УДК 541.55
І.М.Колядинський, А.М.Коровицький, Т.І.Коменда, І.М.Панасюк, В.В.Сахарчук
Луцький національний технічний університет

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЛАПАНА ДЛЯ КОНТРОЛЕРА ГАЗОВИХ ПОТОКІВ F 260

У роботі запропоновано нову конструкцію і принцип роботи термічного клапана для контролера газових потоків F260. Проведено експерименти по дослідженню робочих характеристик клапана. Визначено оптимальні налаштування його механічних та електричних компонентів.

Ключові слова: *термічний клапан, контролер газових потоків F260, площа перебігу потоку, діапазон контролю газового потоку*

Вступ

В сучасній промисловості багато технологічних процесів відбувається з використанням газових потоків. Для якісного перебігу таких процесів важливим аспектом є точне вимірювання та автоматизований контроль витрати газового потоку. Зручним інструментом для здійснення функцій автоматизованого обліку та контролю витрати газових потоків є газові контролери (MFC – Mass Flow Controller). Одним із основних виконавчих елементів у таких приладах є клапан. Аналітична частина приладу здійснює вимірювання та аналіз отриманих даних витрати і надсилає керуючий сигнал до клапану, який, в свою чергу здійснює регулювання витрати.

Постановка задачі.

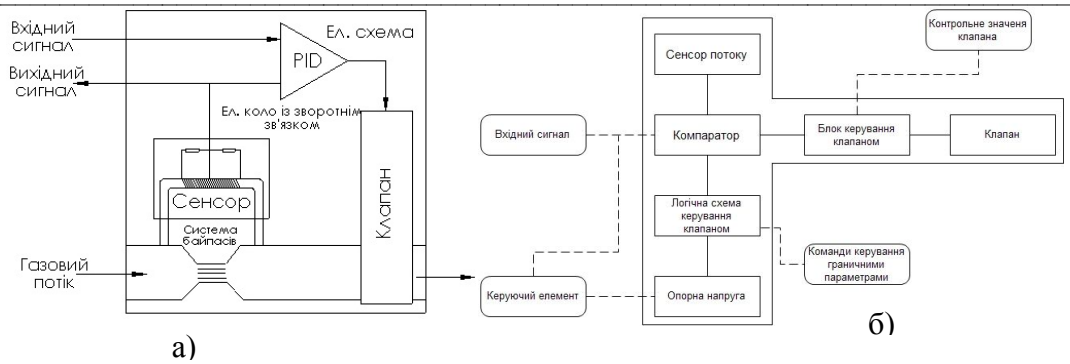
Метою дослідження є розробка та вивчення режимів роботи системи клапана у контролері масових потоків F260. Визначення його оптимальних налаштувань дозволить створити умови автоматизованого керування процесом подачі газу чи газових сумішей. Експериментальна перевірка робочих характеристик розробленого нами клапана у контролері газових потоків F260 дозволить визначити та встановити можливі сфери застосування приладу у сучасних технологічних процесах. Для практичного підтвердження результатів здійснити апробацію приладу, оснащеного клапаном з новою конструкцією, у системі подачі газу до робочої камери універсального вакуумного поста ВУП-5М.

Матеріали дослідження.

Для вибору оптимального засобу керування подачею газових потоків був проведений аналіз існуючих сучасних систем даного типу. Одними з найбільш точних приладів для вимірювання та контролю газових потоків є контролери термічного типу (Thermal MFC). Будову такого приладу можна умовно розділити на два основних компоненти: витратомір потоку (MFM – Mass flow meter) та контролер потоку (Flow controller)[1]. Для контролю витрати у таких приладах використовується система клапана, яка здійснює не лише функцію перекриття потоку у контролері, а й поступову, або миттєву зміну витрати. Більшість систем для контролю подачі газових потоків використовують клапани електромагнітного або термічного типу [2]. Для забезпечення плавності переходу між контрольними точками доцільним є використання контролера з термічним типом клапана.

На Рис.1 відображено принципову будову даного контролера та функціональну схему керування клапаном [3]. Газовий потік, який потрапляє у контролер, розділяється на дві вітки: перша – основний потік проходить через систему байпасів, цим самим забезпечуючи ламінарність потоку; друга вітка – потік, що проходить через сенсор, який являє собою шунт до основного потоку. Сенсор сигналізує про значення величини потоку. Будь які зміни перенесення маси газу через сенсор генерують відповідні сигнали для керування роботою клапана, що дозволяє підтримувати задану величину потоку. Електрична схема зі зворотнім зв’язком забезпечує високу динамічну чутливість до зміни потоку і дає можливість стабілізувати його на виході.

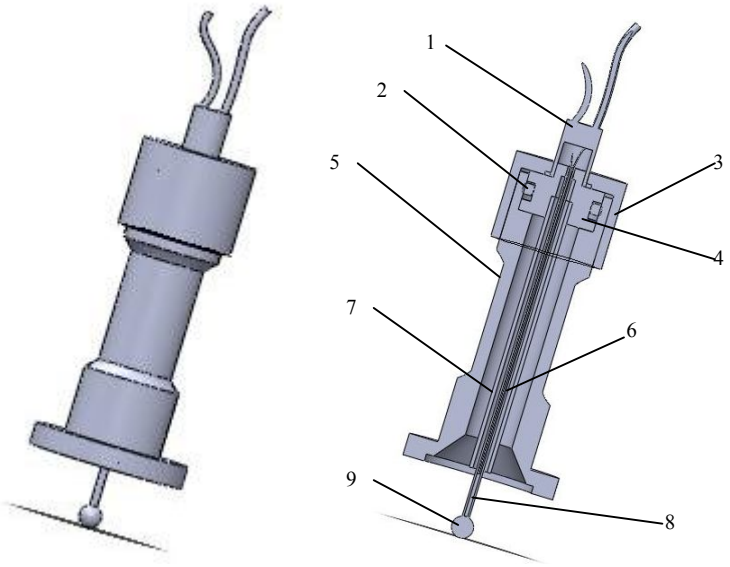
©І.М.Колядинський, А.М.Коровицький, Т.І.Коменда, І.М.Панасюк, В.В.Сахарчук



а) б)

Рис.1. а) принципова будова контролера газового потоку F 260.
б) функціональна схема керування клапаном.

Для керування газовим потоком у контролері F 260 використовується термічний клапан. При відключені даного приладу від електричного живлення клапан знаходиться у відкритому стані та перебуватиме в такому положенні доки не буде прикладена відповідна напруга на його резистивний елемент. Для покращення роботи приладу було запропоновано нову конструкцію клапана, загальний вигляд якого показано на Рис.2.



1 – Вивід для під єднання;
2 – Віджимна шайба;
3 – Фіксуюча гайка;
4 – Зажим;
5 – Корпус;
6 – Нагрівальний елемент;
7 – Кожух;
8 – Розширювальна трубка;
9 – Робочий елемент;

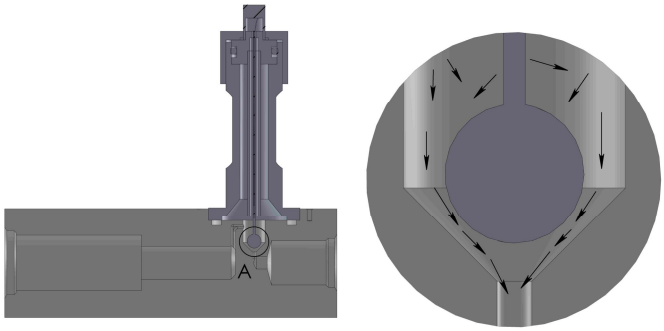
а) б)

Рис.2 а) Загальний вигляд термічного клапана
б) Розріз термічного клапана

Нова система клапана суттєво відрізняється від попередньої, як за дизайном, так і за конструктивними елементами. По-перше, вдалося значно зменшити розміри клапана; по-друге, додано додаткові вузли, які забезпечують більшу жорсткість розширювальної трубки (Рис.2б, 8); по – третє, всі вузлові частини клапана, які знаходяться під впливом газового потоку виготовлені з нержавіючої сталі (SS 316), що дозволяє використовувати дану конструкцію і при керуванні потоків агресивних середовищ.

Механічний принцип роботи клапана базується на зміні зазору між робочим елементом клапану і воронкоподібним отвором основи Рис.3б). Максимальне та мінімальне значення поперечного перерізу зазору визначає діапазон керування газовим потоком. Адаптацію приладу до необхідного робочого діапазону було запропоновано здійснювати лише за допомогою зміни розміру робочого елемента клапана (Рис.2б, 9), а не воронкоподібного отвору основи. Звичайно, досягнути даного результату можна, змінюючи отвір в основі, проте таке рішення є економічно не вигідним, зважаючи на те, що основа приладу є найдорожчим елементом системи. Відповідно до запропонованої інновації структура основи є універсальною для виготовлення і може використовуватись для широкого діапазону газових потоків.

©І.М.Колядинський, А.М.Коровицький, Т.І.Коменда, І.М.Панасюк, В.В.Сахарчук



а) б)

Рис.3 а) 3Д модель клапана та основи контролера F260 виконані в САПР SolidWorks
б) Перебіг потоку через площу утворену поверхнями воронкоподібного отвору основи та робочого елемента клапана

Переміщення робочого елемента клапана (Рис.2б, 9) здійснюється за рахунок нагріву резистивного елемента (Рис.2б, 6) і внаслідок цього, видовження трубки клапана (Рис.2б, 8). Таким чином робочий елемент здійснює перекриття каналу у воронкоподібному отворі і контролює витрату потоку, що перебігає через прилад.

Для встановлення висоти переміщення клапана було проаналізовано залежність утворення площі перебігу газу від зміщення робочого елемента клапана. Очевидно, що максимальний потік, який може пропускати контролер визначається отвором основи. Коли площа перебігу газу, утворена основою приладу та робочим елементом клапана, перевищує площу поперечного перерізу каналу у воронкоподібному отворі (S =0,5 мм^2), витрата обмежується лише каналом у воронкоподібному отворі. Аналіз утворення площі перебігу газу, здійснювався за допомогою 3Д моделей основи приладу та клапана, виконаних у САПР SolidWorks (Рис.3а).

Для визначення значення потоку можна скористатись математичною залежністю витрати потоку від площі перебігу[4]:

$$W = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \cdot S \qquad (1)$$

де, W - масова витрата, ΔP - різниця вхідного і вихідного тиску, ρ - густина речовини потоку, S - площа перебігу потоку.

Користуючись формулою (1) можемо встановити діапазон потоків для приладу. Для оцінки величини потоку скористуємося значеннями даних отриманих при аналізі площі поверхні перебігу газу в САПР SolidWorks. В якості модельного газу використаємо азот, ρ =1,25 кг/м^3. Диференціальний тиск приймаємо рівним 0,3бар (згідно з технічними характеристиками більшості контролерів газових потоків). Розрахунки показують, що максимальна витрата котру пропускає прилад становить 6572 норм. см^3/хв. Відповідно до цього аналізуючи дані можемо встановити, що внаслідок зміщення робочого елемента клапану більше як на 150-160 мкм для клапана з діаметром робочого елемента 2 мм, 90-100 мкм для клапана з діаметром робочого елемента 3,2 мм та 60-70 мкм для клапана з діаметром робочого елемента 4,7 мм – витрата приладу обмежується лише отвором в основі.

Лінійне видовження розширювальної трубки клапана (Рис.2б, 8) можемо розрахувати згідно теорії лінійного теплового розширення [4], за якою коефіцієнт лінійного теплового розширення визначається як відношення зміни лінійних розмірів матеріалу до зміни температури. Математично це можна записати, як:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T}, \qquad (2)$$

Звідки $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$,

ΔT - зміна температури тіла, ΔL - зміна лінійної довжини, α - коефіцієнт теплового лінійного розширення, L_0 - початкова довжина.

©І.М.Колядинський, А.М.Коровицький, Т.І.Коменда, І.М.Панасюк, В.В.Сахарчук

Оскільки розширювальна трубка клапана має довжину 490мм та виготовлена з нержавіючої сталі (SS316), то: $L_0 = 490$ мм та $\alpha = 17 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1} . Відповідно для переміщення робочого елемента на 150 мкм необхідна температури прогріву розширювальної трубки становить $\Delta T \approx 20$°C.

Для практичної перевірки отриманих результатів було проведене дослідження переміщення робочого елемента внаслідок подачі напруги на клапан. Дослідження проводилося за допомогою експериментальної установки зображеної на Рис.4.

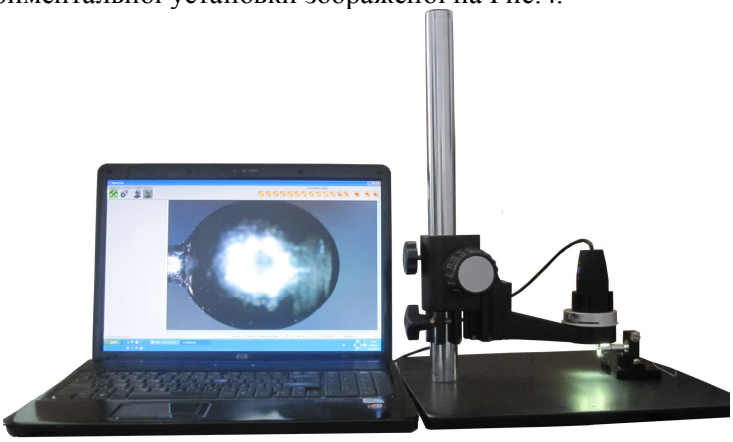


Рис. 4 Експериментальна установка для дослідження переміщення робочого елементу внаслідок подачі напруги на клапан.

Об'єктом дослідження було обрано клапан з діаметром робочого елемента 2мм. За допомогою регульованого блоку живлення подавалася напруга на виводи клапану, в робочому діапазоні, 0 – 12 В. Встановлена система Smart-Eye™, що являє собою відео мікроскоп, здійснювала реєстрацію зміни положення робочого елемента клапану. Результати експерименту було проаналізовано за допомогою програмного забезпечення MIMAS. Контроль температури прогріву розширювальної трубки (рис.2б, 8) здійснювався за допомогою мультиметра Trendicat 415A. Результати занесені до таблиці 1.

Таблиця 1

Результати експеримент з дослідження переміщення робочого елемента клапану внаслідок подачі напруги на резистивний елемент.

U, В	ΔL, мкм	ΔT, °C
0	0	0
2,28	7,13	0,9
4,06	23,5	3,5
6,03	42,76	5,3
8,01	71,26	8,3
10,35	116,14	14,8
12,13	149,52	16,9

Графічне відображення залежності зміни довжини розширювальної трубки клапана від поданої напруги можемо побачити на Рис.5.

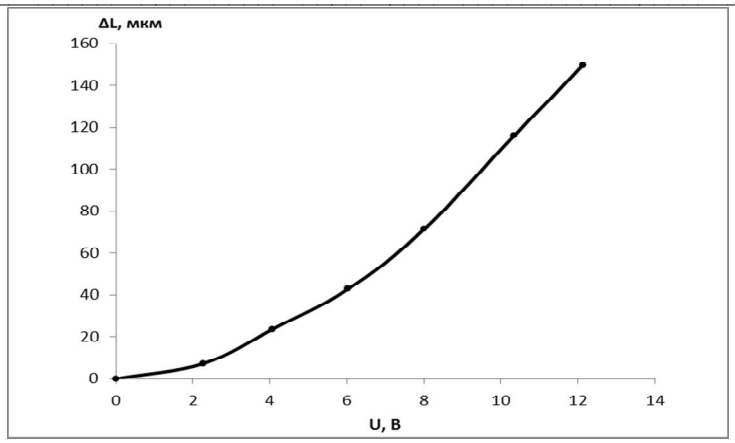


Рис.5 Переміщення робочого елементу клапана внаслідок подачі струму до нагрівального елемент.

Користуючись результатами проведених досліджень робочих характеристик термічного клапана, можемо встановити оптимальні діапазони контролю витрати для кожного типу робочого елемента (таблиця 2).

Таблиця 2

Оптимальна залежність діапазону витрати від типу робочого елемента клапана.

Діаметр робочого елемента, мм	Діапазон потоку, норм. $см^3$хв
2	10-500
3,2	500-2000
4,7	2000-5000

Апробація роботи контролера газових потоків F260 з розробленим новим клапаном була здійснена на установці по магнетронному напиленню ВУП 5М. Використання контрольованої подачі інертного газу у вакуумну камеру ВУП 5М дозволило отримати стабільний плазмовий розряд та керувати його інтенсивністю[6].

Висновки

За допомогою розробленої нової структури системи клапану та досліджень його робочих характеристик можна відмітити доцільність його використання для контролю газових потоків різних газів та їх сумішей (включаючи і високо корозійні середовища) в діапазоні від 10 до 5000 норм. $см^3$/хв. Проведені експерименти показали високу точність контролю газового потоку і ламінарність подачі газу до робочої камери. На основі даних розробок подані заявки на оформлення патентів: на корисну модель, №4201100510 від 17.01.2011р., та промисловий зразок, №201100011 від 10.01.2011р.

1. Jamal Saleh Fluid flow handbook / Jamal Saleh - McGraw-Hill Companies Inc. – USA: 2002 – 103p.
2. Omega Transactions in measurement and control / Omega- Vol.4 – Putman Publishing company: 2001 – 116p.
3. Roger C. Baker Flow measurement handbook : industrial designs, operating principles, performance, and applications / Roger C. Baker. – Cambridge University Press: 2000 – 521p.
4. Pressure/Density Level Instrumentation [електронний ресурс] // OMEGA ENGINEERING, Inc. // Flow and level measurement – 2004. – Режим доступу: http://www.omega.com/literature/transactions/volume4/T9904-12-PRESS.html#press_1
5. Paul Allen Tipler Physics for Scientists and Engineers / Paul Allen Tipler, Gene Mosca - W. H. Freeman – 2007 - 1356p.
6. А.М. Коровицький, Т.І. Коменда, О.З. Калуш, І.М. Колядинський, І.М. Панасюк Оптимізація технології отримання стабільного плазмового розряду у вакуумній камері ВУП5М при магнетронному напиленні // Міжвузівський збірник «наукові Нотатки». Випуск 27. – Луцьк 2010. – С. 147-150.

©І.М.Колядинський, А.М.Коровицький, Т.І.Коменда, І.М.Панасюк, В.В.Сахарчук