

damental sciences (physics, bioengineering). Theses of Doctor Habilitus degree are also prepared and maintained at the University. The universities have strong research base and many country-wide issues are in concern [5]. The University has defined the following market niches:

- basic/professional teaching and training;
- postgraduate studies;
- continuous / lifelong / distance education.

VGTU is open for studies of all nationalities living in Lithuania and students from foreign countries. From the beginning of 1990s the university management has been slowly improved in the areas of efficiency and performance. Changes in educational technology from teacher-centered to learner-centered were slowly implemented. It can be seen from Jacques Delors UNESCO report "the University's role is presently going through reconsideration. Scientific and technological education and training consists of acquiring not only knowledge and know-how but also learning how to live together and how to contribute to sustainable society" [6].

How can be measured the contribution of graduates of university to the development of region or the whole country? This contribution is undoubtedly large because the graduates can be met in every Lithuanian region, district and town, they were and now are creators not only of the material wealth but also of spiritual values.

References

1. Joint Declaration of European Ministers on the European Higher Education Area. – Bologna, 19 Jun. 1999.
2. Law on Research and Higher Education // Documents on Higher Education of the Republic of Lithuania. Vilnius, 1991.
3. Gross K. A. University-Industry Collaboration for Growth of Engineering Students // Proceedings of 2nd Baltic Region Seminar on Engineering Education // UNESCO International Centre for Engineering. – Education. – Melbourne, 1998.
4. Research activities in Lithuania. Department of statistics to the government of the Republic of Lithuania. Issue code number B364. – Vilnius, 1998.
5. Zavadskas E. K., Valiulis A. V. The Reform and Development of Vilnius Gediminas Technical University. – Vilnius: Technika, 1998. – 284 p.
6. Rapport a l'UNESCO de la Commission internationale sur l'education pour le vinget et unieme siecle (Jacques Delors, president), L'education. Un tresor est cache dedans, Paris, Editions UNESCO/Editions Odile Jacob, 1996.

Стаття надійшла до редакції 21.05.01.

UDC 621.646.4

О.Є. Ситніков, Г.Й. Зайончковський, Я.Б. Федоричко

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЗМІН ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КЛАПАНІВ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

Розглянуто методику прогнозування, яка базується на статистичному моделюванні зміни вихідних параметрів клапанів з електромагнітним приводом з напрацюванням. Теоретичні положення ілюстровані матеріалами експериментальних досліджень пневмоклапанів з однопозиційним електромагнітним приводом.

Накопичений досвід розробки виробів пневмоарматури показує, що близько 80% усіх відмов таких виробів, виявлених при експериментальному відпрацюванні, являють собою виходи значень функціональних параметрів (ФП) за допустимі межі. Значна частина цих

відмов обумовлена недостатнім урахуванням в процесі проектування впливу на агрегати пневмоарматури експлуатаційних навантажень. Це обумовлено недостатністю інформації про можливі експлуатаційні зміни ФП агрегатів пневмоапаратури під впливом експлуатаційних навантажень, що є в розпорядженні розробника на початкових етапах проектування.

Причини таких відмов усуваються проведенням конструктивних доробок агрегату або удосконаленням технології його виготовлення, що у багатьох випадках пов'язані зі значними матеріальними витратами і витратами часу. Ці витрати можуть бути істотно скорочені, якщо вже на початкових етапах проектування розробник буде мати у своєму розпорядженні досить повну інформацію про можливі експлуатаційні зміни ФП під дією експлуатаційних навантажень.

Подамо математичну модель зміни ФП клапанів з електромагнітним приводом гауссівським випадковим процесом [1]. Розподіл випадкових значень j -го ФП в кожному i -му перетині процесу визначається параметрами m_{ji} і $S_{ji} = V_{ji} m_{ji}$, де m_{ji} , S_{ji} і V_{ji} – математичне сподівання, середнє квадратичне відхилення і коефіцієнт варіації ФП, що розглядається, відповідно.

Оскільки m_{ji} і V_{ji} змінюються під дією експлуатаційних навантажень і в часі, їх можна визначити за допомогою функцій вигляду:

$$m_{ji} = f_m(L, K, t); \quad (1)$$

$$V_{ji} = f_v(L, K, t), \quad (2)$$

де L – група факторів, що викликають оборотні зміни ФП клапана; K – група факторів, що викликають необоротні зміни ФП; t – напрацювання виробу, виражене у часі або в циклах спрацьовування.

Параметри розподілу ФП у довільному i -му перетині процесу можуть бути виражені через їхні вихідні значення m_{j0} й V_{j0} і відповідні збільшення, викликані дією експлуатаційних факторів:

$$m_{ji} = m_{j0} (1 + \overline{\Delta m_L} + \overline{\Delta m_K} + \overline{\Delta m_t}); \quad (3)$$

$$V_{ji} = V_{j0} (1 + \overline{\Delta V_L} + \overline{\Delta V_K} + \overline{\Delta V_t}), \quad (4)$$

де $\overline{\Delta m_L}$, $\overline{\Delta m_K}$ і $\overline{\Delta m_t}$ – відносні збільшення математичного сподівання ФП внаслідок дії груп

факторів L , K і t відповідно ($\overline{\Delta m_L} = \frac{\Delta m_{jL}}{m_{j0}}$; $\overline{\Delta m_K} = \frac{\Delta m_{jK}}{m_{j0}}$; $\overline{\Delta m_t} = \frac{\Delta m_{jt}}{m_{j0}}$); $\overline{\Delta V_L}$, $\overline{\Delta V_K}$ і $\overline{\Delta V_t}$ –

аналогічні відносні збільшення коефіцієнтів варіації ФП ($\overline{\Delta V_L} = \frac{\Delta V_{jL}}{V_{j0}}$; $\overline{\Delta V_K} = \frac{\Delta V_{jK}}{V_{j0}}$;

$$\overline{\Delta V_t} = \frac{\Delta V_{jt}}{V_{j0}}).$$

Отже, прогнозування поведінки ФП під дією експлуатаційних факторів можливо при наявності апріорної інформації про Δm_{j0} , Δm_{jL} , Δm_{jK} , Δm_{jt} , ΔV_{j0} , ΔV_{jL} , ΔV_{jK} і ΔV_{jt} . Значення Δm_{j0} може бути визначене в результаті технічних розрахунків в процесі проектування виробу. Збільшення Δm_{jL} також може бути знайдене аналітично. Найбільшу складність являє собою задача визначення збільшення параметрів Δm_{jK} і ΔV_{jK} в результаті впливу факторів, що викликають необоротні зміни ФП.

Об'єднаємо необоротні збільшення m_{ji} і V_{ji} , які викликані дією факторів K й t , в одну групу і позначимо їх Δm_{jt} і ΔV_{jt} відповідно. Тоді вирази (3) і (4) набудуть вигляду:

$$m_{ji} = m_{j0} (1 + \overline{\Delta m_L} + \overline{\Delta m_t}); \quad (5)$$

$$V_{ji} = V_{j0} (1 + \overline{\Delta V_L} + \overline{\Delta V_t}). \quad (6)$$

Отже, для вирішення задачі прогнозування експлуатаційних змін ФП виробу необхідно визначити значення Δm_{ji} , ΔV_{j0} , ΔV_{ji} і ΔV_{ji} . Ці дані можуть бути отримані за результатами випробувань виробів-прототипів шляхом узагальнення статистичних і експериментальних даних і виявлення основних тенденцій у поведінці ФП однієї фізичної природи. Для визначення зазначених даних може бути поставлений спеціальний експеримент.

Якщо не враховувати випадки, які пов'язані з явними помилками виконавців, то в процесах зміни ФП виробів пневмоарматури, що випускаються зі сталим виробничо-технологічним циклом, можна виділити такі закономірності:

- функціональні параметри однієї фізичної природи під впливом тих самих експлуатаційних навантажень змінюються подібним чином;
- вихідне значення коефіцієнта варіації ΔV_{j0} ФП однієї фізичної природи і діапазон його можливих змін зберігаються незмінними у вибірках аналогічних виробів пневмоарматури;
- в залежності від типу діючого фактора і його рівня коефіцієнти варіації ФП, як правило, змінюються за залежностями, близькими до зміни ФП.

У цілому задача прогнозування зміни ФП виробів пневмоарматури під дією комплексу експлуатаційних навантажень може бути вирішена одним з наступних способів:

- із застосуванням залежностей (5), (6) і використанням безрозмірних відносних коефіцієнтів $\overline{\Delta m_{ji}}$ і $\overline{\Delta V_{ji}}$, що враховують вплив розглянутого експлуатаційного фактора на параметри розподілу:

$$\overline{\Delta m_{ji}} = \frac{m_{ji} - m_{j0}}{m_{j0}}; \quad \overline{\Delta V_{ji}} = \frac{V_{ji} - V_{j0}}{V_{j0}},$$

де m_{j0} і m_{ji} – відповідно математичне сподівання j -го ФП до дії і внаслідок дії фактора, що розглядається; V_{j0} і V_{ji} – відповідно коефіцієнти варіації ФП до дії і внаслідок дії даного фактора;

- за допомогою емпіричних залежностей вигляду (1) і (2).

Авторами проводилися спостереження за змінами функціональних параметрів виробів пневмоарматури, які розроблялися у Київському центральному конструкторському бюро арматуробудування, у процесі їхнього дослідного відпрацювання, в тому числі випробувань на надійність. Обсяг вибірок був порівняно невеликим (від 6 до 10 зразків), база випробувань – від 10^4 до 10^6 циклів спрацьовування. У результаті спостережень було встановлено, що математичне сподівання зміни функціональних параметрів клапанів з електромагнітними приводами під дією навантажень, зв'язаних з циклічним напрацюванням, можуть бути описані лінійними функціями вигляду:

$$m_{ji} = m_{j0} + ct_i \quad (7)$$

або

$$m_{ji} = m_{j0} - ct_i, \quad (8)$$

де m_{j0} – вихідне значення математичного сподівання ФП, що розглядається; c – коефіцієнт пропорційності; t_i – напрацювання у циклах або спрацьовування в годинах, що відповідає i -му перетину процесу.

Значення коефіцієнта c залежить від швидкості домінуючої зміни геометричного параметра вузла клапана, що визначає зміну ФП.

Як показали спостереження, функцією вигляду (7) можуть бути описані зміни математичного сподівання наступних ФП клапанів:

- мінімальної напруги (мінімальної сили струму) спрацьовування клапана з однопозиційним електромагнітним приводом постійного струму;
- часу спрацьовування клапана;
- гідравлічного опору проточної частини клапана.

Функцією вигляду (8) можуть бути описані зміни таких ФП, як витрата через клапан при наявності вихідних фільтрів, зусилля утримання якоря біля стопа в однопозиційному електромагнітному приводі, тиск відкриття і тиск зворотної посадки для деяких типів запобіжних пневмоклапанів.

Наявність ділянок, на яких коефіцієнт пропорційності c змінює своє значення (як правило, збільшується), означає, що в характері формування змін ФП відбулися якісні зміни. Деградаційний процес, що визначає зміну ФП, може перейти у фазу інтенсивного розвитку, або, на додаток до першого, розвиваються інші деградаційні процеси.

Як показано в роботі [1], зміна ФП є заключною ланкою причинно-наслідкового ланцюжка (ПНЛ) послідовних змін у вузлах і деталях виробу.

Прогнозування зміни ФП виробу не є самоціллю. Воно неминуче пов'язане з вибором най-

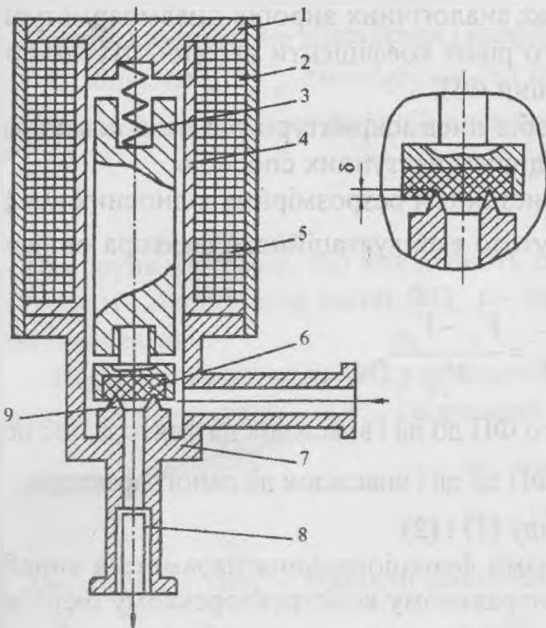


Рис. 1. Пневмоклапан з однопозиційним електромагнітним приводом постійного струму:

1 – стоп; 2 – якір; 3 – пружина; 4 – корпус приводу; 5 – обмотка приводу; 6 – золотник; 7 – корпус клапана; 8 – вихідний фільтр; 9 – сідло

більш ефективних шляхів керування зміною ФП. Прогнозування зміни ФП має базуватися на аналізі структури змін у вузлах виробу, що складають основні ланки ПНЛ. Найважливішим моментом при аналізі ПНЛ є виявлення первинної ланки. На практиці часто не враховується один з основних принципів, яким необхідно керуватися при усуненні причин негативних змін ФП. У результаті цього проведені доробки часто мають на меті усунути найближчу безпосередню причину негативних змін ФП виробу, залишаючи без належної уваги первинну ланку ПНЛ. Це істотно знижує ефективність проведених доробок. Покажемо це на прикладі аналізу зміни ФП клапана з однопозиційним електромагнітним приводом постійного струму (рис. 1).

Для простоти викладу обмежимося розглядом впливу на зміну основних ФП клапана багаторазових ударних контактів золотника 6 із сідлом 9 при спрацьовуванні клапана.

Безпосереднім результатом цієї взаємодії є руйнування матеріалу ущільнення золотника в зоні його контакту з крайками сідла. Наслідком цього є заглиблення крайок сідла δ в матеріал ущільнення. Після напрацювання t величина δ може бути визначена за виразом:

$$\delta_t = \delta_0 + c_1 t,$$

де δ_0 – первинне значення δ ; c_1 – коефіцієнт пропорційності.

У результаті збільшення δ до значення δ_t збільшується розмір l_k камери під зворотну пружину 3 (при закритті клапана) і зменшується її початкове зусилля до величини $(R_{пр})_t$:

$$(l_k)_t = (l_k)_0 + c_1 t,$$

$$(R_{пр})_t = (R_{пр})_0 - C_{пр}(\delta_t - \delta_0),$$

де $(R_{пр})_0$ – початкове зусилля пружини; $C_{пр}$ – жорсткість пружини.

Крім того, у результаті збільшення δ збільшується площа S_k контакту сідла і золотника:

$$(S_k)_t = (S_k)_0 + (\Delta S_k).$$

Внаслідок цього питоме зусилля ущільнення в затворі клапана q_t в залежності від напрацювання t буде визначатися як

$$q_t = \frac{(R_{np})_0 - C_{np}(\delta_t - \delta_0)}{(S_k)_0 + \Delta S_k}$$

Таким чином, відбувається зменшення питомого зусилля q в ущільненні затвора клапана, що сприяє збільшенню витоку через закритий затвор.

Між торцевою поверхнею якоря 2 і стопа 1 збільшується зазор Δ :

$$(\Delta)_t = \Delta_0 + \delta_k$$

Ця зміна викликає збільшення мінімальної напруги U_{\min} , необхідної для відкриття клапана, і часу відкриття клапана $\tau_{\text{відкр}}$.

З метою пом'якшення негативних змін ФП клапана, що розглядається, можливо збільшити потужність електромагнітного приводу і збільшити первинне зусилля пружини 3, що не передбачає попереднього аналізу ПНЛ і вимагає істотної зміни конструкції виробу із погіршенням його масових, габаритних і енергетичних характеристик. Забезпечення зменшення швидкості руйнування ущільнення золотника (наприклад, шляхом зміни форми сідла або заміни матеріалу ущільнення) впливає з аналізу ПНЛ і дозволяє досягти мети з меншими доробками конструкції.

Аналіз результатів дослідного відпрацювання виробів пневмоарматури, проведений авторами, підтверджує достатню ефективність розробленої методики прогнозування експлуатаційних змін функціональних параметрів клапанів з електромагнітним приводом.

На рис. 2 – 4 наведені типові експериментальні залежності $m_t = f_m(N)$ і $V_j = f_v(N)$, де N – кількість циклів спрацьовування клапана, які були отримані на підставі обробки результатів стендових випробувань, проведених в Київському центральному конструкторському бюро арматуробудування.

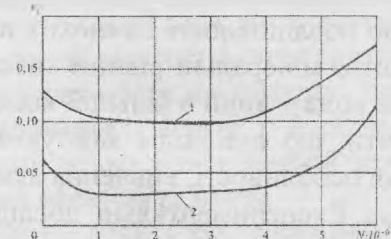
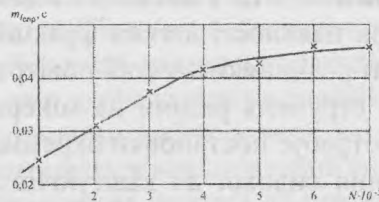
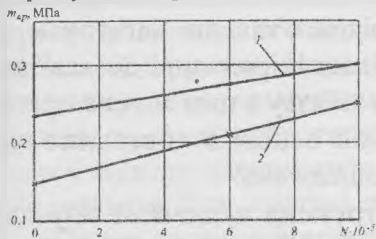


Рис. 2. Зміна математичного сподівання гідравлічного опору проточної частини клапанів від напрацювання внаслідок забруднення вихідних фільтрів продуктами зносу:
1 – клапан УФ 96046.004;
2 – клапан УФ 96117.006

Рис. 3. Зміна математичного сподівання часу спрацьовування однопозиційного електромагнітного клапана з напрацюванням

Рис. 4. Типові залежності зміни коефіцієнта варіації вихідних параметрів клапана з однопозиційним електромагнітним приводом від напрацювання:
1 – коефіцієнт варіації мінімальної напруги утримання якоря в положенні “відкрито”; 2 – коефіцієнт варіації мінімальної напруги відкриття клапана

Отже розроблена методика прогнозування експлуатаційних змін клапанів з електромагнітним приводом дає можливість розробнику ефективно вирішувати низку задач щодо забезпечення їх надійності і запасів працездатності в процесі проектування.

Список літератури

1. Хильчевский В.В., Ситников А.Е., Ананьевский В.А. Надежность трубопроводной пневмогидроаппаратуры. – М.: Машиностроение, 1989. – 208 с.

Стаття надійшла до редакції 30.05.01.