

УДК 621.891:621.646

Ю. М. РИКУНІЧ¹, Л. В. АНАНЬЄВСЬКА², О. Є. СИТНИКОВ¹,
Я. Б. ФЕДОРІЧКО¹, Г. Й. ЗАЙОНЧКОВСЬКИЙ³, Є. І. БАРИЛЮК³

¹ ПАТ «Київське центральне конструкторське бюро арматуробудування», Україна

² ТОВ «Науково-дослідний центр арматуробудування», Україна

³ Національний авіаційний університет, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАЛОГАБАРИТНИХ ПНЕВМОКЛАПАНІВ З ДВОПОЗИЦІЙНИМ ПОЛЯРИЗОВАНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ ПІД ДІЄЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Наведено результати ресурсних випробувань малогабаритних двопозиційних електромагнітних пневмоклапанів (ЕМК), що широко застосовуються у виробі авіакосмічної техніки. Визначено основні деградаційні процеси, що відбуваються в елементах і вузлах клапанів під дією експлуатаційних навантажень, та їх вплив на працездатність та вихідні функціональні параметри ЕМК. Розроблено рекомендації щодо підвищення їх експлуатаційної надійності.

Ключові слова: електромагнітний клапан, двопозиційний електромагнітний привод, деградаційний процес, тертя, зношування, утомленість, ресурс, надійність

Актуальність досліджень. Малогабаритні пневматичні клапани з двопозиційним поляризованим електромагнітним приводом розробки ПАТ «Київське центральне конструкторське бюро арматуробудування» (рис. 1) знайшли широке використання в авіакосмічній техніці (АКТ) завдяки низькому рівні енергії, необхідній для забезпечення їх тривалої експлуатації [1]. Такі клапани використовуються в системах орієнтації і стабілізації космічних літальних апаратів, в системах керування двигунів малої тяги, інших системах АКТ.



а



б

Рис. 1. ЕМК з поляризованим двопозиційним електромагнітним приводом:
а – УФ 96239-006; б – УФ 90070-006 (у складі блоку)

В конструкції клапана використовується двопозиційний поляризований електромагнітний привод, який має наступні переваги в порівнянні з іншими типами електромагнітних приводів:

- мінімальне споживання електроенергії, яка використовується тільки на переміщення рухомої системи привода, а утримання запірного органа клапана у відкритому або закритому положенні забезпечується за рахунок магнітного потоку постійного магніту, вбудованого в конструкцію клапана;

– підвищена швидкодії (час відкриття або закриття клапана складає 8...12 мс), що дозволяє використовувати клапани такого типу в системах орієнтації і стабілізації космічних літальних апаратів;

– незначний розігрів електромагніта з огляду на короткочасність імпульсу (0,1... 0,2 с);

– менші розміри обмоток електромагніта завдяки більш припустимій густині струму (30...200 А/мм²);

– підвищену надійність за рахунок того, що ізоляція обмотки не перегрівається і не знаходиться під напругою;

– не бояться випадкових збоїв в подачі електроживлення, зберігаючи задане положення клапана в знеструмленому стані.

Особливістю роботи таких клапанів є циклічність спрацьовування при ударному характері контактування рухомої і нерухомої систем [2].

У наслідок підвищеної швидкодії в процесі функціонування клапана частина його елементів багаторазово піддається дії інтенсивних ударних навантажень. Це призводить до того, що в зоні контактування деталі клапана зазнають динамічних навантажень великої інтенсивності, внаслідок яких в матеріалі деталей виникають значні динамічні напруження. Такий характер навантаження сприяє розвитку різних процесів утомленості та зношування в елементах конструкції клапана і значно зменшує його ресурс. Як показав накопичений досвід експлуатації характерними відмовами таких ЕМК є руйнування від утомленості стрижневих елементів – штоків, що реалізують кінематичний зв'язок електромагнітного приводу із виконавчим механізмом клапана [3].

У зв'язку з суттєвим збільшення довготривалості польотів космічних літальних апаратів (КЛА) актуальним стає питання збільшення ресурсів клапанів з двопозиційним поляризованим електромагнітним приводом, вирішення якого можливо тільки на підставі результатів дослідження можливих змін технічного стану клапанів цього типу під дією експлуатаційних навантажень, виникаючих під час польотів КЛА.

Мета та задачі досліджень. Метою досліджень було виявлення основних закономірностей зміни технічного стану пневматичних клапанів з двопозиційним поляризованим електромагнітним приводом під дією експлуатаційних навантажень для обґрунтування їх ресурсних можливостей.

Задачами досліджень були:

1. Виявлення особливостей та інтенсивності деградаційних процесів, що відбуваються в елементах і вузлах пневматичних клапанів з двопозиційним поляризованим електромагнітним приводом під дією експлуатаційних навантажень.

2. Виявлення «слабких ланок» в конструкції малогабаритних пневмоклапанів даного типу, що лімітують їх ресурсні можливості.

3. Розробити практичні рекомендації щодо підвищення ресурсу та експлуатаційної надійності малогабаритних пневматичних клапанів з двопозиційним поляризованим електромагнітним приводом розробки ПАТ «Київське центральне конструкторське бюро арматуробудування».

Результати ресурсних випробувань. Для визначення основних деградаційних процесів, що відбуваються в елементах і вузлах ЕМК двопозиційним поляризованим електромагнітним приводом були проведені ресурсні випробування зразків штатних клапанів типу УФ 90070-006 (див. рис. 1, б) на спеціальному стенді

до повного вичерпання своїх ресурсних можливостей. Конструктивну схему клапана наведено на рис. 2. 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 мікрообмір деталей клапана і визначався хід золотника $x_{\text{зол}}$. Були зроблені фотографії деталей клапанів після відмови, а також проведені металографічні та фрактографічні дослідження поверхонь контактів та місць руйнувань механічних елементів клапана.

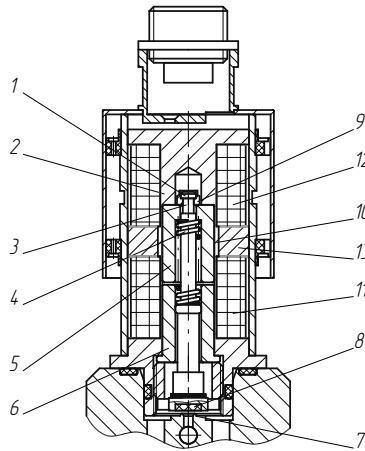


Рис. 2. Конструктивна схема пневматичного клапана з двопозиційним поляризованим електромагнітним приводом: 1 – головка штока; 2 – корпус електромагніта (верхній стоп); 3 – шийка штока; 4 – буферна пружина; 5 – повзун (якір); 6 – нижній стоп; 7 – сідло; 8 – золотник; 9 – стопорна шайба; 10 – трубка розподільна;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

Аналіз проведених ресурсних випробувань показав, що при спрацьовуванні ЕМК з двопозиційним магнітним приводом мають місце наступні зміни технічного стану деталей і вузлів клапана від дією експлуатаційних навантажень.

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

- ударне циклічне контактування повзуна 5 і шайби 9, що призводить до викришування внаслідок утоми торцевих поверхонь контакту (рис. 3) 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 внаслідок накопичення однібічних пластичних деформацій, зміни взаємного 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 (рис. 4).

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 (рис. 5);

- ударне циклічне контактування повзуна 5 і нижнього стопа 6, що призводить до деградації торцевих поверхонь контакту деталей 5 і 6.

Деформація деталей рухомої частини ЕМК призводить до суттєвої зміни положення повзуна 5 відносно шайби 9 і штока 3 внаслідок виробки кільцевої кана-

вки на торцевій поверхні повзуна (c'') та пластичної деформації деталей 3 і 9 на величину c' (рис. 6), що призводить до зменшення ходу золотника на величину:

$$\Delta x_{\text{зол}} = c = c' + c'',$$

а також збільшується довжина камери під буферну пружину 4, що призводить до зменшення встановлювального і робочого зусилля пружини.



Рис. 3. Пошкодження верхньої торцевої поверхні повзуна (якоря)

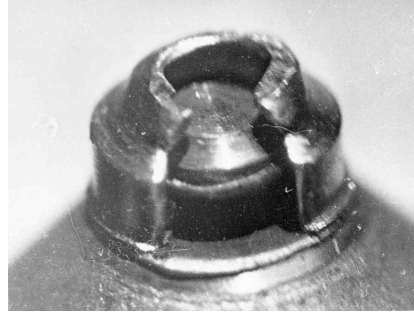


Рис. 4. Вузол кріплення штока і повзуна після виробітку ресурсу клапана

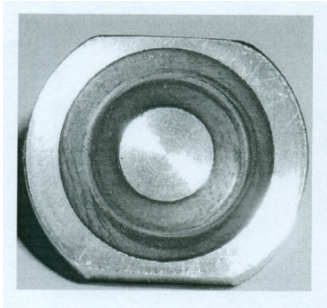


Рис. 5. Канавка на гумовій поверхні гумового ущільнення, що утворилася під впливом експлуатаційних навантажень

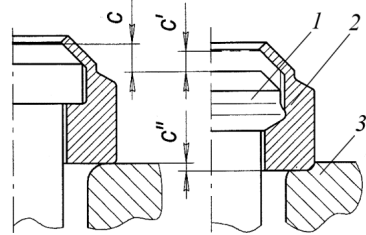


Рис. 6. Зміна взаємного положення стопорної шайби, голівки штока і повзуна внаслідок їх деформацій під впливом експлуатаційних навантажень: 1 – голівка штока; 2 – стопорна шайба; 3 – повзун

Крім того, в процесі зворотно-поступального руху рухомої частини клапана має місце процес зносу циліндричних поверхонь повзуна 5 і розподільної трубки 10. Внаслідок цього відбувається поступова деградація мікрорельєфу поверхонь тертя і збільшення сил тертя (рис. 7, 8).

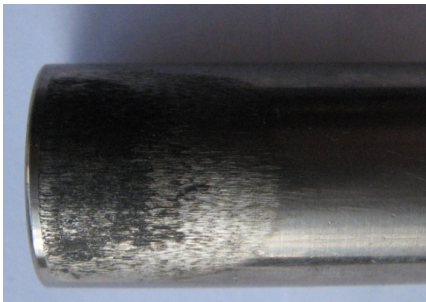


Рис. 7. Пошкодження хімікелевого покриття на циліндричній поверхні повзуна внаслідок тертя о поверхню розподільної трубки



Рис. 8. Пошкодження покриття циліндричній поверхні штока внаслідок тертя о буферну пружину

Накопичення мікродеформацій у матеріалі штока призводить після певної кількості спрацювань клапана до руйнування шийки штока (рис. 9) і повної відмови ЕМК.

Виявлені зміни технічного стану деталей і вузлів ЕМК в процесі відпрацювання ресурсу призводять до відповідних змін вихідних параметрів клапанів.

Встановлено, що для клапанів даного типу в процесі виробітку ресурсу має місце певне зменшення напруги $U_{\text{відкр}}$ і часу $\tau_{\text{відкр}}$ відкриття клапану, певне збільшення напруги $U_{\text{закр}}$ і час $t_{\text{закр}}$ закриття і суттєве зменшення ходу $x_{\text{зол}}$ золотника клапана (рис. 10) за рахунок зміни положення повзуна відносно шайби і штока унаслідок виробітку кільцевої канавки на торцевій поверхні повзуна та пластичної деформації деталей клапана (в першу чергу шийки штока). При зменшенні величину $x_{\text{зол}}$ до критичної (0,1 мм) має місце відмова клапана внаслідок його не відкриття.

Гістограму емпіричного розподілу числа відмов клапана унаслідок руйнування шийки штока від числа блок-циклів напрацювання наведено на рис. 11.



Рис. 9. Руйнування шийки штока від втоми (матеріал – сталь 08X18H10)

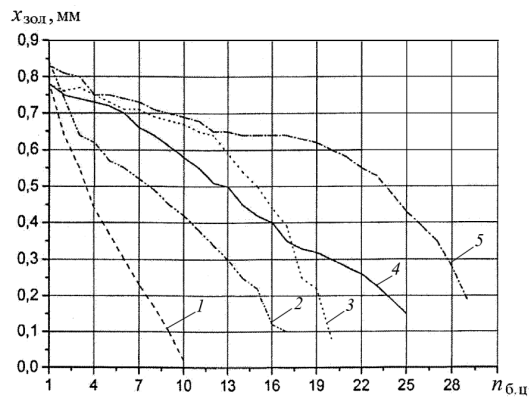


Рис. 10. Залежності зміни ходу золотника п'яти зразків ЕМК з двопозиційним електромагнітним приводом від кількості блок-циклів напрацювання (1 блок-цикл = 20000 циклів):

1, 2, 3, 4, 5 – номери дослідних зразків клапана

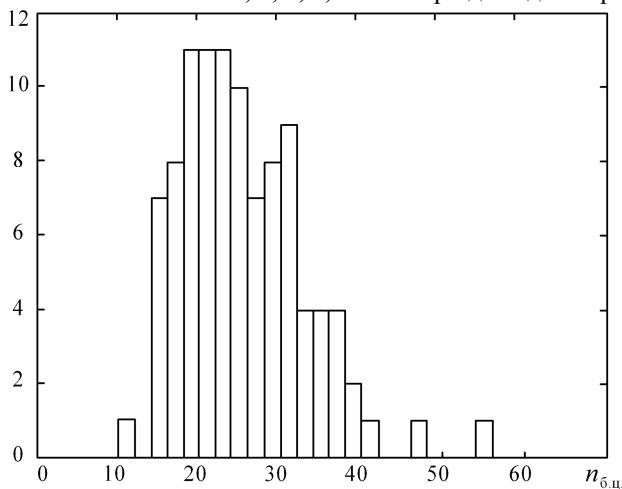


Рис. 11. Гістограма емпіричного розподілу числа відмов клапана унаслідок руйнування шийки штока від числа блок-циклів напрацювання

Металографічні та фрактографічні дослідження деталей ЕМК. Під час спрацьовування ЕМК має місце контактна взаємодія деталей рухомої системи електромагнітного приводу з нерухомими елементами конструкції клапана. Така контактна взаємодія супроводжується змінами структурно-напруженого стану матеріалів деталей клапана, яка включає зміну фазового складу в мікрооб'ємах контактуючих деталей, утворення нових хімічних сполук в місцях контакту, накопичення дефектів за рахунок деформації, створення особливого шару на поверхні деталі.

Величина навантаження і швидкість її прикладання, тобто енергія співудару, визначають об'єм накопичуваних тілом пружно-пластичних деформацій і властивості утвореної структури. Частина цього об'єму, активованого деформацією, зазнає фізико-хімічного перетворення [4].

В процесі проведення ресурсних випробувань ЕМК було проведено дослідження характеру поверхневих пошкоджень деталей клапанів після дії імпульсних навантажень. Дослідженню піддавались наступні деталі:

- повзун 5 (див. рис. 2) з зонах його ударного контакту зі стопорною шайбою 9 і верхнім стопом 2 (матеріал повзуна – сталь 16Х з хімікелевим покриттям, напрацювання – 148000 циклів спрацьовування);

- поверхня нижнього стопа 6 після його багаторазового ударного контакту з повзуном 5 (матеріал нижнього стопа – сталь 16Х з хімікелевим покриттям, напрацювання – 560000 циклів спрацьовування);

- шток в зоні злому від втоми по шийці 3 (матеріал штока – сталь 08Х18Н10Т, кількість циклів спрацьовування до руйнування – 80000 циклів).

Дослідження стану поверхонь деталей проводилися з використанням растрового електронного мікроскопу JSM-840 фірми «JEOL».

Під час наробітку ресурсу в поверхневих шарах деталей, що досліджувались, мали місце наступні зміни.

На контактуючих поверхнях як повзуна (рис. 12), так і нижнього стопа (рис. 13) спостерігались зони зношування кільцевої форми зі слідами незначного зміщення.

Місця зношування являють собою ямки (рис. 12, е, рис. 13, д), подряпини (рис. 12, д), потертості (рис. 12, в, з), смуги проковзування (рис. 12, б), кількість та ширина яких збільшувалась зі зростанням напрацювання.

Утворення смуг проковзування пов'язано з деяким відносним зміщенням контактуючих поверхонь в момент дії ударних навантажень в результаті їх деформації.

На поверхні нижнього стопа, крім дефектів, аналогічних представленим на рис. 12, відмічені сліди викришування – як точкові (12, в), так і злиті в порожнини викришування (рис. 12, д). На обох поверхнях деталей чітко видно сліди зминання металу, напливи (рис. 12, з і рис. 13, з), сформовані і розкриті радіальні (рис. 12, б, з) та периметричні тріщини (рис. 13, б, з).

На контактних поверхнях обох деталей виявлені абразивні частинки (рис. 12, в, з, е і рис. 13, б, в), які виникли в результаті зношування і викришування хімікелевого покриття в процесі ударної циклічної дії.

Виявлені морфологічні особливості поверхонь контакту на дослідних зразках деталей клапана свідчить про те, що процес зношування відбувається шляхом розвитку двох механізмів: ударно-утомного та ударно-абразивного, причому обидва механізми розвиваються одночасно.

На першій стадії імпульсного динамічного навантаження відбувається згладжування шорсткості, поверхневий наклеп і зміцнювання поверхні та підповерхневих ділянок металу. Потім розпочинається руйнування хімікелевого покриття, частинки якого при викришуванні виконують роль абразиву та проникають в поверхню зношування.

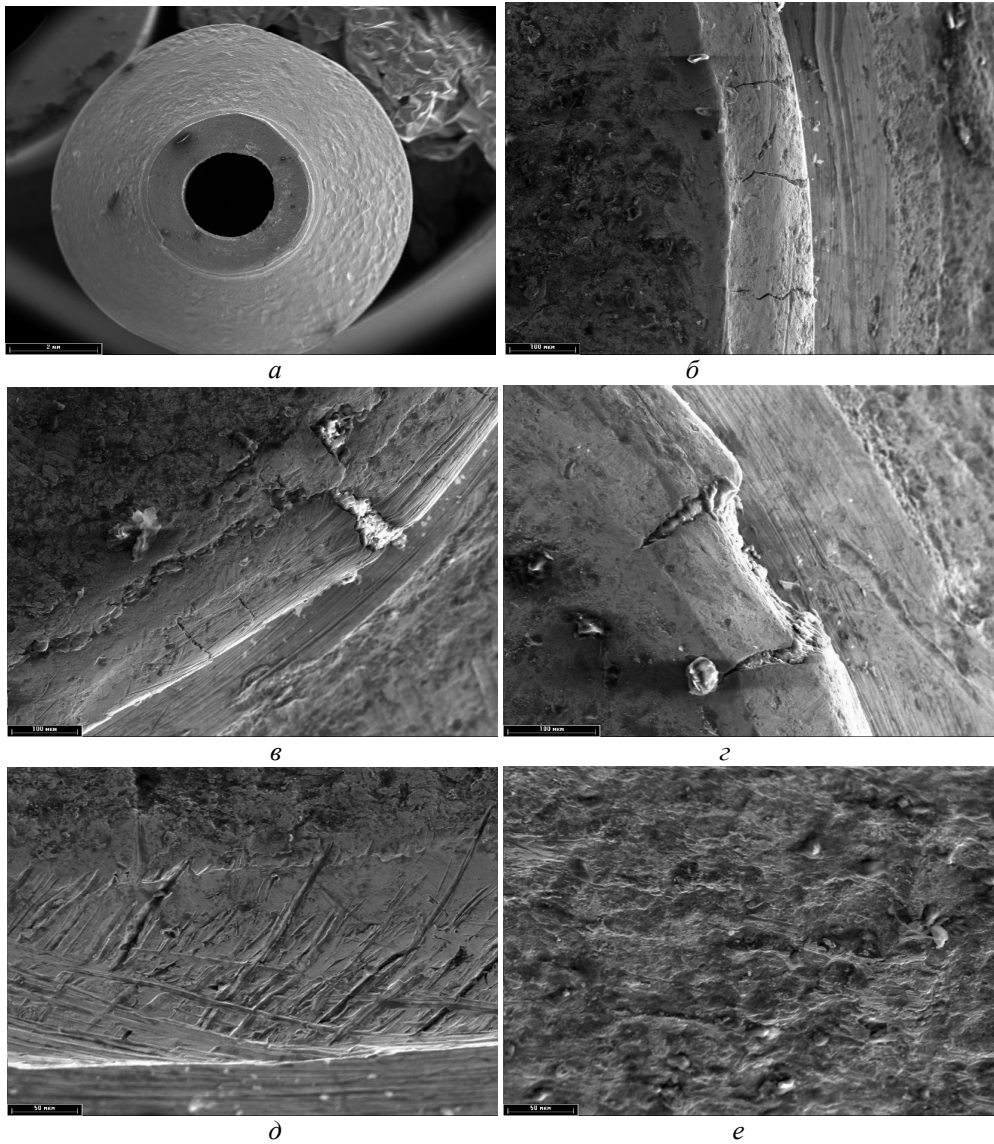


Рис. 12. Ділянки верхньої поверхні повзуна клапана при збільшенні за допомогою електронного мікроскопу: *a* – $\times 10$; *б* – $\times 150$; *в* – $\times 150$; *г* – $\times 200$; *д* – $\times 300$; *е* – $\times 300$

Таке проникнення створює виключно сприятливі умови для зароджування в металі крихких тріщин, які легко поєднуються з іншими таким ж тріщинами, утвореними при проникненні сусідніх зерен абразиву. В цих умовах безсумнівна негативна роль присутності в структурі поверхневого шару (покриття) твердих крихких фаз (нітридів), які полегшують зародження крихких тріщин, їх розвиток, наступне злиття та призводять до зниження зносостійкості металу при ударі. В результаті ударно-втомно-абразивного зношення створюються продукти зносу. Відокремлюючись, вони переносяться на сусідні ділянки контакту і на периферійні ділянки деталей, створюючи крайовий ефект інтенсивного зношення та провокуючи зношення і наступне руйнування інших деталей, які контактують з досліджувальними.

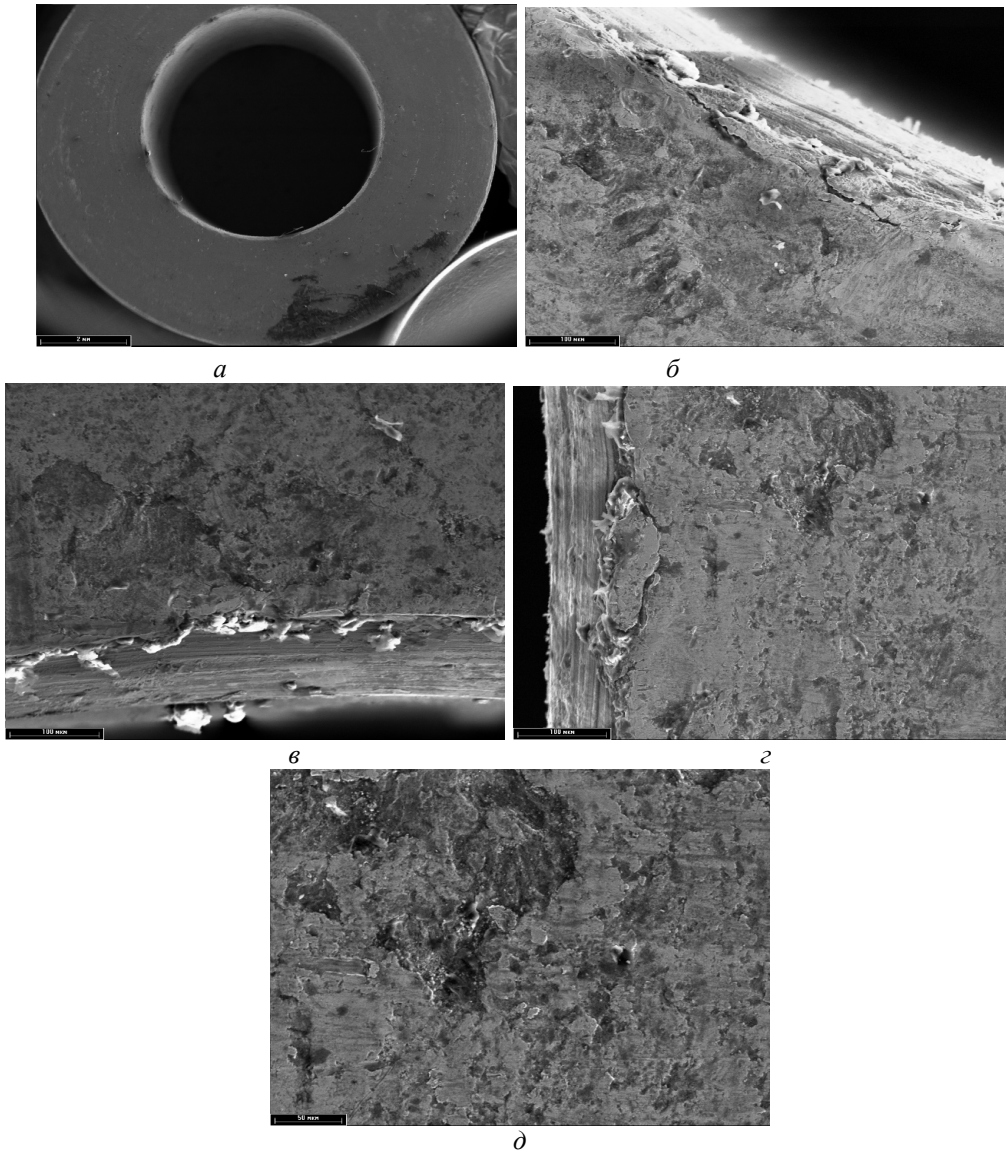


Рис. 13. Ділянки поверхні нижнього стопа клапана при збільшенні за допомогою електронного мікроскопу: *a* – $\times 10$; *б* – $\times 200$; *в* – $\times 200$; *г* – $\times 200$; *д* – $\times 300$

Вивчення характеру руйнування штока показало, що процес руйнування попереджала значна пластична деформація та формозміни головки штока. Дослідження поверхні злому виявило його чітку макроскопічну неоднорідність (рис. 14), а саме: наявність зон, відповідних поступовому розвитку тріщини і, так званому, «миттєвому» долому. На поверхні злому спостерігався хвилеподібний рельєф, який, як правило, утворюється під дією дотичних напружень при розплющуванні по площинах ковзання, підготовлених попередньою деформацією, а розмір зони відповідає області локальної деформації у вершинах тріщини, створеної при навантаженні перед зрушенням тріщини. Неоднорідність будови злому визначається також тим, що процес руйнування в загальному випадку має дискретний, «стрибоподібний» характер, причому початок кожного послідовного «стрибка» в деякій мірі повторює попередній.

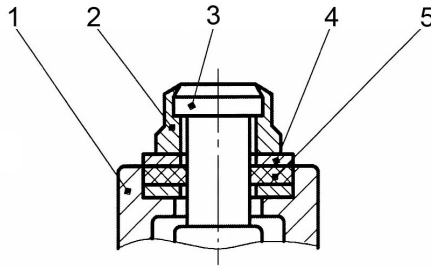


Рис. 14. Демпфуючий пристрій в кінематичному ланцюзі рухомої частини ЕМК:

1 – повзун; 2 – стопорна шайба; 3 – шток; 4 – шайба; 5 – демпфувальний елемент

Утворення нерівностей на поверхні руйнування є наслідком утворення злому шляхом злиття мікротріщин та поширення тріщин по певним чином мінливої траєкторії, обумовленої напрямком діючих напружень, орієнтуванням елементів структури, мікроструктурною неоднорідністю тощо.

В результаті ударного впливу в поверхневому шарі повзуна та нижнього стопа виникли структурні зміни, які поширювались на глибину до 300 мкм і визначались змінами мікротвердості).

Поверхневі шари в процесі ударного зношування зазнавали значної пластичної деформації, що призводило до наклепу і підвищенню мікротвердості. Найбільша мікротвердість спостерігалась поблизу поверхневого шару, потім на глибині $50 \div 70$ мкм вона різко знижувалась і навіть залишилась практично постійною для даної структури. Зміцнювання поверхневих шарів складало приблизно $25 \div 30\%$.

Таким чином проведені металографічні та фрактографічні дослідження деталей ЕМК після проведення ресурсних випробувань показало наступне:

- морфологічні особливості поверхні досліджених деталей клапана (повзун, нижній стоп, шток) указують на те, що їх руйнування відбувається унаслідок двох деградаційних процесів: ударно-утомного руйнування і ударно-абразивного зношування.

- процесу руйнування шийки штока передують комплекс деградаційних процесів, що відбуваються в матеріалі в період наробітку ресурсу: утворення і накопичення мікрodefektів, злиття мікропор у мікротріщини, зсувна деформація, утворення магістральних тріщин або макропорожнин.

Заходи щодо підвищення експлуатаційної надійності ЕМК. Для впровадження результатів проведених досліджень були реалізовані наступні заходи:

1. Розроблено стандарт підприємства СТ УЦКБА-273:2012 «Методика розрахунку запасів працездатності електромагнітних клапанів при проектуванні», впровадження якого дозволяє вже на ранніх стадіях проектування нових ЕМК закласти в їх конструкцію необхідні запаси працездатності з урахуванням можливих експлуатаційних змін технічного стану клапанів під час виробітку ресурсу.

2. Розроблено рекомендації щодо удосконалення конструкції ЕМК з двопозиційним поляризованим електромагнітним приводом з метою підвищення їх експлуатаційної надійності за рахунок:

- зміни геометрії деталей і вузлів ЕМК з метою збільшення площі ударного контакту елементів клапана, збільшення поперечного перерізу шийки штока, зниження впливу концентраторів напруги;

- використання в рухомій частині електромагнітного приводу пристроїв демпфування для розсіювання частини енергії ударного імпульсу;

- використання конструкційних матеріалів, більш стійких до впливу ударних навантажень.

Так як найбільш «слабкою» ланкою ЕМК данного типу є вузол з'єднання по-взуна (якоря) зі штоком, то основна частина розроблених рекомендацій була спрямована на удосконалення цього вузла. Ефективність доробок конструкції ЕМК, ефект від впровадження яких було важко оцінити аналітичним шляхом, перевірявся експериментально на натурних моделях клапанів.

Найбільш ефективним виявилось введення в кінематичний ланцюг передачі засилля від електромагніта до золотника клапана демпфувального елемента для розсіювання частини кінематичної енергії ударного імпульсу. В якості демпфувального елемента рекомендовано використовувати плоскі прокладки з гуми або поліуретану, стандартні гумові кільця чи металеві пружини. Експериментальна перевірка такого рішення була виконана на серійному електромагнітному приводу УФ 098190, що використовується в клапані УФ 96414-010. В якості демпфувального елемента біли використані плоскі прокладки з гуми ІРП-1338 товщиною 2 мм (рис. 14).

Введення демпфувального елемента привело до незначного зниження швидкодії клапана: час відкриття нового клапана збільшився з 32,5 мс до 36,3 мс, а час закриття – з 44,5 мс до 46,2 мс. При цьому суттєво збільшився час наробітку клапана до руйнування від утоми його стрижневого елемента – штока.

Під час проведення ресурсних випробувань клапанів УФ 96414-010 у штатному виконанні руйнування їх штоків від утому мало місце при наступних наробітках: 6500, 6500, 10000, 12000 та 20000 циклів спрацьовування. При тих же умовах були випробувані 2 зразка модернізованого клапана УФ 96414-010 з демпфувальними гумовими прокладками. Випробування були зупинені після 100000 спрацьовувань. Руйнування штоків клапанів не зафіксовано. За результатами дефекції елементів цих клапанів після 100000 спрацьовувань суттєвих змін технічного стану елементів рухомої частини електромагнітного приводу виробів не виявлено, в тому числі не визволено суттєвих формозмін головки штока, що характерно для клапанів у штатному виконанні. На рис. 15 для порівняння наведені фото головок штоків після напрацювання у 20000 циклів для клапана у штатному виконанні (а) і для модернізованого клапана з демпфуючим елементом (б).

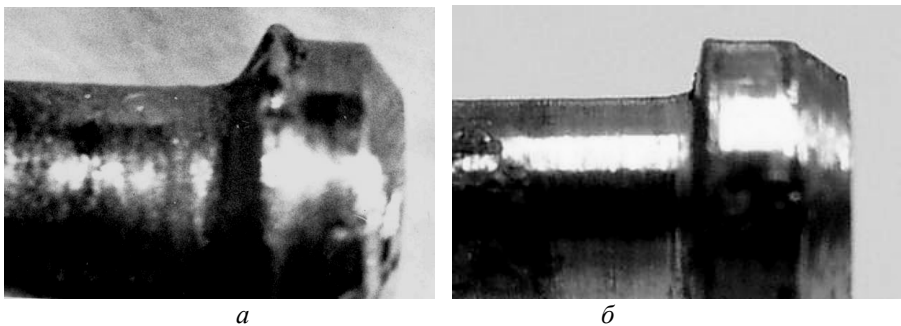


Рис. 15. Фото головок штоків клапанів після напрацювань 20000 циклів: а – головка штока клапана у штатному виконанні; б – головка штока клапана з демпфувальним елементом

Висновки. Узагальнення результатів проведених досліджень змін технічного стану елементів і вузлів ЕМК з двопозиційним електромагнітним приводом в процесі виробітку ресурсу дозволяють заключити наступне.

1. Виявлені основні деградаційні процеси в елементах і вузлах ЕМК даного типу. Зміна технічного стану деталей клапану під дією експлуатаційних наванта-

жень відбувається унаслідок двох деградаційних процесів: ударно-утомного руйнування і ударно-абразивного зношування.

2. Встановлено, що «слабою» ланкою ЕМК, що лімітує їх ресурс, є вузол з'єднання повзуна зі штоком, елементи якого зазнають значним динамічних навантажень. З наробітком має місце суттєва формозміна головки штока, зменшується підйом клапана над сідлом і при певному наробітку має місце повна відмова клапана внаслідок руйнування шийки штока. Процесу руйнування шийки штока передують комплекс деградаційних процесів, що відбуваються в конструктивному матеріалі під час відпрацювання ресурсу: утворення і нагромадження мікродефектів, злиття мікропор у мікротріщини, зсувна деформація, утворення магістральних тріщин або макропорожнин.

3. Розроблено стандарт підприємства СТУ КЦКБА–273:2012 «Методика розрахунку запасів працездатності електромагнітних клапанів при проектуванні», а також низку практичних рекомендацій щодо підвищення експлуатаційної надійності малогабаритних ЕМК з поляризованими двопозиційними електромагнітними приводами. Результати досліджень впроваджено в ПАТ «Київське центральне конструкторське бюро арматуробудування».

Список літератури

1. Кармугин Б. В. Современные конструкции малогабаритной пневмоарматуры / Б. В. Кармугин, В. Л. Кисель, Б. В. Лабезник. – К.: Техника, 1980. – 296 с.
2. Хильчевский В. В. Надежность трубопроводной пневмогидроарматуры / В. В. Хильчевский, А. Е. Ситников, В. А. Ананьевский. – М.: Машиностроение, 1989. – 208 с.
3. Ситников А. Е. Отказы электромагнитных клапанов / А. Е. Ситников // Вестник НТУУ (КПИ), Машиностроение, 2002, №42 (59), Том 2. – К.: НТУУ «КПИ», 2002. – С. 46 – 49.
4. Мишакин В. В. Разработка акустического метода оценки степени деградации стали 08X18H10T на ранних стадиях усталостного разрушения / В. В. Мишакин, Ф. М. Митенков, В. А. Ключников // Прочность материалов и элементов конструкций: Тез. докл. Международной научно-технической конференции «Усталость и термоусталость материалов и элементов конструкций» / Отв. ред. В.А. Стрижало. – Киев: Ин-т проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, 2013. – С. 177 – 179.
5. Рыкунич Ю. Н. Изменение технического состояния контактирующих деталей электромагнитных клапанов при эксплуатации / Ю. Н. Рыкунич, А. Е. Ситников, Г. Й. Зайончковский, В. Ф. Лабунец // Вибрации в технике и технологиях. – 2003, №3 (59). – С. 46 – 52.

J. N. RIKUNICH, L. V. ANANEVSKAYA, A. E. SITNIKOV, YA. B. FEDORYCHKO, G. I. ZAIONCHKOVSKIY, E. I. BARILYUK

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF TECHNICAL CONDITION CHANGE IN
COMPACT PNEUMATIC VALVE WITH TWO-POSITIONED POLARIZED
ELECTROMAGNETIC DRIVE UNDER THE WORKING LOAD**

This article highlights the longevity tests results of compact two-positioned electromagnetic pneumatic valves that are widely used in aviation and aerospace industry. Authors determined main degradation processes that take place in valve elements under the work loads and their influence on the efficiency of the electromagnetic valve and its functional parameters. It was revealed that change of the technical condition of valve components under the workloads is the result of two degradation processes: shock-fatigue destruction and impact-abrasive wear. Practical recommendations for increasing of work efficiency for this type of valves were created and introduced at JSCB «Kiev Central Design Bureau of Valves». Local standard «Methods of efficiency calculations for electromagnetic valves during design process» was created.

Keywords: Solenoid Valve, two-position electromagnetic drive, degradation processes, friction, wear, fatigue, resource reliability

Рикуніч Юрій Миколайович – Генеральний директор ПАТ «Київське центральне конструкторське бюро арматуробудування», office@kckba.kiev.ua.

Ананьєвська Людмила Володимирівна – канд. техн. наук, завідувач лабораторії ТОВ «Науково-дослідний центр арматуробудування».

Ситніков Олександр Євгенійович – канд. техн. наук, начальник сектору ПАТ «Київське центральне конструкторське бюро арматуробудування», office@kckba.kiev.ua.

Федоричко Ярослав Богданович – начальник сектору ПАТ «Київське центральне конструкторське бюро арматуробудування», office@kckba.kiev.ua.

Зайончковський Геннадій Йосипович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри гідрогазових систем Національного авіаційного університету, evgenia_zay@mail.ru.

Барилук Євген Ігорович – аспірант Національного авіаційного університету, eugen.barilyuk@gmail.com.