

УДК 622.232

В. М. Стасюк*Луцький національний технічний університет***ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ПРИВОДІВ ІЗ ПНЕВМОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ КЕРУВАННЯ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ**

Запропоновано варіант оцінки надійності приводів із пневмомеханічними системами керування на етапі їх проектування.

Ключові слова: приводи із пневмомеханічними системами керування, етап проектування, надійність.

Літ. 2.

В. М. Стасюк**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПРИВОДОВ С ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Рассмотрены варианты обеспечения надежности приводов с пневмомеханическими системами управления на этапе их проектирования.

Ключевые слова: приводы с пневмомеханическими системами управления, этап проектирования, надежность.

V. M. Stasiuk**ENSURING OF SECURITY AND SAFETY OF THE DRIVES WITH PNEUMO-MECHANICAL SYSTEMS OF CONTROL DURING THE DESIGNING STAGE**

The variant of security estimation of the drives with pneumo-mechanical systems of control during the designing stage has been suggested.

Keywords: pneumatic actuators of the control system, stage design, reliability.

Постановка проблеми. Пневматичні приводи, серед них і з пневмомеханічними системами керування, значно надійніші за інші види приводів під експлуатації оснащених ними машин у несприятливих умовах пилового та радіаційного забруднення, високих температур тощо. При цьому основи згаданої надійності закладаються на етапі їх проектних розробок. Тому питання дослідження надійності пневматичних приводів під час їх проектування було і надалі залишається актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Частково питання забезпечення надійності пневматичних приводів розглядаються в роботі [1], однак в цілому робота присвячена дослідженню надійності гідроприводів і гідромашин як складних систем. Окрім зазначеного джерела, детальних результатів досліджень забезпечення надійності пневматичних приводів на етапі їх проектування (зокрема приводів із пневмомеханічними системами керування) виявити не вдалося.

Формулювання цілей статті. Запропоновано в роботі [1] методику забезпечення надійності приводів в цілому адаптувати до розрахунків надійності приводів із пневмомеханічними системами керування на етапі їх проектування.

Результати досліджень є синтезом методики, запропонованої в роботі [1] та результатів досліджень приводів із пневмомеханічними системами керування, наведених в роботі [2]. У цілому в процесі життєвого циклу привод проходить три основні етапи: перший – проектування, другий – виготовлення і третій – експлуатації. Перший із них є визначальним в принципі щодо забезпечення надійності як самого привода, так і машини, основу якої він становить. Основні завдання дослідження та розрахунку надійності на цьому етапі доцільно поділити на три основні групи:

1) обґрунтування вимог щодо надійності основних елементів привода – потрібно виконувати на початковій стадії проектування, коли створюється структура конструкції привода та вибирається принцип його дії;

2) забезпечення надійності привода та його елементів – полягають у дослідженні та кількісній оцінці ефективності можливих способів забезпечення надійності, виборі основних проектних характеристик, статистичних запасів міцності та інших показників, а також проведенні порівняльного аналізу основних можливих варіантів і виборі оптимального конструктивного рішення;

3) виконання контрольних розрахунків надійності привода за проектною документацією.

Оскільки привод є складною системою взаємопов'язаних вузлів і систем, то для аналізу надійності його доцільно розглядати розділеним на певні елементи. У цілому привод характеризується структурою та функціями. Структура привода – це сукупність елементів і взаємозв'язки між ними, а функція – це сукупність всіх можливих його дій. Тому спочатку потрібно аналізувати характеристики елементів і лише після цього оцінювати працездатність всієї системи.

Вплив параметрів елементів (як окремих складників) на надійність привода як системи істотно відрізняється. При цьому всі ці параметри доцільно розглядати розділеними на три основні групи:

- 1) визначальні для оцінки рівня працездатності окремого елемента;
- 2) одні з визначальних щодо формування вихідних параметрів всієї системи;
- 3) здатні чинити вплив на працездатність інших параметрів.

Тому методи аналізу надійності повинні вибиратись залежно від того, елементи якої групи із зазначених вище переважають. При цьому система на основі елементів із параметрами першої групи практично належить до систем із незалежними елементами, для забезпечення надійності функціонування якої потрібна висока надійність кожного складника. Під час аналізу надійності приводів із елементами другої групи система повинна розглядатись у цілому та здійснюватись оцінка впливу кожного елемента на її загальну надійність. Під час аналізу надійності привода як складної системи всі її елементи доцільно розглядати поділені на три основні групи:

- 1) елементи, працездатність яких не впливає/мало впливає на працездатність всієї системи;
- 2) елементи, працездатність яких змінюється неістотно протягом певного періоду часу;
- 3) елементи, відмова яких призводить до відмови привода в цілому.

Очевидно, що детальному аналізу повинні підлягати лише елементи третьої групи. У складних системах безвідмовність роботи цих елементів є необхідною, але не достатньою умовою надійності всієї системи. Це обумовлено вагомою роллю взаємозв'язків між елементами такої системи. Тобто модель надійності привода з пневмомеханічним керуванням повинна враховувати функціональний взаємозв'язок між його складовими, а також вплив виробничо-експлуатаційних чинників. У загальному випадку ймовірність безвідмовної роботи такого привода можна описати залежністю:

$$P(t) = P\{F(P_i, t_i, N)U(\delta_i, T_i, N)\},$$

де $F(\bullet)$ - функціональне подання структури привода і взаємозв'язку його складників у кожний даний момент часу t_i ; P_i - ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента системи; N - кількість елементів привода; $U(\bullet)$ - оператор, який визначає ступінь впливу на показники надійності факторів збурення; δ_i і T_i - об'єм і регламент технічного обслуговування i -го елемента системи в процесі експлуатації.

Оскільки привод складається з функціонально залежних елементів, то між ними існує статистичний зв'язок. Допустимо, що для кожного елемента привода в апіорі відомі показники надійності, наприклад, ймовірність безвідмовної роботи P_i . Однак кожен елемент привода може знаходитись в одному із двох станів: A – справному та \bar{A} - несправному. Тоді ймовірність того, що, наприклад, одночасно відбудеться N подій A (усі елементи системи знаходяться в справному стані), визначатиметься за виразом:

$$P = P(\cap A) = 1 - P(\cap \bar{A}).$$

Між подіями A та \bar{A} (ймовірностями безвідмовної роботи елементів i та j) існує кореляційний зв'язок, який описується коефіцієнтом кореляції:

$$\rho_{A_i A_j} = \frac{P(A_i \cap A_j) - P(A_i)P(A_j)}{\sqrt{P(A_i)P(A_j)[1 - P(A_i)][1 - P(A_j)]}},$$

де $P(A_i \cap A_j)$ - ймовірність одночасної появи подій A_i та A_j ; $P(A_i)$ та $P(A_j)$ - ймовірність появи відповідно подій A_i та A_j .

Ретельне дослідження наведених рівнянь (проміжні обчислення та перетворення не наводимо) дозволило отримати залежність для ймовірності безвідмовної роботи пневмомеханічного привода як системи, що складається із N незалежних елементів:

$$P = \prod_1^N P_i + \left(P_{\min} - \prod_1^N P_i \right) K_N,$$

де P_{\min} - мінімальне значення P_i ; K_N - коефіцієнт, який враховує статистичний зв'язок між

$$\text{відмовами елементів системи: } K_N = \frac{2}{\pi c \sum_{i < j} \arcsin \rho_{AiAj}}.$$

Кількісну надійність приводів із системами пневмомеханічного керування доцільно оцінювати за методом неперевишень або методом структурних схем. Перший із зазначених методів використовується у випадку необхідності визначення надійності по відношенню до поступових відмов та надійності щодо міцності конструкції. Другий метод найчастіше використовується для оцінки надійності по відношенню до раптових відмов приводів.

За першим методом умови справного функціонування привода часто виражають у вигляді співвідношень, які враховують неперевищення певної функції її допустимих значень. Однак результати проведених досліджень свідчать, що для кінцевої оцінки ймовірності безвідмовної роботи привода із пневмомеханічною системою керування доцільно використовувати рівняння на основі безрозмірних коефіцієнтів: статистичного запасу працездатності (η), варіації навантаження (v_R) та варіації здатності витривалості (v_S):

$$P(Z > 0) = \Phi \left(\frac{\eta - 1}{\sqrt{\eta^2 v_S^2 + v_R^2 - 2 \rho_{SR} \sigma_R \sigma_S}} \right),$$

де Z - різниця між здатністю витривалості S та навантаженням R , прийнята в якості параметру стану: $Z = S - R$; ρ_{SR} - коефіцієнт кореляції; σ_R та σ_S - середньоквадратичне відхилення відповідно навантаження та здатності витривалості.

Здатність витривалості та навантаження внаслідок сукупного впливу факторів збурення різноманітної природи є випадковими величинами або функціями, які описуються нормальним законом розподілення зі щільністю ймовірності:

$$f(R) = \frac{1}{\sigma_R \sqrt{2\pi}} \exp \left[- (R - m_R)^2 / (2\sigma_R^2) \right];$$

$$f(S) = \frac{1}{\sigma_S \sqrt{2\pi}} \exp \left[- (S - m_S)^2 / (2\sigma_S^2) \right],$$

де m_R і m_S - математичне очікування відповідно навантаження та здатності витривалості.

Безрозмірні коефіцієнти визначаються за виразами: $\eta = \frac{m_S}{m_R}$; $v_R = \frac{\sigma_R}{m_R}$; $v_S = \frac{\sigma_S}{m_S}$.

Безумовно, важливим параметром, який потрібно оцінювати на етапі проектування приводів із пневмомеханічними системами керування, є статистична міцність (надійність за міцністю). Надійність за міцністю – це міцність конструкції в реальних умовах роботи із врахуванням ймовірностей характеристик металургійних, технологічних та експлуатаційних факторів. Надійність за міцністю елементів будь-яких видів приводів значною мірою визначається властивостями матеріалів, із яких вони виготовлені. Тому для забезпечення необхідної міцності елементів пневмомеханічних приводів ще на етапі проектування останніх потрібно обов'язково виконувати необхідні розрахунки та дослідження матеріалів, із яких виготовлені ці елементи, на статистичну міцність та опір втомі.

Проведені дослідження засвідчують, що коефіцієнт запасу міцності, який є критерієм статистичної міцності, наближено можна визначати за виразом:

$$\eta = \frac{\bar{\sigma}_B^{\Gamma}}{k_{\sigma} \bar{\sigma}_{e\max}},$$

де $\bar{\sigma}_B^{\Gamma}$ - гранична міцність (межа текучості) за нормативними документами; k_{σ} - коефіцієнт безпеки, який враховує особливості конструкції й умови експлуатації; $\bar{\sigma}_{e\max}$ - напруження у деталі при максимальному навантаженні.

Щоб об'єктивно оцінити рівень надійності привода, при виконанні відповідних розрахунків в якості одного із основних показників доцільно використовувати ймовірність безвідмовної роботи, виражаючи її як функцію характеристик ймовірностей параметрів, які чинять збурювальну дію та обумовлюють випадковий характер навантаження та напружено-деформованого стану. Тобто забезпечення високої надійності приводів на етапі їх проектування потребує проведення якісних досліджень різноманітних впливів на привод як систему та умов його експлуатації, виконання значної кількості відповідних розрахунків, що у кінцевому рахунку досягнути оптимального варіанту мінімальної ймовірності неруйнування.

При цьому одним із раціональних шляхів отримання бажаної надійності привода є вплив на параметри збурення шляхом зміни їх математичних очікувань. Адже змінити математичне очікування таких параметрів, як товщина стінок пневмоциліндра, площі перетинів елементів, моменти інерції елементів силового набору тощо зовсім нескладно. А вже зміна границі міцності та модуля пружності потребує використання іншого конструкційного матеріалу. Однак аналіз виконуваних за такою схемою розрахунків свідчить про їх значну громіздкість і складність, що може служити причиною отримання неадекватних результатів.

Під час виконання проектних розрахунків приводів потрібно враховувати також особливості впливу на безвідмовність їх роботи знакозмінного навантаження. Адже під впливом знакозмінного навантаження в конструкції привода відбувається накопичення пошкоджень і його стан поступово наближається до граничного. В якості граничного стану (здатності витривалості) при знакозмінному навантаженні приймають границю витривалості $\bar{\sigma}_{-1}$. Достатню точність розрахунків забезпечує використання в них коефіцієнта запасу довговічності для заданого циклу навантаження φ :

$$\varphi = \frac{\bar{\sigma}_{-1}}{\bar{\sigma}_{PP}},$$

де $\bar{\sigma}_{PP} = \bar{\sigma}_a + \psi \bar{\sigma}_m$ - приведена напруга, обумовлена навантаженням, котра виникає під час експлуатації привода.

Висновки. Використання наведених залежностей на етапі проектування приводів із пневмомеханічними системами керування дозволить оцінити їх надійність (та частково безпеку) як у цілому, так і надійність їх окремих складових частин. Перспективи подальших досліджень у даному напрямку полягають у дослідженні надійності та безпеки зазначених приводів і оснащених ними машин із врахуванням особливостей їх конструкцій та специфіки умов експлуатації.

1. Фінкельштейн З. Л. Надійність та експлуатація гідромашин і гідроприводів / З. Л. Фінкельштейн, П. М. Андренко, О. В. Дмитрієнко. – Алчевськ: ДонДТУ, 2013. – 142 с.
2. Стасюк В. М. Пневматичний привод виконавчих органів ударних машин із механічним зв'язком поршня-ударника з впускними елементами / В. М. Стасюк // Дис. канд. техн. наук: 050203. – Вінниця, 2003. – 296 с.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2014.