

Благодарний М. П. к.т.н., проф.

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського “ХАІ”, м. Харків, Україна

ПРОЕКТНИЙ РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

***Анотація.** Мехатронні системи включають до свого складу значну кількість підсистем різної фізичної природи (металоконструкції, механічні вузли, гідравлічні та пневматичні вузли, засоби електроавтоматики), які можуть функціонувати на певних часових інтервалах або постійно. Конфігурація задіяних вузлів мехатронних систем у часі також змінюється. Ефективність функціонування мехатронних систем за призначенням можлива лише у разі задоволення вимог щодо надійності функціонування окремих вузлів і системи в цілому на всіх часових інтервалах застосування. Надійність мехатронних систем забезпечується на етапі проектування та підтримується на етапі експлуатації. На етапі проектування для оцінки надійнісних характеристик відновлюваних та невідновлюваних мехатронних систем необхідно мати відповідні моделі розрахунків імовірностей безвідмовної роботи та коефіцієнтів готовності.*

***Ключові слова.** Мехатронна система, надійність, ймовірність безвідмовної роботи, готовність, ремонт, контроль, технічне обслуговування.*

Актуальність. Мехатронні системи включають до свого складу значну кількість підсистем (металоконструкції, механічні вузли, гідравлічні (та або пневматичні) вузли, засоби електроавтоматики [1]), які під час функціонування мають визначені взаємозв'язки. На кожному інтервалі часу функціонування системи задіяними є окремі підсистеми. Тому надійність функціонування необхідно розраховувати для кожного часового інтервалу, в якому задіяні певні підсистеми. Сумарний час надійного функціонування вузлів мехатронної системи повинен перевищувати часу виконання поставлених задач. Існують три напрямки забезпечення надійності складових мехатронних систем: підвищення надійності елементів, з яких складаються системи, створення систем з високим ступенем надійності з відносно ненадійних елементів, використовуючи різні види резервування, а також застосування засобів контролю технічного стану та відновлення працездатності при відмовах елементів шляхом проведення ремонтів.

Для успішного функціонування на етапі експлуатації мехатронні системи повинні мати відповідні значення показників надійності. Для невідновлюваних систем таким показником є ймовірність безвідмовної роботи, для відновлюваних мехатронних систем – коефіцієнт готовності [1-3]. Їх значення повинні закладатися в обладнання мехатронних систем на етапі проектування та підтримуватись в процесі експлуатації шляхом періодичного та неперервного контролю параметрів, технічного обслуговування (щоденного, сезонного, планового) та проведення поточних, середніх та капітальних ремонтів [2, 3]. Розрахунок показників надійності мехатронних систем на етапі проектування доцільно проводити з використанням довідкових даних щодо інтенсивностей відмов елементів та вузлів та статистичних даних щодо надійності функціонування систем-аналогів [3].

Розрахунок значення ймовірності безвідмовної роботи невідновлюваної мехатронної системи. Для послідовної структурної схеми надійності невідновлюваної мехатронної системи з N елементів ймовірність $P(t)$ безвідмовної роботи визначається добутком

$$P(t) = \prod_{i=1}^N p_i(t),$$

де $p_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента, $i = \overline{1, N}$.

При експоненційному розподілі часу безвідмовної роботи елементів значення $p_i(t)$ знаходять за виразом

$$p_i(t) = e^{-(\lambda_i t + \lambda_{i\tau} t_{\tau} + \lambda_{i36} t_{36})},$$

де λ_i – інтенсивність відмови i -го елемента за час експлуатації, $i = \overline{1, N}$.

$\lambda_{36} \approx \lambda \cdot 10^{-3}$ – інтенсивність відмов елемента при зберіганні;

$\lambda_{\tau} \approx 1,5\lambda$ – інтенсивність відмов елемента при транспортуванні;

Значення інтенсивностей λ_i відмов елементів за час експлуатації вибирається з довідкових даних для оптимальних умов експлуатації та уточнюється шляхом урахування значень коефіцієнтів K_y умов експлуатації (навантаження, температурний режим, рівень вібрацій тощо). В процесі розрахунку надійнісних характеристик механічних, гідравлічних та пневматичних елементів мехатронних систем частіше використовують статистичні дані результатів дослідів з визначення надійності та експлуатації елементів елементів-аналогів. Значення $p_i(t)$ у таких випадках оцінюються з виразу

$$p_i(t) = 1 - q_i(t) = 1 - \frac{m_i}{n_i},$$

де m_i та n_i – кількість відмов та об'єм випробовувань на відмову i -го елемента, $i = \overline{1, N}$, мехатронної системи [3]. Якщо $m_i = 0$, то $p_i(t) = 1 - \frac{1}{2(n_i + 2)}$.

Якщо розраховані значення $p_i(t)$ та $P(t)$ задовольняють вимогам замовника, то розрахунок закінчено. У протилежному випадку з метою підвищення значень $p_i(t)$ і $P(t)$ необхідно вибирати більш надійні елементи, або здійснювати їх резервування (групове резервування, поелементне резервування, резервування за схемою 2 з 3 тощо), або змінювати режими функціонування вузлів мехатронних систем та повторно провести розрахунки.

Розрахунок коефіцієнта готовності відновлюваної мехатронної системи. Зазвичай функціонування відновлюваних мехатронних систем на етапі експлуатації чергується з проведенням технічних обслуговувань (профілактик), планових (середніх та капітальних) та позапланових ремонтів [2]. Наприклад, за статистичними даними експлуатації металоконструкцій, механічних та гідравлічних вузлів встановлено, що при тривалості одного циклу роботи $t_c = 6$ год.[3]:

–кількість відмов металоконструкцій становить $m_1 = 5$ за $n_1 = 5000$ циклів роботи при середньому часі усунення наслідків однієї відмови $T_{1в} = 20$ год.;

–кількість відмов механічних вузлів становить $m_2 = 8$ за $n_2 = 4000$ циклів роботи при середньому часі усунення наслідків однієї відмови $T_{2в} = 10$ год.;

–кількість відмов гідравлічних вузлів становить $m_3 = 8$ за $n_3 = 3000$ циклів роботи при середньому часі усунення наслідків однієї відмови $T_{3в} = 6$ год.

Ефективність використання відновлюваних мехатронних систем за призначенням досягається забезпеченням певного рівня надійності. Основним показником надійності відновлюваних мехатронних систем є коефіцієнт готовності [3], значення якого знаходять з виразу

$$K_r = 1 - K_p - K_{\text{ТО}},$$

де K_p – коефіцієнт ремонту ($K_p = \sum_{i=1}^N K_{i_p}$), $K_{i_p} = \frac{T_{i_p}}{T_{i_e}}$ – коефіцієнт ремонту i -го елемента за час експлуатації, $i = \overline{1, N}$, T_{i_p} – середній час непланового ремонту i -го елемента за час експлуатації (T_{i_e})

$$T_{i_p} = T_{i_B} q_i N_i,$$

де T_{i_B} – середній час усунення однієї відмови;

q_i – ймовірність відмови i -го елемента за час одного циклу t_c роботи мехатронної системи;

N_i – кількість циклів роботи i -го елемента ($N_i = \frac{T_{i_e}}{t_c}$).

Наведені формули справедливі для оцінки готовності елементів мехатронних систем, які не контролюються в процесі функціонування за призначенням. Для неперервно контрольованих елементів мехатронних систем значення K_{i_p} визначається таким чином

$$K_{i_p} = \frac{T_{i_B}}{T_{i_B} + T_i},$$

де T_i – середній час нароблення i -го елемента на відмову.

Значення коефіцієнту K_{TO} технічного обслуговування знаходиться за виразом

$$K_{TO} = \frac{T_{TO}}{T_e},$$

де T_{TO} – середній час, що витрачається на проведення технічних обслуговувань (щоденних, сезонних, планових) за час T_e експлуатації мехатронної системи.

Висновки.

1. Для ефективного застосування мехатронних систем за призначенням необхідно на етапі проектування задовольняти вимоги замовника щодо їх надійності.
2. Для не відновлюваних мехатронних систем ймовірність безвідмовної роботи доцільно розраховувати з використанням довідкових даних, так і результатів експериментів та досвіду експлуатації вузлів-аналогів, ретельного аналізу функціонування окремих вузлів у процесі функціонування системи.
3. Для забезпечення готовності відновлюваних мехатронних систем доцільно на етапі проектування ретельно передбачати заходи щодо організації контролю, ремонту та технічного обслуговування для етапу експлуатації.

Список використаних джерел

1. *Введение в мехатронику: учеб. пособ./* О.М. Яхно, А.В. Узунов, А.Ф. Луговской и др. – К.: НТУУ "КПИ" 2008. – 528 с.
2. *Благодарний М.П.* Теоретичні основи експлуатації мехатронних комплексів: навч. посіб. / М.П. Благодарний, І.П. Внуков – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2014. – 176 с.
3. *Проектирование технологий для оценивания надежности и безопасности программно-технических комплексов/* Соколов Ю.Н. и др. / Под ред. Ю.Н. Соколова, В.С. Харченко –Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2013. – 458 с.