

УДК 621.646.4

Ю.М. Рикуніч,
О.Є. Ситніков, канд. техн. наук,
Я.Б. Федоричко,
ПАТ «Київське центральне конструкторське бюро арматуробудування»,
Є.І. Барилюк,
Г.Й. Зайончковський, д-р техн. наук,
Національний авіаційний університет, м. Київ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ СТРИЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПНЕВМАТИЧНИХ КЛАПАНІВ З ДВОПОЗИЦІЙНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

Приводятся результаты экспериментальных исследований усталостной прочности стержневых элементов пневматических клапанов с двухпозиционным электромагнитным приводом.

Here it is shown the results of the experimental investigations of the fatigue resistance of the cane segments of the pneumatic valves with two-position electromagnetic drive.

Вступ

Однією з особливостей роботи пневматичних клапанів з двопозиційним електромагнітним приводом (рисунок 1) є циклічність спрацьовування при ударному характері контактування рухомої і нерухомої систем [1].

У процесі функціонування клапана частина його елементів багаторазово піддається впливові інтенсивних імпульсних навантажень. Це призводить до того, що в зоні контактування деталі клапана зазнають впливу динамічних навантажень великої інтенсивності, через що в матеріалі деталей виникають значні динамічні напруження. Такий характер навантаження сприяє розвитку різних процесів утомленості в елементах конструкції клапана і значно зменшує його ресурс. Характерними відмовами таких електромагнітних клапанів (ЕМК) в експлуатації є руйнування від утомленості стрижневих елементів – штоків, що реалізують кінематичний зв'язок електромагнітного привода із виконавчим механізмом клапана [2–4].

Питанням визначення і прогнозування ресурсу пневматичних клапанів з двопозиційним електромагнітним приводом певний час не приділялось достатньої уваги. Це можна пояснити тим, що такі клапани в більшості випадків застосовувалися на výroбах космічної техніки з невеликим життєвим циклом. Проте, розширення застосування клапанів з електромагнітним приводом у výroбах авіаційної техніки, що мають значні ресурси, а також у výroбах космічної техніки багаторазового використання вказує на актуальність цієї проблеми.

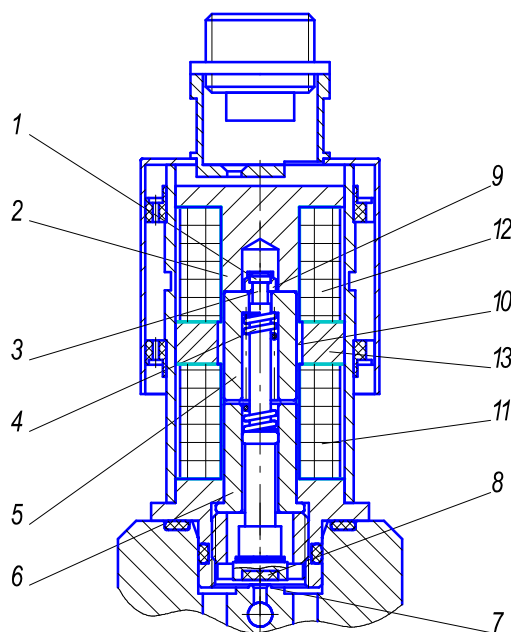


Рисунок 1 — Конструктивна схема клапана з двопозиційним електромагнітним приводом:
1 — головка штока; 2 — корпус електромагніта; 3 — шийка штока; 4 — буферна пружина;
5 — повзун (якір); 6 — нижній стоп; 7 — сідло; 8 — золотник; 9 — стопорна шайба;
10 — трубка розподільна; 11 — обмотка закриття; 12 — обмотка відкриття; 13 — постійний магніт.

Мета досліджень

Для наукового обґрунтування рекомендацій по підвищенню ресурсів пневматичних клапанів з двопозиційним електромагнітним приводом у ПАТ «Київське центральне конструкторське бюро арматуробудування» був проведений цикл спеціальних експериментальних досліджень з метою визначення втомної міцності стрижневих елементів пневматичних клапанів цього типу, виготовлених з різних конструкційних матеріалів.

Результати експериментальних досліджень

Для проведення випробувань ЕМК було спроектовано дві спеціальні експериментальні установки:

- установка для ресурсних випробувань пневматичних клапанів;
- установка для визначення параметрів переміщення рухомої частини клапана з двопозиційним електромагнітним приводом (рисунок 2).

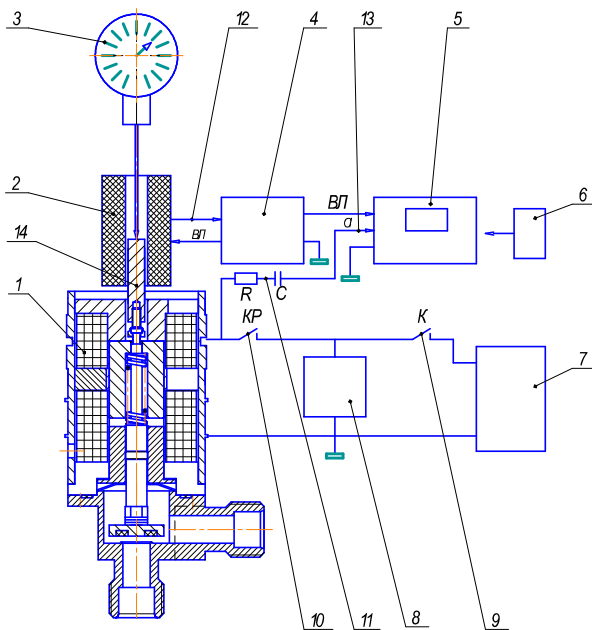


Рисунок 2 — Схема установки для реєстрації параметрів переміщення рухомої системи електромагнітного привода ЕМК:

- 1 – електромагнітний клапан; 2 – індуктивний датчик переміщення; 3 – індикатор переміщення (для тарування датчика); 4 – тензометрична станція; 5 – осцилограф електронний;
- 6 – цифровий фотоапарат; 7 – джерело стабілізованої напруги; 8 – реле проміжне; 9 – ключ включення проміжного реле; 10 – контакт включення ЕМК; 11 – диференційний ланцюг для одержання синхронізуючого імпульсу; 12 – вимірювальна лінія; 13 – синхронізуючий імпульс для запуску осцилографа; 14 – залізний сердечник.

Ресурсні випробування проводилися до повної відмови ЕМК. Випробування проводилися для різних конструкційних матеріалів штока – ситаль, алюміній, титан.

В процесі випробувань періодично, через кожні 20 тис. циклів спрацьовування, що складали один блок-цикл, контролювалися основні функціональні параметри клапана (напруга $U_{\text{відкр}}$ і час $t_{\text{відкр}}$ відкриття клапана, напруга $U_{\text{закр}}$ і час $t_{\text{закр}}$ його закриття), проводився мікромір деталей клапана і визначався хід золотника $x_{\text{зол}}$. Були зроблені фотографії деталей клапанів після відмови, а також проведені дослідження поверхонь контактів та місць руйнувань механічних елементів клапана.

Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що при спрацьовуванні клапана з двопозиційним магнітним приводом мають місце наступні характерні процеси.

При відкритті клапана (переміщенні рухомої його частини від сідла) відбувається:

- ударне циклічне контактування повзуна 5 (рисунок 1) і шайби 9, що призводить до викришування через утому торцевих поверхонь контакту і зміни відносного положення деталей 5 і 9;
- циклічне прикладення розподіленого імпульсного зусилля, нормального до площини контакту шайби і головки штока, що призводить до зміни форми деталей 9 і 3 через накопичення однобічних пластичних деформацій, зміни відносного положення деталей та накопичення мікропошкоджень у матеріалі шийки штока 3;
- ударне циклічне контактування повзуна 5 і верхнього стопа 2, що призводить до деградації макрорельєфу поверхонь контакту деталей 5 і 2.

При закритті клапана (переміщенні рухомої його частини до сідла) відбувається:

- ударне циклічне контактування золотника 8 і сідла 7, що призводить до деградації макрорельєфу поверхонь ущільнення на золотнику;
- ударне циклічне контактування повзуна 5 і нижнього стопа 6, що призводить до деградації торцевих поверхонь контакту деталей 5 і 6.

Крім того, у процесі зворотно-поступального руху рухомої частини клапана має місце процес зносу циліндричних поверхонь повзуна 5 і розподільної трубки 10. Через це відбувається поступова деградація мікрорельєфу поверхонь тертя і збільшення сил тертя.

У результаті проведених досліджень було виявлено, що в процесі виробітку ресурсу має місце пластична деформація деталей рухомої частини клапана, фотографії яких наведено на рисунках 2, 3 і 4.

Суттєво змінюється положення повзуна 5 відносно шайби 9 і штока 3 внаслідок виробки кільцевої канавки на торцевій поверхні повзуна (c'') та пластичної деформації деталей 3 і 9 на величину c' (рисунок 4), що призводить до зменшення ходу золотника на величину

$$\Delta x_{\text{зол}} = c' + c'',$$

а також збільшується довжина камери під буферну пружину 4, що призводить до зменшення встановлювального

і робочого зусилля пружини.

До повної відмови клапана призводить руйнування шийки штока 3 через утому матеріалу і розвиток мікротріщин.



Рисунок 3 — Фотографії руйнувань деталей клапана з двопозиційним електромагнітним приводом

За результатами отриманих експериментальних даних було побудовано залежності зміни функціональних параметрів клапана і ходу його золотника від кількості блок-циклів спрацьовування ($n_{б.ц} = 20000 n$).

На рисунку 5, а як приклад показані залежності зміни ходу золотника $x_{зол}$ п'яти клапанів зі сталевим штоком від кількості блок-циклів спрацьовування $n_{б.ц}$, а на рисунку 5, б – залежності всіх функціональних параметрів ($U_{откр}$, $U_{закр}$, $t_{откр}$, $t_{закр}$, $x_{зол}$) для 1-го зразка від кількості блоків-циклів спрацьовування $n_{б.ц}$.

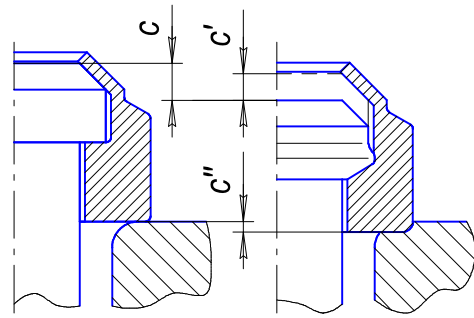
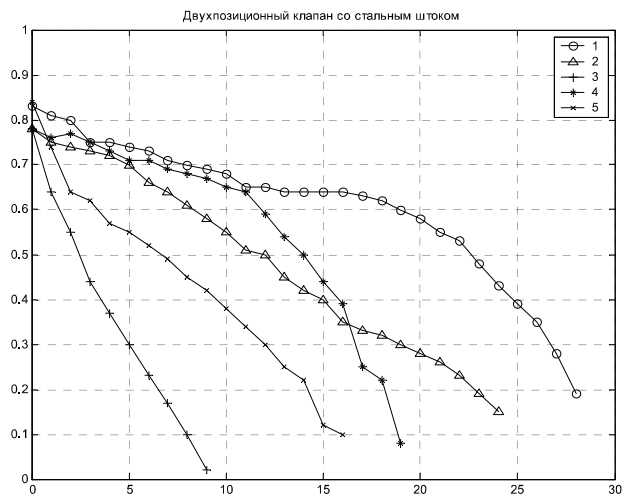
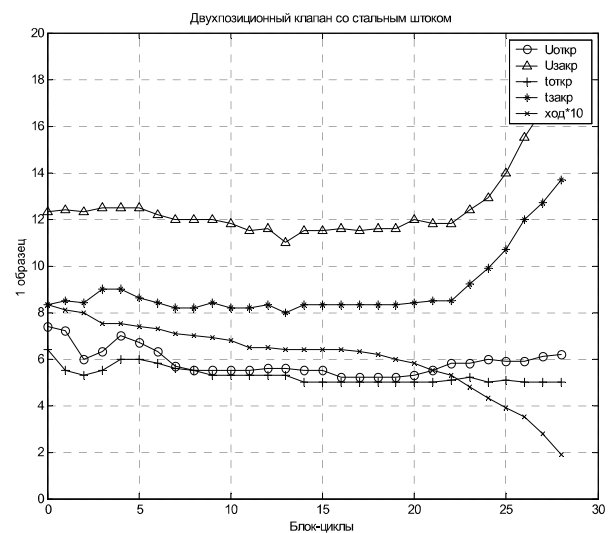


Рисунок 4 — Зміна форми головки штока і стопорної шайби в процесі напрацювання ресурсу клапана.



а



б

Рисунок 5 — Залежності зміни ходу золотника п'яти випробовуваних зразків (а) і функціональних параметрів 1-го зразка клапана зі сталевим штоком від кількості блоків-циклів спрацьовування.

Розглядаючи процес накопичення ушкоджень в стрижневих елементах ЕМК від утомленості з фізичної точки зору, можна констатувати, що швидкість негативних змін в елементах клапана пов'язано з величиною кінетичної енергії переміщення контактуючих деталей і вузлів. Під час спрацьовування кінетична енергія рухомої системи клапана переходить у потенційну енергію деформації його стрижневого елемента — штока. Накопичення таких мікродеформацій у конструктивному матеріалі штока призводить після певної кількості n_p блок-циклів спрацьовувань до руйнування шийки штока і відмові ЕМК.

Можна визначити (теоретично або експериментально) в залежності від кількості спрацьовувань певний критичний рівень питомої кінетичної енергії рухомої частини клапана E_k^{PC} , який переходить у потенціальну енергію деформації конструктивного матеріалу штока і призводить до руйнування його шийки. Таким чином, умовою неруйнування стрижневих елементів ЕМК під час експлуатації буде нерівність

$$E_k^{PC} < E_{k_{кр}}^{PC}, \quad (1)$$

де E_k^{PC} — питома кінетична енергія рухомої системи електромагнітного привода клапана, яка визначається як

$$E_k^{PC} = \frac{mV_{сep}^2}{2} / f_{стр.ел_{min}}, \quad (2)$$

де m — маса рухомої системи електромагнітного привода клапана; $V_{сep}$ — середня швидкість переміщення рухомої системи; $f_{стр.ел_{min}}$ — мінімальна площа поперечного перерізу стрижневого елемента.

Середня швидкість переміщення рухомої системи електромагнітного привода клапана $V_{сep}$ у першому, достатньому для інженерних розрахунків наближенні може бути визначено як

$$V_{сep} \approx h / t, \quad (3)$$

де h — переміщення стрижневого елемента (штока) клапана під час спрацьовування; t — час спрацьовування клапана.

Співставлення величин питомої кінетичної енергії E_k^{PC} переміщення рухомої системи ЕМК з напрацюванням клапанів до відмови (руйнування стрижневого елемента) n_p виявило наявність прямої кореляційної залежності між цими параметрами, що дає можливість за результатами спеціальних ресурсних випробувань визначити для різних конструкційних матеріалів, що використовуються в конструкції стрижневих елементів ЕМК, емпіричні залежності виду

$$(n_p)_{min} = \varphi(E_k^{PC}). \quad (4)$$

На кожному рівні значення мають природне розсіювання, що визначаються середнім квадратичним відхиленням.

На рисунку 6 побудовано експериментально отримані залежності кількості циклів напрацювання ЕМК до руйнування від рівня питомої кінетичної енергії рухомої частини електромагнітного привода клапана.

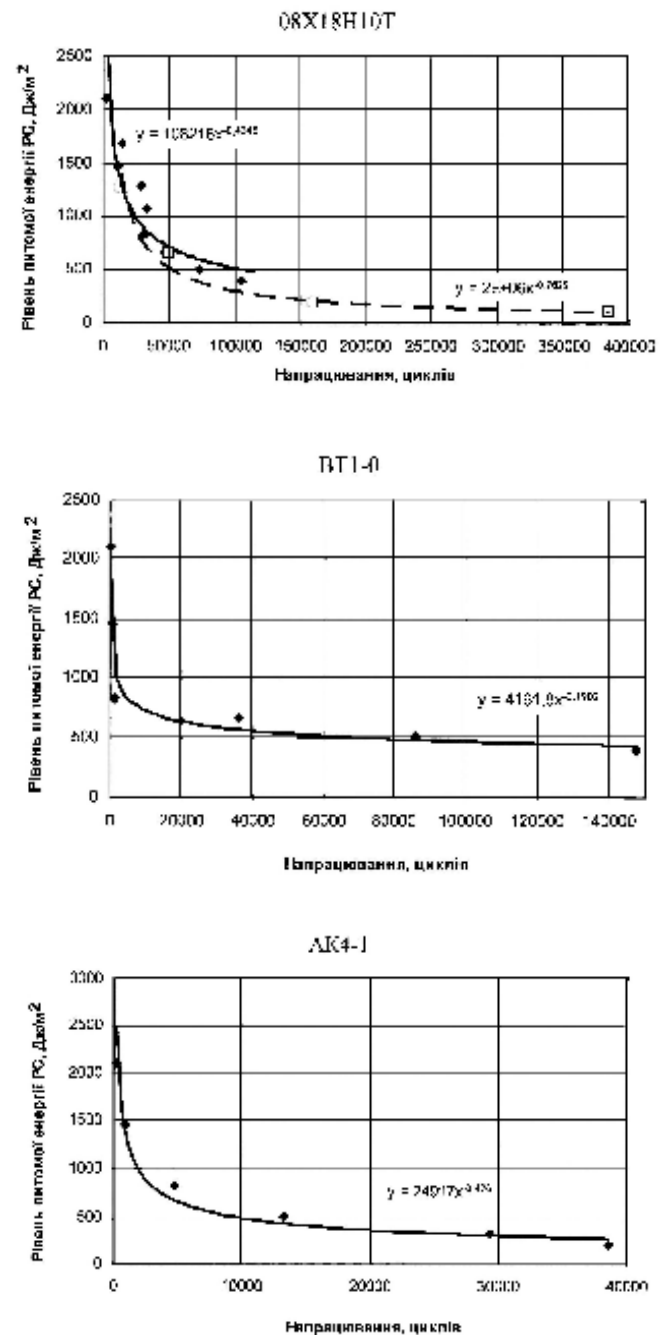


Рисунок 6 — Залежності напрацювання до руйнування штока ЕМК від рівня питомої енергії переміщення рухомої системи клапана для різних конструкційних матеріалів.

Криві $(n_p)_{min} = \varphi(E_k^{PC})$ характеризують гранично допустимий рівень питомої кінетичної енергії переми-

щення рухомої системи електромагнітного привода клапана, перевищення якого може призвести до руйнування його стрижневого елемента від утомленості.

Висновки

Проведені експериментальні дослідження зміни технічного стану двопозиційних клапанів з електромагнітним приводом при виробітку ресурсу дозволяють зробити наступні висновки.

1. Основними деградаційними процесами, що визначають ресурсні можливості клапанів даного типу, є накопичення пластичних деформацій в елементах рухомої частини клапана через ударні імпульсні циклічні навантаження і розвиток процесів утомленості в матеріалі шийки штока.

2. Ресурсні можливості клапана лімітуються характеристиками втомної міцності елементів рухомої частини клапана; повна відмова клапана настає внаслідок руйнування шийки штока.

3. Підтверджено, що напрацювання стрижневих елементів ЕМК з двопозиційним електромагнітним приводом (штоків електромагнітних приводів) до відмови внаслідок втомного руйнування залежить від питомої кінетичної енергії переміщення їх рухомої системи.

Одержано уточнені експериментальні залежності кількості циклів спрацьовування клапанів до втомного руйнування їх стрижневих елементів, виконаних з різних конструкційних матеріалів, від питомої кінетичної енергії рухомої системи клапана.

Література

1. Хильчевский, В.В. Надежность трубопроводной пневмогидроарматуры / В.В. Хильчевский, А.Е. Ситников, В.А. Ананьевский. — М.: Машиностроение, 1989. — 208 с.

2. Рикуніч, Ю.М., Ситніков, О.Є., Кучер, О.Г., Зайончковський Г.Й. Прогнозування втомленості елементів конструкції електромагнітних клапанів при циклічному та імпульсному навантаженні // Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки. — Суми: СумДУ. — 2003. — № 13. — С. 38—48.

3. Ситніков, О.Є., Кучер, О.Г., Зайончковський, Г.Й., Федорочко, Я.Б. Оцінювання і прогнозування ресурсу пневматичних клапанів з електромагнітним приводом // Промислова гідроліка і пневматика. — 2003. — №2. — С. 7—23.

4. Ситников, А.Е., Федоричко, Я.Б., Кучер, А.Г., Зайончковський, Г.Й., Сухоруков, А.Ю. Прогнозирование изменения функциональных параметров клапанов с электромагнитным приводом при выработке ресурса // Промислова гідроліка і пневматика. — 2004. — №3 (5). — С. 10—22.

Надійшла 02.02.2012 р.