

Е.И. Барилюк,
Г.И. Зайончковский, д-р техн. наук
Национальный авиационный университет, Киев, Украина
Ю.Н. Рыкунич,
А.Е. Ситников, канд. техн. наук,
Я.Б. Федоричко

ЦАО “Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения”, Киев, Украина

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ С ДВУХПОЗИЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ

ENSURING RELIABILITY OF COMPACT PNEUMATIC VALVES WITH ON-OFF SOLENOID ACTUATOR

На основании результатов ресурсных испытаний выявлены основные изменения технического состояния деталей малогабаритных клапанов с двухпозиционным электромагнитным приводом под действием эксплуатационных нагрузок. Проведена оценка влияния динамических нагрузок на усталостную прочность стержневых элементов клапана (штоков). Рассмотрены научно обоснованные рекомендации по обеспечению надежности и безотказности малогабаритных пневматических клапанов с двухпозиционным электромагнитным приводом на этапе проектирования. Для уменьшения интенсивности циклических ударных нагрузок на элементы клапана рекомендуется использовать демпфирующие устройства в кинематической схеме подвижной части электромагнитного привода клапана.

Ключевые слова: пневматический клапан, ресурсные испытания, безотказность, надежность

Введение

Пневматические клапаны с двухпозиционным поляризованным электромагнитным приводом типа ДТВ (двухпозиционный толкающее-втягивающий) нашли широкое применение в космической технике [1]. Такие электромагнитные клапаны (ЭМК) используются в системах ориентации и стабилизации, энергопитания, жизнеобеспечения, управления двигателем малой тяги, дозаправки и т. д. Конструктивная схема ЭМК с приводом типа ДТВ показана на рисунке 1.

В процессе опытной отработки проявились два характерных свойства этих ЭМК: высокое быстродействие и большее количество полных функциональных отказов [2]. Предварительный анализ больших массивов информации об отказах дал основание предположить, что эти свойства ЭМК связаны между собой. Высокое быстродействие порождает высокую скорость перемещения элементов подвижной системы привода, которая способствует высокому уровню динамических напряжений при контакте деталей клапана, а это вызывает на поверхностях и в объеме деталей ЭМК деградационные процессы высокой интенсивности.

Конструктивная особенность ЭМК с приводом типа ДТВ такова, что исполнительное усилие передается через элементы с малой площадью контакта. Это обстоятельство еще более увеличивает динамические напряжения при срабатывании клапана, и, следовательно, вероятность отказа вследствие разрушения его элементов.

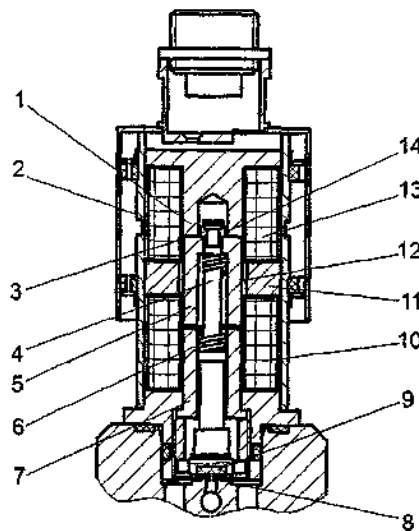


Рисунок 1 — Конструктивная схема ЭМК с приводом типа ДТВ: 1 — верхний стоп; 2 — корпус клапана; 3 — шейка штока; 4 — шток; 5 — ползун (якорь); 6 — пружина; 7 — нижний стоп; 8 — седло; 9 — золотник с резиновой вставкой; 10 — нижняя обмотка; 11 — постоянный магнит; 12 — трубка разделительная; 13 — верхняя обмотка; 14 — шайба стопорная

Учитывая вышеизложенное, а также то, что разработка новых систем авиакосмической техники связана с обеспечением повышенных требований к безотказности изделий, цель настоящей работы следует считать достаточно актуальной

Результаты ресурсных испытаний

Анализ результатов проведенных в ПАО “Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения” ресурсных испытаний показал, что при отработке пневматических ЭМК с приводом типа ДТВ имеют место следующие деградационные процессы, изменяющие их техническое состояние [3]

При открытии клапана (перемещении подвижной системы ЭМК от седла) имеет место

- ударное циклическое контактирование ползуна 5 и стопорной шайбы 14 (см рисунок 1), что приводит к выкрашиванию вследствие усталости материала торцевых контактных поверхностей (рисунок 2) и изменению относительного положения этих деталей привода (рисунок 3),

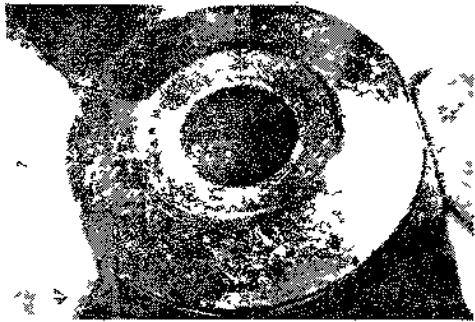


Рисунок 2 — Повреждения верхней торцевой поверхности ползуна (якоря) под действием циклических ударных нагрузок во время открытия клапана (формоизменение поверхности по месту контакта со стопорной шайбой и выкрашивание поверхности по месту контакта с верхним стопом)

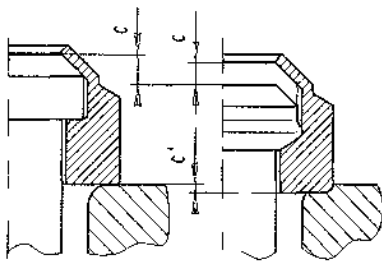


Рисунок 3 — Изменение взаимного положения стопорной шайбы, головки штока и ползуна в результате их формоизменения под действием эксплуатационных нагрузок

- циклическое приложение распределенного импульсного усилия, нормального к площади контакта шайбы 14 и головки штока 4, что приводит к измене-

нию формы деталей вследствие накопления односторонних пластических деформаций (рисунок 4), изменению взаимного положения этих деталей (рисунок 3) и накоплению микроповреждений в материале шейки штока,

- ударное циклическое контактирование ползуна 5 и верхнего стопа 1, что приводит к деградации макрорельефа поверхностей контакта (рисунок 4)

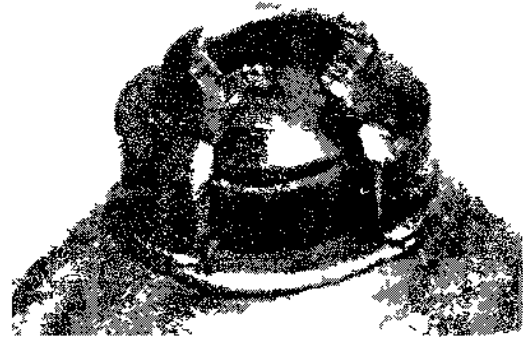


Рисунок 4 — Узел крепления штока и ползуна после наработки 200000 циклов срабатывания

При закрытии клапана (перемещении подвижной системы ЭМК к седлу) имеет место

- ударное циклическое контактирование золотника 9 и седла 8, что приводит к деградации поверхности резинового уплотнения (рисунок 5), вмонтированного в золотник,

- ударное циклическое контактирование ползуна 5 и нижнего стопа 7, что приводит к наклепу торцевых поверхностей контакта

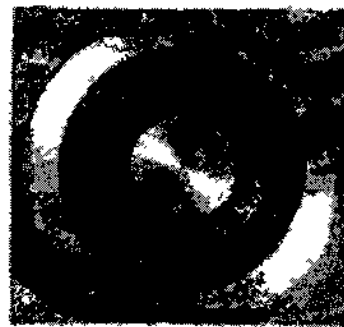


Рисунок 5 — Канавка на поверхности резинового уплотнения, которая образовалась под действием эксплуатационных нагрузок при закрытии клапана

Таким образом, выявлено, что в процессе отработки ресурса в ЭМК с приводом типа ДТВ имеет место пластические деформации деталей подвижной системы клапана и после определенной наработки разрушение шейки штока (рисунок 6), что приводит к полному отказу клапана и ограничивает его ресурс



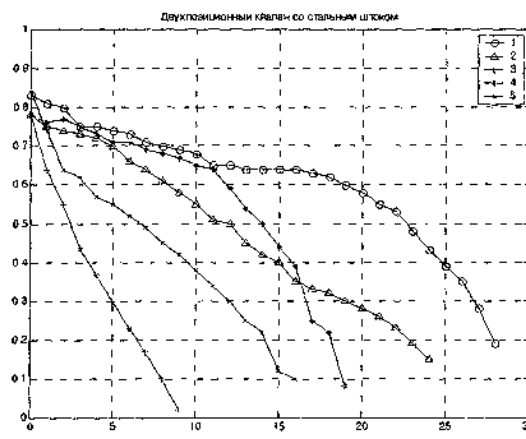
Рисунок 6 — Усталостное разрушение шейки штока

Описанные деградационные процессы в элементах ЭМК приводят к определенным эксплуатационным изменениям выходных функциональных параметров клапанов.

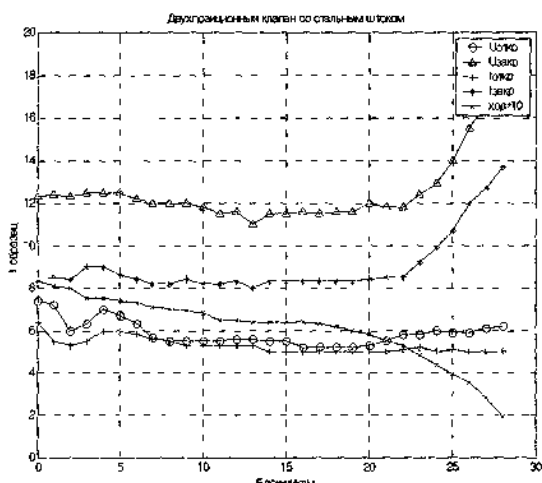
По результатам проведенных ресурсных испытаний определены зависимости эксплуатационных изменений функциональных параметров клапана (рисунок 7, а) и хода его золотника (рисунок 7, б) от количества блок-циклов срабатывания (1 блок-цикл равен 20000 срабатываний).

Установлено, что для ЭМК с приводом типа ДТВ в процессе отработки ресурса имеет место определенное уменьшение напряжения $U_{откр}$ и времени $t_{откр}$ открытия клапана, определенное увеличение напряжения $U_{закр}$ и времени $t_{закр}$ закрытия клапана и существенное уменьшение хода золотника $x_{зол}$ за счет изменения положения ползуна относительно стопорной шайбы и штока вследствие выработки кольцевой канавки на торцевой поверхности ползуна и пластической деформации деталей подвижной системы клапана (прежде всего удлинения шейки штока). При уменьшении величины $x_{зол}$ от 0,8 мм до критической (0,1мм) имеет место отказ клапана.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что определенная часть кинетической энергии подвижной системы ЭМП клапана переходит при его открытии и закрытии в потенциальную энергию деформации конструкционного материала штока и образованию в нем определенных микродеформаций, а оставшаяся часть рассеивается вследствие трения или в специально установленном демпфирующем элементе. По мере увеличения числа срабатываний клапана количество указанных энергетических переходов растет. Накопление микродеформаций в конструкционном материале штока приводит к возникновению макротрещин, а после определенного количества срабатываний — к разрушению шейки штока и полному отказу клапана.



а



б

Рисунок 7 — Зависимости изменения хода золотника пяти опытных образцов ЭМК с приводом типа ДТВ (а) и функциональных параметров 1-го опытного образца клапана (б) от количества блок-циклов срабатывания

Таким образом, с энергетической точки зрения, условием неразрушения шейки штока клапана в процессе наработки ресурса будет выполнение неравенства

$$E_k^{ПС} (1 - K_{рас}) n_{бц} < E_{ккр}^{\Sigma} \tag{1}$$

где $E_k^{ПС}$ — удельная кинетическая энергия подвижной системы ЭМП клапана, которая в первом приближении может быть определена как $E_k^{ПС} = \frac{mV_{ср}^2}{2} / f_{ст\ эл\ мин}$; m — масса подвижной системы ЭМП; $V_{ср}$ — средняя скорость перемещения подвижной системы ЭМП; $f_{ст\ эл\ мин}$ — минимальная площадь поперечного сече-

ния стержневого элемента ЭМП; $K_{рас}$ — коэффициент рассеивания, зависящий от кинематической схемы подвижной системы ЭМП и наличия в ней специального демпфирующего элемента; $n_{бц}$ — количество блок-циклов срабатывания клапана; $E_{к_кр}^{\Sigma}$ — критическое значение накопленной в материале штока удельной кинетической энергии, при котором происходит разрушение шейки штока.

Средняя скорость перемещения подвижной системы ЭМП клапана $V_{ср}$ в первом, достаточном для инженерных расчетов приближении может быть определена как $V_{ср} \approx h/t$, где h — перемещение стержневого элемента (штока) клапана при его срабатывании; t — время срабатывания клапана.

Может быть определено критическое значение удельной кинетической энергии подвижной системы электропривода клапана, превращающее неравенство (1) в равенство:

$$E_{к_кр}^{ПС} = \frac{E_{к_кр}^{\Sigma}}{(1 - K_{рас})n_{бц}} \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что зависимость $E_{к_кр}^{ПС} = \varphi(n_{бц}, K_{рас}, E_{к_кр}^{\Sigma})$ представляет собой гиперболу и характеризует для данного конструкционного материала стержневого элемента критический уровень удельной кинетической энергии перемещения подвижной системы ЭМП клапана, превышение которого при определенной наработке приводит к разрушению стержневого элемента от усталости.

На рисунке 8 представлены результаты экспериментального исследования зависимости наработки клапана до разрушения шейки штока n_p от уровня удельной кинетической энергии его подвижной системы для разных конструкционных материалов. Экспериментальные результаты хорошо согласуются с теоретической зависимостью (2).

На каждом уровне $E_{к_кр}^{ПС}$ значения наработки клапана до разрушения его стержневого элемента (штока) n_p имеют природное рассеивание, которое определяется среднеквадратическим отклонением S_{n_p} .

Полученные экспериментальные кривые характеризуют гранично-допустимый уровень удельной кинематической энергии перемещения подвижной системы ЭМП клапана, превышение которого при определенной наработке n_p приводит к разрушению стержневого элемента от усталости.

Наличие рассеивания кинетической энергии подвижной системы электромагнитного привода клапана, оцениваемого с помощью коэффициента $K_{рас}$, меньшего единицы, делает более пологой зависимость $E_{к_кр}^{ПС} = \varphi(n_{бц}, K_{рас}, E_{к_кр}^{\Sigma})$. При введении в подвижную систему ЭМП клапана демпфирующих (рассеиваю-

щих энергию удара) элементов эта зависимость становится еще более полой, что увеличивает размер зоны работоспособности клапана под кривой

$$E_{к_кр}^{ПС} = \varphi(n_{бц}, K_{рас}, E_{к_кр}^{\Sigma}).$$

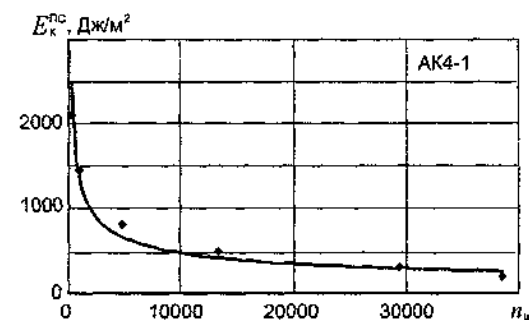
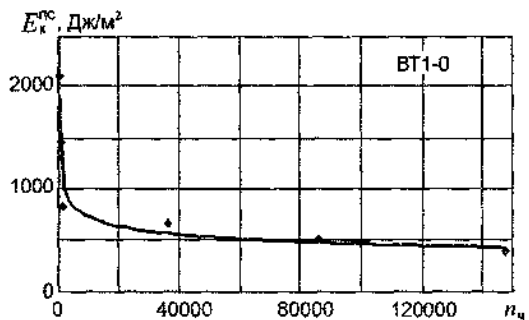
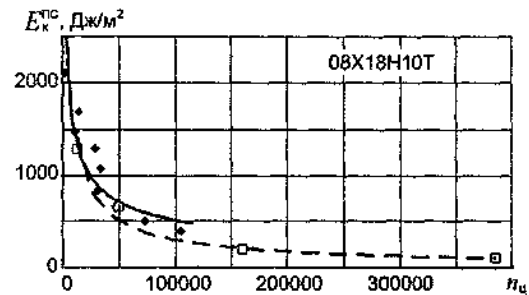


Рисунок 8 — Зависимости наработки клапана до разрушения шейки штока от уровня удельной кинетической энергии его подвижной системы для разных конструкционных материалов

Следует отметить особенности усталостных изломов стержневых элементов ЭМК в зависимости от структуры материала (рисунок 9).

Прочностные изменения в деталях могут быть представлены следующими моделями [5]:

- моделью Гриффитса-Ирвина;
- моделью образования и объединения микропор.

Разрушение по модели Гриффитса-Ирвина происходит при сравнительно малых продольных дефор-

мациях Разрушению по модели образования и объединения микропор предшествует значительная продольная деформация.

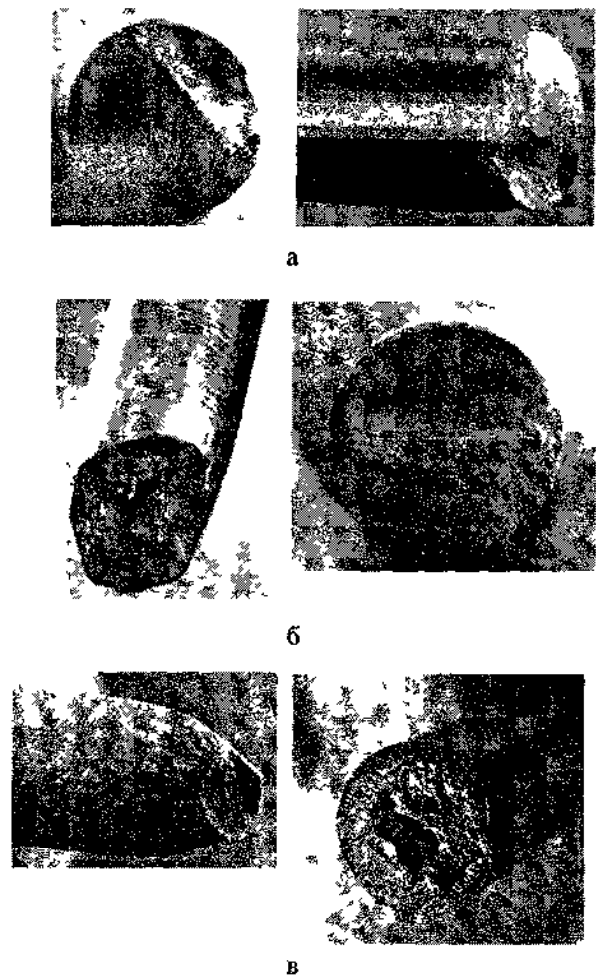


Рисунок 9 — Усталостные изломы стержневых элементов ЭМК с приводом типа ДТВ:
 а — материал BT5-1; б — материал AK4-1;
 в — материал VT1-0

Следует отметить два крайних случая поведения материала при простом растяжении образца — это полностью хрупкий скол после чисто упругой деформации и полностью вязкое разрушение путем скольжения и стягивания шейки в точку. Процесс разрушения в шейке — это процесс объединения или слияния образовавшихся пустот

Как правило, изломы деталей из хрупких материалов — BT5-1, AK4-1 (рисунок 9, а и 9, б) имеют две характерные зоны: зону усталостного разрушения и зону долома.

Нарушение целостности стержневых элементов из пластичных материалов (VT1-0) происходит вследствие образования микропор и объединения их в макрополости. Характерный вид такого усталостного излома показан на рисунке 9, в.

Фрактограммы усталостных изломов образца показаны на рисунке 10.

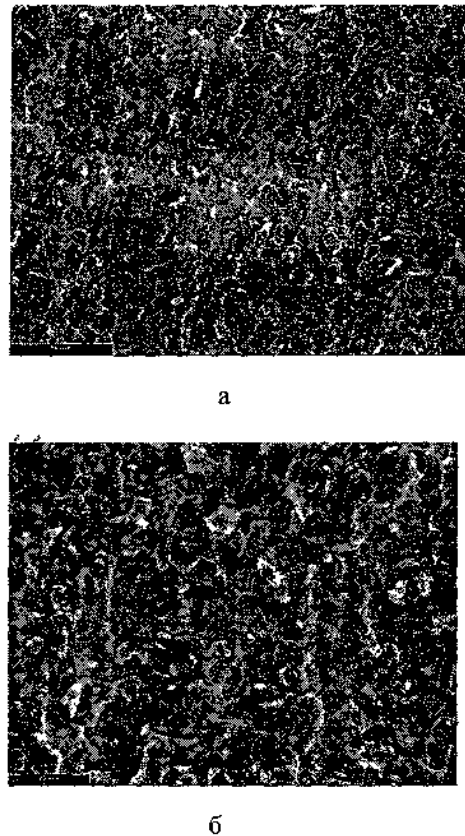


Рисунок 10 — Фрактограммы усталостных изломов штоков ЭМК из материала BT5-1:
 а — увеличение в 500 раз;
 б — увеличение в 1000 раз

Мероприятия по повышению эксплуатационной надежности и безотказности ЭМК с приводом типа ДТВ

Реализация результатов выполненных исследований проводилась в КЦКБА путем:

- усовершенствования процесса разработки новых образцов ЭМК для авиационно-космической техники;
- разработки конкретных научно обоснованных рекомендаций по совершенствованию конструкций отдельных образцов малогабаритных ЭМК.

Разработан стандарт предприятия СТУ КЦКБА-273:2012 “Методика расчета запасов работоспособности электромагнитных клапанов при проектировании”, основные положения которых изложены в работах [4, 6], внедрение которых позволяет уже на ранних этапах проектирования новых ЭМК заложить в их конструкцию необходимые запасы работоспособности с учетом прогнозирования возможных эксплуатационных изменений технического состояния клапанов в процессе выработки ресурса.

Рекомендации по усовершенствованию конструкций отдельных типов ЭМК были направлены на увеличение надежности клапанов за счет [7, 8, 9]

- усовершенствования геометрии деталей и узлов ЭМК с целью увеличения площади ударного контак-

та елементів клапана или поперечного сечения шейки штока, снижения влияния концентраторов напряжений;

- использования в подвижной системе ЭМП клапана устройств демпфирования для рассеивания части энергии ударного импульса,
- выбора конструкционных материалов, более стойких к влиянию ударных нагрузок.

Так как наиболее слабым звеном ЭМК с приводом ДТВ является узел соединения ползуна (якоря) со штоком, то основная часть разрабатываемых мер была направлена на совершенствование этого узла.

Заслуживает внимания введение в кинематическую цепочку передачи усилий от электромагнита к золотнику демпфирующего элемента, рассеивающего часть кинетической энергии ударного импульса (увеличения коэффициента $K_{рас}$ в выражении 2). В качестве демпфирующего элемента рекомендуется использовать плоские прокладки из резины или полиуретана, стандартные резиновые кольца или металлические пружинки. Экспериментальная проверка эффективности такого решения была проверена на штатном ЭПМ УФ 098190, используемого в ЭМК УФ 96414-010. В качестве демпфирующего элемента были использованы плоские прокладки из резины ИРП-1338 толщиной 2 мм (рисунок 11). Конструкция защищена патентом Украины [9].

Введение демпфирующего элемента привело к незначительному снижению быстродействия клапана: увеличению времени открытия клапана с нулевой наработкой с 32,5 мс до 36,3 мс и времени закрытия — с 44,5 мс до 46,2 мс. Однако при этом существенно увеличилась наработка клапана до усталостного разрушения его стержневого элемента.

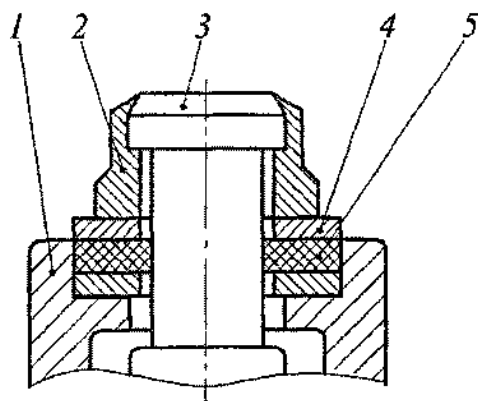


Рисунок 11 — Демпфирующее устройство в кинематической цепочке подвижной системы ЭМП клапана: 1 — ползун; 2 — стопорная шайба; 3 — шток; 4 — шайба; 5 — пружинный элемент с малой жесткостью

При ресурсных испытаниях пяти образцов клапанов УФ 96414-010 в штатном исполнении разрушение их стержневых элементов, выполненных из спла-

ва 08X18H10T, наступило при наработках 6500, 6500, 10000, 12000 и 20000 циклов. При тех же условиях были испытаны 2 образца модернизированного клапана УФ 96414-010 с демпфирующими резиновыми прокладками. Испытания были приостановлены после наработки 100000 циклов. Разрушение штоков у этих клапанов не зафиксировано. По результатам дефектации элементов клапанов с демпфирующей прокладкой после отработки 100000 циклов срабатывания существенных изменений технического состояния элементов их подвижной системы не выявлено, в том числе не выявлено существенных формоизменений головки штоков, что характерно для клапанов в штатном исполнении (рисунок 12).

Для уменьшения выкрашивания торцевой поверхности ползуна рекомендуется в зоне контакта со стопорной шайбой запрессовывать втулку с более износостойким к ударным нагрузкам материалом, например, из стали ХВГ (рисунок 13). Проведенные ресурсные испытания ЭМК с доработанным ползуном показали эффективность проведенной доработки. После 100000 срабатываний клапана поверхность ползуна в зоне контакта со стороной шайбой оказалась практически неповрежденной (рисунок 14).

Результаты исследований внедрены в ПАО «Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения» — ведущем предприятии Украины по разработке гидравлической и пневматической арматуры для авиакосмической техники



Рисунок 12 — Вид головки штока ЭМК после ресурсных испытаний: а — подвижная система электромагнитного привода без демпфирующего элемента, наработка 20000 циклов; б — подвижная система электромагнитного привода с демпфирующим устройством, наработка 100000 циклов

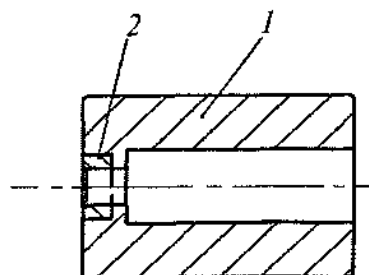


Рисунок 13 — Ползун электромагнитного привода клапана с запрессованной втулкой: 1- ползун (материал пруток 16Х); 2 — втулка (материал ХВГ)

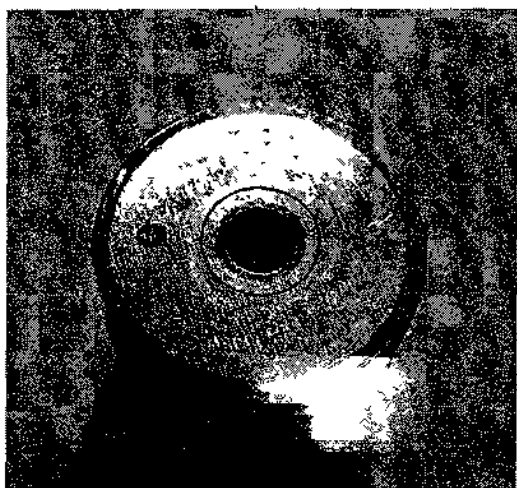


Рисунок 14 — Торцевая поверхность ползуна с запрессованной втулкой из стали ХВГ после 100000 циклов срабатывания клапана

Заключение

Обобщение результатов проведенных исследований по обеспечению надежности и безотказности малогабаритных электромагнитных клапанов с приводом типа ДТВ позволяет заключить следующее.

1. Выявлены основные деградационные процессы в элементах и узлах ЭМК с приводом типа ДТВ. Установлено, что наиболее слабым узлом клапана, лимитирующим его ресурс, является узел соединения ползуна (якоря) со штоком, элементы которого подвергаются воздействию интенсивных циклических ударных нагрузок. При определенной наработке происходят существенные формоизменения головки штока, уменьшение хода золотника и разрушение шейки штока.

2. Выявлена корреляционная зависимость между наработкой клапана до разрушения его стержневого элемента (штока) и величиной удельной кинетической энергии подвижной системы электромагнитного привода. Экспериментальным путем получены зависимости граничной наработки клапанов до разрушения их стержневых элементов, выполненных из разных конструкционных материалов, от величины удельной кинетической энергии подвижной системы ЭМП клапана.

3. Разработаны и внедрены в ПАО «Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения» в практику проектирования малогабаритных ЭМК стандарт предприятия СТУ КЦКБА-273:2012 «Методика расчета запасов работоспособности электромагнитных клапанов при проектировании».

4. Для уменьшения интенсивности циклических ударных нагрузок на элементы клапана рекомендуется использовать демпфирующие устройства в кинематической цепи подвижной системы электромагнитного привода клапана.

Литература

1. Кармугин, Б.В. Современные конструкции малогабаритной пневмоарматуры / Б.В. Кармугин, В.Л. Кисель, А.Г. Лазебник. — К.: Техніка, 1980. — 295 с.
2. Хильчевский, В.В. Надежность трубопроводной пневмогидроарматуры / В.В. Хильчевский, А.Е. Ситников, В.А. Аняньевский. — М.: Машиностроение, 1989. — 208 с.
3. Рыкуніч, Ю.Н. Исследование изменения технического состояния элементов пневмоклапанов с электромагнитным приводом / Ю.Н. Рыкуніч, А.Е. Ситников, В.Ф. Лабунец, Я.Б. Федоричко // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. — Вып. № 42. — Т. 1. — К.: НТУУ «КПИ», 2002.
4. Рыкуніч, Ю.Н. Выбор запасов работоспособности проектируемых электромагнитных клапанов с использованием энергетических критериев / Ю.Н. Рыкуніч, А.Е. Ситников // Промислова гідраліка і пневматика. — 2006. — № 1 (11). — С. 43—46.
5. Болотин, В.В. Исследование моделей накопления усталостных повреждений / В.В. Болотин, А.Ф. Ермоленко // В кн.: расчеты на прочность. — М.: Машиностроение, 1979. — Вып. 20. — С. 3—29.
6. Рыкуніч, Ю.М. Визначення запасів працездатності малогабаритних електромагнітних клапанів / Ю.М. Рыкуніч // Промислова гідраліка і пневматика. — 2012. — №2 (36). — С. 85—91.
7. Декларацийний патент на корисну модель 4156 Україна, 7 F16K1/00. Електромагнітний клапан / Ю.М. Рыкуніч, О.Є. Ситніков, В.Л. Кисель, Я.Б. Федоричко; КЦКБА. — № 2004021061; Заявл. 13.02.2004; Опубл. 17.01.2005, Бюл. № 1. — 2 с.
8. Декларацийний патент на корисну модель 12621 Україна, МПК (2006) F16K 31/00. Електромагнітний клапан / О.Є. Ситніков, В.Л. Кисель, Я.Б. Федоричко, Т.В. Євсєєва; КЦКБА. — № u200508216; Заявл. 22.08.2005; Опубл. 15.02.2006, Бюл. № 2. — 3 с.
9. Патент на корисну модель 17984 Україна, МПК (2006) F16K 31/00. Електромагнітний клапан / О.Є. Ситніков, В.Л. Кисель, Я.Б. Федоричко, Ю.М. Рыкуніч; КЦКБА. — № u200604886; Заявл. 03.05.2006; Опубл. 16.10.2006 Бюл. № 10. — 3 с.

References

1. Karmugin, B.V. Sovremennye konstrukcii malogabaritnoj pnevmoarmatury / B.V. Karmugin, V.L. Kisel', A.G. Lazebnik. — K.: Tehnika, 1980. — 295 s.
2. Hilchevskij, V.V. Nadezhnost' truboprovodnoj pnevmogidroarmatury / V.V. Hilchevskij, A.E. Sitnikov, V.A. Ananievskij. — M.: Mashinostroenie, 1989. — 208 s.
3. Rykunich, J.N. Issledovanie izmenenija tehniceskogo sostojanija jelementov pnevmoklapanov s elektromagnitnym privodom / J.N. Rykunich, A.E. Sitnikov, V.F. Labunec, J.B. Fedorichko // Vestnik Nacional'nogo tehniceskogo universiteta Ukrainy «Kievskij politekh-

nicheskij institut". Mashinostroenie. — Vyp. № 42. — Т. 1. — К.: NTUU "KPI", 2002.

4. Rykunich, Yu.N. Vybora zapasov rabotosposobnosti proektiruemih elektromagnitnyh klapanov s ispolzovaniem energeticheskikh kriteriev / Yu.N. Rykunich, A.E. Sitnikov // Promyslova gidravlika i pnevmatyka. — 2006. — № 1 (11). — S. 43—46.

5. Bolotin, V.V. Issledovanie modelei nakopleniya ustalostnyh povrezhdeniy / V.V. Bolotin, A.F. Ermolenko // V kn.: raschety na prochnost'. — M.: Mashinostroenie, 1979, vyp. 20. — S. 3—29.

6. Rikunich, Yu.M. Vznachennja zapasiv pracezdatnosti malogabaritnih elektromagnitnih klapaniv / Yu.M. Rykunich // Promyslova gidravlika i pnevmatyka. — 2012. — № 2 (36). — S. 85—91.

7. Deklaracijnij patent na korisnu model' 4156 Ukraїna, 7 F16K1/00. Elektromagnitnij klapan / Yu.M.Rikunich, O.E.Sitnikov, V.L.Kisil, J.B.Fedorichko; KCKBA. — № 2004021061; Zajavl. 13.02.2004; Opubl. 17.01.2005, Bjul. № 1. — 2 s.

8. Deklaracijnij patent na korisnu model' 12621 Ukraїna, MPK (2006) F16K 31/00. Elektro-magnitnij klapan / O.E. Sitnikov, V.L. Kisil, J.B. Fedorichko, T.V. Evseeva; KCKBA. — № u200508216; Zajavl. 22.08.2005; Opubl. 15.02.2006, Bjul. № 2. — 3 s.

9. Patent na korisnu model 17984 Ukraina, MPK (2006) F16K 31/00. Elektromagnitnij klapan /O.E. Sitnikov, V.L. Kisil, J.B. Fedorichko, Yu.M. Rikunich; KCKBA. — № u200604886; Zajavl. 03.05.2006; Opubl. 16.10.2006. Bjul. № 10. — 3 s.

Надійшла 7 04 2014

УДК 621.646.4

**Забезпечення безвідмовності
малогабаритних пневматичних
клапанів з двохпозиційним
електромагнітним приводом**

**Є.І.Барилук,
Г.Й. Зайончковський,
Я.Б. Федоричко, Ю.М. Рикуніч,
О.Є. Ситніков**

На підставі результатів ресурсних випробувань виявлено основні зміни технічного стану деталей і вузлів малогабаритних клапанів з двопозиційним електромагнітним приводом під дією експлуатаційних навантажень. Проведено оцінку впливу динамічних навантажень на втомну міцність стрижневих елементів клапана (штоків). Розглянуто науково обґрунтовані рекомендації щодо забезпечення надійності й безвідмовності малогабаритних пневматичних клапанів з двопозиційним електромагнітним приводом на етапі проектування. Для зменшення інтенсивності циклічних ударних навантажень на елементи клапана рекомендовано використовувати демпфувальні пристрої в кінематичній схемі рухомої частини електромагнітного приводу клапана.

Ключові слова. пневматичний клапан, ресурсні випробування, безвідмовність, надійність.

UDC 621.646.4

**Ensuring reliability of compact
pneumatic valves with on-off
solenoid actuator**

**E.I. Barilyuk,
G.Yo. Zayonchkovskiy,
Ya.B. Fedorichko, Yu.N. Rykunich,
A.E. Sitnikov**

Based on the results of conducted resource tests it was revealed major changes in the technical elements condition of small-sized two-position valve with electromagnetic drive under operational loads. The influence evaluation of dynamic loads on the fatigue strength of the valve core elements (rods) was obtained. Scientifically proved recommendations for granting the reliability and faultness of small-sized pneumatic valves with two-positioned electromagnet at the design stage were given. It was recommended to use damping elements in the kinematic scheme of the valve moving assembly of valve electromagnetic drive for decreasing the intensiveness of the dynamic shock loads on valve elements.

Key words: pneumatic valve, conducted resource tests, faultness, reliability