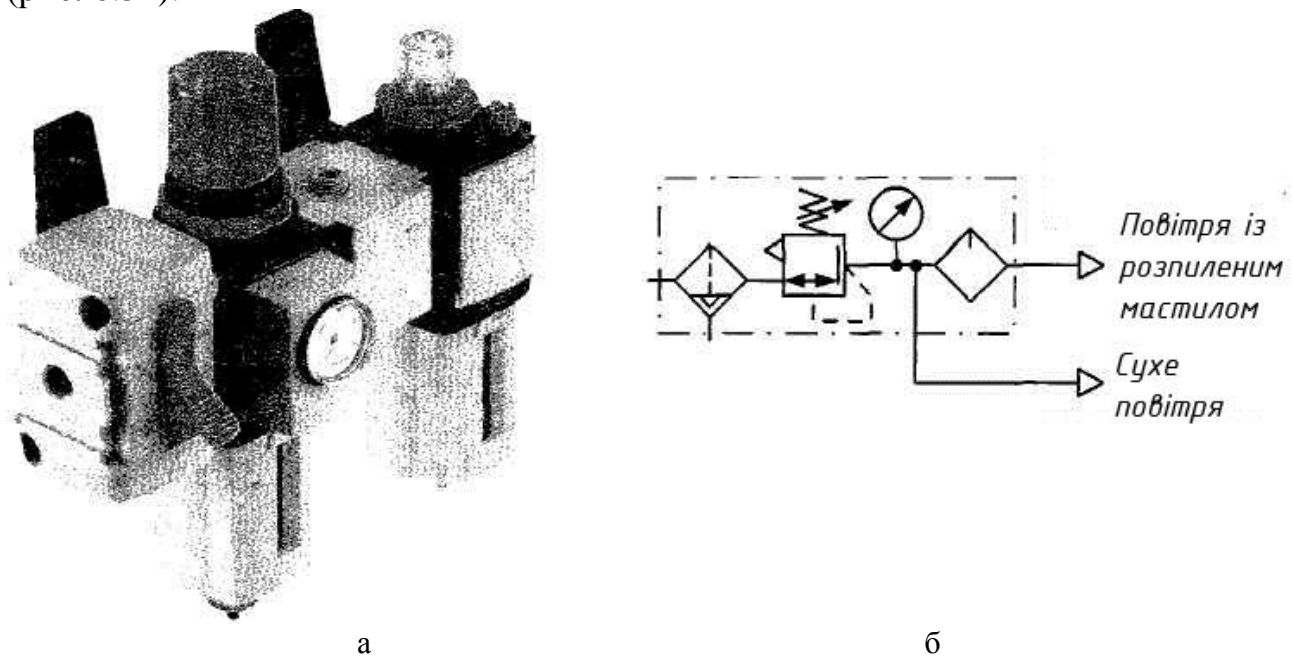


Рисунок 6.31 – Зовнішній вигляд (а) і принципова схема (б) блока підготовки повітря з модулем відведення

Таким чином, блок підготовки стиснутого повітря – це сукупність пристроїв кондиціонування повітря, які повинні знаходитися на кожній автономній машині або на кожному механізмі у складі складного технологічного обладнання, що споживає стиснуте повітря. Пневмопривод конкретної машини починається, власне, з блока підготовки стиснутого повітря. Правильне підготування стиснутого повітря є необхідною умовою надійного функціонування і довговічності пневматичних систем.

Основні правила з експлуатації блоків підготовки повітря:

- блоки підготовки стиснутого повітря повинні розміщуватися вертикально ($\pm 5^\circ$);
- за відсутності автоматичного конденсатовідвідника неприпустимо, щоб рівень конденсату у фільтрі-вологівіддільнику перевищував допустиму норму;
- тиск налаштування редукційного клапана не повинен перевищувати необхідного рівня робочого тиску пневмопривода;
- мастилорозпилювач необхідно заправляти тими мастилами, що підходять для змащування пневмопристроїв;
- необхідно періодично промивати внутрішні поверхні пристроїв від накопичувальних відкладень.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Які види фільтрів ви знаєте і для чого їх використовують?
- 2 Як видалити з потоку стиснутого повітря компресорне мастило?
- 3 За допомогою яких пристроїв осушують стиснуте повітря у пневмосистемах?
- 4 З якою метою застосовують ресивери та як вони захищені від надлишкового тиску?
- 5 Які вимоги застосовують під час монтажу гнучких трубопроводів?
- 6 За допомогою чого реалізується постійне зовнішнє змащування пневматичних пристроїв?

7 ЕКСПЛУАТАЦІЯ ПНЕВМАТИЧНИХ ПРИВОДІВ

Тривалість безвідмовної роботи пневматичних систем значно залежить від організації та якості технічного обслуговування, покликаною забезпечити виконання вимог, описаних у технічній документації на обладнання. У процесі експлуатації пневмоприводів витратні матеріали неодмінно закінчуються, робочі параметри під впливом різних факторів поступово відхиляються від заданих значень, окремі компоненти приводів вичерпують ресурс і відмовляють. Таким чином, у робочому стані пневмопривод підтримується завдяки регулярному та якісному технічному обслуговуванню, а також плановими, а за необхідності й аварійними ремонтами.

7.1 Технічне обслуговування пневматичних приводів

Обслуговування пристроїв очищення стиснутого повітря

Якість роботи пневмоприводів безпосередньо залежить від чистоти стиснутого повітря, яка визначається безпосередньо рівнем технічного обслуговування пристроїв підготовки повітря, станом внутрішніх поверхонь трубопроводів та іншими факторами.

Під час експлуатації пневмоприводів необхідно виключити можливість потрапляння забруднювачів повітря до споживача, що забезпечується своєчасним видаленням їх із резервуарів очисних пристроїв. У разі використання пристроїв очищення стиснутого повітря з ручним керуванням і непрозорим резервуаром (візуальний контроль неможливий) утворюється конденсат, який потрібно періодично зливати – за графіком, складеним на основі дослідних або розрахункових даних.

Якщо застосовують автоматичні пристрої відведення конденсату, то процедуру його зливання потрібно організувати так, щоб уникнути забруднення довкілля. За відмови конденсатовідвідників їх необхідно демонтувати, прочистити робочі канали та зливні отвори, промити фільтрувальні елементи і внутрішні поверхні, висушити і встановити на попереднє місце. Для промивання резервуарів можна використовувати теплу мильну воду.

У процесі експлуатації фільтрів пори їх фільтроелементів забиваються частинками забруднювачів, що призводить до зростання опору потоку стиснутого повітря. Якщо перепад тиску на фільтрі перевищує $0,1 \text{ МПа}$, то фільтроелемент замінюють або відновлюють його пропускну здатність.

Нагадаємо, що ефективна робота очисних пристроїв можлива лише в певному діапазоні витрат стиснутого повітря, зазначеному в технічній документації.

Обслуговування мастильних пристроїв

Однією з найважливіших умов забезпечення експлуатаційної надійності пневмоприводів є виконання вимог до змащування тертьових поверхонь пневматичних пристроїв. Технічне обслуговування змащувальних пристроїв полягає у своєчасному поновленні витратних мастильних матеріалів і спостереженні за їх якісним станом.

Стабільність подавання мастильного матеріалу мастилорозпилювачами передусім визначається в'язкістю використовуваного мастила, яка також істотно залежить від температури. Тому за досить великих змін температури довкілля в зоні роботи пневмопристроїв або за зміни температури стиснутого повітря необхідно перерегулювати маслорозпилювач або змінити марку мастила, що заливається.

Марки, кількість і періодичність внесення мастильних матеріалів зазначаються в інструкції з експлуатації конкретних пневматичних пристроїв.

Обслуговування трубопроводів

Стан повітропровода контролюють шляхом розкриття наявних на ньому контрольних ділянок. За необхідності для очищення трубопроводу застосовують продування стисненим повітрям і промивання водою або хімічне очищення.

Якість очищення перевіряють візуально або на підставі оцінювання чистоти потоків повітря і води, що виходять із труби. В останньому випадку на виході поміщають лист чистого картону і за залишками забруднень визначають якість виконаних робіт.

Зазначені методи використовують під час обслуговування металевих трубопроводів. Під час обслуговування еластичних пластмасових трубопроводів, а також шлангів переконуються у відсутності перегинів і порушень їх цілісності, а також у тому, що трубопроводи, з'єднані з рухомими частинами машин, не торкаються нерухомих деталей останніх. У разі порушення працездатності еластичні трубопроводи замінюють.

Обслуговування пневмоапаратури і виконавчих механізмів

Технічне обслуговування пневмоапаратури і пневмодвигунів зводиться в основному до належного забезпечення процесу підготовки стиснутого повітря і контролю роботи цих пристроїв. У розподільній апаратурі перевіряють чіткість перемикачів, переконуються у відсутності заїдань при ручному й механічному керуванні, в герметичності з'єднань трубопроводів і стиків, у щільності закріплення кришок.

Герметичність з'єднань трубопроводів та ефективність роботи ущільнювальних елементів контролюють шляхом огляду і прослуховування або за допомогою засобів виявлення витікань. За необхідності підтягують або замінюють з'єднання, ущільнення, трубопроводи. Необхідно враховувати, що порушення герметичності не лише призводить до непродуктивного збільшення витрати стиснутого повітря, а й може спричинити порушення працездатності пневматичних пристроїв і привода в цілому.

В елементах, що можуть налаштовуватися і регулюватися, контролюють відповідність параметрів установленим параметрам, а також стан застопорювальних пристроїв. У пневматичних двигунах перевіряють також значення швидкості переміщення вихідної ланки і величину зусилля, що розвивається.

Організація технічного обслуговування

Організація технічного обслуговування пневматичного обладнання є одним із вирішальних факторів підвищення надійності його роботи. У зв'язку з відсутністю суворої регламентації робіт з обслуговування пневмосистем рекомендується такий порядок виконання щоденних та планових оглядів пневмообладнання.

Щоденні огляди. Щоденні огляди виконують на початку зміни – впродовж перших десяти хвилин роботи обладнання і в кінці зміни – під час прибирання обладнання. Фактично щоденні огляди зводяться до візуального контролю стану пневмообладнання і спрямовані на:

- виявлення явних змін (наприклад, кількості конденсату у фільтрівологовіддільнику, кількості мастила в мастилорозпилювачі тощо);
- виявлення очевидних ознак стану системи або її частин (наприклад, послідовності відпрацювання циклу, швидкостей руху вихідних ланок виконавчих механізмів тощо, які визначаються за індикаторами або іншими контрольними приладами);
- виявлення ознак, що якісно характеризують роботу обладнання (наприклад, рівень шуму від вихлопів відпрацьованого повітря або ударів тощо).

Результати щоденних оглядів заносять до протоколу, а інформацію про виявлені відхилення і заходи щодо їх усунення (якщо такі були вжиті) доводять до відома відповідних служб. Ці дані використовують під час розроблення графіків періодичних оглядів, відомостей запасних частин тощо.

Періодичні огляди. Періодичні огляди виконують з інтервалом 3, 6 або 12 місяців залежно від типу пневматичного обладнання, характеру роботи окремих його елементів та умов експлуатації.

Нижче подано приблизний перелік операцій під час проведення періодичного огляду:

- 1) перевірка функціонування пневмодвигунів та інших пристроїв;
- 2) перевірка на наявність витоків;
- 3) перевірка пневмопристроїв з електричним керуванням на справність електропроводки;
- 4) визначення ступеня забрудненості фільтрів;
- 5) перевірка надійності нарізних з'єднань.

На основі інформації про результати щоденних і періодичних оглядів, величину коефіцієнта завантаження устаткування за одну добу, місяць, а також з огляду на інші дані відповідні служби аналізують причини простоїв обладнання і планують заходи щодо їх зменшення.

7.2 Пошук і усунення несправностей

Під час експлуатації пневматичного привода, як і будь-якої іншої технічної системи, настає момент, коли процес його нормального функціонування порушується, що виявляється різного роду відмовами, як раптовими, так і поступовими.

Раптові відмови характеризуються стрибкоподібною зміною заданих значень параметрів привода (одного або декількох), що зазвичай призводить до його зупинення або порушення послідовності виконання технологічних операцій. Відмова подібного роду очевидна, функціонування об'єкта припиняється з метою проведення ремонтних робіт.

У разі поступової відмови значення параметрів привода (одного або декількох) змінюються поступово, що може бути обумовлено зношенням або прогресуючим порушенням налаштувань будь-яких його елементів, зменшенням прохідних перерізів дроселювальних пристроїв, надлишковим збільшенням витікань та іншими факторами. Поступова відмова може й не супроводжуватися видимими порушеннями роботи пневмопривода, але її наявність призводить до погіршення якості та/або зменшення обсягів випуску продукції. У зв'язку з цим важливо своєчасно виявити й усунути причини поступових відмов, що дозволяє забезпечити нормальне функціонування системи і скоротити кількість аварійних ремонтів.

Час, витрачений на ремонт пневмопривода, складається з двох складових: *часу на пошук несправності* та *часу на її усунення*.

Час на пошук несправності істотно скорочується, якщо використовуються методи технічного діагностування, що дозволяють локалізувати місце її наявності, а також у тому разі, якщо в приводі застосовуються пневматичні елементи, що мають різні індикатори й дублювальні пристрої.

До пристроїв індикації відносять штирьові індикатори тиску і положення ЗРЕ розподільників, світлодіоди на електромагнітних приводах розподільників тощо; до дублювальних – пристрої ручного включення пневмо- та електропневматичних розподільників, тактових модулів тощо.

Стосовно пневмоприводів можна виділити два методи пошуку несправностей:

а) *табличний* – на основі аналізу принципової пневматичної схеми складають таблицю, за якою виявляють оптимальну послідовність перевірки елементів системи залежно від зовнішніх проявів наявних неполадок;

б) *алгоритмічний* – пошук несправностей здійснюють за заданим алгоритмом із використанням списку досить простих рекомендацій, виведених виходячи з досвіду експлуатації пневмоприводів.

Якщо схема привода досить складна, то з метою полегшення пошуку несправностей необхідно умовно поділити її на частини за виконуваними функціями, черговістю спрацьовування та іншими критеріями.

Під час пошуку несправності насамперед необхідно виконати зовнішній огляд для перевірки стану привода і машини (тобто з'ясувати, чи не відбулося заклинювання якої-небудь деталі, матеріалу або рухомої частини машини, чи не зламані деталі приводних механізмів пристроїв із механічним керуванням тощо). Водночас, щоб уникнути нещасних випадків або поломки пристроїв, не потрібно натискати на кнопки, вимикачі тощо.

Необхідно перевірити, чи відповідає тиск стиснутого повітря на вході пневмопривода нормативам технічної документації. У ситуації, коли внаслідок виробничої необхідності до системи можуть підключатися додаткові споживачі

і в цьому разі загальна витрата повітря буде перевищувати продуктивність компресора, можуть виникати збої (самоусувні відмови), такі як порушення тимчасової послідовності, зниження величин зусиль, що розвиваються приводом, нижче від допустимих значень тощо. Якщо в пневмоприводі використовуються пристрої з електричним керуванням, необхідно перевірити, чи перебувають електричні пристрої під напругою.

Перевірити трубопроводи (особливо еластичні) і переконатися у відсутності перегинів, скручувань та інших дефектів. Перевірити герметичність з'єднань.

Під час перевіряння працездатності привода необхідно враховувати таке:

а) витікання стиснутого повітря з каналу вихлопу пневморозподільника можуть мати місце не лише в результаті пошкодження ущільнень у ньому, а й унаслідок виходу з ладу ущільнень поршня в циліндрі;

б) причиною зміни динаміки функціонування привода можуть бути не лише порушення налаштування регулювальних пристроїв (дроселів із механічним керуванням тощо) або їх несправність, а й засмічення глушників пневморозподільника.

Пневматичний привод доцільно ремонтувати шляхом заміни пневмопристроїв. З одного боку, в результаті цього скорочується тривалість ремонту виробничого обладнання, а з іншого – забезпечується більш висока якість ремонту у зв'язку з тим, що пневмопристрої, що відмовили, підлягають відновленню на спеціалізованій дільниці.

Під час демонтажу й монтажу пневмопристроїв у процесі ремонту необхідно дотримуватися таких правил:

1) необхідно замінити ущільнювальні кільця, а також прокладки на стикових поверхнях і з'єднаннях;

2) бажано маркувати трубопроводи при їх від'єднанні (особливо це стосується гнучких трубопроводів) навіть у випадку від'єднання лише одного кінця трубопроводу, що дозволить уникнути помилок під час подальшого монтажу пневмопристроїв;

3) під час виконання робіт із монтажу-демонтажу пневматичних пристроїв особливу увагу необхідно приділяти запобіганню потраплянню забруднювачів до їх внутрішніх порожнин.

7.3 Вимоги безпеки

Загальні вимоги безпеки до пневмоприводів, що вводяться в експлуатацію, регламентуються такими стандартами: ГОСТом 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки», ГОСТом 17770-86 «Машини ручні. Вимоги до вібраційних характеристик», ГОСТом 12.2.007-75 «ССБТ. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки».

Вимоги безпеки до конструкції пневмоприводів і пневмопристроїв. Конструкція пневмоприводів і пневмопристроїв повинна бути надійною, забезпечувати безпечну експлуатацію й передбачати можливість проведення

огляду, очищення і ремонту. Огорожі, кожухи та інші пристрої, що перешкоджають зовнішньому огляду пневмопристроїв, повинні бути знімними.

Пневмоприводи необхідно забезпечувати пристроями, призначеними для повного зняття тиску стиснутого повітря в системі.

З метою виключення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів пневмоприводи також повинні бути оснащені:

- пристроями, що запобігають підвищенню тиску понад значення, встановленого нормативно-технічною документацією;
- пристроями для вловлювання мастильних аерозолів під час виведення відпрацьованого повітря в атмосферу, якщо рівень їх концентрації в робочому приміщенні перевищує граничні значення, що встановлюються ГОСТом 12.1.005-88 «ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».

Якщо зниження тиску в пневмоприводах або напруги в електричній мережі може створити небезпеку для обслуговуючого персоналу або викликати аварійну ситуацію, необхідно передбачити можливість блокування пневмопривода – автоматичного припинення роботи обладнання з одночасним поданням відповідного світлового або звукового сигналу. У той самий час не повинні відключатися пристрої, виведення яких із робочого стану може призвести до аварій і виробничого травматизму (затискання, притискання, зрівноважування, гальмування, стопорення та інші пристрої).

Якщо кінцеві положення пневматичних виконавчих механізмів обмежуються за допомогою електричних або пневматичних колійних вимикачів, то в разі порушення процесу нормального функціонування останніх може виникнути небезпека травмування обслуговуючого персоналу або аварійна ситуація. З метою запобігання подібним наслідком необхідно встановлювати жорсткі упори, захисні кожухи та інші пристрої для обмеження небезпечних переміщень.

Поверхні огорож, захисних пристроїв та елементи конструкції пневмоприводів і пневмопристроїв, що можуть становити небезпеку для обслуговуючого персоналу, повинні мати знаки безпеки та сигнальні кольори відповідно до ГОСТу 12.4.026-76 «ССБТ. Кольори сигнальні і знаки безпеки».

Конструкція регульованих пневмопристроїв, зміна налаштувань яких може призвести систему до аварійного стану, повинна передбачати надійну фіксацію регульовальних елементів із застосуванням замків, пломб та інших засобів. Конструкція органів керування та їх взаємне розміщення також повинні виключати можливість самовільного запускання привода. На пульті керування технологічним обладнанням, оснащеним пневмоприводами з підтриманням можливості загального зупинення системи, встановлюють керувальний елемент червоного кольору «СТОП ЗАГАЛЬНИЙ».

Величини зусиль, що розвиваються на ручних органах керування пневмопристроєм, повинні задовольняти вимоги відповідних державних стандартів (це не стосується спеціальних керувальних органів та елементів, призначених для налаштування редуційних пневмоклапанів): для перемикачів типу тумблера – ГОСТ 22615-77 «Система "Людина-машина". Вимикачі і

перемикачі типу "Тумблер". Загальні ергономічні вимоги»; для кнопочних і клавішних вимикачів та перемикачів – ГОСТ 22614-77 «Система "Людина-машина". Вимикачі і перемикачі клавішні і кнопочні. Загальні ергономічні вимоги»; для маховиків керування і штурвалів – ГОСТ 21752-76 «Система "Людина-машина". Маховики керування і штурвали. Загальні ергономічні вимоги »; для важелів керування – ГОСТ 21753-76 «Система "Людина-машина". Важелі керування. Загальні ергономічні вимоги».

Органи керування і засоби відображення супровідної інформації розміщують відповідно до вимог ГОСТу 12.2.032-78 «ССБТ. Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги» і ГОСТу 12.2.033-78 «ССБТ. Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги», а позначення функцій органів керування – відповідно до ГОСТу 12.4.040-78 «ССБТ. Органи керування виробничим обладнанням. Позначення» (СТ РЕВ 3082-81). Символи і написи розміщують безпосередньо біля органів керування, водночас не повинно виникати ніяких перешкод для їх читання. Написи, крім того, повинні бути короткими і зрозумілими під час швидкого зчитування.

Біля запірних пристроїв (вентилів, кранів та ін.) повинні бути добре видимі стрілки, що вказують напрямок обертання маховиків, кранів, а також написи «ВІДКРИТО», «ЗАКРИТО» або інші позначення.

На пульті керування пневмоприводами необхідно застосовувати такі кольори індикації або світлові сигнали: червоний колір – для позначення аварійних і вимикальних органів керування, а також для сигнальних елементів, що сповіщають про порушення процесу нормального функціонування пневмопривода або умов безпеки; зелений колір – для сигнальних елементів, що підтверджують нормальне функціонування пневмопривода.

З метою сповіщення про аварійний стан пневмопривода можна використовувати звукову сигналізацію, застосування якої рекомендується в ситуаціях, що вимагають негайного реагування.

У тих випадках, коли пневмопривод знаходиться у приміщенні, де розпізнати звуковий сигнал важко внаслідок високого рівня виробничих шумів, рекомендується додатково використовувати яскравий миготливий сигнал, колір якого вибирають згідно з ГОСТом 12.4.026-76 «ССБТ. Кольори сигнальні і знаки безпеки».

Пневматичні приводи і пристрої, в яких за характером роботи або у зв'язку з впливом довкілля можливе зростання тиску вище від допустимого, повинні забезпечуватися запобіжними клапанами, розміщеними в доступних для їх огляду та обслуговування місцях.

У будь-якому випадку початку експлуатації пневмопривода повинна передувати перевірка налаштування запобіжного клапана особами, відповідальними за додержання правил техніки безпеки. Запобіжний клапан повинен мати пристрій, що служить для перевірки справності клапана шляхом його примусового відкриття в процесі функціонування привода.

Вимоги безпеки під час підготовчих робіт монтажу та випробувань. Монтаж пневматичних приводів і пристроїв для проведення випробувань

необхідно виконувати відповідно до вимог, викладених у робочих кресленнях, інструкціях, методиках і програмах випробувань. Керівництво випробуваннями доручають відповідальній особі, розпорядження якої є обов'язковими для всіх учасників випробувань.

Обслуговування пневмоприводів під час випробувань можна доручати особам, які досягли 18-річного віку, пройшли виробниче навчання та інструктаж із безпечного обслуговування пневмосистем. Освітленість робочих місць під час випробувань повинна становити не менше ніж 50 лк. Джерело світла повинно розміщуватися так, щоб не відбувалося осліплення робітників. Шкали приладів повинні бути чітко видимими з відстані до 3 м. В усіх випадках необхідно намагатися, щоб освітлення забезпечувало більшу зручність спостереження за приладами.

Місце випробувань повинно бути огорожене або поблизу нього повинен перебувати спостерігач. Як огорожу можна застосовувати щити, бар'єри, канати з підвішеними до них плакатами з написом «УВАГА! ЙДУТЬ ВИПРОБУВАННЯ!» або світлове табло з аналогічним написом. На обладнанні, столах, механізмах, на підлозі біля випробувального стенда не повинно бути сторонніх предметів (заготовок, готових виробів, відходів виробництва).

Забороняється залишати інструменти, матеріали, спецодяг та інші предмети на елементах, що входять до привода. Робочі місця повинні бути обладнані стелажми для зберігання пристроїв, інструментів, перевірних шаблонів, прокладок тощо. Габарити подібних стелажів повинні відповідати найбільшим розмірам виробів, що укладаються на них.

Перед випробуваннями необхідно перевірити робочі інструменти на відповідність основним вимогам техніки безпеки.

Електрифікований інструмент можна застосовувати лише з робочою напругою не більше ніж 36 В і за умови повної справності. У разі якщо у виробничому приміщенні відсутні чинники підвищеної небезпеки, допускається використовувати значення напруги 127 і 220 В, але в разі обов'язкового використання захисних засобів. Корпуси електроінструментів, що працюють під напругою понад 36 В, повинні бути заземлені незалежно від частоти струму.

Ручні інструменти, застосовувані для електромонтажних робіт (викрутки, плоскогубці, кусачки тощо), повинні мати ізольовані рукоятки.

Шланги необхідно кріпити до пневмоінструменту і трубопроводів так, щоб виключити можливість їх зривання.

Перед виконанням випробувань перевіряють готовність пневмопривода або пристрою. З цією метою їх ретельно оглядають і переконуються у відсутності тріщин, надривів, випинань, раковин, слідів корозії та інших дефектів на внутрішніх і зовнішніх поверхнях пристроїв, у зварних швах, ущільнювальних вузлах і з'єднаннях. Крім того, перед початком випробувань пневмоприводів і пристроїв необхідно:

- 1) перевірити правильність і надійність приєднань пневмоліній і електричних дротів до відповідних пристроїв;

2) перевірити надійність функціонування блокувань, наявність стопорів і пломб на регулювальній апаратурі та приладах;

3) перевірити наявність і справність заземлення;

4) перевірити наявність і надійність закріплення огорож, передбачених вимогами безпеки;

5) вивісити попереджувальний плакат із написом «УВАГА! ЙДУТЬ ВИПРОБУВАННЯ!»;

б) встановити за необхідності аварійну сигналізацію (звукову або світлову).

Персонал, який бере участь у випробуваннях пневмоприводів і пристроїв, повинен бути ознайомлений:

1) зі схемою пневмопривода і правилами його обслуговування;

2) з конструкціями й принципами дії пристроїв, що входять до пневмопривода;

3) з розміщенням кондиціонерів стиснутого повітря, пневмоапаратів і приладів;

4) зі способами регулювання параметрів (тиску, швидкості та ін.);

5) з методами перевірки пневмопристроїв на міцність і герметичність та правилами їх огляду під час випробувань.

Пневмопристрої повинні бути випробувані на міцність. Пневмопристрої загальнопромислового застосування, що входять до складу пневмопривода, на які поширюються положення ГОСТу 12.3.001-85 (2000) (СТ РЕВ 3274-81) «ССБТ. Пневмоприводи. Загальні вимоги безпеки до монтажу, випробувань і експлуатації», випробовують на міцність шляхом плавного підвищення тиску до пробного значення, що повинне перевищувати номінальний не менше ніж в 1,5 раза; для пневмоглушників, установлених у місцях вихлопу відпрацьованого повітря, пробне значення тиску повинно бути не меншим від номінального для пневмопривода. Тривалість випробувань на міцність повинна становити не менше ніж 3 хв. Після цього тиск поступово зменшують до номінального і потім виконують огляд пневмопристрою.

Перевіряють пневмопристрої шляхом використання повітря, мінерального мастила або води. Під час випробувань їх закривають захисним кожухом (екраном). Персонал, який виконує випробування, повинен перебувати на безпечній відстані від об'єкта випробувань, що виключає можливість травмування у випадку руйнування останнього.

Під час типових і періодичних випробувань на ресурс пневмопристроїв та їх елементів, що функціонують в умовах циклічного навантаження тиском, їх необхідно піддавати циклічному навантаженню робочим тиском відповідно до вимог і методики розробника.

Пневмопристрої або їх елементи вважаються такими, що витримали випробування на міцність, якщо під час подальшого ретельного огляду не було виявлено: ознак розриву; видимих залишкових деформацій; витікання повітря понад рівень, установлений у нормативних вимогах; підтікання і потіння у зварних швах у разі запресування рідиною.

Випробування повинні бути перервані в таких випадках: у разі підвищення тиску в системі понад допустимий рівень; за несправності запобіжних клапанів; у разі виявлення в елементах пневмопристроїв випинів, стоншення стінок, підтікань у з'єднаннях, розривів ущільнень; за несправності манометрів, блокувальних пристроїв, а також за несправності (відсутності) передбачених схемою випробувань контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації; за появи стукотів, сторонніх шумів; у разі помітного зростання вібрацій приводного механізму, виявлення інших несправностей, що можуть призвести до аварійної ситуації.

Після зниження рівня тиску, досягнутого в процесі випробувань, до номінального (робочого) значення пневмопристрою, привод у цілому оглядають уповноважені на те особи, які пройшли спеціальний інструктаж. Під час огляду забороняється підвищувати тиск. У разі виявлення дефектів під час випробувань роботи з їх усунення (монтаж і демонтаж пневмоліній, підтягування з'єднань, рихтування, зварювальні роботи та ін.) необхідно виконувати після припинення подавання повітря, повного зняття тиску в системі та її відключення від електромережі, причому в місцях відключення в обов'язковому порядку вивішуються попереджувальні таблички з написом «РЕМОНТ! ПУСК ЗАБОРОНЕНО!». Припинення подавання повітря шляхом перегинання еластичних трубопроводів не допускається! Всі пристрої в складі привода повинні бути приведені до такого стану, за якого їх мимовільне включення в разі випадкового натискання пускових елементів не призведе до небезпечних наслідків.

Після усунення виявлених дефектів необхідно виконати повторні випробування.

Під час повторного пуску необхідно вжити вищезазначених заходів безпеки і простежити за тим, щоб усі раніше прибрані огорожі та захисні пристрої були знову належним чином розміщені й закріплені. Випробування при знятих огорожах допускаються лише з дозволу адміністрації. Вимкнення обладнання та його ввімкнення в електромережу здійснюють після встановлення запобіжних пристроїв і також виключно на підставі дозволу адміністрації.

Під час випробувань необхідно стежити за тим, щоб вихлоп відпрацьованого повітря був спрямований у бік від місця перебування оператора та не призводив до забруднення робочого приміщення. Рівень шуму у разі вихлопів не повинен порушувати гігієнічних норм.

Вимоги безпеки під час експлуатації. Перед уведенням в експлуатацію пневмоприводів і пневмопристроїв необхідно виконати їх пробний пуск і налагодження. У разі виявлення несправностей під час пробного пуску пневмопривод необхідно вимкнути. Роботи з усунення виявлених несправностей та ремонту пневматичних приводів і пристроїв необхідно виконувати лише після повного зняття тиску повітря в системі і вимкнення їх з електромережі. Вентилі й пневморозподільники, що відповідають за з'єднання пневмолінії з пневмоприводом, повинні перебувати у справному стані і забезпечувати

можливість надійного та швидкого перекриття подавання стиснутого повітря і його скидання з привода в атмосферу.

Вмикати відремонтований пневмопривод до пневмолінії і електромережі необхідно після встановлення огорож і зняття попереджувальних плакатів.

Експлуатація пневмоприводів і пневмопристроїв забороняється у випадках виникнення таких несправностей:

– наявності шумів, стукотів, вібрацій і зовнішніх витікань, рівень яких перевищує значення, що встановлюються нормативно-технічною документацією;

– появи видимих пошкоджень або виходу будь-якого параметра за межі допустимих значень, якщо подібна ситуація становить небезпеку для обслуговуючого персоналу або може призвести до аварії;

– відмови або пошкодження сигнальних пристроїв та приладів.

Очищати повітропроводи і пневмопристрої в місцях скупчення забруднювачів необхідно способами, за яких виключається займання наявних відкладень.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 У чому полягає технічне обслуговування пневматичних приводів?
- 2 Як знайти та усунути несправність пневматичної мережі?
- 3 Які вимоги безпеки застосовують під час експлуатації пневмомережі?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочник / под ред. Е. В. Герц. – Москва : Машиностроение, 1981. – 408 с.
2. Герц Е. В. Расчет пневмоприводов : справочное пособие / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – Москва : Машиностроение, 1975. – 272 с.
3. Слюсарев А. Н. Гидравлические и пневматические элементы и приводы промышленных роботов / А. Н. Слюсарев. – Москва : Машиностроение, 1989. – 168 с.
4. Трифонов О. Н. Приводы автоматизированного оборудования : учебник для машиностроительных техникумов / О. Н. Трифонов, В. И. Иванов, Г. О. Трифонова. – Москва : Машиностроение, 1991. – 336 с.
5. Никитин О. Ф. Объемные гидравлические и пневматические приводы : учеб. пособие для техникумов / О. Ф. Никитин, К. М. Холин. – Москва : Машиностроение, 1981. – 269 с.
6. Наземцев А. С. Пневматические приводы и средства автоматизации: учебное пособие / А. С. Наземцев. – Москва : Форум, 2004. – 240 с.
7. Филипов И. Б. Тормозные устройства пневмоприводов / И. Б. Филипов. – Ленинград : Машиностроение, 1987. – 143 с.
8. Кудрявцев А. И. Монтаж, наладка и эксплуатация пневматических приводов и устройств / А. И. Кудрявцев, А. П. Пятидверный, Е. А. Рагулин. – Москва : Машиностроение, 1990. – 208 с.
9. Робототехника и гибкие автоматизированные производства : уч. пособие для вузов : в 9 кн. Кн. 2. Приводы робототехнических систем / под ред. И. М. Макарова. – Москва : ВШ, 1986. – 175 с.
10. Гидравлические и пневматические приводы ПР и автоматических манипуляторов / под ред. Г. В. Крейнина. – Москва : Машиностроение, 1993. – 308 с.
11. Герц Е. В. Динамика пневматических систем машин / Е. В. Герц. – Москва : Машиностроение, 1985. – 256 с.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

Таблиця А.1 – Співвідношення одиниць величин, що застосовуються у пневматичі, з одиницями Міжнародної системи СІ (SI, SYSTEM INTERNATIONAL OF UNITS)

Величина		Одиниця		Примітка
назва	позначення	позначення	назва	
1	2	3	4	5
Основні одиниці системи СІ				
Маса	<i>m</i>	<i>кг</i>	Кілограм	–
Довжина	<i>s, l, L</i>	<i>м</i>	Метр	–
Час	<i>τ</i>	<i>с</i>	Секунда	–
Температура термодинамічна	<i>T</i>	<i>К</i>	Кельвін	Зв'язок між різними температурними шкалами показаний у таблиці Б.2
Додаткові одиниці системи СІ				
Плоский кут	<i>α, β, φ, ψ</i> и др.	<i>рад</i>	Радіан	–
Довільні одиниці, що використовуються у пневматичі				
Діаметр	<i>d, D</i>	<i>м</i>	Метр	–
Радіус	<i>r, R</i>			<i>r = 0,5D</i>
Площа	<i>S, F, f</i>	<i>м²</i>	Квадратний метр	–
Об'єм	<i>V</i>	<i>м³</i>	Кубічний метр	–
Об'єм нормальний	<i>V_н, V</i>			Об'єм повітря, зведений до технічних нормальних умов
Витрата масова	<i>ṁ</i>	<i>кг/с</i>	Кілограм за секунду	–
Витрата об'ємна	<i>Ḃ</i>	<i>м³/с</i>	Кубічний метр за секунду	<i>Ḃ = ṁ / ρ</i>
Витрата об'ємна нормальна	<i>Ḃ_н</i>			Об'ємна витрата повітря, зведена до технічних нормальних умов
Пропускна здатність (витратна характеристика)	<i>K_v</i>	<i>м³/год</i>	Кубічний метр за годину	Позасистемна одиниця
Густина	<i>ρ</i>	<i>кг/м³</i>	Кілограм на кубічний метр	–
Питомий об'єм	<i>v</i>	<i>м³/кг</i>	Кубічний метр на кілограм	<i>v = 1/ρ</i>
Молярна маса	<i>M</i>	<i>кг/кмоль</i>	Кілограм на кіломоль	–
Абсолютна вологість	<i>f, f_{абс}</i>	<i>кг/м³</i>	Кілограм на кубічний метр	Зазвичай виражається у грамах на кубічний метр
Відносна вологість	<i>φ</i>	–	–	Вимірюється у відносних одиницях (або відсотках)
Частота періодичного коливання	<i>f, ν</i>	<i>Гц</i>	Герц	–

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5
Частота імпульсів, ударів тощо, частота обертання	n, f	$c^{-1}, Гц$	Секунда в мінус першому степені, герц	$1 c^{-1} = 1 Гц$
		$об/с$	Обертів за секунду	$1 об/с = 1 c^{-1}$
		$об/хв$	Обертів за хвилину	Позасистемна одиниця $1 об/хв = 60 c^{-1}$
Частота кутова (кругова або циклічна)	ω	c^{-1}	Секунда в мінус першому степені	—
Швидкість лінійна	v, w	$м/с$	Метр за секунду	—
Швидкість кутова	u	$рад/с$	Радіан за секунду	—
	ω, n	$об/с$	Обертів за секунду	$1 об/с = 2\pi рад/с$
	u	$об/хв$	Обертів за хвилину	Позасистемна одиниця $1 об/хв = 2\pi рад/с$
Прискорення лінійне	a	$м/с^2$	Метр за секунду у квадраті	—
Прискорення вільного падіння	g			$g = 9,81 м/с^2$
Прискорення кутове	ε	$рад/с^2$	Радіан за секунду у квадраті	—
Імпульс (кількість руху)	P	$кг\cdot м/с$	Кілограм-метр за секунду	—
Динамічний момент інерції	J, I	$кг\cdot м^2$	Кілограм-метр у квадраті	—
Сила (зусилля)	F, P	$Н$	Ньютон	$1 Н = 1 кг\cdot м/с^2$
Сила тяжіння	G, P			
Момент вигинальної сили	M	$Н\cdot м$	Ньютон-метр	—
Момент пари сил, крутний (обертвий) момент	M, T			
Тиск	p	$Па$	Паскаль	$Па = Н/м^2$
Об'ємний модуль пружності (модуль стискуваності)	K			
Коефіцієнт об'ємного стиснення	β_p	$Па^{-1}$	Паскаль у мінус першому степені	$\beta_p = 1/K$

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5
Динамічна в'язкість (коефіцієнт внутрішнього тертя)	μ	$Па \cdot с$	Паскаль-секунда	–
Кінематична в'язкість	ν	$м^2/с$	Квадратний метр за секунду	$\nu = \mu/\rho$
Коефіцієнт тертя	μ_f	–	–	Безрозмірна величина
Коефіцієнт витрати	φ	–	–	Безрозмірна величина
Робота	A, L	$Дж$	Джоуль	–
Енергія	E, W			
Кінетична енергія	E_k, W_k, K, T			
Потенціальна енергія	$E_p, W_p, П, \Phi$			
Теплова енергія	Q			
Внутрішня енергія	U			
Потужність	P, N	$Вт$	Ват	–
Коефіцієнт корисної дії (ККД)	η	–	–	Безрозмірна величина
Питома газова стала	R	$Дж / (кг K)$	Джоуль на кілограм-кельвін	–

Таблиця А.2 – Префікси для позначення часткових і кратних одиниць

Часткові одиниці			Кратні одиниці		
Ступінь	Префікс	Символ	Ступінь	Префікс	Символ
10^{-1}	деци	d	10^1	дека	D
10^{-2}	санти	c	10^2	гекто	H
10^{-3}	мілі	m	10^3	кіло	K
10^{-6}	мікро	mk	10^6	мега	M
10^{-9}	нано	n	10^9	гіга	G
10^{-12}	піко	p	10^{12}	тера	T
10^{-15}	фемто	f	10^{15}	пета	P
10^{-18}	атто	a	10^{18}	екса	E

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)

Таблиця Б.1 – Співвідношення між різними одиницями тиску і температурними шкалами

Одиниця	<i>Па</i>	<i>бар</i>	<i>psi</i>	<i>кгс/см²</i>	<i>мм вод. ст.</i>	<i>мм рт. ст.</i>
1 <i>Па</i>	1	10^{-5}	$1,45 \times 10^4$	$1,02 \times 10^{-5}$	0,102	$7,502 \times 10^3$
1 <i>бар</i>	10^5	1	14,5	1,02	$1,02 \times 10^4$	$7,5024 \times 10^2$
1 <i>psi</i>	$6,895 \times 10^3$	$6,895 \times 10^{-2}$	1	$7,031 \times 10^{-2}$	$7,031 \times 10^2$	52,2
1 <i>кгс/см²</i>	$9,807 \times 10^4$	0,9807	14,223	1	10^4	$7,35 \times 10^2$
1 <i>мм вод. ст.</i>	9,807	$9,807 \times 10^{-5}$	$1,422 \times 10^{-3}$	10^{-4}	1	$7,35 \times 10^{-2}$
1 <i>мм рт. ст.</i>	$1,33 \times 10^2$	$1,33 \times 10^{-3}$	$1,934 \times 10^{-2}$	$1,36 \times 10^{-3}$	13,6	1

Таблиця Б.2 – Формули, що пов'язують різні температурні шкали

Шкала	Кельвіна	Цельсія	Фаренгейта	Реомюра
Кельвіна, <i>T, K</i>	1	$t, ^\circ C + 273,15$	$(t, ^\circ F - 32)/1,8 + 273,15$	$1,25 \cdot t, ^\circ R + 273,15$
Цельсія, <i>t, ^\circ C</i>	$T - 273,15$	1	$(t, ^\circ F - 32)/1,8$	$1,25 \cdot t, ^\circ R$
Фаренгейта, <i>t, ^\circ F</i>	$1,8 \cdot T - 459,67$	$1,8 \cdot t, ^\circ C + 32$	1	$2,25 \cdot t, ^\circ R + 32$
Реомюра, <i>t, ^\circ R</i>	$0,8 \cdot T - 218,52$	$0,8 \cdot t, ^\circ C$	$0,44 \cdot (t, ^\circ F - 32)$	1

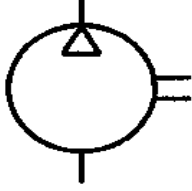
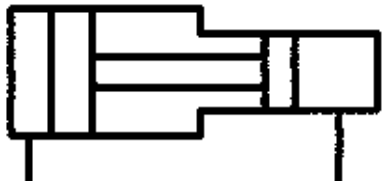
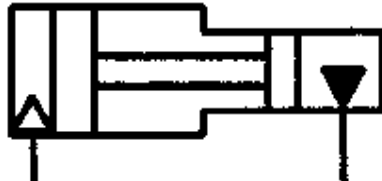
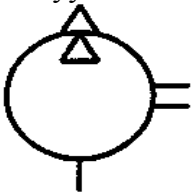

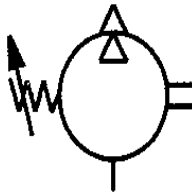
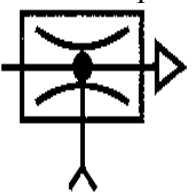
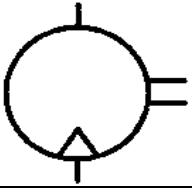
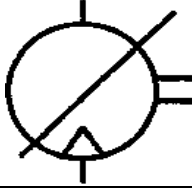
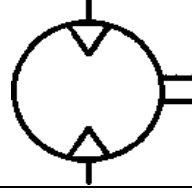
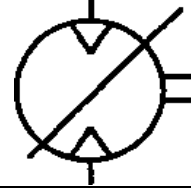
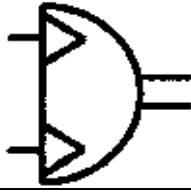
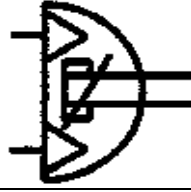
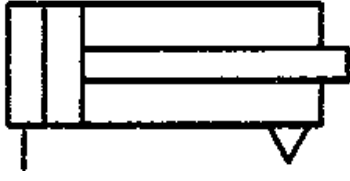
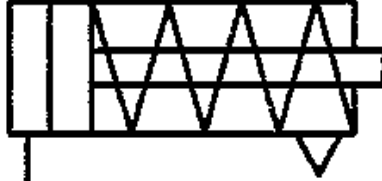


ДОДАТОК В
(обов'язковий)

Таблиця В.1 – Витяг із ГОСТу 17433-80 «Промислова чистота. Стиснуте повітря. Класи забрудненості»

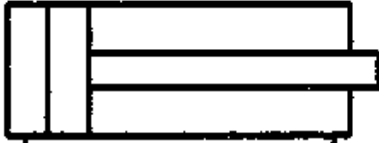
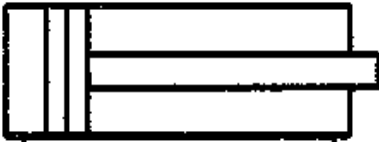
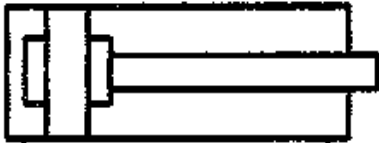
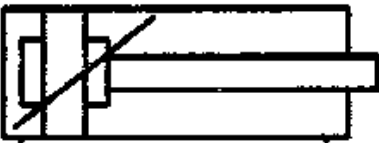



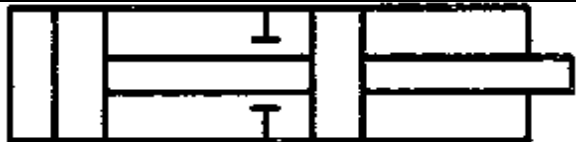
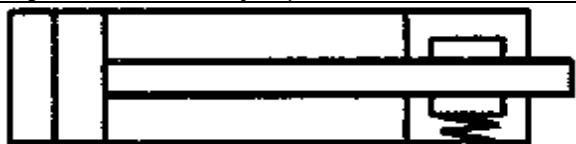
Клас забрудненості	Розмір твердої частинки, <i>мкм</i> , не більше	Вміст сторонніх домішок, <i>мг/м³</i> , не більше		
		тверда частинка	вода (у рідкому стані)	мастило (у рідкому стані)
0	0,5	0,001	Не допускається	
1	5	1	Не допускається	
2			500	Не допускається
3	10	2	Не допускається	
4			800	16
5	25	2	Не допускається	
6			800	16
7	40	4	Не допускається	
8			800	16
9	80	4	Не допускається	
10			800	16
11	Не регламентується	12,5	Не допускається	
12			3 200	25
13		25	Не допускається	
14			10 000	100

ДОДАТОК Г
(обов'язковий)

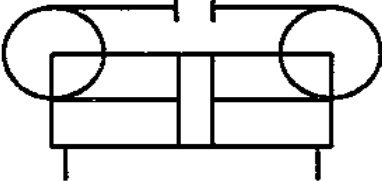
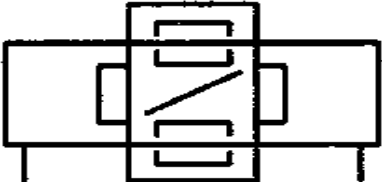
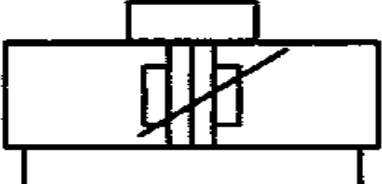
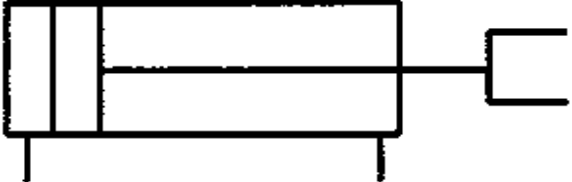

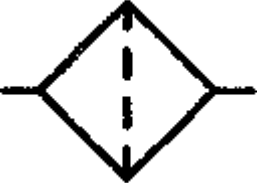
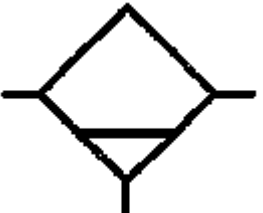


**Таблиця Г.1 – Умовні графічні позначення на пневматичних схемах
(ISO 1219, ГОСТ 2.781-96, ГОСТ 2.782-96)**

Перетворювачі енергії			
Компресор 	Поступальний перетворювач з одним видом робочого середовища 	Поступальний перетворювач із двома видами робочого середовища 	
Вакуум-насос 	Пневмогідрравлічний витискувач 	Підсилювач тиску 	Ежектор 
Виконавчі механізми			
Пневмомотори			
Нереверсивний нерегульований 	Нереверсивний регульований 	Реверсивний нерегульований 	Реверсивний регульований 
Поворотні пневмодвигуни			
Без демпфування 		Із демпфуванням у кінці ходу 	
Пневмоциліндри однієї дії			
Без зазначення способу повернення штока 		Із поверненням штока пружиною 	
Із висуненням штока пружиною 		Телескопічний 	





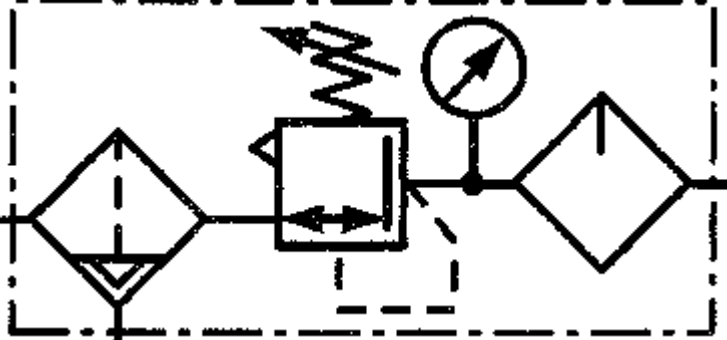




Продовження таблиці Г.1

Пневмоциліндри двобічної дії	
Загальне позначення	
Із постійним магнітом на поршні	
Із нерегульованим гальмуванням у кінці ходу	
Із регульованим гальмуванням у кінці ходу	
Із прохідним штоком	
Із прохідним порожнистим штоком	
Телескопічний	
Тандем	
Із пневмоприводним фіксатором штока	




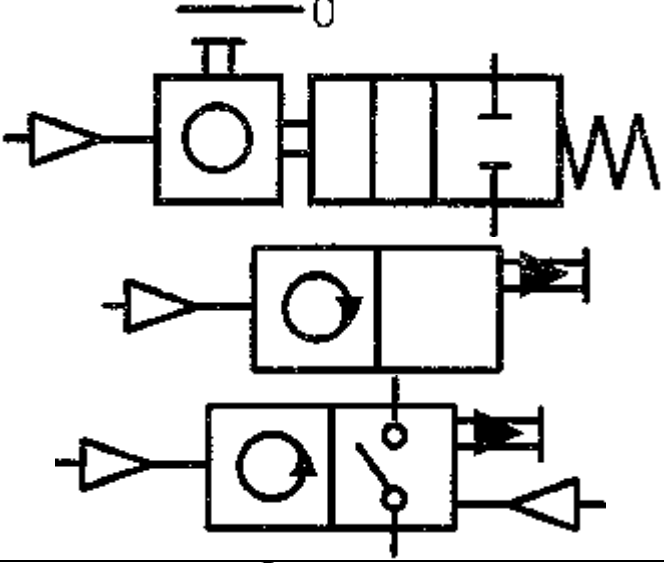
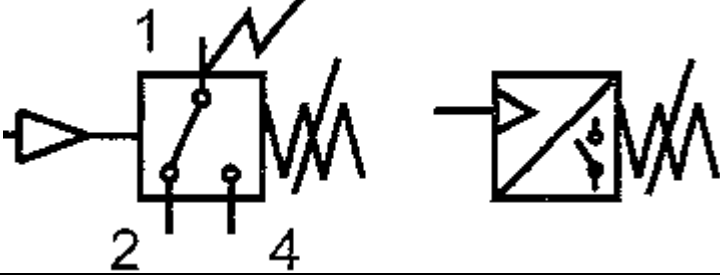
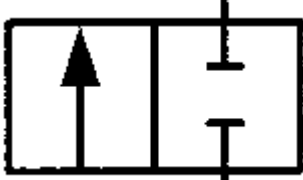

Продовження таблиці Г.1

<p>Із гнучким штоком</p>	
<p>Безштокові з магнітною муфтою</p>	
<p>Безштокові із стрічковим ущільнювачем</p>	
<p>Спеціальні виконавчі механізми</p>	
<p>Захват промислового робота</p>	
<p>Вакуумний захват</p>	
<p>Пристрої підготовки стиснутого повітря</p>	
<p>Фільтр</p>	
<p>Вологовіддільник із ручним відведенням конденсату</p>	
<p>Вологовіддільник з автоматичним відведенням конденсату</p>	
<p>Фільтр-вологовіддільник</p>	






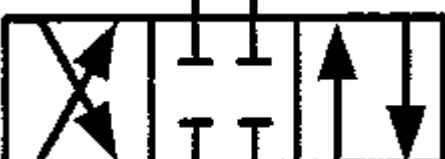
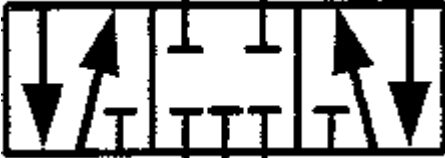
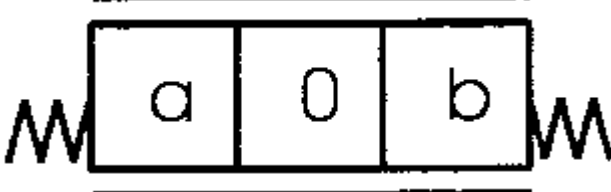
Продовження таблиці Г.1

Осушник	
Охолоджувач	
Нагрівник	
Мастилорозпилювач	
Блок підготовки повітря	
Детальне позначення	
Спрощене позначення	
Ресивер	
Контрольно-вимірювальні пристрої	
Манометр	
Термометр	





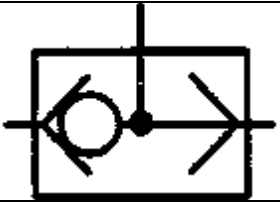

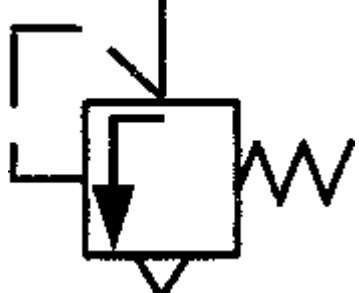
Продовження таблиці Г.1

Показчик (індикатор) тиску	
Показчик витрати	
Регулятор потоку	
Лічильники імпульсів	
<p>Із ручним установленням нуля і з пневматичним вхідним сигналом</p> <p>Нестандартизованого позначення: з ручним установленням нуля</p> <p>Із пневматичним установленням нуля і з пневматичним вхідним сигналом</p>	
Реле тиску	
Пневматичні розподільники	
Нормально закритий 2/2-розподільник	
Нормально відкритий 2/2-розподільник	

Продовження таблиці Г.1

<p>Нормально закритий 3/2-розподільник</p>	
<p>Нормально відкритий 3/2-розподільник</p>	
<p>4/2-розподільник</p>	
<p>5/2-розподільник</p>	
<p>3/3-розподільник</p>	
<p>4/3-розподільник</p>	
<p>5/3-розподільник</p>	
<p>Дроселювальний розподільник</p>	

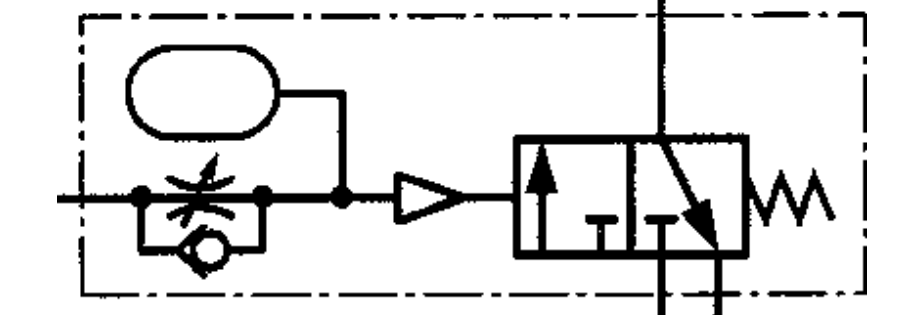
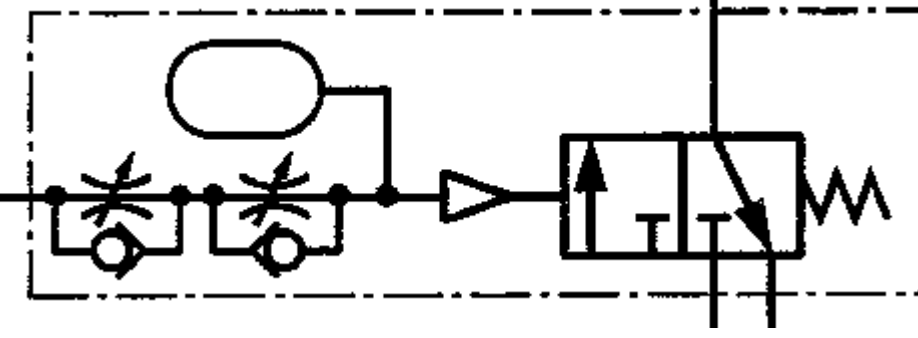
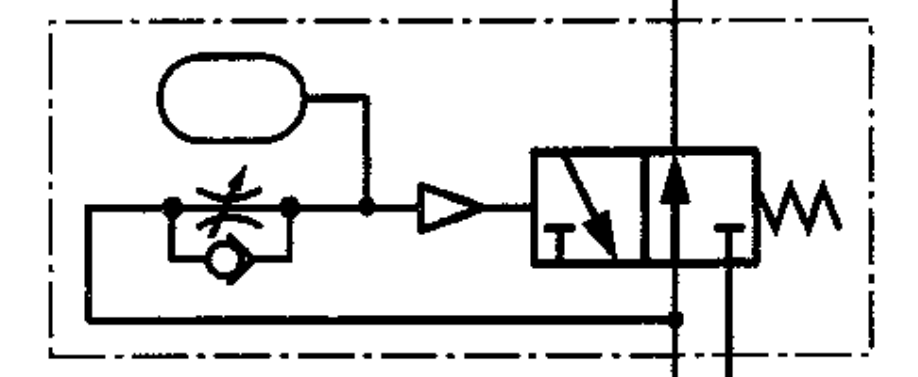
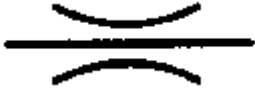


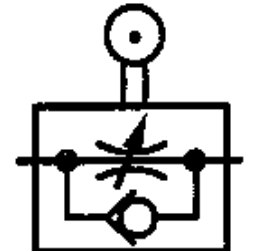
Продовження таблиці Г.1

Пневматичні клапани	
Зворотні	
Без пружини	
Із пружиною	
Пневмозамки	
Із керуванням відкриттям	
Із керуванням закриттям	
Логічні реле	
«АБО»	
«І»	
Клапани тиску	
Запобіжний	


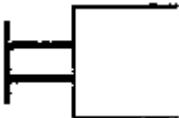
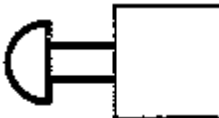


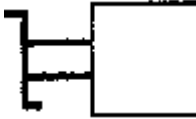
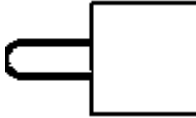
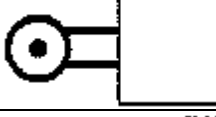




Продовження таблиці Г.1

Редукційний дволінійний	
Редукційний трилінійний	
Реле послідовності	
Варіант 1	
Варіант 2	
Швидкого вихлопу	
Реле часу	
Із затримкою за переднім фронтом	



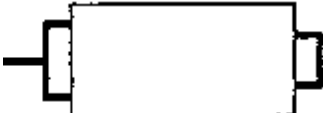


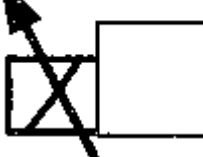



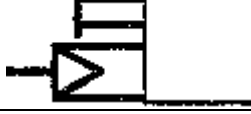

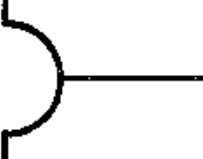

Продовження таблиці Г.1

<p>Із затримкою за заднім фронтом</p>	
<p>Із затримкою за переднім і заднім фронтами</p>	
<p>Пристрій для формування імпульсу</p>	
<p>Пристрої регулювання витрати Дроселі</p>	
<p>Нерегульований</p>	
<p>Регульований</p>	
<p>Зі зворотним клапаном</p>	
<p>Шляховий</p>	



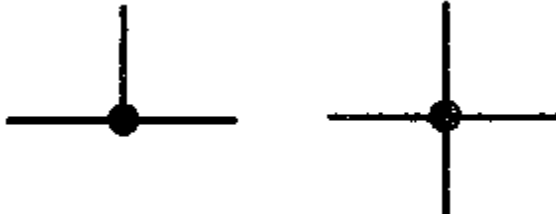
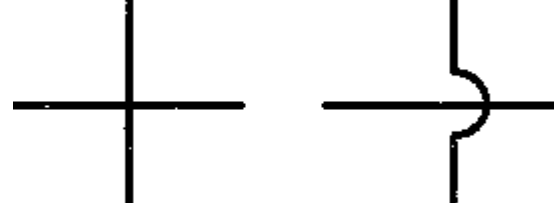






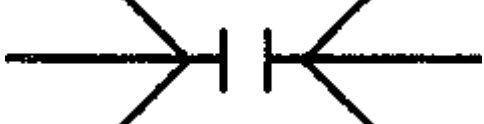

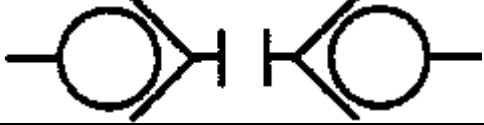

Продовження таблиці Г.1

Вихлопний	
Пристрої керування пневмоапаратами	
Керування мускульною силою	
Без уточнення типу	
Кнопка	
Важіль	
Педаль	
Поворотна рукоятка	
Механічне керування	
Штовхач (кулачок)	
Ролик	
Ролик із важелем, що «ламається»	
Пружина	
Фіксатор	
Пневматичне керування	
Пряме навантаження	



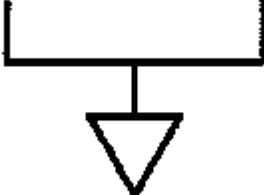

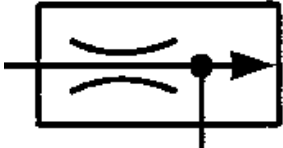

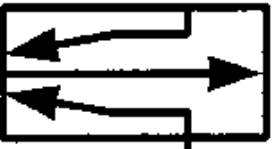



Продовження таблиці Г.1

Пряме розвантаження	
Непряме навантаження	
За рахунок різниці площ	
Електричне керування	
Електромагніт із декількома обмотками	
Електромагніт із двома зустрічними обмотками	
Електромагніт із пропорційним керуванням	
Кроковий електродвигун	
Комбіноване керування	
Електромагнітне І непряме пневматичне	
Електромагнітне АБО непряме пневматичне	
Непряме пневматичне з ручним дублюванням	
Електромагніт і пружина	
Елементи трубопроводів	
Вловлювач повітря з атмосфери	
Місце приєднання до джерела стиснутого повітря	

Продовження таблиці Г.1

Лінії всмоктування, напору, зливу	
Лінії керування, відведення конденсату	
З'єднання трубопроводів	
Перетин трубопроводів без з'єднання	
Трубопровід гнучкий, шланг	
Місце приєднання нез'єднане	
Місце приєднання з'єднане	
Загальне позначення рознімного з'єднання	
Штуцерне нарізне з'єднання	
Швидкорознімне з'єднання без запірною елемента з'єднане	
Швидкорознімне з'єднання без запірною елемента не з'єднане	
Швидкорознімне з'єднання із запірним елементом з'єднане	
Швидкорознімне з'єднання із запірним елементом не з'єднане	
Вентиль	






Продовження таблиці Г.1

Вентиль з пневмоприводом	
Вихлоп без можливості приєднання	
Вихлоп з можливістю приєднання	
Пневмоглушник	
Струменеві датчики положення і підсилювачі сигналу (нестандартизованого позначення)	
Датчик підпирання	
Вилкоподібний повітряний бар'єр	
З кільцевим соплом	
Із зустрічним зіткненням струменів	
Однокаскадний підсилювач	
Двокаскадний підсилювач	

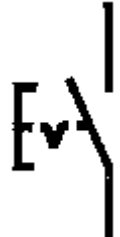
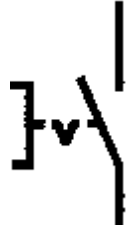
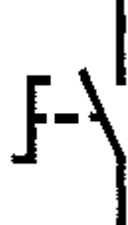

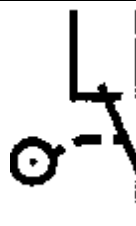

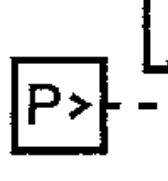
Таблиця Г.2 – Маркування приєднаних отворів пневмопристроїв

Тип отвору пневмопристрою	Буквене маркування	Числове маркування
Основний вхідний отвір (підведення живлення)	P	1
Вихідні отвори (подача робочого середовища)	A, B, C,...	2, 4, 6,...
Вихлопні отвори	R, S, T,...	3, 5, 7,...
Отвори каналів управління	X, Y, Z,...	10, 12, 14,...

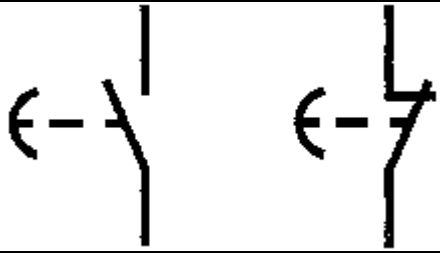
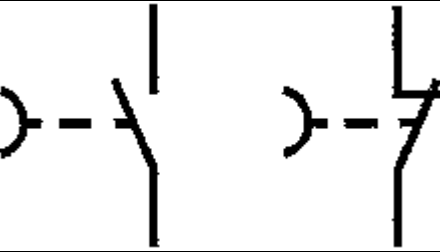
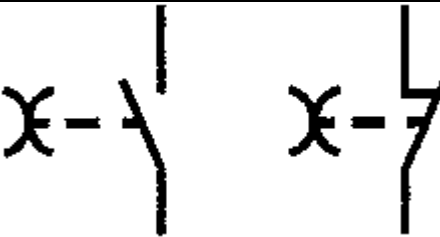
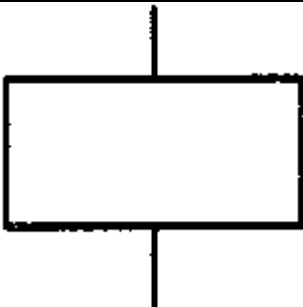
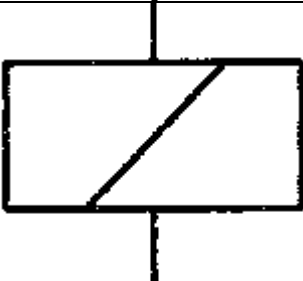
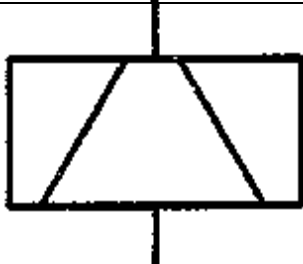
Таблиця Г.3 – Умовні графічні позначення на електричних схемах (ISO 1219, ГОСТ 2.755-87, ГОСТ 2.756-76)

Типи контактів	Позначення
1	2
Розмикаючий	
Замикаючий	
Перемикаючий	
Контакти електротехнічних пристроїв	
Замикаючий контакт кнопкового вимикача (загальне позначення)	
Замикаючий контакт кнопкового вимикача, що приводиться у дію натисканням кнопки	




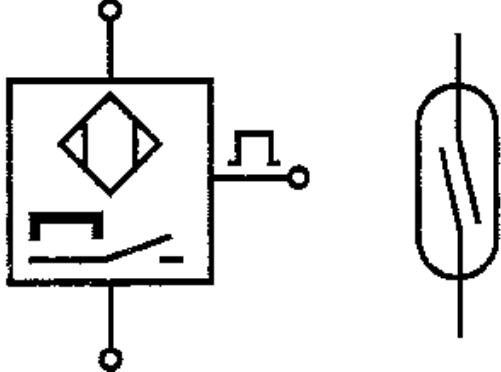
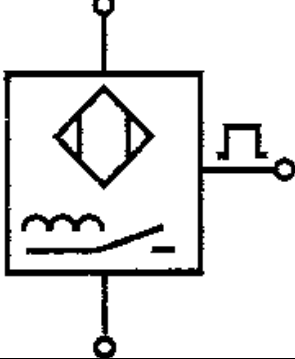
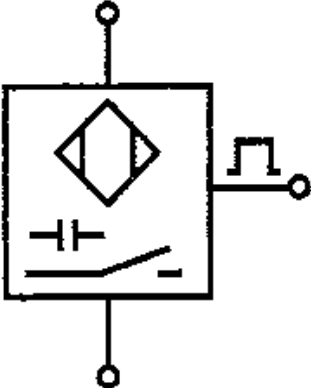
Продовження таблиці Г.3

1	2
<p>Замикаючий контакт кнопочого вимикача з механізмом фіксації положення</p>	
<p>Замикаючий контакт кнопочого вимикача, що приводиться у дію витягуванням кнопки</p>	
<p>Замикаючий контакт кнопочого вимикача, що приводиться у дію шляхом повертання</p>	
<p>Перемикаючий контакт колійного вимикача</p>	
<p>Перемикаючий контакт колійного вимикача з керуючим впливом від штовхача з важелем, що «ламається»</p>	
<p>Перемикаючий контакт колійного вимикача, що активується у початковому стані контрольованим об'єктом</p>	
<p>Перемикаючий контакт реле тиску</p>	

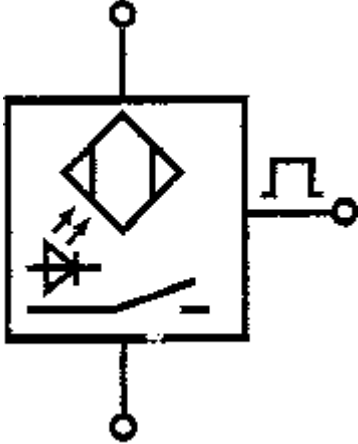
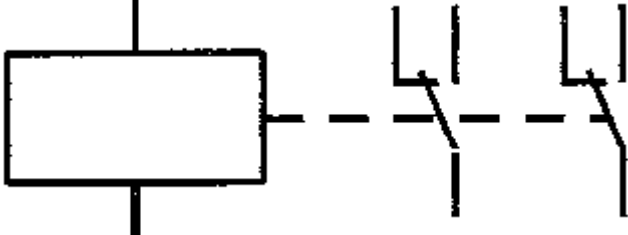
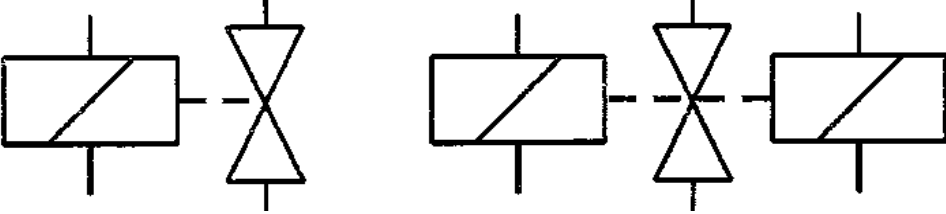

Продовження таблиці Г.3

1	2
Замикаючий і розмикаючий контакти реле часу з уповільненням при спрацьовуванні	
Замикаючий і розмикаючий контакти реле часу з уповільненням при поверненні	
Замикаючий і розмикаючий контакти реле часу з уповільненням при спрацьовуванні і поверненні	
Сприймаюча частина електромеханічних пристроїв	
Котушка	
Котушка з декількома обмотками	
Котушка з двома зустрічними обмотками	

Продовження таблиці Г.3

1	2
Котушка пристрою з уповільненням при спрацьовуванні (наприклад, реле часу)	
Котушка пристрою з уповільненням при відпусканні	
Котушка пристрою з уповільненням при спрацьовуванні і відпусканні	
Безконтактні мережеві вимикачі	
Геркон	
Індуктивний	
Ємнісний	

Продовження таблиці Г.3

1	2
Оптичний	
Реле	
Електро-пневматичний перетворювач (пневматичний розподільник з електромагнітним керуванням)	
Світловий індикатор	

Навчальне видання

**Прокопов Максим Геннадійович,
Ванєєв Сергій Михайлович,
Козін Віктор Миколайович,
Мерзляков Юрій Сергійович**

КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ПНЕВМОАГРЕГАТІВ

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки М. Г. Прокопова
Редактори: Н. З. Клочко, С. М. Симоненко
Комп'ютерне верстання М. Г. Прокопова, В. М. Козіна, Ю. С. Мерзлякова

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 8,6. Обл.-вид. арк. 13,29. Тираж 300 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.