

СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ ДЕМПФІРУВАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА В ЗАПІРНИХ ВУЗЛАХ КЛАПАНІВ З УЩІЛЬНЕННЯМ «МЕТАЛ-МЕТАЛ»

WAYS OF ENDGAGING DAMPING IN THE SEALING ELEMENTS OF THE VALVE WITH METAL-TO-METAL SEALING

Наведено результати досліджень літературних джерел з питання способів реалізації демпфірування у різних типах клапанів з метал-металевим ущільненням. Описано особливості конструктивних схем та їх недоліки. Дано рекомендації щодо пошуку оптимального рішення для демпфірувального елемента при розробці клапана з металевим ущільненням.

Ключові слова: пневматичний клапан, електромагнітний привод, затвор, демпфер, металеве ущільнення.

Вступ

Розвиток авіаційної та ракетної техніки вимагає удосконалення усіх систем літальних апаратів, підвищення їх надійності та довговічності. Діапазони температур, тиску, в'язкості та інших властивостей різних середовищ, в яких працює арматура, безперервно розширюються, тому число проблем, з якими стикається конструктор, незважаючи на велику кількість виконуваних експериментальних і теоретичних досліджень, весь час зростає.

Регулювання робочих параметрів систем обладнання літальних апаратів (ЛА) відбувається за допомогою пневмоклапанів – одним з найпоширеніших елементів пневмосистем. Згідно з даними [1], клапани обладнання літальних апаратів складають 25% по номенклатурі та 35% по металоемності. Пневмоклапани використовуються для захисту пневмосистем від надлишкового тиску, для регулювання витрати робочого тіла, для пониження тиску та підтримання його на заданому рівні, для контролю над потоками робочого тіла. При цьому стискуваність газу призводить до збільшення температури у пневмосистемі. Саме тому до клапанів висуваються підвищені вимоги по надійності та безвідмовності роботи.

Однією з основних вимог, що висуваються до роботи електромагнітних пневмоклапанів (ЕМК) є вимога забезпечення заданого рівня герметичності у затворі при мінімальних габаритах та масі клапана. Існує низка технологічного устаткування, що згідно з вимогами нормативної документації дозволяють застосування лише запірної арматури з класом герметичності тільки «А» за ГОСТ 954480 (відсутність видимих протічок робочого середовища при закритому затворі).

Заданим умовам краще всього задовольняють клапани на базі гумового ущільнення, які дозволяють отримати високий ступінь герметичності при малому контактному тиску. Проте гумові та гумовометалеві ущільнення мають досить вузький діапазон робочих температур, за яких не

відбувається швидкої полімеризації гуми і зберігаються експлуатаційні характеристики клапана.

Розширити робочий діапазон клапанів можна завдяки впровадженню ущільнення без використання полімерних матеріалів. В такому випадку сідло та золотник клапана виконуються з металу.

Задачі та об'єкт досліджень

Робочий процес в електромагнітному приводі може бути кваліфікований як перетворення електричної енергії в механічну, при цьому як проміжний елемент виступає енергія магнітного поля. Конструкція електромагніту зумовлює те, що ЕМК має ударний характер спрацювання.

Як свідчать дослідження [2], у клапанах з жорстким затвором великий коефіцієнт динамічності. Якщо рівень амплітуд змінних напруг досить великий, то в елементах механічних систем відбувається накопичення втомних ушкоджень, утворення та розвиток втомних тріщин, що закінчується руйнуванням.

Це призводить до швидкого руйнування елементів конструкції клапана. Як показано в [3], кількісна величина коефіцієнта динамічності, який залежить від жорсткості ланок та демпфуючої здатності конструкції, напряму впливає на ресурс виробу.

В інженерній практиці при створенні демпфірувальних елементів існують два основні завдання: вибір параметрів і форми деталей, а також визначення їх терміну служби. Обидва цих завдання мають об'єднуючий початок у вигляді урахування особливостей демпфера як пружнонаслідкового середовища, тобто урахування в'язкопружних властивостей матеріалу — реологічних, термомеханічних, втомних, ефектів старіння тощо.

Аналіз літературних джерел свідчить, що у запірно-регулюючій арматурі існує декілька підходів до демпфірування ударних процесів в ущільнюючій парі.

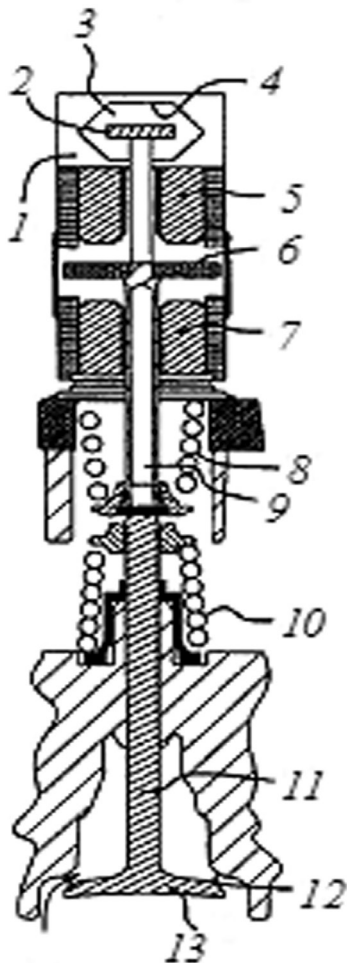


Рисунок 1 — Електромагнітний клапан з гідравлічним демпфером: 1 — корпус демпфера; 2 — плунжер демпфера; 3 — демпферна рідина; 4 — порожнина з рідиною гідравлічного демпфера; 5, 7 — магнітопровід; 6 — якор; 8 — пружина; 9 — шток; 10 — пружина клапана; 11 — шток золотника; 12 — робоча кромка золотника; 13 — золотник;

Демпфірування в клапанах з металевим ущільненням

В клапанах часто у якості демпфера використовується метод дроселювання рідини в спеціальній камері. У якості робочого тіла дроселя може бути як середовище, що пропускає клапан, так і спеціально додана до конструкції клапана рідина [4].

Подібний електромагнітний клапан (рисунок 1) з гідравлічним демпфером має у своїй конструкції золотник 13, який через шток 9 з'єднано з плунжером 2. Плунжер розміщено у порожнині 4, яка заповнена гідравлічною рідиною 3. Дроселювання рідини 3 через щілини між порожниною 4 та плунжером 2 збільшує опір руху золотника у бік закриття. Цей збільшений опір дозволяє знизити швидкість закриття клапана та пом'якшити умови при посадці золотника на сідло.

Однак таке рішення має конструктивні недоліки через ускладнення конструкції. Додавання до конструкції плунжера з камерою гідравлічного демпфера збільшує масу клапана. А наявність гідравлічної рідини внаслідок зміни температури навколишнього середовища чи нагріву рідини упродовж роботи призводить до зміни в'язкості рідини. Відтак суттєво змінюється термін закриття клапана. Крім того, наявність гідравлічного демпфера збільшує ще і термін відкриття клапана, тому дана конструкція не універсальна.

Варіацією вищенаведеного типу демпфірування є використання енергії робочого потоку, який діє на профільовану форму штока чи золотника і зменшує енергію удару при посадці золотника на сідло. Однак і така конструкція має певний недолік, який полягає у тому, що якор після притиснення перекривного елемента до свого сідла у подальшому починає здійснювати перехідні коливання. Через такі коливання якор займає невизначене становище, що за однакової тривалості керуючих імпульсів може призвести до різної тривалості перебування електромагнітного клапана у відкритому стані. Також зазначені коливання можуть призвести до повторного відкриття клапана після подачі імпульсу на закриття.

Усунення перехідних коливань зазвичай досягається введенням до конструкції масивного тіла, розташованого співосно з якорем. До недоліків даної конструкції можна віднести необхідність введення додаткових елементів, що призводить до її подорожчання, а також збільшення маси рухомої системи клапана, а це зменшує ефект демпфірування ударного характеру роботи клапана і вимагає потужнішого електромагніту.

Деякі з авторів [5, 6] вважають ефективною мірою для подолання вищеназаних негативних явищ введення до конструкції рухомої системи клапана пружного елемента. Дослідження свідчать, що процес демпфірування у цьому випадку має нелінійний характер і залежить від амплітуди і розмаху коливань, причому регулювати параметри демпфірування можна, змінюючи конструктивні параметри пружного елемента.

Згідно з [7], для багаторазового зниження величин максимальних ударних навантажень при тарелі клапана рекомендовано використовувати еластичний елемент, який розміщують між сідлом і корпусом клапана. Проведені дослідження показали: на величину зусиль, що передаються на корпус клапана та їх частот при ударній посадці тарелі на сідло, в основному впливає значення модуля Юнга еластичного елемента.

Однією з реалізацій подібного підходу є клапан з демпфіруванням фірми *Kraftwerk Union Aktiengesellschaft* (рисунок 2). Ця розробка має демпфуючий пристрій у вигляді поршня, який є рухомих в осьовому напрямі. Проте, він жорстко з'єднаний із закривним елементом. Таким чином вдається досягнути нелінійного демпфірування у процесі закриття зворотного клапана. Дроселювання рідини через отвори 6 поршня 5 зменшує

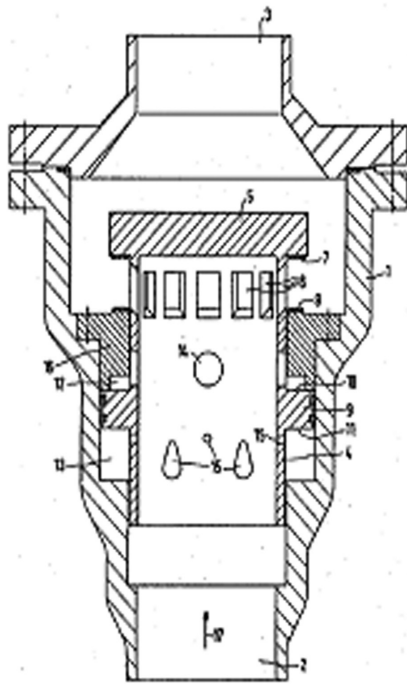


Рисунок 2 — Клапан з демпфіруванням фірми Kraftwerk Union Aktiengesellschaft

1 — корпус клапана, 2 — вхідний трубопровід,
3 — вихідний трубопровід, 4 — юбка поршня, 10, 11, 12,
13 — порожнини з рідиною, 5 — поршень, 6, 14, 15 — отвори
дрослювання; 7,8 — додатковий демпфер, 16 — стакан,
17 — напрям руху рідини

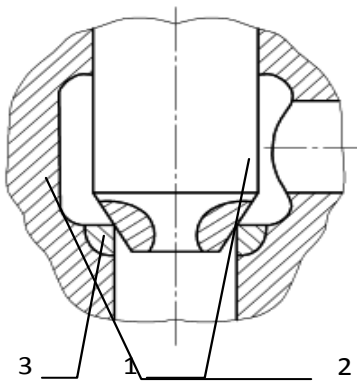


Рисунок 3 — Традиційна конструкція метал-металевого затвора з демпфіруванням через пружну деформацію елементів: 1 — золотник, 2 — сідло, 3 — корпус

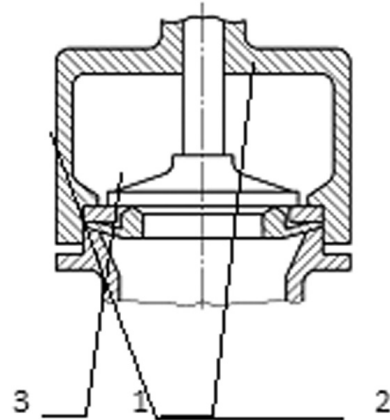


Рисунок 4 — Конструкція метал-металевого затвора з демпфіруванням за допомогою пружного обмежувального кільця: 1 — золотник, 2 — сідло з обмежувальним кільцем, 3 — корпус

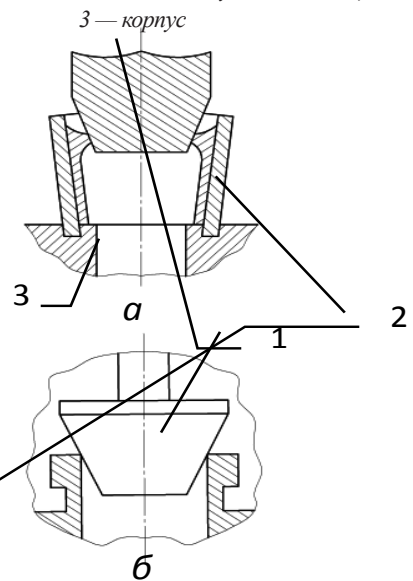


Рисунок 5 — Конструкція метал-металевого затвора з пружними сідлами-втулками: 1 — золотник, 2 — сідло з пружною втулкою, 3 — корпус

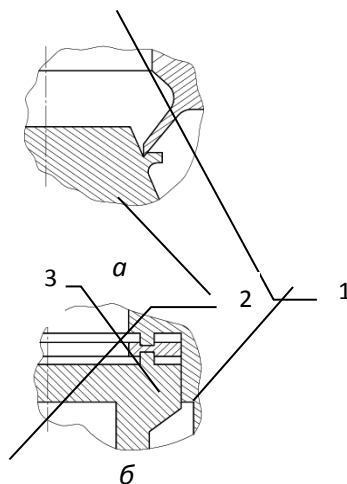


Рисунок 6 — Конструкція метал-металевого затвора з пластичною деформацією елементів: 1 — золотник, 2 — сідло, 3 — пластина для пластичної деформації

швидкість переміщення поршня. Як наслідок — знижується кінетична енергія та рівень пошкоджуваності клапана.

Недоліком даної конструкції є складність у виготовленні поршня з демпферними отворами. Тому складно досягнути однакового рівня демпфірування при спрацюванні клапана та при наявності допустимого відхилення від робочих параметрів середовища.

Демпфірування в метал-металевих затворах ЕМК

З літературних джерел [7] відомо багато прикладів зменшення швидкості зношування через використання явища демпфірування в елементах конструкції електромагнітного клапана. Найчастіше демпфірування досягалось завдяки введенню в конструкцію елемента з меншою, ніж у сідла та золотника, жорсткістю. Найбільш розповсюджено конструкції затворів, в яких ущільнення утворене контактом металевих елементів.

В ЕМК використовують декілька підходів до створення демпфірувальних елементів. Показаний на рисунку 3 затвор має нормальну жорсткість та пружну деформацію металевих контактуючих елементів. Це традиційна конструкція затвора, яка вимагає ретельної та трудомісткої обробки ущільнюючих елементів.

З метою збереження ущільнюючих поверхонь від перевантаження сідло може виконуватися з пружним обмежувальним кільцем, яке показано на рисунку 4.

Відомі також конструкції затворів з пружними сідлами, які виконано у вигляді тонкостінних втулок, які показано на рисунках 5, а та 5, б. В них демпфірування відбувається за рахунок пружної деформації цих втулок.

Для високовакуумних систем можуть використовуватись затвори, які показано на рисунках 6, а та 6, б. Подібні конструкції затворів відрізняються високою герметичністю (протічка не більше $5 \cdot 10^{10}$ л·мкм·рт.см/с) при високих температурах.

Демпфірування у таких затворах відбувається за рахунок пластичної деформації матеріалу сідла (рисунок 6, б) або спеціальної металевої пластини (рисунок 6, а). Через це їх ресурс на порядки нижчий за ресурс клапанів з металевим ущільненням та іншими типами демпфірування. Для клапанів з демпфіруванням за допомогою пластичної деформації ресурс становить до $3 \cdot 10^3$ циклів.

Висновки

1. Вивчення літературних джерел свідчить, що значною причиною відмов сучасних електромагнітних клапанів часто є підвищений рівень ударного впливу, що призводить до втомних поломок найбільш відповідальних деталей запірної арматури — сідла та золотника. Знизити рівень багаточиклового ударного впливу на деталі клапана можна, збільшивши розсіювання кінетичної енергії його рухомої системи за рахунок перетворення її частини в

тепло, зокрема застосувавши фрикційні, пластичні чи пружні демпфери.

2. Аналіз конструкцій клапанів з демпфіруванням свідчить, що наразі йде пошук оптимального підходу до забезпечення процесу демпфірування. З літературних джерел видно, що зараз немає спеціальної літератури з питання демпфірування енергії рухомої системи клапана.

3. Теоретичні та експериментальні дослідження впливу демпфірування дозволяють зробити такі висновки: установка еластичного елемента, розташованого між сідлом та корпусом насоса, може істотно (у кілька разів) знизити величину зусиль під час посадки тарелі клапана на сідло. Крім того, введення в конструкцію клапана еластичного елемента дозволить гарантовано не потрапляти під час роботи клапанної пари в режими, які близькі до резонансних, що є дуже небезпечним для будьякого механізму.

5. Наявність еластичного елемента, підбраного з урахуванням оптимальних конструктивних параметрів (висота за співвідношенням (6) і матеріал), дозволить збільшити довговічність клапанної пари, що є на даний момент досить актуальним завданням.

Література

1. Чегодаев, Д.Е. Гидропневмотопливные агрегаты и их надежность / Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П. — Куйбышев, 1990. — 104 с.
2. Долотов, А.М. Основы расчета и проектирование уплотнений пневмогидроарматуры летательных аппаратов / А.М. Долотов, П.М. Огар, Д.Е. Чегодаев. — М.: МАИ, 2000. — 296 с.
3. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник /Л.А.Кондаков, А.И.Голубев, В.В.Овандер и др.— М.: Машиностроение, 1986. — 221 с.
4. Mianzo, Lawrence Andrew (Plymouth, MI), Collins, Brett (Ypsilanti, MI), Haskara, Ibrahim (Brownstown, MI), Kokotovic, Vladimir V. (Bloomfield Hills, MI) 2004 Electromagnetic valve actuator with softseating United States Visteon Global Technologies, Inc. (Dearborn, MI) 6817592 <http://www.freepatentsonline.com/6817592.html>
5. Сапожников, С.Б. Экспериментальное исследование демпфирования колебаний тонких оболочек слоистыми покрытиями / Известия Челябинского научного центра. — 2007. — Вып. 1 (35). — С. 9093.
6. Абдюкова, Р.Я., Багаутдинов, Н.Я., Зотов, А.Н. Моделирование удара тарелки клапана бурового насоса при ее посадке на седло. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». — 2012. — № 2. — С. 5267.
7. Кармугин, Б.В. Современные конструкции малогабаритной пневмоарматуры / Б. В. Кармугин, В. Л. Кисель, А. Г. Лазебник; Под общ. ред. Б. В. Кармутина, — К.: Техніка 1980. — 295 с.

References

1. Chegodaev, D.E. *Gidropnevmotoplivnye agregaty i ih nadezhnost'* / Chegodaev D.E., Muljukin O.P. — Kujbyshev, 1990. — 104 s.
2. Dolotov, A.M. *Osnovy rascheta i proektirovanie uplotnenij pnevmogidroarmatury letatel'nyh apparatov* / A.M. Dolotov, P.M. Ogar, D.E. Chegodaev. — M.: MAI, 2000. — 296 s.
3. *Uplotnenija i uplotnitel'naja tehnika: Spravochnik* / L.A.Kondakov, A.I.Golubev. V.V.Ovander i dr.// M.: Mashinostroenie, 1986. — 221 s.
4. Mianzo, Lawrence Andrew (Plymouth, MI), Collins, Brett (Ypsilanti, MI), Haskara, Ibrahim (Brownstown, MI), Kokotovic, Vladimir V. (Bloomfield Hills, MI) 2004 *Electromagnetic valve actuator with softseating United States Visteon Global Technologies, Inc. (Dearborn, MI) 6817592* <http://www.freepatentsonline.com/6817592.html>
5. Sapozhnikov, S.B. *Jeksperimental'noe issledovanie dempfirovanija kolebaniy tonkih obolochek sloistymi pokrytiami. Izvestija Cheljabinskogo nauch. centra.*— 2007. — vyp. 1 (35). — S. 9093.
6. Abdjukova, R.Ja., Bagautdinov, N.Ja., Zotov, A.N. *Modelirovanie udara tareli klapana burovogo nasosa pri ee posadke na sedlo. Jelektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo».*— 2012. — № 2. — S. 5267/
7. Karmugin, B.V. *Sovremennye konstrukcii malogabaritnoj nevmoarmany* / B. V. Karmugin, V. L. Kisel', A. G. Lazebnik; Pod obshch. red. B.V. Karmugina. — K.: Technika 1980. — 295 s.

Надійшла 23.09. 2014 року

УДК 621.646.4

Способы реализации демпфирующего элемента в запорных узлах клапанов с уплотнением металл-металл

Е.И. Барилюк

Приведены результаты исследований литературных источников по вопросу способов реализации демпфирования в различных типах клапанов с металл-металлическим уплотнением. Описаны особенности конструктивных схем и их недостатки. Даны рекомендации по поиску оптимального решения для демпфирующих элементов при разработке клапана с металл-металлическим уплотнением.

Ключевые слова: пневматический клапан, электромагнитный привод, затвор, демпфер, металлическое уплотнение.

UDC 621.646.4

Ways of endgaging damping in the sealing elements of the valve with metal-to-metal seal

E.I. Barilyuk

The results of literature research on how to implement various types of damping in valves with metal-metal sealing. The features of the each design scheme and its imperfections were shown. The article gives recommendations on optimal solution search for damping element during the designing of the valve with a metal seal.

Keywords: air valve, solenoid actuator valve, damper, metal sealing.