

УДК 621.891:621.646

Є. І. БАРИЛЮК, Г. Й. ЗАЙОНЧКОВСЬКИЙ

Національний авіаційний університет, Україна

ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ЗНОШУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МАЛОГАБАРИТНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КЛАПАНІВ

Показано, що одним з ефективних шляхів зменшення динамічних навантажень та інтенсивності процесів зношування елементів малогабаритних електромагнітних клапанів є введення штучного демпфірування в рухомій частині електромагнітного приводу клапана. Наведено результати розрахунків напружень в елементах затвору клапана типу «метал – метал» при його закритті за відсутністю та за наявністю спеціального демпфірувального елемента в рухомій частині електромагнітного приводу. Експериментально підтверджено зменшення інтенсивності процесів зношування елементів затвору клапана за рахунок введення штучного демпфірування.

Ключові слова: електромагнітний клапан, динамічні навантаження, затвор, демпфірувальний елемент, зношування, ресурс

Актуальність досліджень. Малогабаритні електромагнітні клапани знайшли широке використання в системах обладнання виробів авіакосмічної техніки, автомобілебудування, інших галузях господарства завдяки низькому рівні енергії, необхідній для забезпечення їх тривалої експлуатації.

Окреме місце в номенклатурі малогабаритних електромагнітних клапанів (ЕМК) займають клапани з запірним вузлом типу «метал–метал», які використовуються в системах з агресивним робочим середовищем або в умовах підвищених температур, які не прийнятні для запірних вузлів з гумовими ущільненнями. Особливістю роботи таких клапанів є циклічність спрацьовування при ударному характері контактування металевого затвору із сідлом. Через підвищену швидкодію в процесі функціонування клапана елементи його запірного вузла 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 запірного вузла клапана і значно зменшує його надійність і ресурс [1]. Це обумовлює актуальність досліджень, направлених на зменшення динамічних навантажень та інтенсивності процесів зношування елементів запірного вузла таких клапанів, збільшуючи таким чином їх ресурс.

Мета та задачі досліджень. Метою досліджень було виявлення впливу штучного демпфірування в рухомій частині електромагнітного приводу ЕМК з жорстким ущільнення в запірному вузлі типу «метал – метал» на величину динамічних навантажень елементів запірного вузла та інтенсивність процесів їх зношування.

Задачами досліджень були:

1. Проведення розрахунків напружень в елементах запірного вузла ЕМК під дією динамічних ударних навантажень, що виникають під час закриття клапана, за відсутністю та за наявністю демпфірувального елемента в рухомій частині електромагнітного приводу ЕМК.

2. Проведення спеціальних ресурсних випробувань ЕМК з металевим запірним вузлом для оцінки впливу штучного демпфірування на процеси зношування затвора та сидла клапана.

3. Розробити рекомендації щодо підвищення ресурсу та експлуатаційної надійності малогабаритних клапанів із затворами типу «метал – метал».

В якості об'єкта досліджень було вибрано експериментальний зразок малогабаритного пневматичного клапана з поляризованим двопозиційним електромагнітним приводом, який має запірний вузол з жорстким ущільненням типу «метал–метал» (рис. 1).

Аналіз напруженого стану елементів запірного вузла клапана. Під час проектування ЕМК обов'язково проводиться розрахунок напруженого стану його конструктивних елементів і виявляються «слабкі» місця конструкції виробу – «слабкі елементи», що лімітують його ресурс. Для перекривних клапанів із жорстким запором вузлом такими «слабкими елементами» є елементи запірного вузла типу «метал – метал».

Найбільш ефективним методом для таких розрахунків є метод кінцевих елементів (МКЕ), застосування якого для малогабаритних ЕМК має свої особливості [1]. Слід зазначити, що за допомогою МКЕ знайшла свій успішний розв'язок велика кількість досить складних в своїй постановці та важливих для сучасної науки прикладних задач [2]. Перевагами цього методу є: простота формулювання основних принципів методу, ясність фізичної інтерпретації, свобода розміщення вузлових точок, симетрія матриць жорсткості елементів та систем рівнянь, широке розповсюдження автоматизованих систем інженерних розрахунків на основі МКЕ.

Розв'язок задач за МКЕ включає в себе наступну послідовність окремих підзадач [3]:

- побудова функціонала;
- розділення системи на кінцеві елементи (КЕ) та вибір координатних функцій;
- побудова матриць жорсткості;
- побудова канонічних рівнянь;
- розв'язок канонічних рівнянь (визначення степенів свободи системи);
- визначення компонентів напружено-деформованого стану (НДС) (переміщення, напруження) по області КЕ.

Для побудови розподілу напружень в елементах запірного вузла ЕМК під час їх контактної взаємодії під час закриття клапана, а також визначення зон з залишковими пластичними деформаціями (зони з потенційною небезпекою виникнення тріщин) була розроблена кінцеелементна модель клапана, процес

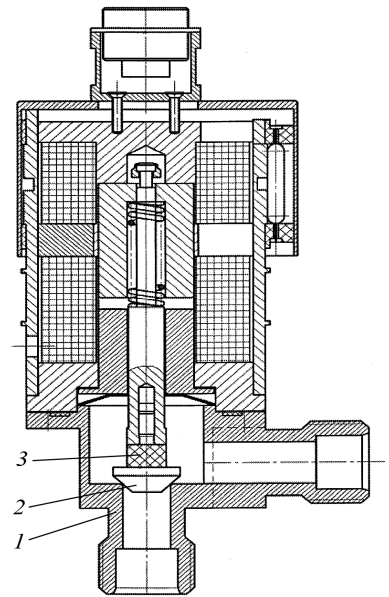


Рис. 1. Конструктивна схема експериментального зразка клапана з жорстким ущільненням запірного вузла типу «метал–метал»: 1 – сталевий затвор; 2 – сталевий корпус з сидлом; 3 – демпфувальний елемент

створення якої складався з наступних основних етапів:

- побудова наближеної параметричної тривимірної моделі робочих елементів клапану;
- визначення граничних умов;
- кінцеелементна розбивка;
- визначення контактних зон та присвоєння їм відповідного статусу;
- постановка та визначення динамічних характеристик складових елементів моделі.

Для реалізації вищезазначених етапів створення кінцеелементної розрахункової моделі був розроблений ряд програм, написаних на мові програмування APDL (Ansys Parametric Dialog Language) системи кінцеелементного аналізу ANSYS [4]. Ці програми повністю автоматизують процес розрахунку НДС елементів клапана від введення вхідних даних до отримання необхідних числових результатів (рис. 2).

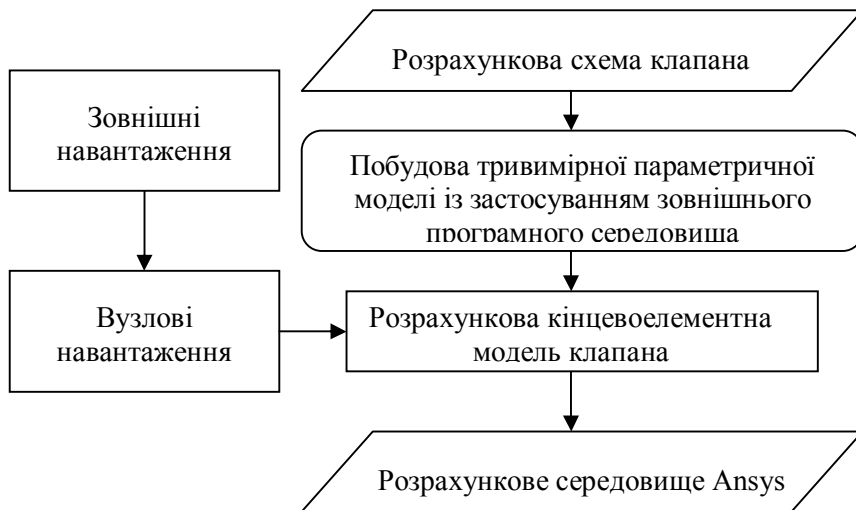


Рис. 2. Алгоритм застосування методу кінцевих елементів для визначення напружень в конструктивних елементах клапана

Особливості побудови тривимірної параметричної моделі ЕМК та його розрахункової кінцеелементної моделі детально описано в [5]. Для визначення напружено-деформованого стану (НДС) тривимірного об'єкту рекомендується використовувати тривимірний твердотільний восьми-вузловий конструктивний елемент (КЕ) з шістьма поверхнями (рис.3).

Даний тип елемента підтримує нелінійні властивості конструкційного матеріалу і в тому числі пластичність. Для урахування пластичної поведінки конструкційного матеріалу та обчислення пластичних деформацій був застосований критерій текучості.

Для багатокомпонентного напруженого стану еквівалентне напруження представляється як функція окремих компонентів напружень: $\sigma_e = f(\{\sigma\})$, де $\{\sigma\}$ – вектор напружень.

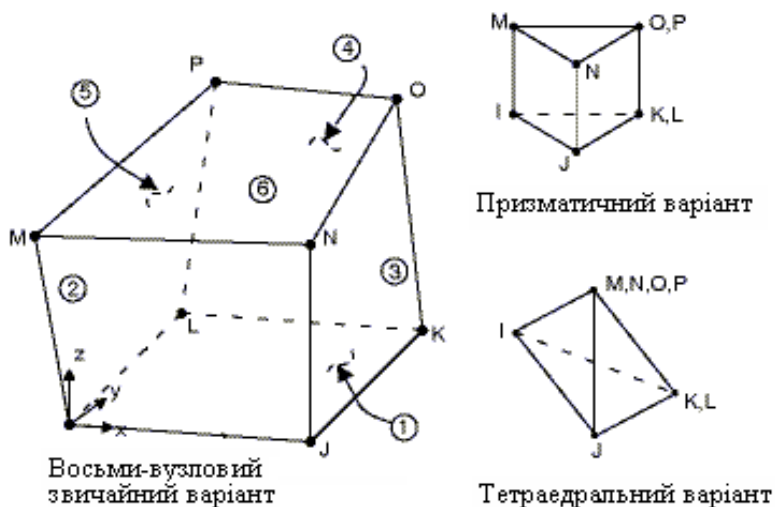


Рис. 3. Геометрія тривимірного KE

Коли еквівалентне напруження досягне границі текучості, в матеріалі почнуть виникати пластичні деформації $f(\{\sigma\}) = \sigma_{тек}$.

Для визначення напрямку розповсюдження та приросту величини пластичних деформацій використовувалось правило течії

$$\{d\varepsilon_{пл}\} = \lambda \left\{ \frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right\}$$

де λ – множник, що визначає величину пластичного деформування, Q – функція напруження, що визначає напрямок пластичного деформування.

В нашому випадку функція Q є функцією текучості, тому правило текучості асоціативне і пластичні деформації виникають в напрямку, нормальному до площини текучості.

Щоб візуально показати деформаційну картину поверхонь ущільнення, було проведено чисельне моделювання тривимірних моделей зразків у програмному пакеті Ansys. Розрахункова сітка зразків елементів запірного вузла клапана з матеріалу 08X18H10T показана на рис. 4.

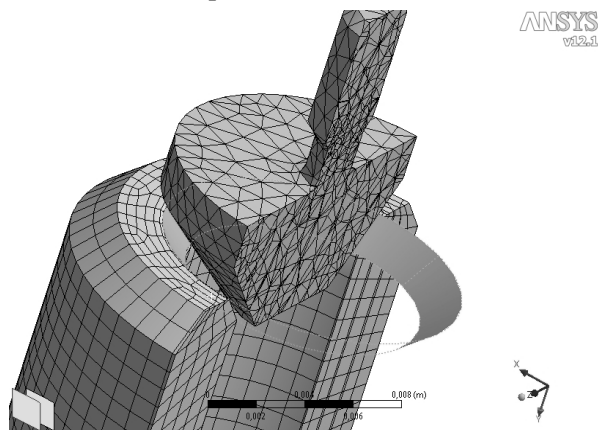


Рис. 4. Розрахункова сітка та зона контакту

Результати розрахунків наведено на рис. 5.

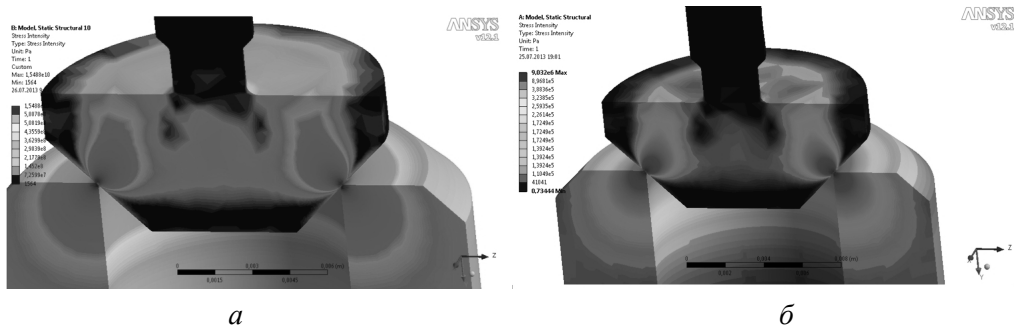


Рис. 5. Визначення напружень в елементах запірного вузла клапана з ущільненням типу «метал – метал» за відсутності (а) та за наявності (б) демпфірувального елемента в кінематичній схемі електромагнітного приводу клапана

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільші напруження під час закриття клапана з жорстким запірним вузлом виникають по площині контакту сталевого затвору з сідлом, що є частиною сталевого корпусу. Це призводить до появи кільцевої виробітки (поглиблення) на поверхні сталевого затвору (рис. 6). Величина цього поглиблення збільшується із збільшенням напрацювання клапана і процесі експлуатації, що призводить до зменшення зусилля ущільнення та втомному руйнуванню матеріалу затвору та сідла.

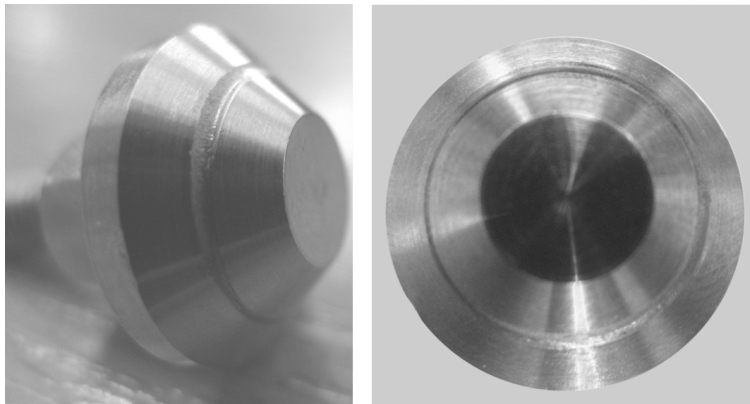


Рис. 6. Фотографії затвору клапана зі сталі 08X18H10T після напрацювання $3 \cdot 10^5$ циклів

Зменшення динамічних навантажень в елементах ЕМК через введення демпфіруючого елемента в кінематичній схемі електромагнітного приводу. Під час пошуку шляхів для підвищення надійності та ресурсу запірної арматури було встановлено, що ефективним методом є розсіювання кінетичної енергії рухомої системи клапана, що забезпечується використанням в конструкції клапана демпферного елемента. Про ефективність цього методу говорять дослідження угорських вчених [6], які випробували чотири типи силіконових матеріалів для демпферного пристрою.

Проведені ресурсні випробування клапанів без демпфера і з демпфером в кінематичній схемі електромагнітного приводу ЕМК підтвердили результати розрахунків, виконаних із застосуванням методу кінцевих елементів.

У ході експерименту зразки з нержавіючої сталі 08X18H10T напрацьовували певне число циклів «відкрито-закрито». Через регулярні інтервали часу замірялась протічка газу через клапан в закритому положенні. Результати замірів показали, що величина протічки збільшується з напрацюванням (рис. 7).

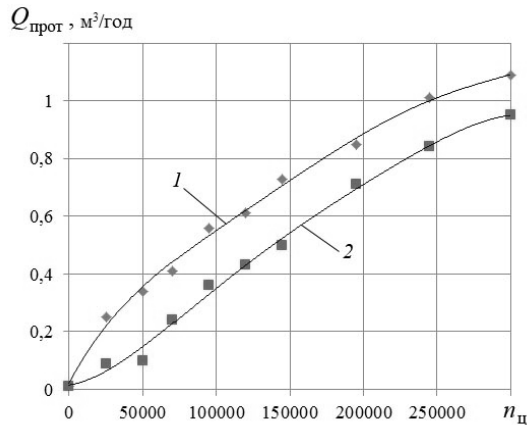
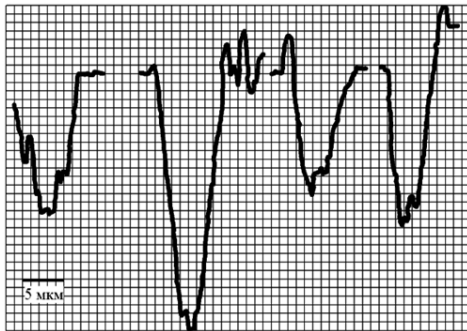


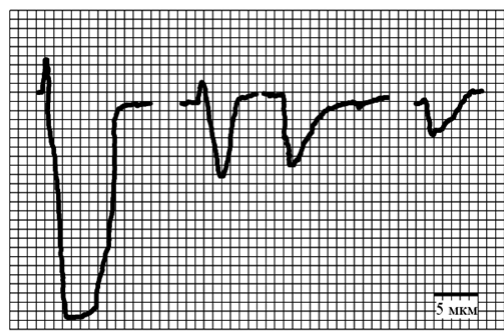
Рис. 7. Залежність росту протічки газу через клапан в закритому положенні від його наробітку: 1 – без демпфера; 2 – з демпфером

Застосування демпфірувального елемента в кінематичній схемі електромагнітного приводу клапана приводить до зменшення кінетичної енергії контактної взаємодії елементів клапана, зменшення напружень в конструкційному матеріалі деталей клапана (рис. 5, а) і зменшення протічки газу в клапані із жорстким запірним вузлом через клапана в закритому положенні (рис. 7).

Було встановлено також, що демпфірування дозволяє зменшити швидкість зносу деталей запірного вузла клапана – затвора та сідла. Про це свідчить швидкість зміни протічки в ущільненні клапана з ростом числа напрацьованих циклів (рис. 8). Вид отриманих експериментальних залежностей говорить про те, що демпфіруючий елемент позитивно впливає на ресурс елементів клапана.



а



б

Рис. 8. Профілограма поверхні контакту елементів запірного вузла клапана після напрацювання 300 тис. циклів: а – без демпфування, б – з демпфером

Проведені дослідження мікронерівностей поверхні зразків підтверджують зменшення деформації ущільнюючих поверхонь золотника та сідла клапана (рис. 8).

Висновки. Узагальнення результатів проведених досліджень технічного стану елементів і вузлів ЕМК з двопозиційним електромагнітним приводом дозволяють заключити наступне.

1. Розроблено кінцевоелементну модель розрахунків напружень в деталях малогабаритного ЕМК з двопозиційним поляризованим електромагнітним приводом, яка враховує особливості його конструктивного виконання.

2. З використанням методу кінцевих елементів проведено розрахунки напруженого стану деталей запірного вузла клапана з жорстким ущільненням типу «метал – метал» під час його закриття.

3. Для зменшення напружень в затворі й сидлі ЕМК, зносу деталей запірного вузла клапана з жорстким ущільненням типу «метал – метал» та протічок газу через запірний вузол в закритому положенні клапана рекомендується застосування демпфера в кінематичній схемі електромагнітного приводу ЕМК.

4. Ефективність застосування демпфера в кінематичній схемі електромагнітного приводу ЕМК підтверджена експериментально.

Список літератури

1. 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.

2. Метод конечных элементов. Учеб. пособие для вузов / Под ред. П. М. Варвака. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 176 с.

3. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов: Пер. с англ. / Л. Сегерлинд. – М.: МИР, 1979. – 392 с.

4. Басов К. А. ANSYS в примерах и задачах / Под общ. ред. Д. Г. Красковского. – М.: Компьютер Пресс, 2002. – 224 с.

5. Аналіз напруженого стану робочих елементів пневматичних клапанів з електромагнітним приводом / [Ю. М. Рикуніч, О. Є. Ситніков, Я. Б. Федоричко та ін.]. – Промислова гідравліка і пневматика. – 2005. – №4 (10). – С. 55-62.

6. Molnar Szabolcs. Damping of dynamic effects with elastomers in instrumented impact testing / Szabolcs Molnar, Akos Bezeredi, Gyorgy Voros, Bela Pukanszky // International Journal of Fracture, Volume 109, 2001, pages 153-168.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2014

Ye. I. BARYLIUK, H. Yo. ZAIONCHKOVSKIY

WAYS OF DYNAMICAL LOADS DECREASE AND REDUCE THE WEAR PROCESSES OF SMALL-SIZED SOLENOID VALVE ELEMENTS

This article shows, that one of the effective ways for reducing dynamic loads and decreasing the intensiveness of small-sized solenoid valve elements wear is implementation of damping in the valve moving assembly. The article gives results of tension calculation in the valve metal-to-metal sealing elements. It was experimentally proven that there is a decrease of wear intensiveness in valve sealing elements due to the influence of damping.

Keywords: solenoid valve, dynamic loads, damping element, slider, service life.

Барилюк Євген Ігорович – аспірант, Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна, eugen.barilyuk@gmail.com.

Зайончковський Геннадій Йосипович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри гідрогазових систем, Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна, evgenia_zay@mail.ru.