

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
УКРАЇНИ**

**Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”**

П.М. АНДРЕНКО, І.П. ГРЕЧКА

ПНЕВМАТИЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ПРИСТРОЇ АВТОМАТИКИ

**Лабораторний практикум
з курсу «Мехатроніка в гідропневмоавтоматиці»
для студентів машинобудівних спеціальностей**

Харків 2012

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”

П.М. АНДРЕНКО, І.П. ГРЕЧКА

ПНЕВМАТИЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ПРИСТРОЇ АВТОМАТИКИ
Лабораторний практикум
з курсу «Мехатроніка в гідропневмоавтоматиці»
для студентів машинобудівних спеціальностей

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол №1 від
23.06.2011 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2012

УДК 62–525
ББК 32.965.2
А 65

Рецензенти:

О.П. Губарев, д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”; *І.В. Ніколенко*, д-р техн. наук, проф., Національна академія природоохоронного і курортного будівництва; *Д.О. Сьомін*, д-р техн. наук, проф., Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля.

А 65 Пневматичні елементи та пристрої автоматики : лабораторний практикум з курсу «Мехатроніка в гідропневмоавтоматиці» для студентів машинобудівних спеціальностей / П. М. Андренко, І. П. Гречка. – Х. : Видавничий центр НТУ “ХПІ”, 2012. – 72 с.

ISBN

Наведено загальні рекомендації щодо проведення лабораторних робіт з експериментального дослідження пневматичних елементів та пристроїв автоматики. Наведено схеми лабораторних установок з їх характеристиками і методики проведення та опрацювання експериментальних досліджень елементів та пристроїв пневмоавтоматики.

Для студентів, що навчаються за напрямком «Інженерна механіка»

Іл. 37. Табл. 19. Бібліогр. 9 назв.

УДК 62–525
ББК 32.965.2

ISBN

© П.М. Андренко, І.П. Гречка, 2012

ПЕРЕДМОВА

Пневмоавтоматика дозволяє успішно розв'язувати більшість практичних задач керування виробничими процесами. Вона застосовується в таких галузях промисловості, як хімія, металургія, харчова та газова промисловості, медицина тощо. Відмінними рисами пневматичних систем керування є пожежонебезпечність, висока надійність, простота експлуатації, можливість використання в несприятливих умовах оточуючого середовища тощо.

Проектування пневматичних систем керування базується на математичному описі робочих процесів, що відбуваються в їх елементах і каналах. Однак при складанні таких моделей виникають труднощі, пов'язані з точним визначенням окремих складових рівнянь математичних моделей та необхідністю перевірки їх адекватності, отримання реальних характеристик робочого процесу. Таким чином, дослід є невід'ємною частиною процесу проектування пневматичних елементів та пристроїв. Дослід набуває особливо важливого значення під час розв'язання задач, пов'язаних з такими рухами газів, які не підпорядковуються теоретичній схематизації, наприклад, з потоками в деяких місцевих опорах і каналах пневматичних пристроїв. Внаслідок складності процесів руху повітря в каналах таких пристроїв та машин, їх точний аналітичний розрахунок сучасними методами неможливий. Проектування пневматичних машин та пристроїв базується певною мірою на результатах дослідів. Таким чином, експериментальне дослідження пневматичних елементів та пристроїв автоматики є невід'ємною складовою загальної методики їх проектування.

ВСТУП

Дані лабораторні роботи знайомлять з методикою експериментального дослідження пневматичних елементів та пристроїв автоматики та дають можливість набути певного практичного досвіду їх проведення.

Лабораторні роботи студенти виконують, як правило, після вивчення теоретичного матеріалу з відповідної теми і опрацювання інструкції до роботи. Після цього готується протокол, в якому необхідно: записати мету роботи; у стислому вигляді подати теорію розглянутого питання; накреслити схему лабораторної установки зі специфікацією основних елементів; викласти методику проведення і опрацювання експериментальних даних; виконати всі розрахунки та заповнити таблицю вимірювань і розрахунків; зробити висновки стосовно виконаної роботи.

Перед виконанням лабораторної роботи викладач в усній формі проводить індивідуальне опитування студентів. Непідготовлені студенти, а також ті, що не пройшли інструктаж з техніки безпеки, до виконання роботи не допускаються.

Опрацювання результатів вимірювань необхідно виконувати відповідно до міжнародної системи одиниць з використанням індивідуальних засобів обчислювальної техніки. При цьому особливу увагу необхідно звернути на осмислення фізичного змісту отриманих результатів і оцінки похибок вимірювання.

Оформлений звіт лабораторної роботи здається викладачу. При підготовці до задачі звіту студенту необхідно самостійно відповісти на контрольні запитання, які подаються вкінці кожної роботи.

Техніка безпеки при роботі на пневматичному стенді

Пневматичний навчально-лабораторний стенд (ПНЛС) спроектований і виготовлений відповідно до вимог стандартів, що забезпечують безпеку обслуговування. Працюючи на ньому, необхідно дотримуватися таких правил.

1. Забороняється без дозволу викладача або лаборанта самостійно вмикати ПНЛС.

2. У процесі роботи неприпустимо стукати по повітропроводах, приладах, що показують, редуктору, системі очищення повітря.

3. Перед початком роботи необхідно перевірити стан місць рознімань, кришок, заглушок, повітропроводів; перевірити стан болтів, гайок й інших кріпильних деталей; справність манометрів, запірних арматур, за-

глушок і регулюючих пристроїв; перевірити, щоб відстань до компресора була не менше 10 м.

4. Ремонт і усунення неполадок у системі виконувати тільки при повному відключенні її від мережі стисненого повітря й звільненні від нього всіх циліндрів і повітропроводів.

5. При експлуатації ПНЛС забороняється:

– робота пневматичної системи з несправними вимірювальними апаратурами;

– розробка елементів системи, що перебуває під тиском;

– проведення зварювальних робіт на встановлених в системі повітропроводах й інших елементах;

– натяжка накидних гайок повітропроводів, що перебувають під тиском.

6. Повітрозбірники, у яких добуток величини, ємності на величину максимального робочого тиску більше 200 л кгс/см^2 (за умови надлишкового тиску більше $0,7 \text{ кгс/см}^2$), в обов'язковому порядку повинні бути оглянуті Держтехнаглядом. Повітрозбірник повинен бути оснащений необхідними арматурами й приладами; манометр перевірений і запломбований; на шкалі манометра закріплена червона стрілка або проведена червона риска через розподіл шкали, що відповідає максимальному робочому тиску.

Новий повітрозбірник може бути пущений в експлуатацію тільки з дозволу місцевої інспекції Держгортехнагляду.

7. Роботу негайно припинити: якщо тиск у посудині піднімається вище допустимого; при несправному запобіжному клапані; при виникненні пожежі, що безпосередньо загрожує посудині, що перебуває під тиском; при несправності манометра й неможливості визначити тиск іншим шляхом; якщо в основних елементах посудини виявлені тріщини, спучування, значне стоншення стінки, виточки в заклепувальних і болтових з'єднаннях, розрив прокладки, а також у випадках, передбачених інструкцією з безпечного обслуговування посудин.

Після вивчення правил техніки безпеки при роботі на ПНЛС студенти повинні розписатися в журналі інструктажу та після цього приступити до виконання лабораторних робіт.

Похибки вимірювань. Аналіз результатів вимірювань

Одна із головних задач виконання лабораторних робіт – визначення числових значень фізичних величин шляхом вимірювань. Вимірювання –

це порівняння певної фізичної величини з аналогічною їй величиною, яка приймається за одиницю вимірювання (наприклад, лінійний розмір тіла порівнюється з одиницею довжини – 1 м).

Розрізняють прямі і непрямі вимірювання. Виконуючи прямі вимірювання, значення фізичної величини визначають безпосередньо під час вимірювання (час, маса, тиск тощо). У той самий час велика кількість фізичних величин (середня швидкість рідини, втрати, в'язкість та ін.) не можуть визначатися безпосередніми вимірюваннями. Їх розраховують за певними рівняннями, в які входять й інші фізичні величини, що визначаються за допомогою прямих вимірювань. Наприклад, середня теоретична швидкість витікання рідини з отвору розраховується за рівнянням $v_{\text{сер}} = \sqrt{2gh}$, в якому напір h визначається прямими вимірюваннями, а середня швидкість $v_{\text{сер}}$ розраховується. Таке визначення фізичної величини належить до непрямих вимірювань.

У сучасній науці й техніці доволі часто прийняті певні фізичні величини, які називаються основними – метр (м), маса – кілограм (кг), час – секунда (с), сила електричного струму – ампер (А), термодинамічна температура – кельвін (К). Всі інші фізичні величини похідні від основних і визначаються за певними математичними залежностями.

Основні фізичні величини вимірюються з певною точністю (ступенем відповідності результатів вимірювання дійсному значенню вимірюваної величини). Ніяке вимірювання не може бути виконане абсолютно точно. Внаслідок цього результат вимірювання завжди включає в себе певну похибку. Похибки вимірювань діляться на три основні групи:

- системні, які виникають внаслідок недосконалості вимірювальної апаратури і методів вимірювання. Вони залишаються однаковими при багаторазовому повторенні одних і тих самих вимірювань і враховуються шляхом внесення певних поправок;

- випадкові, що виникають внаслідок дії причин, які неможливо врахувати раніше. Їх не можна враховувати внесенням поправок. Вплив їх оцінюється методами математичної статистики і теорії імовірності;

- грубі похибки, які викликані недостатньою увагою дослідника. Ці похибки необхідно виключати з розгляду під час опрацювання результатів вимірювань.

Похибки вимірювань визначаються як відхилення результатів вимірювань від дійсного значення величини. Різниця між дійсним значенням

вимірюваної величини x і результатів вимірювань x_B , отриманих за показами приладів, називаються абсолютною похибкою

$$\Delta x = x - x_B.$$

Відношення абсолютної похибки до виміряного значення розглядуваної величини називається відносною похибкою:

$$\delta_B = \Delta x / x_B \text{ чи } \delta_B = (\Delta x / x_B) 100.$$

Відносна похибка для уявлення про якість вимірювання: чим менша відносна похибка, тим точніше виміряна величина.

Точність вимірювальних приладів. Усі вимірювальні прилади мають певну похибку, яка належить до систематичних. На самому приладі чи в його паспорті наводиться найбільша абсолютна похибка $\Delta x_{\text{пр}}$ приладу, яка стала для всієї шкали приладу (в особливо точних приладах абсолютна похибка буває змінною за шкалою і враховується за допомогою спеціальної таблиці поправок).

На деяких приладах подається його клас точності:

$$\delta_{\text{пр}} = \Delta x_{\text{пр}} / x_{\text{max}},$$

де x_{max} – максимальне значення шкали приладу.

За класом точності приладу можна визначити його найбільшу абсолютну похибку:

$$\Delta x_{\text{пр}} = \delta_{\text{пр}} x_{\text{max}} / 100.$$

Якщо похибка приладу чи клас його точності невідомі, за найменшу абсолютну похибку $\Delta x_{\text{пр}}$ приладу буде набувати найменше значення поділки його шкали.

Похибки прямих вимірювань (одноразові). При прямих одноразових вимірюваннях похибка визначається систематичною похибкою $\Delta x_{\text{пр}}$ приладу. Результат вимірювань отримують з точністю:

$$x = x_B \pm \Delta x_{\text{пр}}.$$

Найбільш повне уявлення про точність вимірювань дає відносна похибка вимірювання:

$$\delta_B = \frac{\Delta x_{\text{пр}}}{x_B} 100 = \delta_{\text{пр}} \frac{x_{\text{max}}}{x_B}. \quad (1)$$

Оскільки абсолютна похибка стала для всієї шкали приладу, то відносна похибка δ_B вимірювання, як видно з формули (1), змінна і збільшується зі зменшенням значення x_B вимірюваної величини.

Похибки прямих вимірювань (багаторазові). Багаторазові вимірювання виконують у тих випадках, коли їх точність визначається випадковою похибкою. За результатами багаторазових вимірювань розраховують середнє арифметичне значення \bar{x} вимірюваної величини, яке і є її найбільш імовірним значенням:

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_m}{m} = \sum_1^m \frac{x_i}{m},$$

де x_1, x_2, \dots, x_m – результати окремих вимірювань; m – кількість вимірювань.

Принциповою особливістю випадкової похибки є те, що вона оцінюється двома показниками: величиною похибки, яку називають довірчим інтервалом чи довірчою імовірністю β , що вказує на те, з якою імовірністю результат вимірювань не виходить за межі похибки. (Приклад запису результату вимірювання випадкової величини: $x = 1,9 \pm 0,01$ з довірчою імовірністю 0,9).

Розрізняють два види випадкових похибок: середню квадратичну похибку (стандарт вимірювань S_m) і похибку середнього арифметичного ($S_{\bar{x}}$).

Середня квадратична похибка чи стандарт характеризує точність застосовуваного методу вимірювань. Вона показує, на яку найбільшу величину може відхилитись результат разового вимірювання із m вимірювань від середнього арифметичного значення вимірюваної величини:

$$s_m = \pm \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_1)^2 + (\bar{x} - x_2)^2 + \dots + (\bar{x} - x_m)^2}{m - 1}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^m (\bar{x} - x_i)^2}{m - 1}}.$$

Відносне значення вимірюваної величини (коефіцієнт варіації середньої квадратичної похибки):

$$v_x = \frac{S_m}{\bar{x}} 100 \%.$$

Коли $m \rightarrow \infty$, середній квадратичній похибці s_m відповідає довірна імовірність 0,68; подвоєній середній квадратичній похибці $2s_m$ – довірна ймовірність 0,95; потрійній $3s_m$ – 0,997. Похибка середнього арифметичного вказує на те, з якою точністю отримано середнє арифметичне значення \bar{x} вимірюваної величини, і розраховується за формулами:

абсолютна

$$s_{\bar{x}} = \frac{S_m}{\sqrt{m}} j_{st},$$

відносна (коефіцієнт варіації похибки середнього арифметичного)

$$v_{\bar{x}} = \pm \frac{S_m}{\bar{x}\sqrt{m}} j_{st} \cdot 100\%,$$

де j_{st} – коефіцієнт Стюдента, який враховує вплив кількості вимірювань на точність отриманого результату. Він залежить від прийнятої довірчої імовірності β і кількості вимірювань m і визначається за табл. А.1.

З наведених вище рівнянь видно, що похибка середнього арифметичного зменшується зі збільшенням кількості вимірювань m . Виконуючи вимірювання, приймають довірчу ймовірність $\beta = 0,9$. Якщо в цьому випадку похибка середнього арифметичного $s_{\bar{x}}$ перевищує бажані межі, дослід необхідно повторити, збільшити кількість вимірювань. Якщо це не приведе до бажаного результату, необхідно змінити методику вимірювань.

Непрямі одноразові вимірювання. Похибка непрямих одноразових вимірювань розраховується як функція похибок прямих вимірювань, на підставі яких обчислюється вимірювана величина. Ці розрахунки виконуються за правилами, розробленими в теорії оцінок точності вимірювань. Так відносна похибка добутку і частки від ділення дорівнює сумі відносних похибок співмножників чи відповідно діленого і дільника.

Абсолютна похибка непрямих одноразових вимірювань становить:

$$\Delta x_i = \frac{\delta_i x_{B,i}}{100},$$

де δ_i – відносна похибка непрямих вимірювань відповідної величини, %;
 $x_{B,i}$ – виміряне значення величини.

Непрямі багаторазові вимірювання. При непрямих багаторазових вимірах відносна похибка суми (різниці), добутку і частки від ділення дорівнює кореню квадратному із суми квадратів відносних похибок відповідних незалежно виміряних величин:

$$v_i = \pm \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}.$$

Відносна похибка середнього арифметичного v_i обчислюється за цією самою формулою, тільки під знак радикала входять відповідні квадрати середніх арифметичних виміряних величин.

Абсолютні величини середнього квадратичного відхилення і похибки середнього арифметичного непрямих багаторазових вимірювань розраховуються за формулами:

$$s_m = \pm \frac{v_x \bar{x}}{100}, \quad s_{\bar{x}} = \pm \frac{v_{\bar{x}} \bar{x}}{100}.$$

Приведення об'єму та витрати повітря до нормальних умов

При вимірюванні кількості повітря зазвичай використовують об'ємні одиниці: літри або метри кубічні. Ураховуючи, що об'єм, який займає одна і та ж кількість повітря, може бути різним залежно від температури і тиску, його треба визначати при єдиних, інакше кажучи, нормальних умовах. У пневматиці нормальні умови позначаються скороченням “АНР” (Atmosphere Normale de Reference), які зводяться до такого:

- тиск 760 мм рт. ст. (101325 Па);
- температура 20 °С (293,15 К);
- відносна вологість 65 %.

Якщо об'єм розрахований за нормальних умов, до позначення його розмірності додається – “норм.”: норм.л, норм.м³. Іноді використовують таке позначення: л (АНР), м³ (АНР). Зауважимо, що маса повітря, яка міститься в одному нормальному кубічному метрі, становить 1,205 кг. Для довідки в додатку табл. А.2 наведено фізичні властивості повітря.

Якщо відомо, що дана кількість повітря займає об'єм V при тиску p і температурі T , то об'єм $V_{\text{норм}}$, який займає та ж кількість повітря за нормальних умов, розраховується за формулою:

$$V_{\text{норм}} = 2,89 \cdot 10^{-3} V \frac{p}{T},$$

де V , p і T – відповідно об'єм, тиск і температура повітря при робочих умовах.

Для приведення об'ємної витрати стиснутого повітря до нормальних умов використовують залежність

$$q_{\text{норм}} = q \frac{p T_{\text{норм}}}{p_{\text{норм}} T},$$

де $q_{\text{норм}}$, $p_{\text{норм}}$ і $T_{\text{норм}}$ – відповідно об'ємна витрата, тиск і температура повітря при робочих умовах; q , p і T – теж при робочих умовах.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ПНЕВМАТИЧНІ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ

Мета роботи. Ознайомитися з принципом роботи пневматичних систем живлення. Вивчити будову і принцип роботи пневматичного навчально-лабораторного стенда та конструкцію і принцип роботи блоку підготовки повітря. Навчитися готувати стенд до роботи та користуватися вимірними приладами.

1.1. Пневматичні системи живлення

Система підготовки повітря для живлення пневматичних систем показана на рис. 1.1.

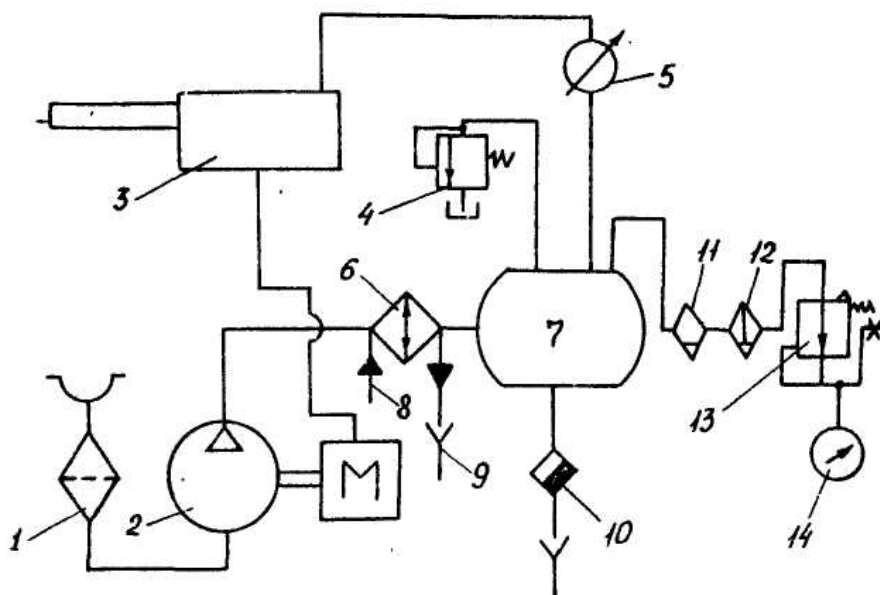


Рис. 1.1. Схема системи підготовки повітря: 1 – фільтр; 2 – поршневий компресор; 3 – електрична система автоматики; 4 – запобіжний клапан; 5 – контактний манометр; 6 – холодильник; 7 – ресивер; 8 і 9 – лінії; 10 – вентиль; 11 – масловідділювач; 12 – дегідратор; 13 – регулятор; 14 – манометр

Очищене від пилу фільтром 1 повітря надходить на вхід поршневого компресора 2, де відбувається його стиснення. Стиснене повітря проходить через водяний холодильник 6, де залишає 70–80 % вологи й попадає в ресивер 7. Вода в холодильник надходить із лінії 8 і відводиться по лінії 9. Установка в системі ресивера 7 дозволяє акумулювати запаси стисненого повітря та згладжувати пульсації. За наявності ресивера відпадає необхід-

ність у безперервній роботі компресора. Відключення компресора при досягненні верхнього встановленого тиску й вмикання його в роботу при зменшенні тиску до нижньої встановленої межі здійснюється за допомогою електричної системи автоматики 3, що включається дистанційно. Дискретним датчиком тиску служить контактний манометр 5.

На ресивері 7 установлений запобіжний клапан 4. Більша частина масла, що втримується в повітрі, конденсується в холодильнику 6 й у ресивері 7, менша частина залишається в масловіддільнику. Для виділення вологи з повітря служить дегідратор 12. Тиск у магістралі, що живить стенд, підтримується постійним за допомогою регулятора 13 і контролюється манометром 14. Вентиль 10 служить для зливу води, що конденсується в ресивері.

Для живлення пристроїв, побудованих на елементах струминної техніки зазвичай використовують ежектор (рис. 1.2). Діаметр сопла живлення повинен бути менше діаметра приймального сопла. Повітря з лінії високого тиску проходить через масловіддільник 1, фільтр 2 і направляється до редуктора тиску 3, що призначений для настроювання й підтримки постійного тиску перед соплом живлення 4. Виходячи із сопла 4 і потрапляючи до сопла 6, струмінь створює розрідження всередині корпусу 5.

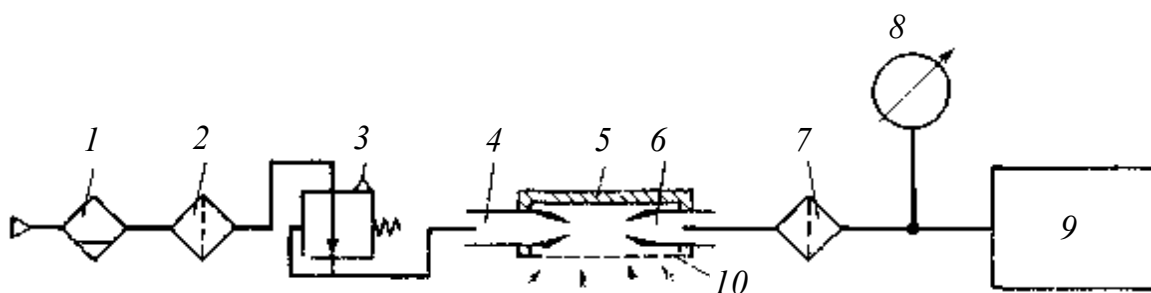


Рис. 1.2. Схема системи живлення струминного пристрою від мережі високого тиску: 1 – масловіддільник; 2, 7 – фільтри; 3 – редукційний клапан; 4 – сопло живлення; 5 – корпус; 6 – сопло; 8 – манометр; 9 – струменний пристрій; 10 – фільтр

Таким чином, застосовувати ежектор у цьому випадку вигідно, тому що при розширенні повітря високого тиску до нього додається атмосферне повітря, яке пройшло через фільтр 10 й загальна витрата

повітря значно зростає. Після ежектора перед подачею в струминний пристрій 9 повітря піддають вторинному очищенню від пилу за допомогою фільтра 7 із тканини І. В. Петракова, яка є шаром ультратонких волокон, що виготовляються із різних полімерів, витримує нагрівання до температури 60 °С, нечутлива до агресивних середовищ, затримує частинки пилу з розмірами не менше 10 мкм. Манометр низького тиску 8 служить для контролю тиску, що надходить до струминного пристрою, а також для настроювання редуктора 3. Застосування фільтра із тканини І. В. Петракова при живленні струминних пристроїв з каналами, лінійні розміри яких менше 0,5 мм, є обов'язковим.

1.2. Блок підготовки повітря

Блоки підготовки повітря П-ФРК-10..., П-ФРК-16... з умовними проходами 10 і 16 мм, що містять фільтр-вологівіддільник і редукційний клапан, призначені для очищення стисненого повітря від краплинної вологи й твердих часток, видалення конденсату та автоматичної підтримки величини тиску на заданому рівні в пневматичних приводах і системах промислового устаткування. Вони розраховані для роботи на стисненому повітрі тиском від 0,1 МПа до 1,0 МПа, очищеному не грубіше 12 класу за ДСТ 17433. Кліматичне виконання УХЛ і ПРО, категорія розміщення 4 за ДСТ 15150.

Блоки підготовки встановлюються в місцях, зручних для огляду, обслуговування й контролю параметрів у вертикальному положенні (відхилення від вертикалі не більше 5°), безпосередньо на трубопроводі або з використанням кріпильних отворів. При монтажі блоків підготовки стрілка на їх корпусі повинна збігатися з напрямком руху повітряного потоку. Характеристики блоків підготовки повітря наведені в додатку Б.

Принцип роботи блоку підготовки повітря (рис 1.3). Стиснене повітря, підведене до отвору «П» у корпусі, попадає в крильчатку 5 і одержує спадний обертотворний рух. Краплі води й масла, а також великі тверді частки, що перебувають у стисненому повітрі, під дією відцентрових сил відкидаються на стінки й опускаються вниз у спокійну зону, відділену заслінкою 8. Очищене від рідкої вологи повітря проходить через металокерамічний фільтруючий елемент 6, очищається від твердих забруднень і надходить у зону «В». Видалення води та інших забруднень із фільтра-

вологовіддільника відбувається при відкриванні напівавтоматичного конденсатовідвідника 4 за відсутності тиску в резервуарі 2. Під час роботи, коли резервуар перебуває під тиском, пружний елемент деформується й перекриває дренажний отвір.

У блоці підготовки повітря додатково встановлений дефлектор 7, що перешкоджає потраплянню на поверхню фільтруючого елемента забруднень, вилучених з потоку повітря під дією відцентрових сил.

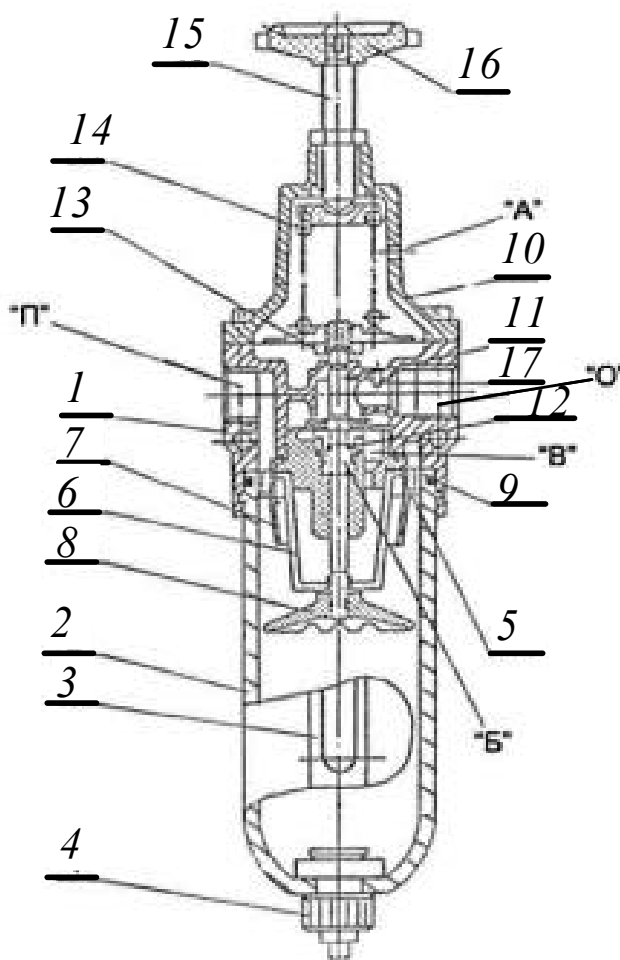


Рис. 1.3. Блок підготовки повітря: 1 – корпус; 2 – резервуар для конденсату; 3 – прозоре вічко; 4 – конденсатовідвідник; 5 – крильчатка; 6 – елемент; 7 – дефлектор; 8 – заслінка; 9 – гумове кільце; 10 – склянка; 11 – дросельний клапан; 12 – пружина; 13 – мембранний вузол; 14 – навантажувальна пружина; 15 – навантажувальний гвинт; 16 – ручка; 17 – трубка, яка з'єднує підмембранну камеру та вихідний отвір «О»

Принцип дії пневмоклапана редукційного в блоці підготовки повітря заснований на зміні прохідного перетину дросельного клапана при зміні тиску й витрати на вході (отвір «П») і служить для підтримки постійного тиску на виході (отвір «О»). При зниженні вихідного тиску, в порівнянні з тиском настроювання, мембрана під дією навантажувальної пружини прогинається й віджимає дросельний клапан, збільшуючи прохід для повітря й тим самим витрата його і тиск, а при підвищенні вихідного тиску дросельний клапан прикривається.

Дросельний клапан виконаний розвантаженим від дії тиску на вході. Підклапанна камера «Б» ізольована від вхідного отвору та з'єднана через просверлені канали в дросельному клапані з вихідною камерою. Збалансований дросельний клапан забезпечує більшу точність підтримки тиску на виході. При підвищенні тиску на виході вище тиску настроювання, мембранний вузол переміщується нагору і дросельний клапан закривається. У результаті стиснене повітря (надлишковий тиск) через просверлені канали в клапані скидання й через отвір «А» у склянці пневмоклапана скидається в атмосферу, тиск на виході блоку підготовки повітря знижується до величини, обумовленої настроюванням навантажувальної пружини.

Блоки підготовки повітря забезпечують скидання конденсату при знятті тиску й закриваються при підвищенні тиску в його резервуарі вище мінімального. За допомогою пневмоклапана редукційного забезпечується плавна зміна тиску на виході в межах усього діапазону настроювання.

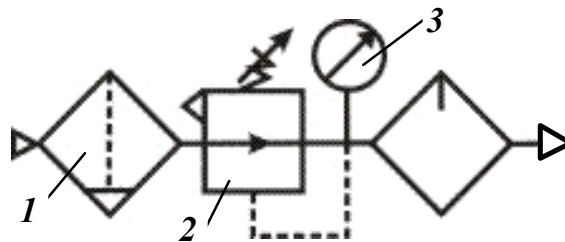


Рис. 1.4. Пневматична схема блока підготовки повітря: 1 – фільтр волого віддільника; 2 – редукційний клапан; 3 – манометр

Маслорозпилювачі встановлюються безпосередньо перед виконавчим пристроєм (рис. 1.4).

1.3. Пневматичний навчально-лабораторний стенд

Стенд (рис. 1.5) призначений для дослідження промислових елементів і пристроїв пневмоавтоматики. Він складається із приладової панелі 1,

панелей 2, що знімаються, стола 3, касет для зберігання знімних панелей 4. Приладова панель, принципова схема якої показана на рис. 1.6, призначена для спостереження та вимірювання параметрів досліджуваних елементів, модулів і субблоків. Вона складається з: лицьової панелі; осередку кнопок живлення; осередку вимірювання часу, тиску й витрати субблочних ємностей.

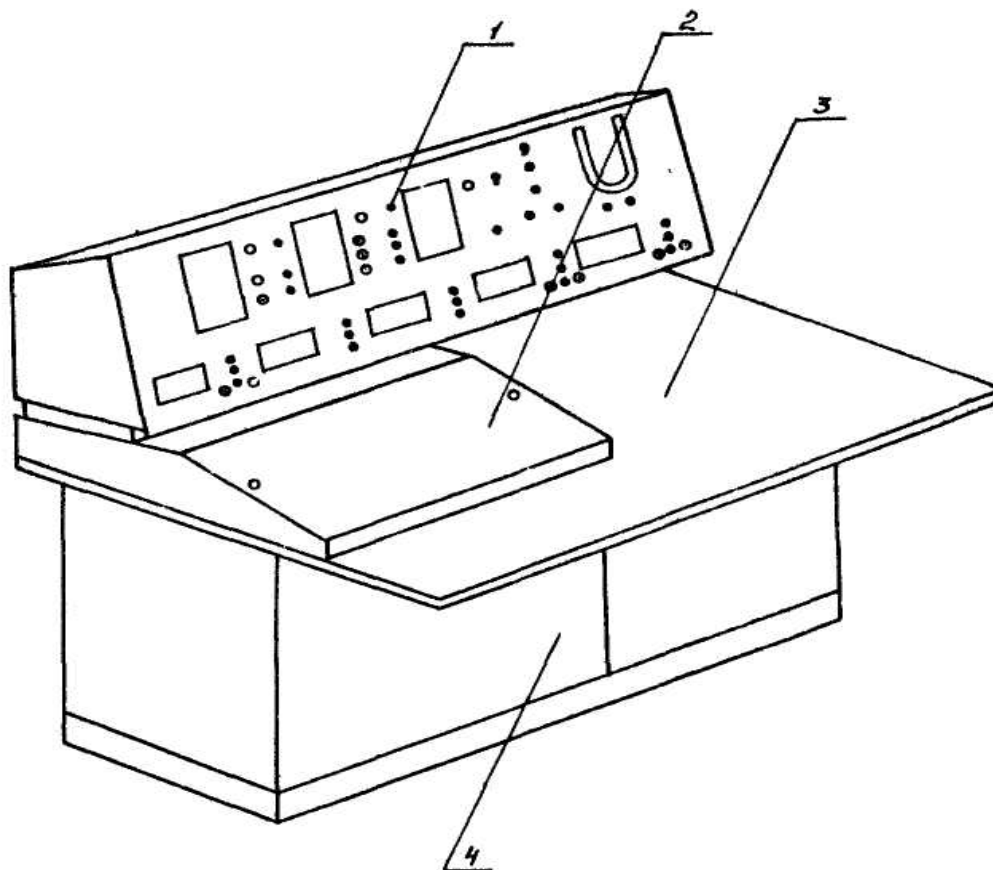


Рис. 1.5. Зовнішній вигляд навчально-лабораторного стенда: 1 – приладова панель; 2 – змінна панель; 3 – стіл; 4 – касети для зберігання знімних панелей

На лицьовій панелі навчально-лабораторного стенда (рис. 1.6) розташовані три пневматичних прилади 1, що показують; п'ять контрольних манометрів 6; три потужних датчики тиску 2; диференціальний водяний манометр 4; кнопки й штуцера подачі живлення 5; кнопки вибору режиму вимірювання й вхідні штуцери пристроїв 3 і змінний дросель 7.

Перший прилад, що показує, призначений для вимірювання витрати q (вхід M_1 – штуцер q) або тиску (вхід M_1 – штуцер p). Потрібний режим задається кнопками q або p . Другий прилад, що показує, призначений для вимірювання часу t (вхід M_2 – штуцер t) або тиску p (вхід M_2 – штуцер p).

Режим задається кнопками t і p . При вимірюванні часу t вручну використовують кнопки ВМИК. і ВИМИК. Третій прилад, що показує, призначений для вимірювання тиску (вхід M_3 – штуцер M). Виходи датчиків П23д.4 виведені на штуцери Зд.1, Зд.2, Зд.3. Тиск живлення ($0,14 \pm 0,014$ МПа) виведено на п'ять штуцерів лицьової панелі, вмикається й вимикається кнопками подачі живлення ВМИК. і ВИМИК.

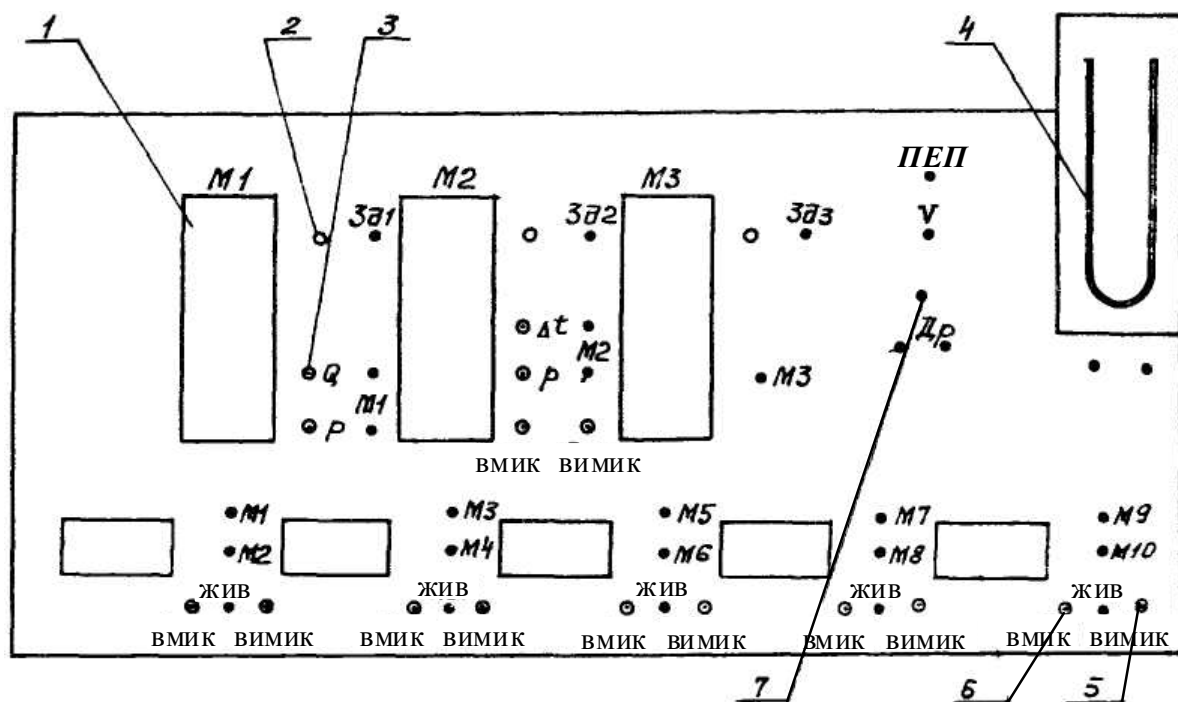


Рис. 1.6. Зовнішній вигляд лицьової панелі навчально-лабораторного стенда: 1 – пневматичні прилади; 2 – датчики тиску; 3 – штуцер ротаметра; 4 – диференціальний водяний манометр; 5, 6 – відповідно кнопки вмикання та вимикання тиску; 7 – дросель

При дослідженнях елементів і пристроїв пневмоавтоматики вони розташовуються на столі, при використанні знімних панелей їх кріплять на похилій панелі приладової голівки. Студенти самостійно, за допомогою пневмотрубок, з'єднують елементи, розташовані на знімній панелі стенда.

1.4. Методика підготовки пневматичного навчально-лабораторного стенда до роботи

1.4.1. Вивчити роботу системи підготовки повітря і навчально-лабораторного стенда.

1.4.2. Провести зовнішній огляд системи підготовки повітря, навчально-лабораторного стенда та блоку підготовки повітря.

1.4.3. Вивчити розташування контрольно-регулюючих пристроїв в системі підготовки повітря і навчально-лабораторного стенда. Точно знати функціональне призначення кожної кнопки та перемикача. Ознайомитися з ціною поділки кожного вимірювального пристрою.

1.4.4. Звітувати викладачу про призначення контрольно-регулюючих пристроїв та кнопок системи підготовки повітря і навчально-лабораторного стенда.

1.4.5. З дозволу викладача рубильником увімкнути живлення системи підготовки повітря та редуційним клапаном провести налаштування тиску в пневматичній системі до заданого рівня.

УВАГА! Рівень тиску в пневматичній системі не повинен перевищувати червоної позначки на манометрі.

1.4.6. Редуційним клапаном встановити заданий рівень тиску в навчально-лабораторному стенді.

1.4.7. Провести вимірювання величини тиску живлення, для чого пневмотрубною сполучити штуцер живлення на стенді 5 з одним із манометрів на його лицьовій панелі та натиснути кнопку 5.

1.4.8. Редуційним клапаном вимкнути живлення навчально-лабораторного стенда. Рубильником вимкнути живлення системи підготовки повітря.

Контрольні запитання

1. Які пристрої входять до пневматичної системи живлення?
2. Як працює пневматична система живлення?
3. Яке призначення ресивера в пневматичній системі живлення?
4. Особливості функціонування системи живлення струминних елементів.
5. Яке призначення блоку підготовки повітря і з яких частин він складається?
6. З яких частин складається пневматичний навчально-лабораторний стенд?
7. Назвіть призначення контрольно-регулюючих пристроїв та кнопок навчально-лабораторного стенда.
8. Яким чином включити пневматичну систему живлення і налаштувати в ній тиск?
9. Який максимальний рівень тиску може бути встановлений в пневматичній системі живлення та яким чином він визначається?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛЬОВАНОГО ДРОСЕЛЯ ТИПУ “КОНУС-КОНУС”

Мета роботи. Ознайомитися з будовою та принципом роботи регульованого дроселя типу “конус-конус”. Експериментально визначити витратну характеристику пневматичного регульованого дроселя типу “конус-конус”. Ознайомитися з будовою та принципом роботи пневматичного лінійного пульсуючого опору.

2.1. Регульований пневматичний дросель типу “конус-конус”

Пневматичні дроселі є одним із основних елементів пневматичних пристроїв і служать для створення опору течії газу й перепаду тисків. Пневматичні опори – пасивні елементи, тому що до них не підводиться тиск живлення. Їх класифікують за такими ознаками: конструкцією та призначенням; характером течії газу й видом видаткової характеристики.

За призначенням дроселі поділяють на постійні, регульовані й керовані (змінні). У постійних дроселях пневматичний опір не змінюється в процесі роботи пневматичного пристрою. Опір регульованих дроселів може бути установлений кожним (у певних межах) у процесі настроювання вручну. Опір змінних дроселів змінюється в процесі роботи пневматичного пристрою автоматично. Опір, а отже, і перепад тисків дроселів змінюються зазвичай за рахунок зміни прохідного перетину або за рахунок зміни довжини каналу дроселя.

Найбільш важливою характеристикою пневматичного опору є його видаткова характеристика $q = f(\Delta p)$ (рис. 2.1), що становить собою залежність витрати газу через дросель від перепаду тисків на ньому. За виглядом видаткової характеристики дроселі поділяють на лінійні та нелінійні. У лінійних залежність масової витрати від перепаду тисків на дроселі лінійна $q = G_{\text{л}} \Delta p$, де $G_{\text{л}}$ – провідність лінійного дроселя.

У нелінійних дроселях витрата газу нелінійно залежить від перепаду тиску на дроселі $q = G_{\text{нл}} \sqrt{\Delta p}$, де $G_{\text{нл}}$ – провідність нелінійного дроселя.

Регульований опір “конус-конус” (рис. 2.2), як і постійний опір, виконаний у вигляді капіляра, входить у систему УСЕППА. Перепад тиску на дроселі відбувається внаслідок опору потоку вузької щілини, утвореної між втулкою та рухливою голкою, а також втратами в результаті стиску

поток на вході в канал дроселя й розширення при виході із дроселя.

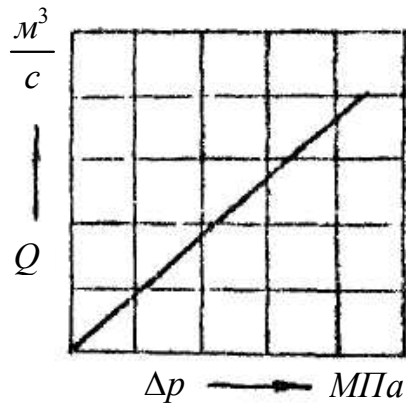


Рис. 2.1. Видаткова характеристика лінійного дроселя

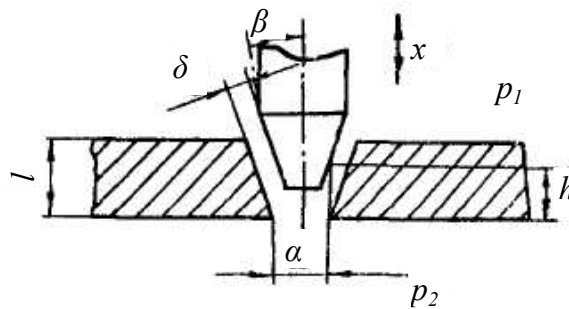


Рис. 2.2. Регульований пневматичний опір типу “конус-конус”

2.2. Методика експериментального визначення видаткової характеристики регульованого дроселя типу “конус-конус”, обробка результатів експерименту.

2.2.1. Зібрати експериментальну установку (рис. 2.3). Відзначимо, що необхідно використати знімну панель № 8.

2.2.2. Підключити експериментальну установку до магістралі стисненого повітря.

2.2.3. Регулятором тиску 4 установити тиск живлення, що дорівнює 0,14 МПа.

2.2.4. Послідовно змінюючи поворотом лімба дроселя 1 зазор дроселюючої щілини, зняти показання зразкового манометра 3 і ротаметра 5. Результати вимірювань занести до протоколу випробувань (табл. 2.1).

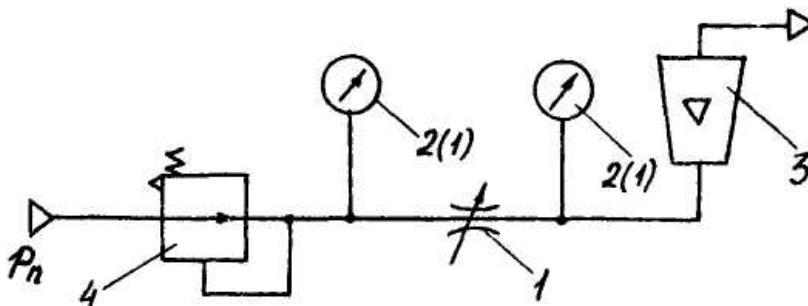


Рис. 2.3. Пневматична схема експериментальної установки для дослідження регульованого дроселя типу “конус-конус”: 1 – досліджуваний дросель; 2(1), 2(2) – зразкові манометри; 3 – ротаметр; 4 – регулятор тиску

2.2.5. Безрозмірну величину витрати (показання ротаметра) за допомогою тарувального графіка (додаток В) перевести в розмірну величину витрати, в об'ємних одиницях, м³/с, і занести до табл. 2.1.

2.2.6. Для кожного значення об'ємної витрати q знайти відповідну йому величину масової витрати \dot{m} за формулою

$$q = \rho \dot{m},$$

де ρ – густина повітря.

2.2.7. Побудувати видаткову характеристику дроселя $q = f(\Delta p)$.

2.2.8. Проаналізувати результати експериментальних досліджень дроселя “конус-конус” і зробити висновок про вид видаткової характеристики.

Таблиця 2.1 – Протокол випробувань дроселя типу “конус-конус”

p_2		Показання шкали ротаметра	$q, \text{ м}^3/\text{с}$	$\dot{m}, \text{ кг/с}$
Поділки шкали	МПа			

2.3. Пневматичний лінійний пульсуючий опір

Для побудови пневматичних обчислювальних приладів і пристроїв, що працюють у нормальному та високому діапазоні тисків, використовують пневматичний лінійний пульсуючий опір, який є лінійним керованим перетворювачем тиску в переривчасту (пульсуючу) витрату [1].

Перевагою пневматичних лінійних пульсуючих опорів і пристроїв, побудованих з їх використанням, є лінійність характеристики незалежно від рівня абсолютних тисків на входах та знака перепаду тисків, а також висока точність, незалежність параметрів пристроїв від складу газу і температури навколишнього середовища; зменшення витрати газу в операціях, виконуваних дискретно в часі, оскільки витрата має місце тільки в ті моменти, коли виконується обчислення; простота налаштування й обслуговування.

Пульсуючий пневматичний опір (рис. 2.4) складається з камери V та двох пневматичних контактів – клапанів 2 і 4, які здійснюють почергове підключення камери V до вхідної та вихідної ліній з абсолютними тисками відповідно p_{m1} і p_{m2} . Таким чином, у будь-який момент часу хоча б один з контактів розімкнений і немає наскрізного потоку газу між вхідною та вихідною лініями.

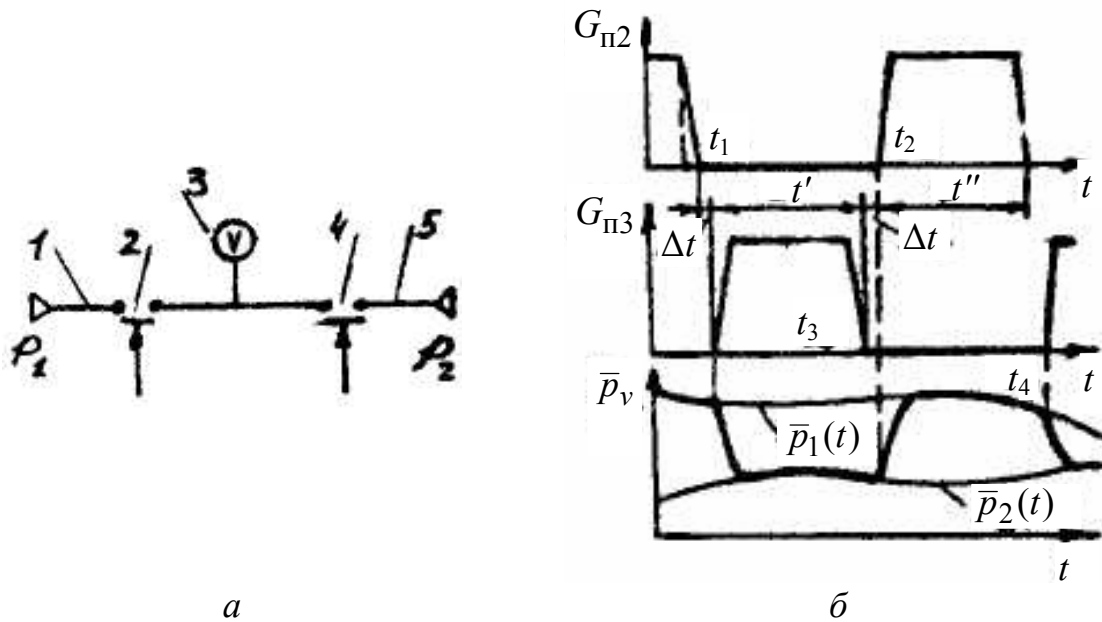


Рис. 2.4. Пульсуючий пневматичний опір: *a* – принципова схема; *б* – циклограма роботи; $G_{п2}$ та $G_{п3}$ – провідності контактів 2 та 4; p_v – тиск у камері 3

Послідовність операцій, виконуваних у пульсуючому опорі, ілюструє циклограма (рис. 2.4, б). Кожного півтакту, в моменти t_1 і t_3 , контакти 2 й 4 розмикаються, а в моменти t_2 і t_4 – замикаються. Щоб усунути наскрізне протікання через опір, введено інтервал часу $\Delta t \geq 0$, протягом якого обидва контакти розімкнені. Тривалість замикання контактів визначає час, необхідний для встановлення в камері V_k тиску приєднаної лінії. При цьому тиск p_v по черзі набирає значень $p_{м1}$ та $p_{м2}$. Зазвичай в таких опорах контакт 2 – нормально замкнений, контакт 4 – нормально розімкнений, а керуючий сигнал p_t – спільний для обох контактів і є дискретним сигналом з двома рівнями – “0” і “1”, який подається з генератора прямокутних імпульсів.

Припустимо, що контакт 2 замкнений, а контакт 4 розімкнений. Тоді маса газу в камері

$$m_1 = \rho_1 V_k = \frac{p_{м1} V_k}{RT_a},$$

де ρ – густина; V_k – об’єм камери; R – газова стала; T_a – абсолютна температура, К.

Коли контакт 2 розімкнений, а контакт 4 замкнений, кількість газу в камері

$$m_2 = \rho_2 V_K = \frac{p_{M2} V_K}{RT_a}.$$

Таким чином, внаслідок одного замикання кожного з контактів у вихідну лінію із вхідної перетече маса газу

$$\Delta m = m_1 - m_2 = \frac{V_K}{RT_a} (p_{M1} - p_{M2}).$$

Якщо кожен з контактів замкнеться n_p разів, то у вихідну лінію із вхідної надійде маса газу

$$m = n_p \Delta m = \frac{V_K n_p}{RT_a}. \quad (2.1)$$

Диференціюємо рівняння (2.1) за часом, припускаючи, що p_{M1} і p_{M2} в кожному імпульсі залишаються постійними:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m} = \frac{V_K}{RT_a} \frac{dn_p}{dt} (p_{M1} - p_{M2}) = \frac{V_K f}{RT_a} (p_{M1} - p_{M2}),$$

де \dot{m} – масова витрата газу; $\frac{dn_p}{dt}$ – частота замикання контактів 2 і 4 (рис. 2.4).

Якщо частота постійна, то

$$\dot{m} = G_{\Pi} (p_{M1} - p_{M2}), \quad (2.2)$$

де $G_{\Pi} = \frac{V_K f}{RT_a}$ – провідність пульсуючого опору (постійна величина).

З (2.2) видно, що розглядуваний пристрій є лінійним пневматичним опором, який формує переривчасту витрату й працює в “часі” дискретного параметра n_p – кількості імпульсів. У таких системах завжди наявна інформація про час у вигляді кількості імпульсів

$$n_p = \int_{t_1}^{t_2} f dt.$$

Достатньо припинити подавання імпульсів, щоб зупинити “час” (запам’ятати).

Провідність опору G_{Π} в реальному часі прямопропорційна частоті f сигналу керування контактами та об’ємові камери V_K . Це дає змогу зміню-

вати провідність, змінюючи частоту f і об'єм V_k , тобто керувати пульсуючим опором.

Запитання для самоконтролю

1. Перелічіть переваги й недоліки пневматичного опору типу “конус-конус”.
2. Як працює пневматичний дросель типу “конус-конус”?
3. Яку характеристику дроселя називають витратною?
4. Яким приладом вимірюють витрату при дослідженні пневматичного дроселя типу “конус-конус”?
5. За якою формулою знаходять масову витрату повітря?
6. Перелічіть переваги й недоліки пневматичного лінійного пульсуючого опору.
7. Накресліть принципову схему й поясніть принцип роботи пневматичного лінійного пульсуючого опору.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНОПНЕВМАТИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА СОПЛО-ЗАСЛІНКА

Мета роботи. Ознайомитися з принципом роботи та математичною моделлю робочого процесу механопневматичного перетворювача сопло-заслінка. Експериментально визначити статичну характеристику механопневматичного перетворювача сопло-заслінка. Провести порівняння статичних характеристик механопневматичного перетворювача сопло-заслінка, отриманих експериментальним шляхом та за математичною моделлю його робочого процесу.

3.1. Будова і принцип дії механопневматичного перетворювача

Механопневматичний перетворювач типу сопло-заслінка служить для перетворення механічних переміщень у пневматичний сигнал. Він складається (рис. 3.1) з постійного опору 1, що становить собою дросельну шайбу або капіляр, і керуючого опору 2, виконаного у вигляді сопла і заслінки. Між постійним і керованим пневмоопорами вмикається пневмоємність 3.

Працює механопневматичний перетворювач сопло-заслінка таким чином. До постійного пневмоопору 1 підводиться стиснене повітря живлення з тиском p_0 . При зміні відстані h між соплом і заслінкою змінюється тиск p_1 у міждросельній камері, він є вихідною величиною перетворювача. Переміщення заслінки викликає також і зміну опору регульованого дроселя, а отже, і витрати стисненого повітря через перетворювач. При зазорі $h = 0$ тиск у міждросельній камері буде дорівнювати тиску живлення $p_1 = p_0$, а при $h = \infty (h \gg d_c / 4)$ $p_1 = p_{ат}$, де d_c – діаметр сопла.

Статичними характеристиками механопневматичного перетворювача сопло-заслінка є (рис. 3.2): залежність тиску p_1 у міждросельній камері від переміщення заслінки $h - p_1 = f(h)$; залежність витрати стисненого повітря q у вихідній лінії перетворювача від зазору $h - \dot{m} = f(h)$.

Як видно зі статичної характеристики механопневматичного пере-

творювача сопло-заслінка, зображеної на рис. 3.3, а, на початковій ділянці 1–2 і кінцевій ділянці 3–4 характеристика істотно нелінійна. За робочу ділянку вибирають відносно лінійну ділянку 2–3. Для підвищення чутливості (коефіцієнта підсилення) і точності необхідно збільшити крутість і лінійність робочої ділянки, а також змістити його по можливості вправо від початку осей координат для усунення впливу знакозмінної гідродинамічної сили в площині торця сопла й конструктивних перекосів елемента сопло-заслінка.

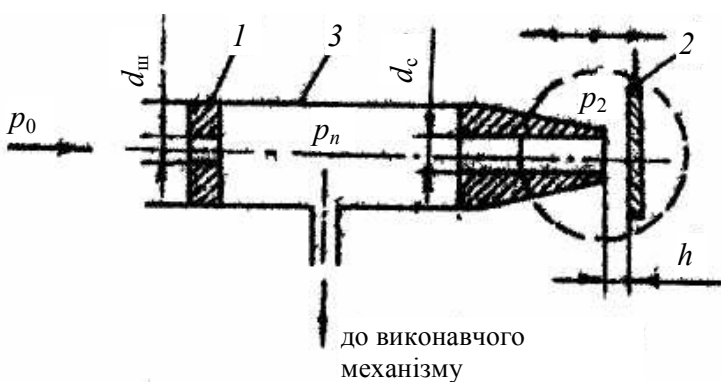


Рис. 3.1. Схема механопневматичного перетворювача сопло-заслінка

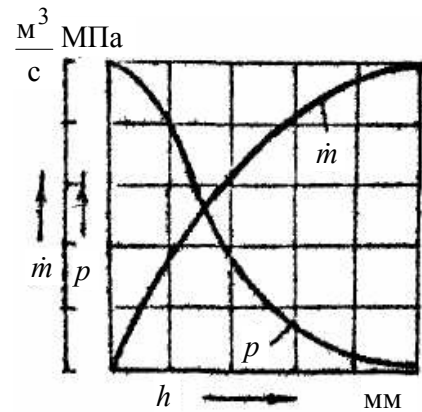


Рис. 3.2. Статичні характеристики механопневматичного перетворювача сопло-заслінка

Поліпшення якості статичної характеристики перетворювача, наближення її до релейного (рис. 3.3, б) досягається шляхом підтримки постійного перепаду тиску на одному або обох дроселях.

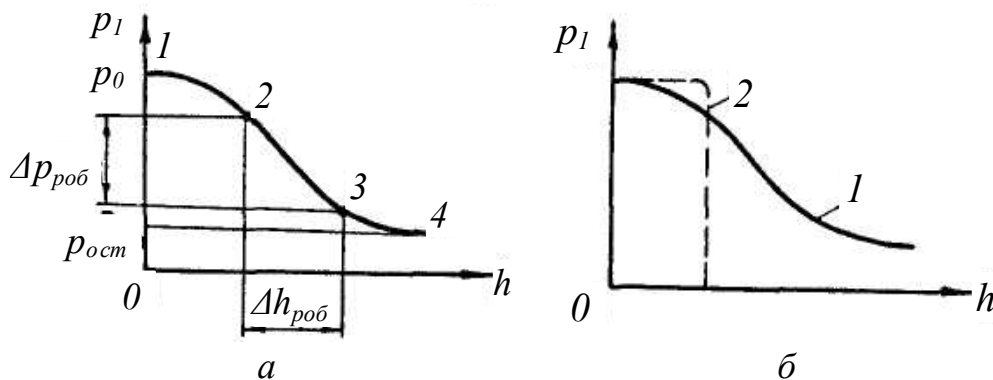


Рис. 3.3. Статична характеристика механопневматичного перетворювача сопло-заслінка: а – до визначення робочої ділянки; б – 1 – реальна; 2 – ідеальна

3.2. Експериментальна установка для визначення статичної характеристики механопневматичного перетворювача сопло-заслінка

Експериментальна установка (рис. 3.4) складається з механопневматичного перетворювача сопло-заслінка, вмонтованого в кронштейн 1, регулятора тиску 2, манометра 3, що контролює тиск на вході у перетворювач, манометра 4, що показує тиск у міждросельній камері перетворювача. Зазор установлюється за допомогою мікрометричного гвинта 5, торець якого одночасно є й заслінкою.

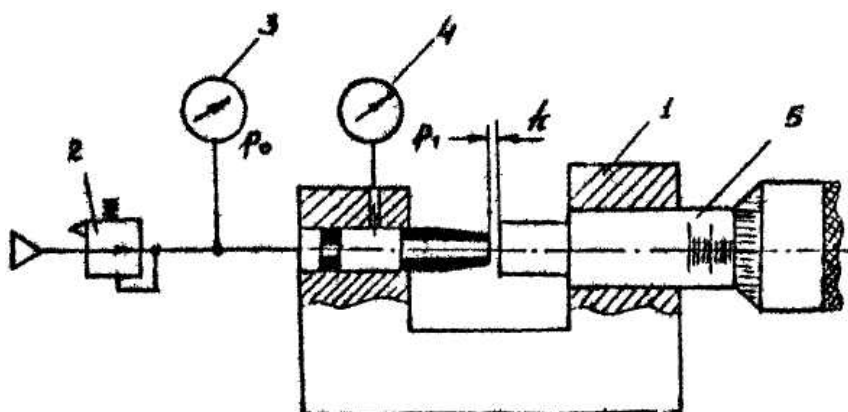


Рис. 3.4. Схема експериментальної установки

3.3. Методика експериментального визначення статичної характеристики механопневматичного перетворювача сопло-заслінка $p = f(h)$

3.3.1. Зібрати експериментальну установку відповідно до рис. 3.4 і підключити її до магістралі стисненого повітря.

3.3.2. Мікрометричним гвинтом 3 установити початковий зазор $h = 0$.

3.3.3. Регулятором тиску 2 установити постійний рівень сигналу на вході в перетворювач, $p_0 = 0,12\text{--}0,14$ МПа.

3.3.4. Змінюючи за допомогою мікрометричного гвинта 5, зазор h між торцем сопла й площиною заслінки, за допомогою зразкового манометра 4 виміряти тиск у міждросельній камері та занести показання у табл. 3.1, для кожного фіксованого значення зазору.

Таблиця 3.1 – Протокол експериментальних досліджень статичної характеристики механопневматичного перетворювача сопло-заслінка

h , мм	p_1 (відведення заслінки)		p_1 (підведення заслінки)	
	поділки шкали	МПа	поділки шкали	МПа

3.3.5. Повторити експеримент, поступово зменшуючи зазор h від досягнутого до нуля.

3.4. Теоретична статична характеристика механопневматичного перетворювача сопло-заслінка та зіставлення її з експериментальною

Теоретичну статичну характеристику механопневматичного перетворювача сопло-заслінка одержали розв'язуючи систему рівнянь: рівняння, що описує витрату газу через постійний опір, і рівняння, що описує витрату газу через змінний опір сопло-заслінка

$$\dot{m}_{\text{ш}} = \mu_{\text{ш}} \frac{\pi d_{\text{ш}}^2}{4} \sqrt{\frac{2}{RT_0} p_0 (p_0 - p_1)}, \quad (3.1)$$

$$\dot{m}_{\text{с-з}} = \mu_{\text{с-з}} \pi d_{\text{с}} h \sqrt{\frac{2}{RT_1} p_1 (p_1 - p_2)}, \quad (3.2)$$

де $\mu_{\text{ш}}$ – коефіцієнт витрати дросельної шайби; $\mu_{\text{с-з}}$ – коефіцієнт витрати опору сопло-заслінка.

З умови рівності витрат $\dot{m}_{\text{ш}}$ і $\dot{m}_{\text{с-з}}$ у сталому режимі вважали, що температура повітря постійна $T_0 = T_1$, отримали

$$h = \frac{\mu_{\text{ш}} d_{\text{ш}}^2}{4 \mu_{\text{с-з}} d_{\text{с}}} \sqrt{\frac{p_0 (p_0 - p_1)}{p_1 (p_1 - p_2)}}. \quad (3.3)$$

Із рівняння (3.3) одержали залежність, що описує тиск у міждросельній камері

$$p_1 = \left(\frac{p_2}{2} - \frac{p_0}{2A^2} \right) + \sqrt{\left(\frac{p_2}{2} - \frac{p_0}{2A^2} \right)^2 + \frac{p_0^2}{A^2}}, \quad (3.4)$$

де $A = \frac{4d_{\text{с}}\mu_{\text{с-з}}h}{\mu_{\text{ш}}d_{\text{ш}}^2}$; $p_2 = p_{\text{атм}}$.

Зауважимо, що при розрахунках пневматичних елементів та пристроїв використовують абсолютне значення тиску. Коефіцієнт витрати дросельної шайби відповідно з рекомендаціями [7] приймають постійним і рівним 0,65. Коефіцієнт витрати регульованого опору сопло-заслінка визначають за імпиричною залежністю

$$\mu_{\text{с-з}} = \mu_{\text{с}} \left(1 - e^{-\frac{6h}{d_{\text{с}}}} \right). \quad (3.5)$$

Для наближених розрахунків статичної характеристики механопневматичного перетворювача сопло-заслінка скористалися рівнянням, отриманим при спільному рішенні рівнянь (3.1) і (3.2), у припущенні, що $\mu_{с-з} = \mu_{ш}$ і $p_2 = p_{атм}$

$$p_{1 пр} = \frac{p_0}{1 + 16h^2 \frac{d_c^2}{d_{ш}^2}}. \quad (3.6)$$

3.4.1. За формулами (3.4) – (3.6) робимо розрахунок теоретичних значень тиску в міждросельній камері механопневматичного перетворювача сопло-заслінка для зазорів h , що відповідають отриманим при проведенні експерименту. Результати заносимо в табл. 3.2.

Розрахункові дані для визначення статичної характеристики механопневматичного перетворювача сопло-заслінка:

$$p_0 = 0,14 \text{ МПа}; d_c = 1 \text{ мм}; d_{ш} = 0,6 \text{ мм}; \mu_c = 0,8; \mu_{ш} = 0,65.$$

Таблиця 3.2 – Результати обчислень статичної характеристики механопневматичного перетворювача сопло-заслінка

h , мм	p_1 , МПа (наближене)	$\mu_{с-з}$	A	p_1 , МПа (уточнене)

3.4.2. За отриманими даними (табл. 3.2) будуємо графік статичної характеристики перетворювача $p_1 = f(h)$ й наносимо на нього експериментальну криву.

3.4.3. Обчислюємо коефіцієнт підсилення дроселя сопло-заслінка, що є відношенням вихідного сигналу до вхідного в статичному режимі

$$k_{с-з} = \frac{\Delta p_k}{\Delta h}, \quad (3.7)$$

де Δp_k – вихідний сигнал у вигляді зміни тиску у міждросельній камері; Δh – вхідний сигнал у вигляді переміщення заслінки.

Обчислення коефіцієнта підсилення робимо на робочій ділянці статичної характеристики.

3.4.4. Виділяємо робочі ділянки й на них визначаємо максимальну погрішність обчислень

$$\delta_{\text{в}} = \frac{|k_{\text{екс}} - k_{\text{теор}}|}{k_{\text{екс}}} 100\%, \quad (3.8)$$

де $k_{\text{екс}}$ і $k_{\text{теор}}$ – коефіцієнти підсилення перетворювача, обумовлені на робочій ділянці статичної характеристики.

Величини $k_{\text{екс}}$ і $k_{\text{теор}}$ визначаємо таким чином:

$$k_{\text{екс}} = \left. \frac{\Delta p_1}{\Delta h} \right|_{\text{роб. ділянка}} = \text{tg} \alpha_{\text{екс}};$$
$$k_{\text{теор}} = \left. \frac{\Delta p_1}{\Delta h} \right|_{\text{роб. ділянка}} = \text{tg} \alpha_{\text{теор}}.$$

3.4.5. Побудувавши статичну характеристику $p_1 = f(h)$, зробити зіставлення кривих, отриманих експериментальним і теоретичним шляхом. Аналізуючи результати експериментальних досліджень і розрахунків дроселя сопло-заслінка, робимо висновки про точність розрахунків і характер отриманих статичних характеристик.

Запитання для самоконтролю

1. З яких частин складається механопневматичний перетворювач сопло-заслінка?
2. Як працює механопневматичний перетворювач сопло-заслінка?
3. Який вигляд мають статичні характеристики механопневматичного перетворювача сопло-заслінка?
4. Як покращити статичні характеристики механопневматичного перетворювача сопло-заслінка?
5. За якою формулою знаходять тиск у міждросельній камері механопневматичного перетворювача сопло-заслінка?
6. Перелічіть переваги й недоліки пневматичного лінійного пульсуючого опору.
7. Накресліть принципову схему й поясніть принцип роботи пневматичного лінійного пульсуючого опору.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ ІНЕРЦІЙНОЇ ЛАНКИ

Мета роботи. Ознайомитися з принциповою схемою інерційної ланки та математичною моделлю її робочого процесу. Експериментально визначити постійну часу інерційної ланки. Провести порівняння постійних часу інерційної ланки, визначених експериментально та розрахованих за математичною моделлю її робочого процесу.

4.1. Постійної часу інерційної ланки

Інерційна ланка є основним елементом пневматичних часових пристроїв. Вона складається зі змінного опору з провідністю α , з'єднаного з пневматичною глухою камерою, що має об'єм V_k (рис. 4.1).

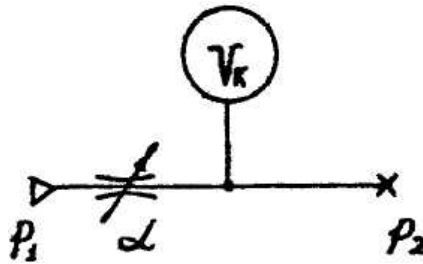


Рис. 4.1. Принципова схема інерційної ланки

Якщо припустити, що залежність між витратою повітря та перепадом тисків лінійна, то масова витрата через дросель за одиницю часу становитиме

$$\Delta \dot{m} = \alpha [p_1(t) - p_2(t)], \quad (4.1)$$

де $p_1(t)$ і $p_2(t)$ – відповідно абсолютний тиск на вході та виході кільця.

З рівняння стану газу

$$\dot{m} = p(t) \frac{V_k}{RT_a}, \quad (4.2)$$

де V_k – об'єм камери; R – газова стала; T_a – абсолютна температура, К.

Зміна кількості повітря в камері за одиницю часу:

$$\frac{d\dot{m}}{dt} = \frac{V_k}{RT_a} \frac{dp(t)}{dt} = \alpha [p_1(t) - p_2(t)]. \quad (4.3)$$

З рівняння (4.3) одержали рівняння інерційної ланки:

$$p_1(t) = T \frac{dp(t)}{dt} + p_2(t), \quad (4.4)$$

де T – постійна часу; $T = \frac{V_k}{\alpha R T_a}$. (4.5)

Фізичний зміст постійної часу інерційної ланки визначається як час, протягом якого вихідна величина досягла б нового свого сталого значення, якби вона змінювалася з постійною швидкістю, рівною швидкості зміни її в початковий момент часу. Постійна часу визначається за формулою (4.5). Характер перехідного процесу інерційної ланки показаний на рис. 4.2.

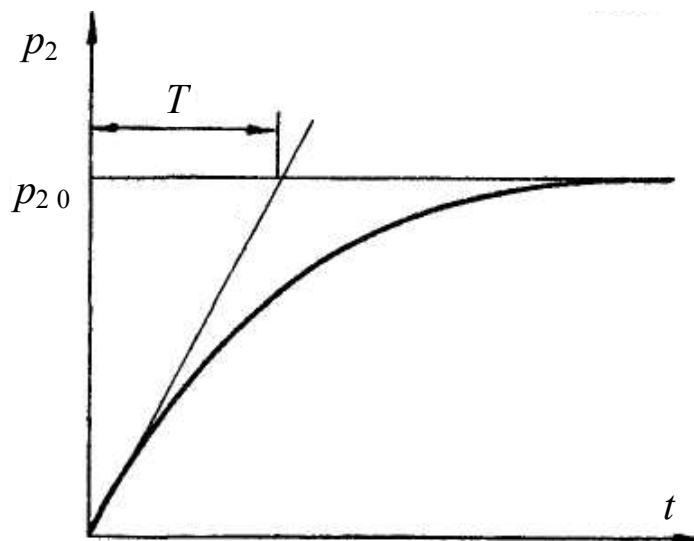


Рис. 4.2. Перехідний процес інерційної ланки

4.2. Методика експериментального визначення постійної часу інерційної ланки

4.2.1 На панелі 3 навчально-лабораторного стенда збираємо інерційну ланку, для чого використовуємо ємності й опори з комплекту стенда. Вхід ланки з'єднуємо з живленням через тумблер від задатчика, розташованого на лицьовій приладовій панелі стенда, і манометром, вихід – з манометром, постійним дроселем, з'єднаним з атмосферою, і пневматичним секундоміром.

4.2.2. На вхід ланки тумблером від задатчика подаємо постійний тиск, величину якого контролюємо манометром, розташованим на лицьовій приладовій панелі стенда. Одночасно вмикаємо пневматичний секундомір, за допомогою кнопки "ВМИК" на приладовій панелі.

4.2.3. Після досягнення тиску в ємності, рівного $0,63p_{\text{зад}}$, вимикаємо секундомір кнопкою "ВИМИК". Визначений час заносимо до протоколу досліджень (табл. 4.1).

4.2.4. Підключаючи поперемінно в схему різні дроселі і ємності (попередньо записуючи їх провідність та об'єм камери), повторюємо експеримент. Вимірюваний час заносимо до протоколу досліджень (табл. 4.1).

4.2.5. Термометром, встановленим у пневматичній системі, визначаємо її температуру.

4.2.6. За формулою (4.5) розраховуємо теоретичне значення постійної часу й записуємо до протоколу випробувань.

4.2.7. Проводимо порівняння постійної часу інерційної ланки, визначених експериментальним та розрахунковим шляхом.

Таблиця 4.1 – Протокол досліджень інерційної ланки

№ з/п	p_1 , МПа	p_2 , МПа	$T_{\text{експ}}$, с	$T_{\text{теор}}$, с	Примітка

Контрольні запитання

1. З яких пристроїв складається інерційна ланка?
2. Як працює інерційна ланка?
3. Який фізичний зміст постійної часу інерційної ланки?
4. Запишіть формулу для розрахунку постійної часу інерційної ланки.
5. Як можна регулювати постійну часу інерційної ланки?
6. Які прилади використовують при експериментальному визначенні постійної часу інерційної ланки?
7. Який порядок експериментального визначення постійної часу інерційної ланки?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛУ ПО ПНЕВМАТИЧНІЙ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

Мета роботи. Ознайомитися з принциповою схемою для експериментального дослідження часу передачі сигналу по пневматичній лінії зв'язку та лінеаризованою математичною моделлю її робочого процесу. Експериментально визначити час передачі сигналу по пневматичній лінії зв'язку.

5.1. Час передачі сигналу по пневматичній лінії зв'язку

У пневматичних системах використовують два види ліній зв'язку: короткі комунікаційні канали (канали, у яких $l/d < 10$), необхідні для сполучення елементів і ліній зв'язку, які з'єднують між собою агрегати й окремі блоки. При передачі пневматичних сигналів по каналах має місце сполучення двох процесів: процесу розгону маси середовища й хвильових явищ. Точний розрахунок часу передачі сигналу по пневматичному каналу та лінії зв'язку складний, тому на практиці користуються наближеними методами розрахунку. Експериментально встановлено, що комунікаційний канал є послідовним сполученням ланок чистого запізнювання й аперіодичної (рис. 5.1).

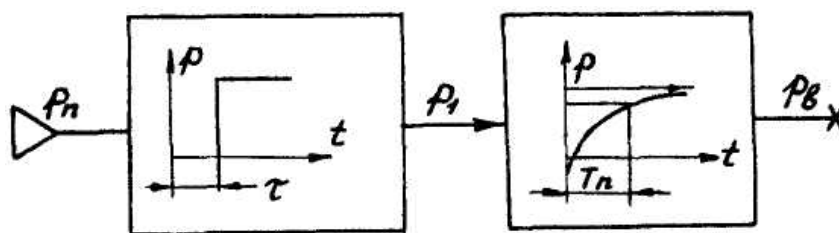


Рис. 5.1. Спрощена структурна схема для розрахунку комунікаційного каналу

Відповідно до прийнятої схеми час передачі сигналу по комунікаційному каналу розраховується за формулою

$$T = T_{\Pi} + \tau, \quad (5.1)$$

де τ – час чистого запізнення, розраховується за залежністю

$$\tau = \eta \frac{l}{c}, \quad (5.2)$$

де l – довжина каналу; c – швидкість звуку в повітрі; η – коефіцієнт пропорційності, рівний 1,2 для каналів перетину $1,5 \times 1,5$ мм.

Процес поширення хвилі пневматичного сигналу в пневматичній лінії зв'язку (рис. 5.2) аналогічний процесу поширення хвиль в електричній лінії й описується системою рівнянь у частинних похідних, рішення яких роблять чисельними методами [2].

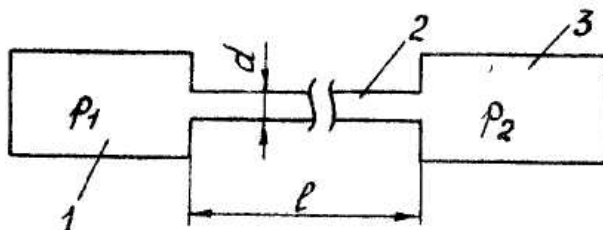


Рис. 5.2. Схема пневматичної лінії зв'язку: 1 – джерело сигналу; 2 – лінія зв'язку; 3 – приймач

Передатна функція пневматичної лінії зв'язку при невеликій амплітуді вхідного сигналу

$$W(s) = \frac{p_2(s)}{p_1(s)} = \frac{l^{-s\tau}}{T_1 s + 1}, \quad (5.3)$$

де s – перетворювач Лапласа; $\tau = \frac{l}{c}$ – чисте запізнювання, с; l – довжина лінії, м; c – швидкість звуку, м/с; T_1 – постійна часу, що обчислюється за формулою, с

$$T_1 = RC \left(0,5 + \frac{C_0}{C} \right), \quad (5.4)$$

де $R = \frac{128\mu l}{\pi d^4}$ – пневматичний опір в N (с/м⁵); $C = \frac{V_0}{np_0} + \frac{f^2}{c}$, (виміряється в м⁵/Н); n – показник політропи; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості повітря; V_0 – об'єм камери навантаження при середньому тиску p_0 , м³; f – ефективна площа мембрани навантажувальної камери, м²; c – жорсткість мембрани, Н/м.

Залежності (5.1) – (5.4) є лінеаризованими математичними моделями робочого процесу передачі пневматичного сигналу по комунікаційному каналу та лінії зв'язку.

5.2. Експериментальна установка

Експериментальна установка для визначення часу передачі сигналу по лінії зв'язку показана на рис. 5.3. Відмінною особливістю експериментальної установки є наявність двох штуцерів, які розміщені відповідно за манометром 3(2) та перед манометром 3(3) і дозволяють приєднувати до неї пневматичні лінії різної довжини та діаметрів.

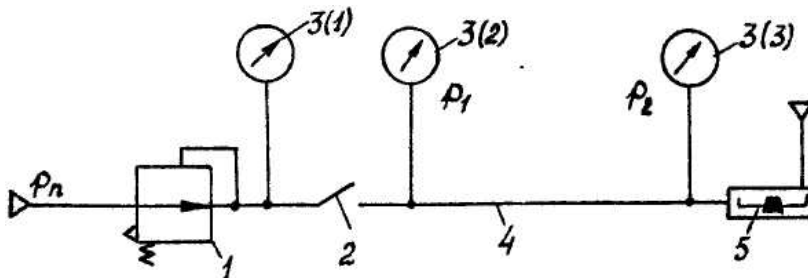


Рис. 5.3. Схема експериментальної установки для визначення часу передачі сигналу по лінії зв'язку: 1 – регулятор тиску; 2 – тумблер; 3 – манометр; 4 – пневматична лінія; 5 – вимірювальний прилад

5.3. Методика експериментального визначення часу передачі сигналу по лінії зв'язку

1. Зібрати експериментальну установку відповідно до схеми, показаної на рис. 5.3.

2. З'єднати штуцери пневматичною лінією зв'язку з заданим l та d .

3. Регулятором тиску 1 при розімкнутому пневмотумблерові 2 установити тиск 0,05 МПа.

4. Вмикають пневмотумблер 2 і вимірювальний прилад для вимірювання тиску 5 та встановлюють усталене значення тиску в вимірювальному приладі 5.

5. Одночасно ввімкнути пневмотумблер 2 і вимірювальний прилад для вимірювання тиску 5.

6. Після порівняння тисків у манометрах 3(2) і 3(1) вимкнути вимірювальний прилад 5. Показання приладу занести до протоколу досліджень (табл. 5.1).

7. Змінюючи пневматичні лінії зв'язку (використовуючи лінії різної довжини l та діаметром d), повторюємо експеримент.

8. За результатами експерименту побудувати графік залежності часу

передачі сигналу від довжини лінії зв'язку та її діаметра.

9. Оцінити втрати тиску в пневматичній лінії зв'язку залежно від її довжини та діаметра.

Таблиця 5.1 – Протокол досліджень часу передачі сигналу по лінії зв'язку

№ з/п	l , м	d , м	p_1 , МПа	p_2 , МПа	t , с	Примітка

Контрольні запитання

1. Яка різниця між пневматичною лінією зв'язку та комунікаційним каналом?

2. Які процеси мають місце при передачі пневматичного сигналу по пневматичній лінії зв'язку?

3. Запишіть лінеаризовану математичну модель робочого процесу пневматичного комунікаційного каналу.

4. Запишіть лінеаризовану математичну модель робочого процесу пневматичної лінії зв'язку.

5. З яких елементів складається експериментальна установка для визначення часу передачі сигналу по пневматичній лінії зв'язку?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМАТИЧНИХ МЕМБРАННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Мета роботи. Ознайомитися з принципом роботи пневматичних мембранних елементів та схемою для експериментального дослідження їх статичних характеристик. Експериментальні дослідження статичних характеристик пневматичних мембранних елементів.

6.1. Пневматичні мембранні елементи

Пневматичні мембранні елементи будують за принципами: компенсації переміщень, компенсації сил, компенсації витрат; вільних мембран. Принцип компенсації сил є основним для побудови пристроїв мембранного типу. Він полягає в тому, що на штоку пристрою, який за основні вузли містить мембрани з мембранного полотна, з'єданого спільним штоком, автоматично підтримується баланс сил, і їх рівнодійна завжди дорівнює нулю. Торець штока, переміщення якого становить соту частку міліметра, керує соплом підсилювача сопло-заслінка.

Цей принцип дає змогу значно зменшити габаритні розміри пристроїв, застосувати блоковий та елементний способи побудови систем регулювання, побудувати складні багатоконтурні системи керування, використати друкований (безшланговий) спосіб монтажу. До недоліків таких пристроїв належить поява з часом додаткових похибок, зумовлених зміною характеристик неметалевих мембран, обумовлених початковим їх встановленням, а також невеликого перекошу мембрани відносно керованого нею сопла. Щоб усунути зазначені недоліки зазвичай вводять регулювання сопла. На цьому принципі побудовано універсальну систему елементів промислової пневмоавтоматики (УСЕППА). Із застосуванням принципу компенсації сил побудовано пристрої безперервної (рис. 6.1) та дискретної дій (рис. 6.2).

Мембрана 1 сприймає дію вхідного (підсилюваного) тиску p_1 , а мембрана 2 – вихідного p . Центри мембран 1 і 2 жорстко з'єднано штоком 3. Камеру b , утворену мембранами й корпусом підсилювача, сполучено з атмосферою. Через постійний дросель 5 в камеру a підсилювача підведений тиск живлення. Камеру a , з якої сигнал надходить на вихід підсилювача через сопло 4, сполучено з атмосферою. Нижній торець штока 3 керує соплом 4 підсилювача сопло-заслінка. У цьому випадку проточна камера a бу-

де камерою від'ємного зворотного зв'язку підсилювача.

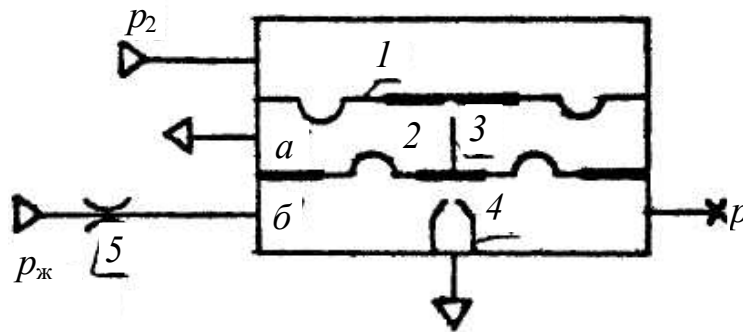


Рис. 6.1. Пневматичний підсилювач УСЕППА з від'ємним зворотним зв'язком: 1, 2 – мембрани з ефективними площами A_1 і A_2 ; 3 – шток; 4 – сопло; 5 – постійний дросель

У підсилювачі зрівноважуються сила, яка діє на мембрану 1 та виникає від вхідного тиску, й сила на мембрані 2 від вихідного тиску, а також невелика сила F , яка виникає за рахунок пружної деформації мембран. Зі збільшенням вхідного тиску $p_1(t)$ рівновага на штоку 3 порушується, він переміщується вниз, зменшивши при цьому проміжок між своїм нижнім торцем та соплом 4 і витрату повітря з камери a в атмосферу. Внаслідок цього тиск у камері a і на виході підсилювача збільшуватиметься, аж поки не встановиться новий рівноважний стан.

Якщо перетворювач типу сопло-заслінка працює в лінійній частині статичної характеристики, вихідний тиск $p(t)$ пов'язаний з величиною деформації мембран також лінійною залежністю, а жорсткість мембрани незначна через її еластичність, нехтуючи масою рухомих частин та їх пружною деформацією, математична модель робочого процесу підсилювача

$$p(t) = p_1(t)A_1/A_2 = k p_1(t). \quad (6.1)$$

де $k = A_1/A_2$ – коефіцієнт підсилення підсилювача.

Тримембранне реле (рис. 6.2, а) складається з мембранного блока 1 та двох керованих пневмоопорів сопло-заслінка 2. Сопла в реле нерегульовані й зроблені у вигляді отворів у стінках нижньої та верхньої кришок. Заслінки закріплено на кінцях жорсткого центра. Для того, щоб одержати петлеподібну статичну характеристику (рис 6.2, б), тримембранне реле охоплюють додатним зворотним зв'язком, сполучаючи верхню камеру з нижнім соплом, а нижню камеру – з атмосферою.

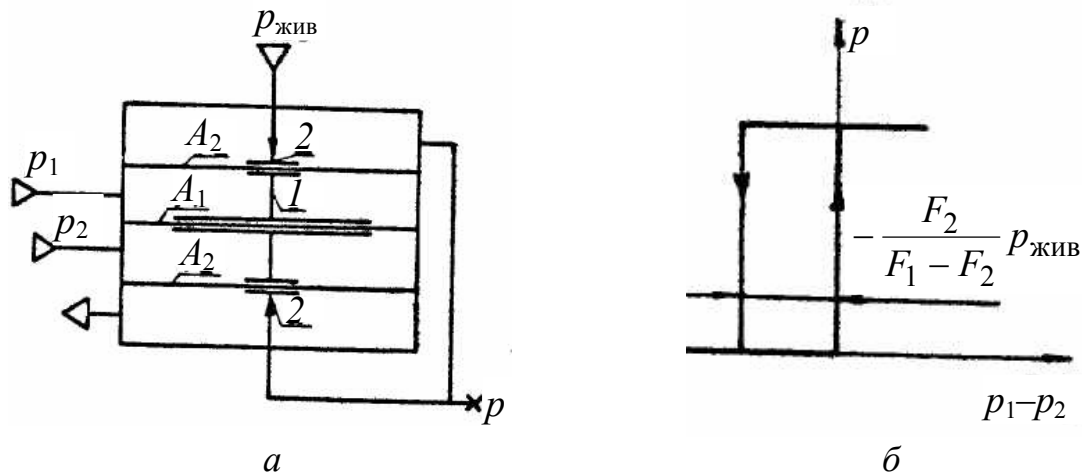


Рис. 6.2. Пневмореле УСЕППА: *а* – схема; *б* – статична характеристика: *1* – мембранний блок; *2* – керовані пневмоопорі сопло-заслінка

Тиски $p_1(t)$ та $p_2(t)$ є вхідними. Вихідний сигнал реле може набирати тільки двох значень: 0 та $p_{ж}$, які надалі умовно позначено через “0” і “1”. Якщо тиск $p_2(t)$ більший, ніж $p_1(t)$, то верхнє сопло затулене, а вихід реле через нижню камеру сполучається з атмосферою: $p(t) = 0$. Оскільки тиски у верхній та нижній камерах рівні між собою, то зі збільшенням $p_1(t)$ шток реле перейде в нижнє положення при $p_1(t) = p_2(t)$. Тиски на виході реле $p(t)$ і у верхній камері стануть дорівнювати $p_{ж}$. У нижній камері за рахунок того, що вона сполучена з атмосферою, надлишковий тиск завжди дорівнює нулю. Отже, після того як шток перейде в нижнє положення, на нього діятиме додаткова стала сила, зумовлена наявністю додатного зворотного зв’язку. Момент перекидання реле вгору визначається з рівняння рівноваги сил на мембранному блоці, при цьому масу рухомих деталей та силу дії струменя, який витікає із сопла живлення на заслінку, закріплену на штоку, а також деформацію рухомих частин не враховуємо:

$$p(t)A_2 + p_1(t)(A_1 - A_2) - p_2(t)(A_1 - A_2) = 0. \quad (6.2)$$

Рівняння (6.2) характеризує момент перекидання реле, тобто невідзначений стан. Якщо тиск $p_1(t)$ почати зменшувати, то шток реле відповідно до (6.2) перейде у верхнє положення при тискові

$$p_1(t) = p_2(t) = \frac{A_2}{A_1 - A_2} p_{ж}.$$

Таким чином, забезпечується петлеподібна статична характеристика реле. У разі використання реле як логічного елемента тиск на одному з його входів підтримують сталим і рівним $p_{п1} = 0,3p_{ж}$ або $p_{п2} = 0,7p_{ж}$ (створюють сталий тиск підпору). Це забезпечує потрібне розташування статичної характеристики елемента. Відмінність у значеннях підпору пояснюється тим, що на мембранний блок за рахунок додатнього зворотного зв'язку діють згори вниз і в зворотному напрямі різні сили. На схемах підпір $0,3p_{ж}$ зображають штриховкою, а підпір $0,7p_{ж}$ – подвійною штриховкою. Зазначимо, що під час переходу мембранного блока з одного крайнього положення в інше він набирає всіх проміжних положень, при цьому обидва сопла відтулені й сполучають лінію живлення з атмосферою. Це явище називають “коротким замиканням”; воно призводить до короткочасної додаткової витрати повітря й виникнення небезпечного короткочасного перевантаження магістралі живлення. Щоб усунути це явище, застосовують пневмореле, в яких “коротке замикання” не виникає.

6.2. Експериментальна установка

Експериментальна установка для дослідження статичних характеристик пневматичного підсилювача та реле (рис. 6.3) складається з досліджуваного елемента 1, зразкових манометрів 2–5, регуляторів тиску 6–8.

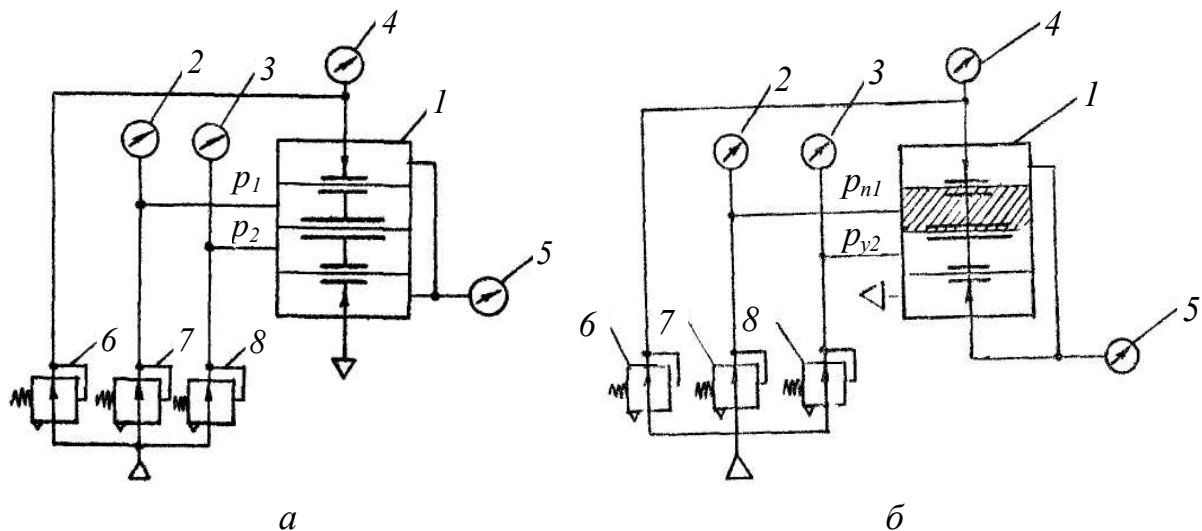


Рис. 6.3. Пневматична схема експериментальної установки для дослідження статичних характеристик: а – пневматичного підсилювача; б – пневмореле

6.3. Експериментальне визначення статичних характеристик пневматичного підсилювача й пневмореле

6.3.1. Зняття статичної характеристики пневматичного підсилювача $p_{\text{вих}} = f(\Delta p)$.

1. Зібрати експериментальну установку й підключити її до магістралі стисненого повітря.

2. Регулятором тиску 6 установити постійну величину тиску живлення $p_{\text{ж}} = 0,12\text{--}0,14$ МПа.

3. Змінюючи тиск p_2 і p_3 в діапазоні 0,02–0,1 МПа регуляторами тиску 7 і 8, подати його на вхід пневматичного підсилювача.

4. Для кожного фіксованого значення тисків p_2 і p_3 в табл. 6.1 записати показання зразкових манометрів 2–5.

Таблиця 6.1 – Протокол досліджень пневматичного підсилювача

p_2		p_3		$p_{\text{вих}}$	
Поділки шкали	МПа	Поділки шкали	МПа	Поділки шкали	МПа

5. За результатами експерименту побудувати статичну характеристику пневматичного підсилювача $p_{\text{вих}} = f(p_2 - p_3)$.

6.3.2. Зняття статичної характеристики пневмореле $p_{\text{вих}} = f(p_{\text{кер}})$.

1. Зібрати експериментальну установку відповідно зі схемою, поданою на рис. 6.4, і підключити її до магістралі стисненого повітря.

2. Регулятором 6 установити й підтримувати постійним тиск живлення, $p_{\text{ж}} = 0,12\text{--}0,14$ МПа, а регулятором 7 постійне значення тиску підпору, $p_{\text{п}} = (0,3 - 0,4)p_{\text{ж}}$.

3. Регулятором 8 змінюють тиск керування $p_{\text{кер}}$ від нуля до тиску, при якому відбудеться перемикання реле з одиниці на нуль, після чого тиск керування зменшують до моменту повернення реле у вихідний стан, коли сигнал на виході стане знову рівним одиниці.

4. Показання манометрів 3 і 5 заносять до табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Протокол досліджень пневмореле

$p_{кер2}$		$p_{вих}$	
Поділки шкали	МПа	Поділки шкали	МПа

5. За результатами експерименту будують графік статичної характеристики пневмореле $p_{вих} = f(p_{кер})$.

Отримані експериментальним шляхом статичні характеристики пневматичного підсилювача та пневмореле порівняти з теоретичними.

Контрольні запитання

1. Яка різниця між пневматичним підсилювачем та пневмореле?
2. Як працює пневматичний підсилювач?
3. Нарисуйте статичну характеристику пневматичного підсилювача.
4. Як працює пневмореле?
5. Нарисуйте статичну характеристику пневмореле.
6. З яких елементів складається експериментальна установка для визначення статичних характеристик пневматичного підсилювача та пневмореле?
7. Як зображують на пневматичних схемах тиск підпору?
8. Який порядок експериментального визначення статичних характеристик пневматичного підсилювача та пневмореле?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСІВ

Мета роботи. Ознайомитися з принципом роботи пневматичного генератора імпульсів та методикою його дослідження. Експериментальні дослідження пневматичного генератора імпульсів.

7.1. Пневматичний генератор прямокутних імпульсів

Генератори пневматичних коливань належать до пневматичних часових пристроїв та призначені для формування дискретних пневматичних сигналів необхідної тривалості. У принципі їх дії лежить залежність між тривалістю й діапазоном зміни тиску від одного p_1 до іншого p_2 фіксованого значення. Генератор з незалежним настроюванням періоду коливань і тривалості імпульсу (рис. 7.1) містить генератор Г та імпульсатор ІМ, що укорочує задній фронт імпульсів, які надходять від генератора. Він побудований на базі тримембранного реле, ввімкненого за схемою заперечення й уведеного в режим автоколивань зворотним зв'язком, у ланцюг якого вбудовано інерційну ланку.

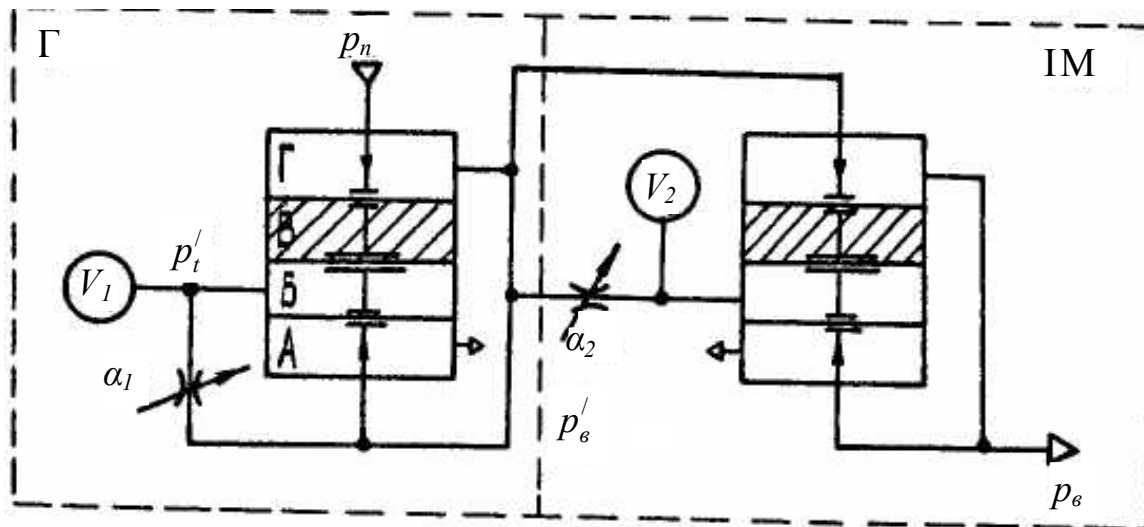


Рис. 7.1. Схема пневматичного генератора прямокутних імпульсів

Тривалість виходу реле (“1” або “0”) дорівнює часу відповідно набору тиску від p_1 до p_2 або скидання від p_2 до p_1 . Від генератора на вхід імпульсатора надходять коливання з періодом T і тривалістю імпульсу T_1 , то на виході імпульсатора, при тому ж періоді коливань, тривалість імпульсу

становить $T_1' < T_1$. Період коливань T у такій схемі налаштовується опором α_1 , а тривалість імпульсу T_1' – опором α_2 .

В аперіодичній ланці, що є складовою частиною генератора коливань, час (у секундах), протягом якого тиск у глухій камері реле ємністю V збільшиться від p_1 до p_2 при вхідному тиску p , буде дорівнювати

$$T_1 = \tau \ln \frac{p - p_1}{p - p_2}. \quad (7.1)$$

Час (у секундах), протягом якого тиск у глухій камері реле падає від p_2 до p_1 при сполученні з атмосферою

$$T_0 = \tau \ln \frac{p_2}{p_1}. \quad (7.2)$$

де $\tau = \frac{V}{\alpha R T_a}$ – постійна часу аперіодичної ланки; $\alpha = \alpha_{1(2)}$ – провідності дроселя; R – газова постійна; T_a – абсолютна температура.

Із залежностей (7.1) і (7.2), що становлять математичну модель робочого процесу генератора прямокутних імпульсів, випливає, що тривалість T тактів визначається величиною інерційності, керованої при $V = \text{const}$ провідністю пневмоопору α_1 аперіодичної ланки (рис. 7.2). Величина підпору впливає на тривалість такту й одночасно позначається на співвідношенні T_1 і T_0 сигналів усередині такту.

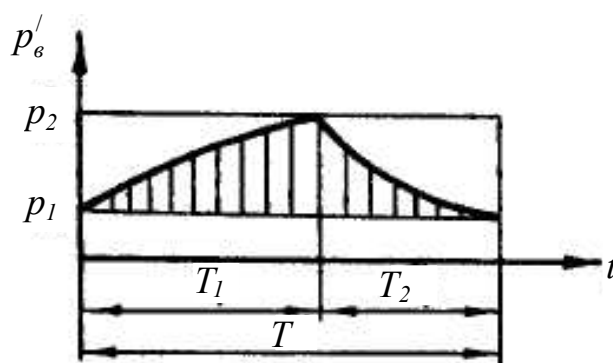


Рис. 7.2. Зміна тиску в камері пневматичного реле

На виході генератора одержуємо прямокутні імпульси коливань p_b , які, проходячи через імпульсатор, скорочуються (рис. 7.3).

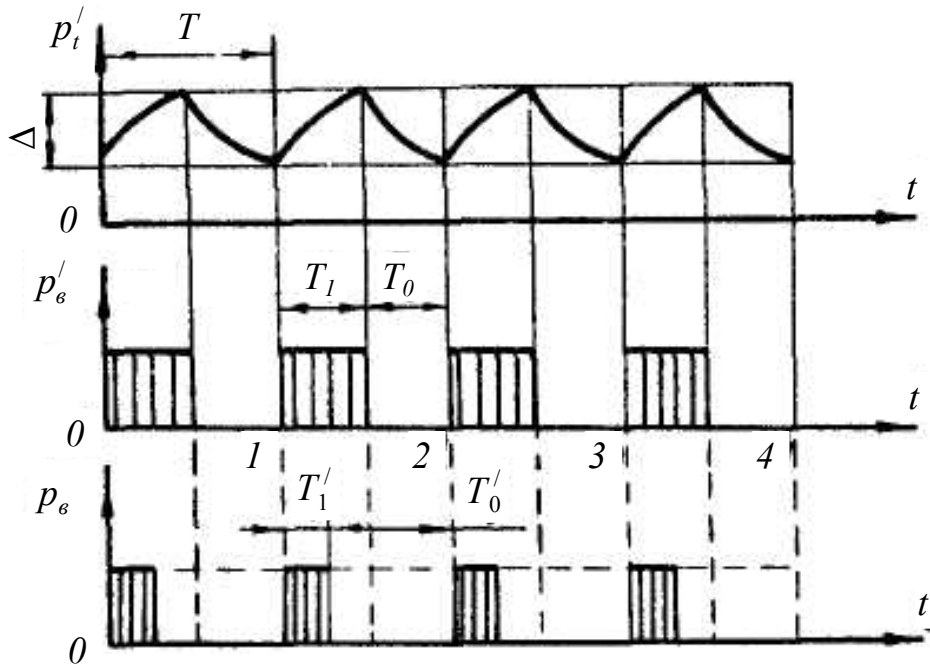


Рис. 7.3. Вигляд часової характеристики пневматичного генератора прямокутних імпульсів

7.2. Методика експериментального дослідження пневматичного генератора імпульсів

7.2.1. Відповідно до (рис. 7.1) на панелі стенда зібрати схему пневматичного генератора прямокутних імпульсів.

7.2.2. Підключити генератор через редуктор тиску до пневмомагістралі, а вихід і пневматичні ємності до зразкових манометрів.

Подати тиск живлення рівний 0,14 МПа та тиск підпору.

Налаштувати пневматичний генератор прямокутних імпульсів за допомогою дроселя α_1 на тривалості такту: $T_1 \approx 0,3$ с, $T_1 \approx 0,6$ с, $T_1 \approx 0,9$ с, $T_1 \approx 1,2$ с при незмінному постійному α_2 .

Зняти часову характеристику пневматичного генератора прямокутних імпульсів. Для чого секундоміром заміряти час та за зразковими манометрами величини тиску p_t й p_t' . Вимірювання часу зробити для 10 тактів. Дані вимірювань занести до табл. 7.1.

За результатами вимірювань побудувати часові характеристики пневматичного генератора прямокутних імпульсів.

Проаналізувати вплив на часові характеристики пневматичного генератора прямокутних імпульсів провідностей опорів α_1 і α_2 .

Таблиця 7.1 – Протокол досліджень пневматичного генератора прямокутних імпульсів

	T_1	T_2	T_3	T_4
$p_{ж}$				
p_t'				
$p_{в}'$				
$p_{в}$				

Контрольні запитання

1. З яких частин складається пневматичний генератор прямокутних імпульсів?
2. Як працює пневматичний генератор прямокутних імпульсів?
3. Як налаштовують пневматичний генератор прямокутних імпульсів?
4. Запишіть математичну модель робочого процесу пневматичного генератора прямокутних імпульсів.
5. Який вигляд має часова характеристика пневматичного генератора прямокутних імпульсів?
6. У якому порядку проводять експериментальні дослідження пневматичного генератора імпульсів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВТОРИННОГО ПРИЛАДУ ТА ПРИСТРОЮ АЛГЕБРИЧНОГО ПІДСУМОВУВАННЯ ПНЕВМАТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Мета роботи. Ознайомитися з принципом роботи вторинного приладу та пристрою алгебричного підсумовування сигналів та методикою їх дослідження. Експериментальне дослідження точності вторинного приладу та пристрою алгебричного підсумовування сигналів. Побудувати тарувальний графік вторинного приладу.

8.1. Принцип роботи пристрою алгебричного підсумовування пневматичних сигналів

Дія приладу основана на принципі компенсації зусиль. Вхідні пневматичні сигнали, тиски надходять у камери підсумувального елемента 3 (рис. 8.1). Сумарне зусилля, що розвивається цими тисками у мембранному вузлі елемента 3 (семимембранного пневматичного підсилювача), урівноважується зусиллям від джерела живлення, що надходить через підсилювач у камеру від'ємного зворотного зв'язку. Зауважимо, що вихідний тиск може бути постійним, налаштований за допомогою задатчиків, убудованих у прилад. Функцію алгебричного підсумовування пневматичних сигналів виконує елемент 3.

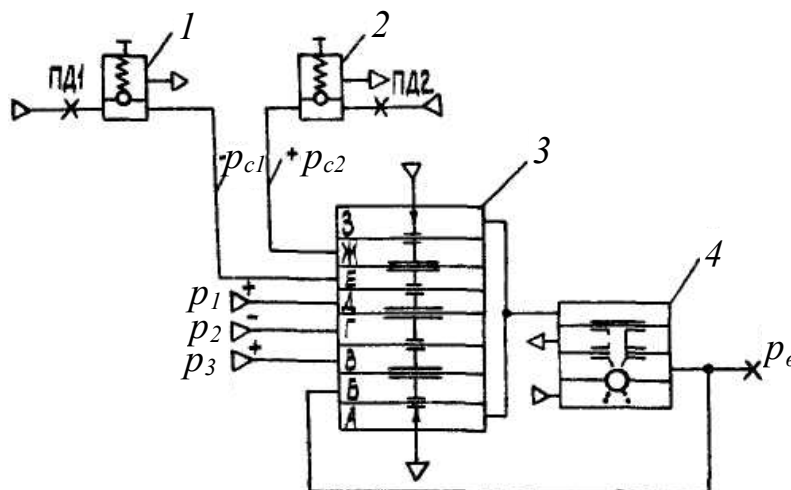


Рис. 8.1. Принципова схема приладу алгебричного підсумовування: 1, 2 – пневматичні задатчики; 3 – 7 – мембранний пневматичний підсилювач; 4 – пневматичний підсилювач

Вхідні сигнали p_1, p_2, p_3 від редукторів тиску, діапазон зміни яких від 0,02 до 0,10 МПа, надходять у камери Д, Г, В, а в камери Е і Ж – тиски p_{c1}, p_{c2} від датчиків 1 та 2. Зусилля на відповідних мембранах, що виникають при цьому, переміщують мембранний вузол елемента 3 в бік або сопла живлення, або сопла, що з'єднується з атмосферою (залежно від напрямку результуючого зусилля), у результаті чого тиск на виході елемента 3 буде змінюватися. Цей тиск надходить на вхід підсилювача потужності – елемента 4, де підсилюється. З виходу підсилювача 4 тиск надходить на вихід приладу та в камеру зворотного зв'язку Б.

Оскільки всі великі й малі мембрани підсумувального елемента мають однакові ефективні площі, рівняння рівноваги рухомого штока елемента 3:

$$p_1 - p_2 + p_3 - p_{c1} + p_{c2} - p_B = 0, \quad (8.1)$$

звідки вихідний тиск

$$p_B = p_1 - p_2 + p_3 - p_{c1} + p_{c2}, \quad (8.2)$$

Деякі операції, що виконує прилад алгебричного підсумовування, показані у табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Операції, що виконує прилад алгебричного підсумовування

Вид операцій	Математичний вираз
Алгебричне додавання	$\begin{cases} p_1 - p_2 + p_3 - p_{c1} + p_{c2} \\ p_1 + p_3 + p_{c2} \\ p_1 - p_2 - p_{c1} \end{cases}$
Ділення на два	$\begin{aligned} &(p_1 + p_3 + p_{c1})/2 \\ &(p_1 + p_{c2})/2 \\ &(p_3 + p_{c2})/2 \end{aligned}$
Множення на два	$\begin{aligned} &2p_1 + p_{c2} \\ &2p_3 + p_{c2} \end{aligned}$
Зміна знака	$-p_2 + p_{c2}$

УВАГА! При діленні на два вихідний сигнал подається у мінусову камеру Г. При множенні на два та зміні знака вхідний тиск подається в обидві плюсові камери (Д і В).

8.2. Принцип роботи вторинного приладу

Дія приладу заснована на принципі компенсації переміщень, який полягає в тому, що переміщення одних пружних елементів компенсується переміщенням інших. Додаються переміщення на важелях, тому прилади, побудовані за принципом компенсації переміщень, зазвичай мають громіздку конструкцію з тягами та важелями. Як правило, пружними елементами в таких пристроях є сільфони, які добре зберігають свої характеристики і дають можливість будувати прилади, які мають високу точність. Перевагою таких пристроїв є те, що функції контролю й керування об'єднано в одному приладі, внаслідок чого значно спрощуються його конструкція, монтаж та експлуатація. Однак їх недоліками є великі габаритні розміри і неможливість реалізації багатоконтурних систем керування.

У вторинному приладі (рис. 8.2) зусилля на приймальному елементі, що виникає від вхідного тиску, урівноважується зусиллям від тиску повітря джерела живлення. Приймальний елемент-сільфон *1* сприймає від датчика (вимірювального приладу) пропорційний вимірюваній величині імпульси тиску – p_k . Стиснене повітря від джерела живлення надходить у лінію, що з'єднує сопло *2* із силовим елементом *б* зворотного зв'язку. Зміна тиску p_k викликає зміну зазору між заслінкою, що закріплена на кінці важеля *3* приймального елемента, і соплом, це приводить до зміни тиску в лінії сопла, а отже, у силовому елементі *б*. При цьому переміщується чашкова мембрана силового елемента та важіль *5*, що впирається в неї, і який пов'язаний з важелем *3* заслінки. Таким чином, силовий елемент *б* урівноважує вплив на заслінку *3* приймального елемента *1*. Переміщення важеля *5* силового елемента передається перу або покажчику приладу.

Вхідний тиск p_k , діапазон зміни якого від 0,02 до 0,1 МПа, подається на вхід сільфона *1*. Повітря живлення подається від штуцера приладу через розподільну колодку, фільтр і дросель – у лінію зворотного зв'язку до силового елемента *б* і сопла *2*. При зміні вхідного тиску сільфон, дно якого впирається у важіль *3*, переміщає його, що викликає зміну зазору між соплом *2* і заслінкою, що кріпиться на кінці важеля *3*.

Якщо вхідний тиск збільшується, заслінка прикриває сопло *2*, з якого безперервно в атмосферу випливає струмінь стисненого повітря. Це приводить до збільшення тиску в лінії сопла та у пов'язаному з ним силовому

елементі 6. Під дією тиску чашкова мембрана силового елемента вигинається, відводячи важіль 5. До верхнього кінця важеля 5 прив'язана лавсанова нитка 8, яка огинає ролики й прикріплюється до спіральної пружини 4, з'єднаної з нижнім кінцем важеля 3.

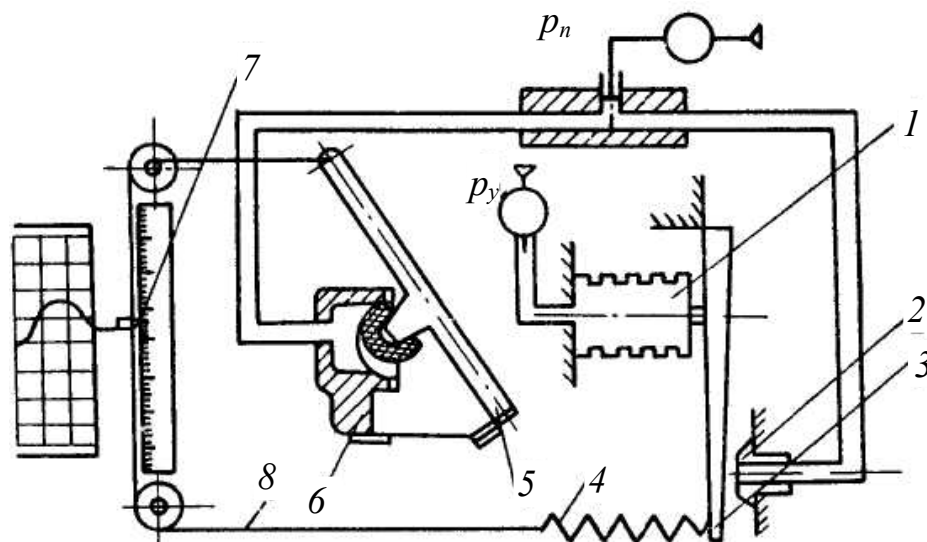


Рис. 8.2. Принципова схема вторинного приладу: 1 – сільфон; 2 – сопло; 3 – важіль; 4 – спіральна пружина; 5 – важіль; 6 – мембранний силовий елемент; 7 – шкала вторинного приладу; 8 – лавсанова нитка

Коли важіль 5 переміщається вправо (при збільшенні тиску), нитка 8 розтягує пружину 4, намотується на ролик і тягне нагору прикріплений до неї покажчик. Таким чином, якщо від дії вхідного тиску p_k заслінка наближається до сопла, то під дією тиску в силовому елементі заслінка відходить від сопла й навпаки, тобто зусилля від вхідного тиску врівноважується зусиллям від тиску в лінії зворотного зв'язку.

8.3. Методика експериментального дослідження точності пристрою алгебричного підсумовування пневматичних сигналів

8.3.1 Відповідно до рис. 8.1 зібрати схему пристрою алгебричного підсумовування пневматичних сигналів.

8.3.2. Підключити прилад до пневмомагістралі та установити тиск живлення 0,12–0,14 МПа.

8.3.3. Підключити через редуктор тиску камери В, Г і Д (тиску p_1 , p_2 , p_3) із приладом алгебраїчного підсумовування, попередньо підключивши

до цих пневмоліній зразкові манометри. Вихід приладу також підключити до зразкового манометра.

8.3.4. За допомогою редукторів змінити значення тисків p_1, p_2, p_3 , та виконати вимірювання p_v і занести їх до табл. 8.2.

8.3.5. Розрахувати за формулами, наведеними у табл. 8.1, теоретичний тиск на виході пристрою алгебричного підсумовування пневматичних сигналів.

8.3.6. Розрахувати похибку пристрою алгебричного підсумовування пневматичних сигналів

$$\delta_v = \frac{p_{\text{теор}} - p_v}{p_{\text{теор}}} \cdot 100\%. \quad (8.3)$$

Результати розрахунку занести до табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Протокол досліджень пристрою алгебричного підсумовування пневматичних сигналів

№ з/п	Експериментальні дані				$p_{\text{рас}}$, МПа	δ_v , %	Примітка
	p_1 , МПа	p_2 , МПа	p_3 , МПа	p_v , МПа			

8.3.7. Провести оцінку точності пристрою алгебричного підсумовування пневматичних сигналів залежно від операції, що реалізується (табл. 8.1).

8.4. Методика експериментального дослідження точності вторинного приладу

8.4.1. Відповідно до рис. 8.2 зібрати схему вторинного приладу.

8.4.2. Підключити прилад до пневмомагістралі й установити тиск живлення 0,12–0,14 МПа.

8.4.3. Підключити вхідний тиск до приладу через редуктор тиску. Включити в лінію вхідного тиску зразковий манометр.

8.4.4. Змінюючи вхідний тиск p_k від 0,02 до 0,1 МПа редуктором тиску, знімаємо показання вторинного приладу та заносимо їх до табл. 8.3.

8.4.5. Визначаємо розрахунковий тиск (у МПа) як тиск, що доводитьься на одну поділку шкали приладу, помножений на кількість поділок показання приладу:

$$p_{\text{рас}} = \frac{0,10 - 0,02}{100} n, \quad (8.4)$$

де n – показання приладу в поділках.

Результати розрахунку заносимо в табл. 8.3.

8.4.6. Розраховуємо: абсолютну похибку

$$\Delta_a = p_y - p_{\text{рас}}, \quad (8.5)$$

і відносну похибку

$$\delta_B = \frac{\Delta_a}{p_y} \cdot 100\%. \quad (8.6)$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 8.3.

8.4.7. За результатами вимірювань будемо тарувальний графік, що показує залежність $p_k = f(n)$.

Таблиця 8.3 – Протокол досліджень вторинного приладу

№ з/п	p_k , МПа	n , поділки шка- ли	$p_{\text{рас}}$, МПа	Δ_a	Δ , %	Примітка

Контрольні запитання

1. З яких частин складається пристрій алгебричного підсумовування пневматичних сигналів?
2. Як працює пристрій алгебричного підсумовування пневматичних сигналів?
3. Які операції виконує пристрій алгебричного підсумовування пневматичних сигналів?
4. З яких частин складається вторинний прилад?
5. Як працює вторинний прилад?
6. У якому порядку проводять експериментальні дослідження пристрою алгебричного підсумовування пневматичних сигналів?
7. За якою залежністю розраховують похибку пристрою алгебричного підсумовування пневматичних сигналів?
8. У якому порядку проводять експериментальні дослідження вторинного приладу?
9. Як визначають розрахунковий тиск вторинного приладу?
10. За якою залежністю розраховують похибку вторинного приладу?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ПОБУДОВАНИХ ЗА ПРИНЦИПОМ ПРИТЯГАННЯ СТРУМЕНЯ ДО СТІНКИ

Мета роботи. Ознайомитися з принципом роботи струминних елементів, побудованих за принципом притягання струменя до стінки та методикою дослідження їх статичних характеристик. Експериментальне дослідження статичних характеристик струминних елементів, побудованих за принципом притягання струменя до стінки. Побудова графіків статичних характеристик струминних елементів.

9.1. Струминні елементи, побудовані за принципом притягання струменя до стінки

В елементах, побудованих за цим принципом, використано ежекційні властивості струменя (зазвичай турбулентного). Поблизу струменя розташовано тверду стінку (рис. 9.1, а). Умови ежекції на ділянці, обмеженій струменем та стінкою, затруднені, отже, тиск у цій області зменшується в порівнянні з тиском навколишнього середовища. Внаслідок цього на струмінь починає діяти поперечний перепад тиску, який викривляє струмінь у бік стінки (рис. 9.1, б).

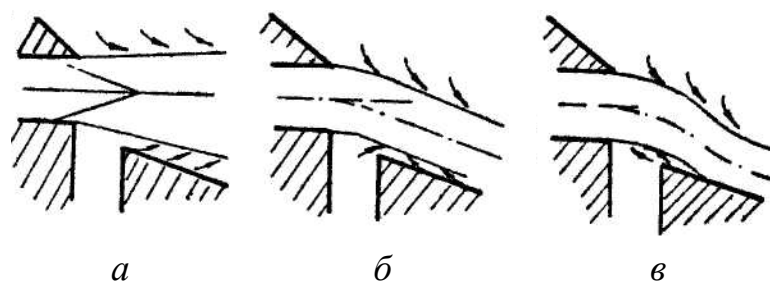


Рис. 9.1. Схема притягання струменя до плоскої стінки

Викривлення струменя спричинює зменшення прохідного перерізу для ежектованого потоку, а отже, збільшення перепаду тиску й викривлення струменя. Процес відхилення струменя наростає лавиноподібно доти, поки її нижній край не доторкнеться до стінки й не утвориться замкнена циркуляційна зона між струменем та стінкою (рис. 9.1, в). При цьому утворюється зворотний потік. Вісь струменя викривляється й далі доти, поки

витрата зворотного потоку $q_{зв}$ не стане дорівнювати витраті, ежектованій струменем q_e . У цей момент досягається стійке викривлення осі струменя.

Струмінь від стінки можна відірвати трьома способами: подаючи через канал керування витрату q_k ; створюючи зону розрідження між струменем й протилежною стінкою; вводячи перешкоди на шляху струменя.

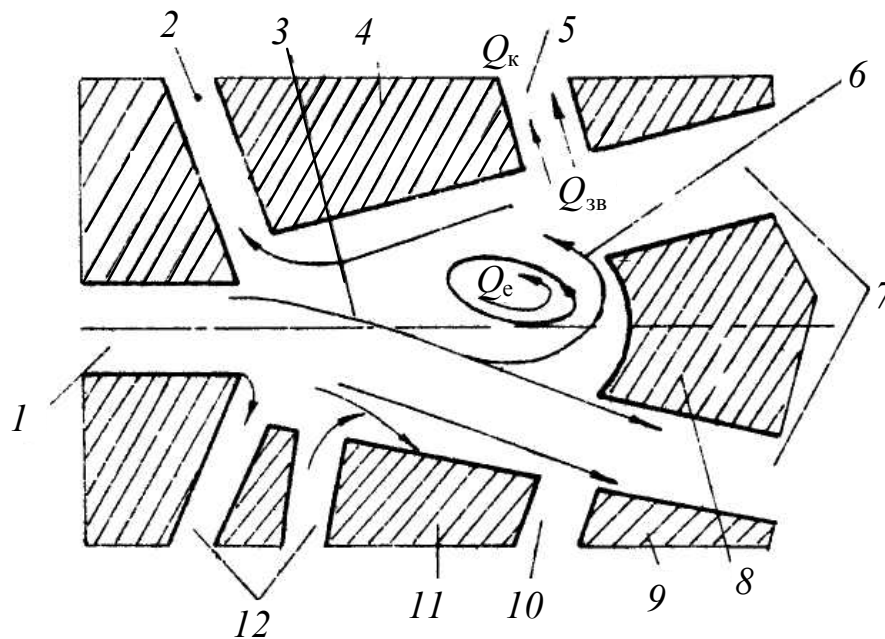


Рис. 9.2. Струминний елемент, побудований за принципом притягання струменя до стінки: 1 – сопло живлення; 2 і 12 – канали керування; 3 – робоча камера; 4, 9 і 11 – стінки; 5 і 10 – атмосферні канали; 6 – нижнє ребро дефлектора; 7 – приймальні канали; 8 – роздільник

При роботі такого елемента (рис. 9.2) струмінь, що витікає із сопла живлення 1, притягується однією з бічних стінок, наприклад 11, тече вздовж неї й потрапляє в нижній вихідний канал 7, в якому встановлюється сигнал високого рівня. При цьому між струминою та стінкою утворюється циркуляційна зона зниженого тиску, в яку надходить як поворотний потік, так і потік, що засмоктується через нижні канали керування 12. Частина витрати струменя, що її не споживає навантаження, скидається через нижній атмосферний канал 10.

Дефлектор 6 розташовують таким чином, щоб відстань між ним і стінкою 11 була менша, ніж ширина струменя. Отже, частина струменя $q_{з.з}$ відтинається нижнім ребром дефлектора 6, тече вздовж його угнутої поверхні й спрямовується верхнім ребром в область між струменем й стінкою

4. Відбитий потік $q_{3.3}$ ежектується верхньою границею струменя q_e , створюючи вихрову зону, й частково витікає через верхній канал керування 2, атмосферний 5 і вихідний 7 канали в атмосферу. Витрата $q_{3.3}$ відбита дефлектором, звичайно перевищує ежектовану витрату q_e , і в області між струменем й стінкою 4 створюється підвищений тиск, який притискує струмінь до стінки 11, реалізує внутрішній зворотний зв'язок, який стабілізує положення струменя у випадку малих відхилень.

У випадку подавання витрати в один чи в обидва канали керування точка притягання струменя до стінки зміщується вниз за течією, поки струмінь не відірветься від стінки. Проте перемикання не відбувається, оскільки цьому перешкоджає протитиск $p_{3.3}$, зумовлений дією внутрішнього зворотного зв'язку. При певних величинах тиску й витрати керування (тиск $p_{пер}$ і витрати $q_{пер}$) протитиску $p_{3.3}$ недостатньо для втримання струменя й елемент перемикається. Одночасно змінюється напрям дії внутрішнього зворотного зв'язку (з'являється відбитий потік з протилежного боку). Отже, після того як витрата й тиск керування досягнуть значень $q_{пер}$ і $p_{пер}$, зворотний зв'язок сприяє перемиканню струменя, забезпечуючи при цьому релійність останнього. Циркуляційна зона утворюється між струменем й стінкою 4, а сигнал високого рівня встановлюється у верхньому вихідному каналі 7 (див. рис. 9.2).

Залежно від глибини зворотного зв'язку, відносних розмірів робочої камери та вхідних характеристик каналів керування 2 і 12 струмінь або зберігає це положення після зняття сигналу керування (елемент пам'яті – тригер з окремими входами), або повертається до стінки 11 (логічний елемент, який реалізує функцію АБО – НЕ АБО).

9.2. Статичні характеристики струминних елементів

До них належать:

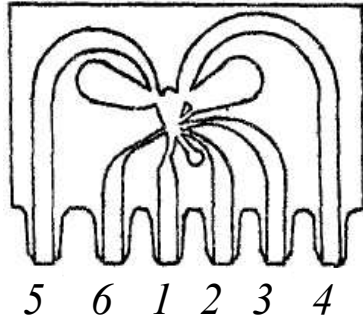
– вихідна характеристика – залежність витрати у вихідному каналі від тиску в цьому ж каналі $q_v = f(p_v)$;

– вхідна характеристика – залежність витрати від тиску на вході для каналу живлення $q_ж = f(p_ж)$ й каналу керування $q_{кер} = f(p_{кер})$;

– характеристика перемикання – залежність тиску (витрати) на виході від тиску (витрати) на вході елемента.

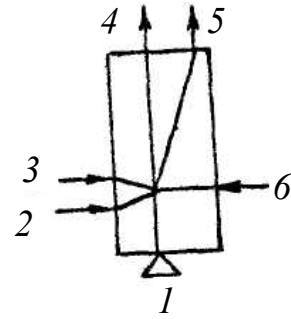
Зауважимо, що вхідні й вихідні характеристики використовуються для визначення умов спільної роботи струминних елементів у системах керування.

9.3. Логічний елемент АБО – НЕ АБО, СТ-41 є моностабільним підсилувачем. Принцип дії заснований на ефекті взаємодії струменя повітря із твердою стінкою. Елемент (рис. 9.3) має керуючі входи 2, 3, два виходи: НЕ АБО – 4, АБО – 5, сопло живлення 1 і атмосферні канали.



5 6 1 2 3 4

a



b

Входи			Виходи	
2	3	6	4	5
0	0	0	1	0
1	0	0	0	1
0	1	0	0	1
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
1	0	1	1	0
0	1	1	1	0

б

Призначення штуцерів:

1 – підведення живлення;

2, 3 – входи;

4 – вихід НЕ I;

5 – вихід I;

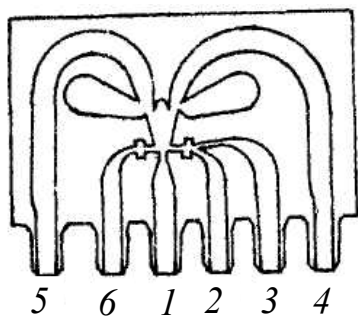
6 – атмосферний канал

Рис. 9.3. Струминний логічний елемент АБО – НЕ АБО на два входи

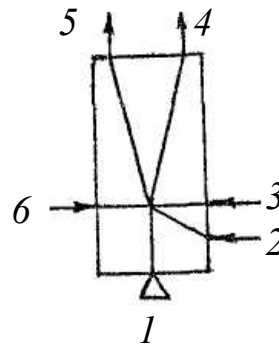
За відсутності керуючих сигналів струмінь живлення, що виходить із сопла 1, за рахунок конструктивних особливостей елемента притискається до лівої стінки й направляється на вихід 4. При подачі керуючих сигналів (одного або двох одночасно) струмінь живлення перекидається до протилежної стінки й направляється на вихід 5. При знятті керуючих сигналів струмінь повертається у вихідне положення. На рис. 9.3, б наведена таблиця стану входів і виходів.

9.4. Тригер із роздольними входами СТ-42, системи «Волга» є струминним підсилувачем, що служить для запам'ятовування сигналів у пневматичних системах керування. Він складається (рис. 9.4) з каналу живлення 1, керуючих каналів 2, 3, 6, камери взаємодії струменів й вихідних ка-

налів 4 і 5. Струмінь живлення примикає до однієї зі стінок і подається на вихід 4 або 5. Перекидання струменя до протилежної стінки виконується подачею керуючого сигналу з боку стінки, до якого примикає струмінь. При знятті керуючого сигналу струмінь живлення зберігає своє положення. Входи 3, 6 служать для перемикання струменя при роботі в схемі, а вхід 2 – для установки у вихідне положення перед запуском схеми. Працює тригер відповідно до таблиці стану входів і виходів, показаної на рис. 9.4, б; на рис. 9.4, в дано умовне позначення.



а



в

Входи			Виходи	
2	3	6	4	5
1	0	0	0	1
0	0	0	0	1
0	0	1	1	0
0	0	0	1	0
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1

б

Призначення штуцерів:

- 1 – підведення живлення;
- 2, 3, 6 – входи;
- 4, 5 – виходи

Рис. 9.4. Струминний тригер з роздільними входами СТ-42

9.5. Експериментальна установка

Експериментальна установка (рис. 9.5–9.8) складається з досліджуваного елемента 1, редукторів тиску 2, ротаметрів 3, манометрів 4, регульованих дроселів 5. Залежно від типу досліджуваного елемента схема експериментальної установки може містити ще одну лінію, підключену до іншого каналу живлення.

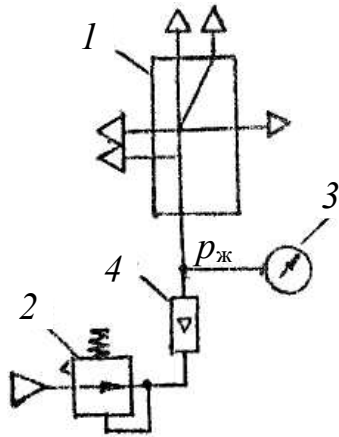


Рис. 9.5. Пневматична схема експериментальної установки для зняття вхідної характеристики каналу живлення

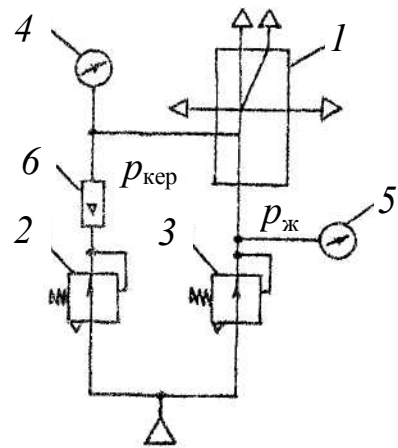


Рис. 9.6. Пневматична схема експериментальної установки для зняття вхідної характеристики каналу керування

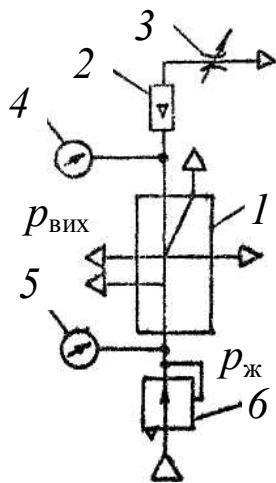


Рис. 9.7. Пневматична схема експериментальної установки для зняття вихідної характеристики

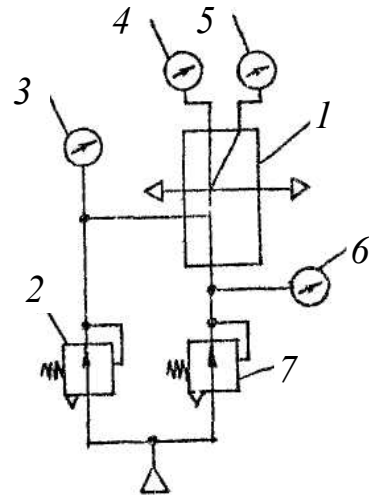


Рис. 9.8. Схема установки для зняття характеристики перемикавання

9.6. Експериментальне визначення статичних характеристик струминних елементів

Зазначимо, що при проведенні експериментальних досліджень струминних елементів, об'ємну витрату приводимо до заданих умов за тиском і температурою за формулою

$$q_H = q \frac{p}{p_H} \frac{T}{T_H}, \quad (9.1)$$

де q_H , p_H , T_H – об'ємна витрата, абсолютний тиск, температура повітря при заданих умовах; q , p , T – теж при робочих умовах.

9.6.1. Експериментальне визначення вхідної характеристики каналу живлення

1. Зібрати схему відповідно до рис. 9.5 і підключити її до магістралі стисненого повітря.

2. Для кожного фіксованого значення вхідного сигналу, установленого регулятором 2 у межах від 0,2 до $1,0 \cdot 10^{-2}$ МПа, зняти показання манометра 3, ротаметра 4 і занести їх до табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Протокол експериментального визначення вхідної характеристики каналу живлення

$p_{ж}$		$q_{ж}$	
Поділки шкали	МПа	Поділки шкали	м ³ /с

3. За отриманими даними (табл. 9.1) побудувати вхідну характеристику каналу живлення.

9.6.2. Експериментальне визначення вхідної характеристики каналу керування

1. Зібрати схему відповідно до рис. 9.6 і підключити її до магістралі стисненого повітря.

2. Регулятором 3 установити тиск живлення, $p_{ж} = (0,2 - 1,0) \cdot 10^{-2}$ МПа.

3. Для кожного фіксованого значення сигналу керування, установленого регулятором 2 у межах $(0,2 - 1,0) \cdot 10^{-2}$ МПа, зняти показання манометра 4 і ротаметра 6 і занести їх до табл. 9.2.

Таблиця 9.2 – Протокол експериментального визначення вхідної характеристики каналу керування

$p_{кер}$		$q_{кер}$	
Поділки шкали	МПа	Поділки шкали	м ³ /с

4. За отриманими даними (табл. 9.2) побудувати вхідну характеристику каналу керування.

9.6.3. Експериментальне визначення вихідної характеристики

1. Зібрати схему відповідно до рис. 9.7 і підключити її до магістралі стисненого повітря.

2. Регулятором 6 установити тиск живлення в межах $(0,2-1,0) \cdot 10^{-2}$ МПа.

3. Для кожного фіксованого положення регульованого дроселя 3, установлюваного вручну, зняти показання манометра 4 і ротаметра 2 і занести їх до табл. 9.3.

Таблиця 9.3 – Протокол експериментального визначення вихідної характеристики

$p_{\text{вих}}$		$q_{\text{вих}}$	
Поділки шкали	МПа	Поділки шкали	м ³ /с

4. За отриманими даними (табл. 9.3) побудувати вихідну характеристику

9.6.4. Експериментальне визначення характеристики перемикання

1. Зібрати схему відповідно до рис. 9.8 і підключити її до магістралі стисненого повітря.

2. Регулятором 7 установити на вході в канал живлення тиск у межах $(0,2-1,0) \cdot 10^{-2}$ МПа.

3. Змінюючи плавним поворотом рукоятки регулятора 2 тиск керування від нуля до тиску, при якому відбувається перемикання струменя з виходу каналу 4 на вихід каналу 5, занести показання манометрів 3–5 у табл. 9.4.

4. Поворотом рукоятки 2 у протилежний бік добитися повернення струменя у вихідний стан.

Таблиця 9.4 – Протокол експериментального визначення характеристики перемикання

$p_{вх}$		$p_{вих}$			
		Поділки шкали		МПа	
Поділки шкали	МПа	p_4	p_5	p_4	p_5

5. За отриманими даними (табл. 9.1) побудувати характеристику перемикання.

9.6.5. Аналіз результатів експерименту.

Аналізуємо отримані результати, описуємо вид отриманих залежностей, визначаємо максимальне значення тиску і витрати на виході елемента, а також значення тиску перемикання для дискретного елемента.

Контрольні запитання

1. З яких частин складається струминний елемент, побудований за принципом притягання струменя до стінки?

2. Як працює струминний елемент, побудований за принципом притягання струменя до стінки?

3. Які операції може виконувати струминний елемент, побудований за принципом притягання струменя до стінки?

4. Які характеристики мають струминні елементи?

5. Які вимірювальні прилади містить пневматична схема для дослідження струминних елементів, побудованих за принципом притягання струменя до стінки?

6. У якому порядку проводять експериментальне визначення характеристик струминних елементів, побудованих за принципом притягання струменя до стінки?

7. За якою залежністю приводять об'ємну витрату до заданих умов?

8. Для чого в струминних елементах, побудованих за принципом притягання струменя до стінки, виконані канали, з'єднані з атмосферою?

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРОВИХ СТРУМИННИХ
ЕЛЕМЕНТІВ**

Мета роботи. Ознайомитися з принципом роботи вихрових струминних елементів та методикою дослідження їх характеристик. Експериментальне дослідження статичних характеристик вихрових струминних елементів. Побудова графіків статичних характеристик вихрових струминних елементів.

10.1. Вихрові струминні елементи

Елементи струминної техніки, дія яких ґрунтується на утворенні закрученого вихрового руху, називають вихровими. До них належать вихрові підсилювачі, вихрові клапани, вихрові діоди та датчики.

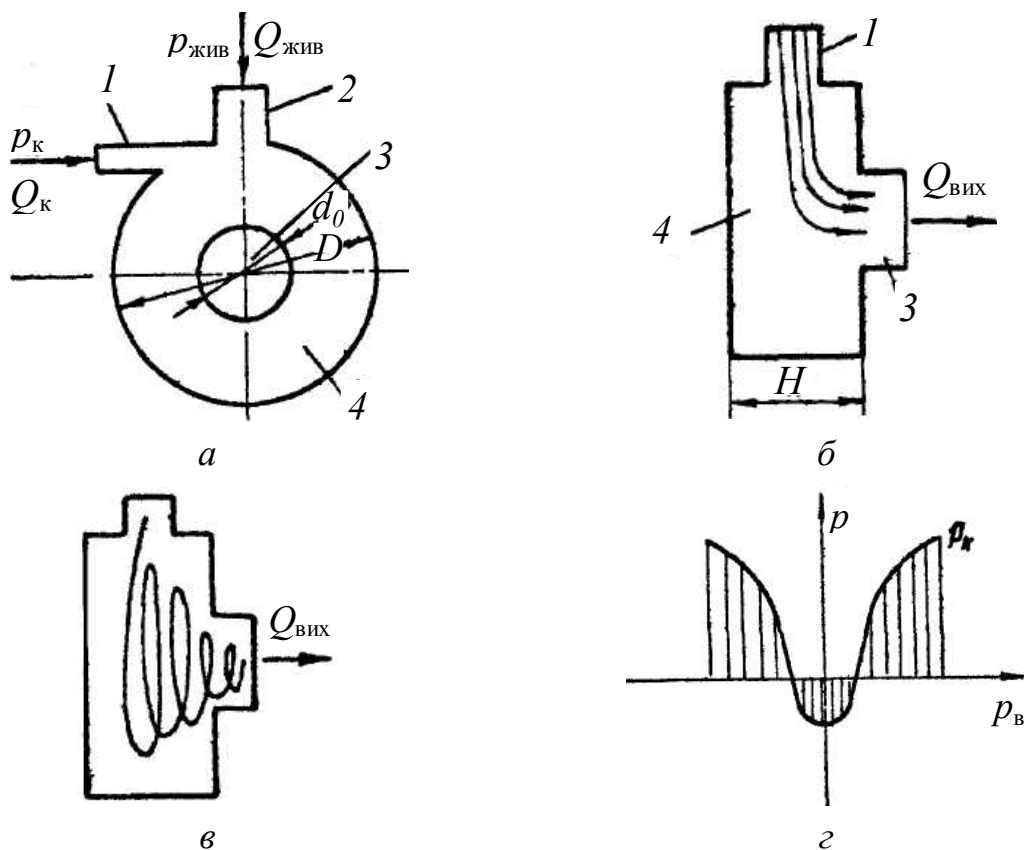


Рис. 10.1. Схема вихрового підсилювача (а): 1 – тангенціальний канал керування; 2 – радіальний канал живлення; 3 – вихідний канал; 4 – вихрова камера; траєкторії руху частинок у разі відсутності (б) та наявності (в) керуючого сигналу; розподіл статичного тиску під час вихрового руху (г)

Вихровий підсилювач (рис. 10.1) працює таким чином. Потік живлення робочої рідини у разі відсутності потоку керування з каналу живлення 2 надходить у вихрову камеру 4 й рухається в напрямі, перпендикулярному до її поздовжньої осі, від периферії до центра, потім надходить у вихідний канал 3 (рис. 10.1, б). Спад тиску потоку живлення на його шляху від каналу 2 до виходу з вихрової камери 4 незначний. У цьому випадку вихідна витрата залежить від площі вихідного каналу та тиску живлення.

Подавання керуючого потоку через канал керування 1 спричинює вихровий рух (рис. 10.1, в, г), внаслідок чого виникає градієнт тиску, який збільшує опір на ділянці руху потоку від каналу живлення 2 до вихідного каналу 3. У вихровій камері 4 вплив потоку керування на потік живлення підсилюється (потік живлення замикається потоком керування). Вихідна витрата вихрового підсилювача визначається радіальним градієнтом тиску у вихровій камері 4.

Щоб вихровий елемент можна було використати як діод, в ньому роблять два канали: 1 і 3. Якщо потік робочої рідини подавати через канал 3 (прямий потік), то опір вихрової камери буде незначним (немає вихрового руху) і потік рідини надійде в канал 1 практично без втрат. Якщо потік робочої рідини подавати через канал 1 (зворотний потік), то у вихровій камері 4 створиться вихровий рух, який різко збільшить її опір. У канал 1 надійде незначна частина потоку, підведеного до каналу 1.

10.2. Експериментальна установка

Експериментальна установка (рис. 10.2) складається з досліджуваного елемента 1, редукторів тиску 2, ротаметрів 3, манометрів 4, регульованого дроселя 5. При дослідженні вихрового діода використовується одна гілка живлення.

10.3. Експериментальне визначення характеристики вихрового підсилювача

10.3.1. Зібрати схему відповідно до рис. 10.2 і підключити її до магістралі стисненого повітря.

10.3.2. Регулятором 2(1) встановити тиск живлення у межах від 1,2 до $1,4 \cdot 10^{-2}$ МПа.

10.3.3. Для кожного фіксованого значення сигналу керування, установленого регулятором 2(2) у межах від 0,2 до $1,0 \cdot 10^{-2}$ МПа, зняти показання манометрів 3, та ротаметрів 4 і занести їх до табл. 10.1.

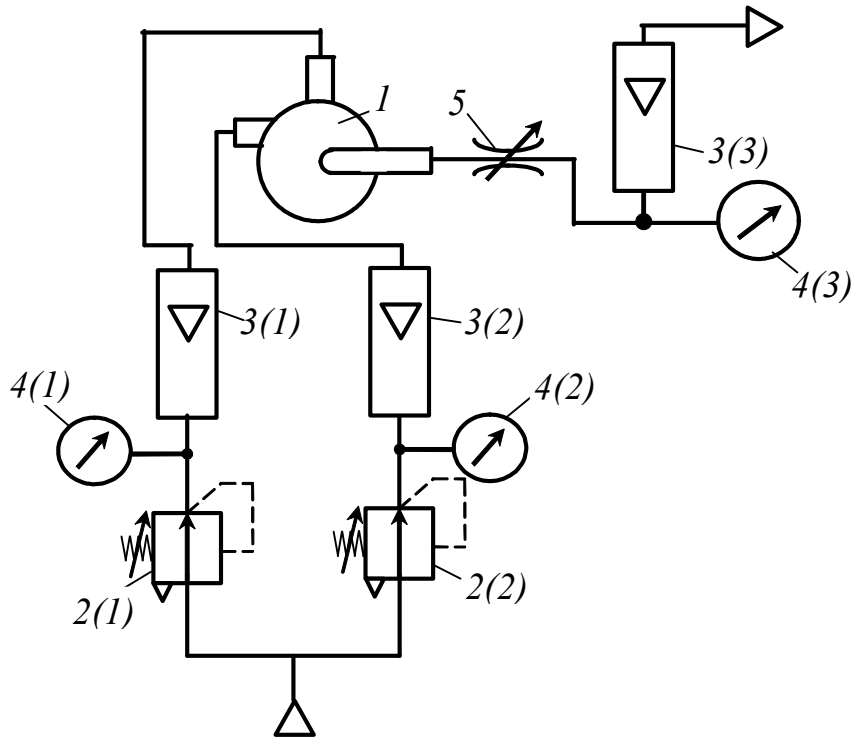


Рис. 10.2. Схема установки для зняття характеристики вихрового підсилювача

Таблиця 10.1 – Протокол експериментального визначення характеристики вихрового підсилювача

$P_{кер}$		$q_{кер}$	
Поділки шкали	МПа	Поділки шкали	м ³ /с

Продовження табл. 10.1

$P_{вих}$		$q_{вих}$	
Поділки шкали	МПа	Поділки шкали	м ³ /с

10.3.4. За отриманими даними (табл. 10.1) побудувати характеристику вихрового підсилювача.

10.4. Експериментальне визначення характеристики вихрового діода

10.4.1. Зібрати схему відповідно до рис. 10.2, використовуючи одну гілку живлення і підключити її до магістралі стисненого повітря.

10.4.2. Для кожного фіксованого значення сигналу живлення, установленого регулятором 2(1) у межах від 0,2 до $1,0 \cdot 10^{-2}$ МПа, зняти показання манометрів 3, та ротаметрів 4 і занести їх до табл. 10.2.

Таблиця 10.2 – Протокол експериментального визначення характеристики вихрового діода

$p_{ж}$		$q_{ж}$	
Поділки шкали	МПа	Поділки шкали	м ³ /с

Продовження табл. 10.2

$p_{вих}$		$q_{вих}$	
Поділки шкали	МПа	Поділки шкали	м ³ /с

10.4.3. Змінюємо місцями вхід та вихід вихрового діода (зворотня течія) та повторюємо експеримент.

10.4.4. За отриманими даними (табл. 10.2) побудувати характеристику вихрового діода.

10.5. Аналіз результатів експерименту

Аналізуємо отримані результати, описуємо вид отриманих залежностей, визначаємо максимальне значення тиску і витрати на виході елемента, а також значення тиску запирання для вихрового підсилювача.

Контрольні запитання

1. З яких частин складається вихровий підсилювач?
2. Як працює вихровий підсилювач?
3. Як працює вихровий діод?
4. Що таке зворотня течія?
5. Який вигляд має характеристика запирання вихрового підсилювача?
6. У якому порядку проводять експериментальне визначення характеристик вихрових елементів?
7. За якою залежністю приводять об'ємну витрату до заданих умов?

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Залежність коефіцієнта Стьюдента j_{st} від кількості вимірювань m при довірчій імовірності β

m	β												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,96	0,98	0,99	0,999
2	0,16	0,33	0,51	0,73	1,0	1,38	2,0	3,1	6,3	12,7	31,8	63,7	636,6
3	0,14	0,29	0,45	0,62	0,82	1,06	1,3	1,9	2,9	4,3	7,0	9,9	31,6
4	0,14	0,28	0,42	0,58	0,77	0,96	1,3	1,6	3,4	3,2	4,5	5,8	12,9
5	0,13	0,27	0,41	0,57	0,74	0,94	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6	8,6
6	0,13	0,27	0,41	0,56	0,73	0,92	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0	6,9
7	0,13	0,27	0,40	0,55	0,72	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7	6,0
8	0,13	0,26	0,40	0,55	0,71	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,5	5,4
9	0,13	0,26	0,40	0,54	0,71	0,90	1,1	1,4	1,8	2,3	2,9	3,4	5,0
10	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,88	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8
11	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,88	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,2	4,6
12	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	4,5
13	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	4,3
14	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,0	4,2
15	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	3,0	4,1
16	0,13	0,25	0,39	0,52	0,67	0,84	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	3,3

Таблиця А.2 – Фізичні властивості повітря

Середня молекулярна маса		28,98 г/моль
Густина при атмосферному тиску ($1,013 \cdot 10^5$ Па)	– 25 °С	1,424 кг/м ³
	0 °С	1,2929 кг/м ³
	20 °С	1,2047 кг/м ³
Газова постійна		286,89 Дж/(кг·К)
Питома теплоємність c_p (0 ~ 150 °С)		1011 Дж/(кг·К)
Динамічна в'язкість (20 °С)		$18,19 \times 10^{-6}$ Па·с
Теплопровідність (20 °С)		0,0258 Вт/(м·К)
Температура кипіння повітря у рідкому стані		– 192 °С

ДОДАТОК Б

Характеристики блоків підготовки повітря

Номінальний тиск, МПа 1,0.

Мінімальний тиск на вході, МПа 0,1.

Витрата повітря при тиску на виході 0,4 МПа, м³/хв.

номін., не менше / мінім., не більше 0,63/0,16.

Абсолютна тонкість фільтрації, мкм 40.

Ступінь вологовідділення, %, не менше 90.

Діапазон налаштування тиску, МПа – 0,05–0,90.

Зміна скороченого тиску на виході при зміні витрати, МПа, не більше 0,05.

Зміна скороченого тиску на виході при зміні тиску на вході, МПа, не більше 0,035.

Перевищення тиску на виході клапана над тиском настроювання, при якому відкривається клапан скидання повітря в атмосферу, МПа, не більше 0,06.

Корисна місткість резервуара для збору конденсату, див. 3, не менше 100

Відвід конденсату напівавтоматичний з можливістю ручного.

Маса, кг, не більше 1,4.

ДОДАТОК В

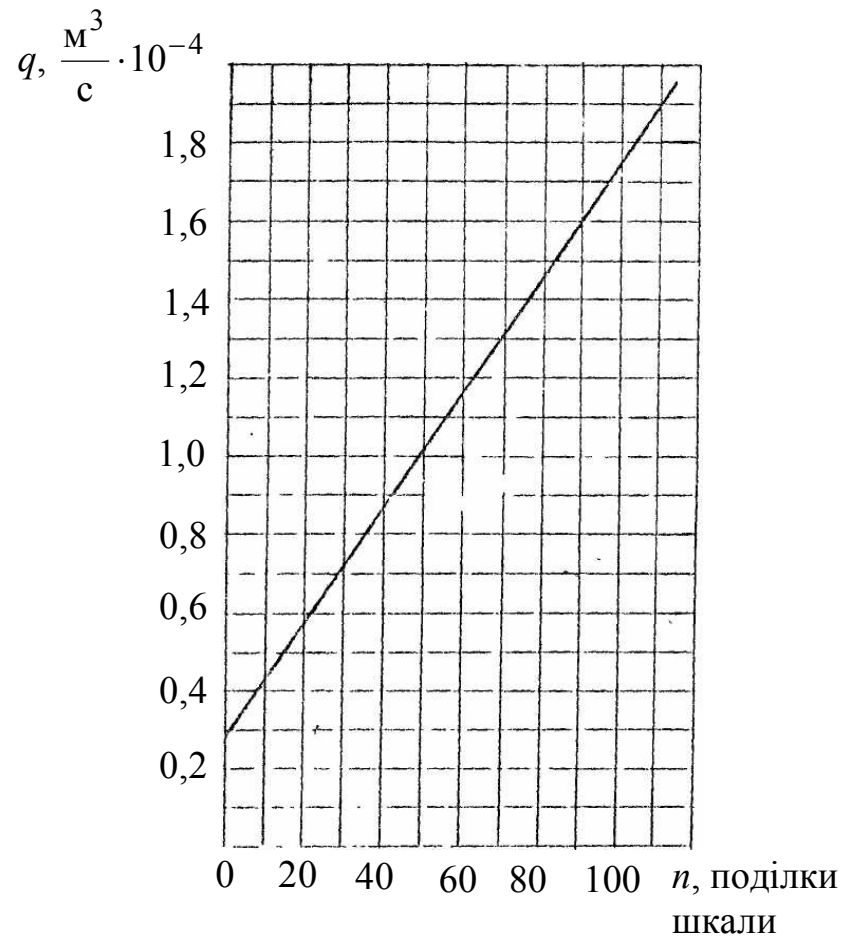


Рис. В.1. Тарувальний графік ротаметра РС - 3

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андренко П. М. Проектування і розрахунок елементів та пристроїв гідро-пневмоавтоматики: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / П.М. Андренко. – К. : УМК ВО, 1990. – 100 с.
2. Дмитриев В.Н. Основы пневмоавтоматики. / В.Н. Дмитриев, В.Г. Градецкий. – М. : «Машиностроение», 1973. – 360 с.
3. Пневматические устройства и системы в машиностроении: справочник ; под общей ред. Е.В. Герц. – М. : Машиностроение, 1981. – 408 с.
4. Лабораторний практикум. (Гідравліка, гідравлічні машини, гідро- і пневмопривод та пневмоавтоматика) : навч. посіб. / Матієга В.М., Кулініченко В.Р., Мотуз І.К., Яхно О.М. – К.: 2007. – 341 с.
5. Вихрові виконавчі пристрої. Частина 1. Однорідні робочі середовища: монографія / Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І., Войцеховский С.В., Роговой А.С., Дмитрієнко Д.В., Мальцева М.О. – Луганск : СНУ ім. В. Даля, 2009. – 280 с.
6. Сполучення вихрових виконавчих пристроїв із сучасними системами управління: монографія / Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Ремень В.І., Мальцев Я.І. – Луганск : СНУ ім. В. Даля, 2002. – 172 с.
7. Дискретно-логическое управление в системах гидропневмоавтоматики: учеб. пособ. / А. П. Губарев. – К. : ИСМО, 1997. – 224 с.
8. Методические указания к лабораторным работам по курсу “Пневматические элементы и устройства автоматики” / сост. Андренко П.Н., Клитной В.В. – Х. : ХПИ, 1990. – 62 с.
9. Методические указания к лабораторным работам по курсу “Элементы и устройства гидропневмоавтоматики” / Сост. Онищенко А.Н., Андренко П.Н., Запорожец В.П., Дмитриенко В.В. – Х. : ХПИ, 1993. – 68 с.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
ВСТУП	4
Лабораторна робота 1. ПНЕВМАТИЧНІ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ	11
Лабораторна робота 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛЬОВАНОГО ДРОСЕЛЯ ТИПУ “КОНУС-КОНУС”	19
Лабораторна робота 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНОПНЕВМАТИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА СОПЛО-ЗАСЛІНКА	25
Лабораторна робота 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ ІНЕРЦІЙНОЇ ЛАНКИ	31
Лабораторна робота 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛУ ПО ПНЕВМАТИЧНІЙ ЛІНІЇ ЗВ’ЯЗКУ	34
Лабораторна робота 6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМАТИЧНИХ МЕМБРАННИХ ЕЛЕМЕНТІВ	38
Лабораторна робота 7. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСІВ	44
Лабораторна робота 8. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВТОРИННОГО ПРИЛАДУ ТА ПРИСТРОЮ АЛГЕБРИЧНОГО ПІДСУМОВУВАННЯ ПНЕВМАТИЧНИХ СИГНАЛІВ	48
Лабораторна робота 9. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ПОБУДОВАНИХ ЗА ПРИНЦИПОМ ПРИТЯГАННЯ СТРУМЕНЯ ДО СТІНКИ	54
Лабораторна робота 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРОВИХ СТРУМИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ	63
ДОДАТОК А	67
ДОДАТОК Б	68
ДОДАТОК В	69
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	70

Навчальне видання

АНДРЕНКО Павло Миколайович
ГРЕЧКА Ірина Павлівна

ПНЕВМАТИЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ПРИСТРОЇ АВТОМАТИКИ
Лабораторний практикум
з курсу «Мехатроніка в гідропневмоавтоматиці»
для студентів машинобудівних спеціальностей

Редактор Н.В. Верстюк

План 2011 р., п. 78/
Підп. до друку . Формат 60x84 1/16. Папір офсет.
Друк – ризогр. Ум. друк. арк. . Наклад 100 прим.
Зам. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ «ХП», 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21