

УДК 621.833.1.001.2

Гуліда Е.М., д.т.н.

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗУБЧАСТИХ ПРИВОДІВ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНОГО УСТАТКУВАННЯ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ТРИВАЛОСТІ ЦИКЛУ ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Розроблено методологію визначення оптимальної тривалості часу одного циклу технічного обслуговування зубчастих приводів підйомно-транспортного устаткування. Для оптимізації тривалості часу одного циклу технічного обслуговування було отримано математичну поліноміальну модель для визначення імовірності безвідмовної роботи зубчастого приводу в залежності від тривалості його безперервної роботи без проведення технічного огляду. Оптимізація виконувалася за рахунок визначення першої похідної від поліноміальної моделі та прирівнювання її до нуля. Розроблена методологія дозволила підвищити надійність зубчастих приводів на 10%.

Ключові слова: зубчастий привід, цикл обслуговування, надійність, оптимізація.

Разработана методология определения оптимальной продолжительности времени одного цикла технического обслуживания зубчатых приводов подъемно-транспортного оборудования. Для оптимизации продолжительности времени одного цикла технического обслуживания была получена математическая полиномиальная модель для определения вероятности безотказной работы зубчатого привода в зависимости от продолжительности его непрерывной работы без проведения технического осмотра. Оптимизация выполнялась за счет определения первой производной от полиномиальной модели и приравнивание ее к нулю. Разработанная методология позволила повысить надежность зубчатых приводов на 10%.

Ключевые слова: зубчатый привод, цикл обслуживания, надежность, оптимизация.

Die Methodik zur Bestimmung der optimalen Länge der Zeit, einen Zyklus der Wartung von Zahnradantriebe von Hebe- und Fördertechnik. Um die Dauer des Aufrechterhaltungszeit eines Zyklus zu optimieren wurde durch ein mathematisches Polynom-Modell erhalten die Wahrscheinlichkeit einer fehlerfreien Betrieb eines Getriebeantrieb in Abhängigkeit von der Dauer ihrer Dauerbetrieb ohne eine Inspektion zu bestimmen. Optimierung

wurde durch Bestimmung der ersten Ableitung einer polynomialen Modells durchgeführt, und die Gleichsetzung auf Null. Die entwickelte Methode ist die Zuverlässigkeit des Antriebszahnrades um 10% verbessert.

Stichwort: *Zahnradantrieb, Wartungszyklus, Zuverlässigkeit, Optimierung.*

Постановка проблеми. Сучасні приводи підйомно-транспортного устаткування, основою яких є зубчасті передачі, працюють в умовах динамічних навантажень. Відомо, динамічні навантаження можуть збільшувати в процесі роботи значення сил, які діють на елементи конструкції редуктора. Ці зусилля впливають на втомну міцність приводу, а в деяких випадках – призводять до руйнування його конструктивних елементів у вигляді тріщин. Тому для забезпечення міцності приводів, яка б враховувала динамічні навантаження, необхідно в процесі проектування визначати конструктивні елементи приводу з урахуванням його напружено-деформованого стану під дією не тільки статичних, а і динамічних навантажень, а також враховувати, забезпечувати і підвищувати в процесі експлуатації надійність приводів. Неперервне ускладнення машин та посилення вимог до їх якості вимагає відповідного забезпечення надійності та довговічності сучасної техніки. Проблемами надійності та довговічності різних конструкцій машин займалися відомі вчені О.С. Проніков, Б.І. Костецький, Д.М. Решетов, І.Г. Косовський, Т.І. Рибак, Б. Ділонг, Ч. Синг та багато інших. Результати їх робіт дозволили впровадити в машинобудівну галузь промисловості різні методи забезпечення та підвищення надійності технічних систем і машинобудівних конструкцій.

В довідковій літературі [1] вказується, що гамма-відсоткове напрацювання редуктора на відмову $T_{\gamma} = 3600$ год, тобто це є напрацювання, протягом якого відмова об'єкта не виникне з імовірністю 90% при довготривалій роботі з постійним навантаженням. Згідно із рекомендаціями Експериментального науково-дослідного інституту металорізальних верстатів [2] середня тривалість ремонтного циклу від введення в експлуатацію до першого капітального ремонту складає 30000 год. На підставі тривалості цього ремонтного циклу передбачено огляди, поточні ремонти, середні ремонти та на при кінці ремонтного циклу капітальний ремонт, що відповідає 18 проміжним періодам. Тоді тривалість одного внутрішньо циклового періоду планово попереджувального ремонту (ППР) буде $t = 30000/18 = 1666,7$ год. На протязі цього часу огляд ремонтною службою працюючого об'єкта не виконується. Тільки після напрацювання об'єктом цього часу $t = 1666,7$ год проводиться його огляд і при необхідності виконується ремонт.

Прийнятий проміжний період часу безперервної роботи зубчастих приводів $t = 1666,7$ год без технічного обслуговування, що відповідає імовірності безвідмовної роботи $R(t) = 0,905$ для цього часу [3], є завищеним і не забезпечує достатньої надійності роботи зубчастого приводу. Для підвищення значення імовірності безвідмовної роботи необхідно зменшити проміжний період часу безперервної роботи зубчастого приводу без технічного обслуговування, тобто встановити його оптимальне значення. Але в технічній і науковій літературі до теперішнього часу ця проблема не розглядалася. Тому була поставлена задача встановити оптимальне значення часу періодичного огляду зубчастих приводів підйомно-транспортного устаткування з метою підвищення їх надійності.

Мета роботи. Підвищити надійність зубчастих приводів підйомно-транспортного устаткування за рахунок оптимізації тривалості проміжного циклу безперервної роботи зубчастих приводів без технічного обслуговування.

Постановка задачі та її розв'язання. Згідно з ДСТУ 2860-94 основним показником надійності є імовірність безвідмовної роботи $R(t)$, тобто це імовірність того, що протягом заданого напрацювання t відмова об'єкта не виникне. Ставиться задача визначити вплив напрацювання t на імовірність безвідмовної роботи $R(t)$ зубчастого приводу та встановити оптимальне значення t_{opt} для проміжного циклу його безперервної роботи без огляду з метою підвищення надійності.

Згідно із рекомендаціями [4] для визначення імовірності безвідмовної роботи $R(t)$ складного обладнання, до якого відносять і зубчасті приводи, використовують розподіл Вейбулла. В цьому випадку $R(t)$ визначають за залежністю

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right], \quad (1)$$

де t – час безпосередньої роботи об'єкта, на протязі якого визначають для нього $R(t)$; a – параметр масштабу, тобто $a = T_B$ (T_B – середнє напрацювання на відмову, год); b – параметр форми.

За результатами методу статистичного моделювання надійності зубчастих приводів [4] отримано значення параметрів $a = T_B = 4677$ год для одноступеневого зубчастого приводу сьомого ступеня точності згідно з ГОСТ 1643–81 і $b = 2,9178$, які за розподілом підпорядковуються закону Вейбулла. Для редукторів восьмого ступеня точності значення T_B зменшується введенням коефіцієнта на точність $k_T = 0,9$; для дев'ятого ступеня точності – $k_T = 0,8$. Тобто при визначенні параметру масштабу для залежності (1) необхідно користуватися залежністю $a = T_B \cdot k_T$ [5].

Використовуючи залежність (1) та отримані результати статистичного моделювання надійності зубчастих приводів, встановимо залежність імовірності безвідмовної роботи $R(t)$ від

тривалості її безперервної роботи t без технічного обслуговування. Для цього встановимо для виконання дослідження граничні значення тривалості безперервної роботи зубчастого приводу в межах $t = 700 \dots 1666,7$ год. На підставі прийнятих граничних даних визначаємо потрібну кількість N проміжних значень за залежністю

$$N = \sqrt{\frac{t_{\max}}{t_{\min}}} + 3 = \sqrt{\frac{1666,7}{700}} + 3 = 5.$$

Визначаємо значення інтервалу I

$$I = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{N - 1} = \frac{1666,7 - 700}{5 - 1} = 242 \text{ год.}$$

Встановлюємо для кожного з N інтервалів значення чинника: $t_1 = 700$ год; $t_2 = 942$ год; $t_3 = 1184$ год; $t_4 = 1426$ год; $t_5 = 1666,7$ год.

Використовуючи залежність (1), визначаємо значення імовірності безвідмовної роботи для кожного інтервалу

$$R(700) = \exp\left[-\left(\frac{700}{4677}\right)^{2,9178}\right] = 0,996;$$

аналогічно $R(942) = 0,991$; $R(1184) = 0,982$; $R(1426) = 0,969$; $R(1666,7) = 0,952$.

На підставі отриманих даних будемо графічну залежність (рис. 1).

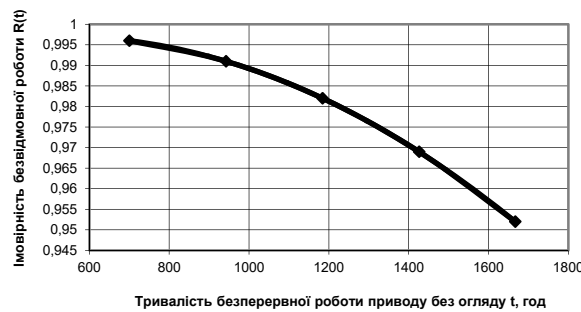


Рисунок 1. – Вплив тривалості t безперервної роботи одноступеневого зубчастого приводу на $R(t)$

Використовуючи графічну залежність (рис. 1) та основні методи математичної статистики, отримуємо математичну поліноміальну модель для визначення імовірності безвідмовної роботи $R(t)$ зубчастого приводу в залежності від тривалості t його безперервної роботи без проведення технічного огляду

$$R(t) = -3 \cdot 10^{-8} t^2 + 4 \cdot 10^{-5} t + 0,9877. \tag{2}$$

Отриману поліноміальну модель для визначення імовірності безвідмовної роботи $R(t)$ зубчастого приводу (2) приймаємо за функцію мети для визначення оптимальної тривалості обслуговування зубчастого приводу в межах $700 \leq t \leq 1666,7$ год. Поставлена задача з

нелінійною функцією мети і лінійними обмеженнями відноситься до задач нелінійного програмування з лінійними обмеженнями.

Ставиться задача максимізувати $R(t)$ на інтервалі $700 \leq t \leq 1666,7$ год. Для цього визначаємо першу похідну від функції (2) та прирівнюємо її до нуля

$$\frac{dR(t)}{dt} = -6 \cdot 10^{-8}t + 4 \cdot 10^{-5} = 0. \quad (3)$$

Для того щоб знайти максимум імовірності безвідмовної роботи $R(t)$ і відповідно t_{omm} , визначимо значення t із залежності (3)

$$t_{omm} = \frac{4 \cdot 10^{-5}}{6 \cdot 10^{-8}} = 667 \text{ год.}$$

На підставі визначеного значення t_{omm} імовірність безвідмовної роботи $R(t)$ одноступеневого зубчастого приводу буде

$$R(667) = \exp \left[- \left(\frac{667}{4677} \right)^{2,9178} \right] = 0,997.$$

В більшості випадків зубчасті приводи є двоступеневими. В цьому випадку імовірність безвідмовної роботи $R(t)$ буде дорівнювати

$$R_{d.c}(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t).$$

Для двохступеневого зубчастого приводу імовірність безвідмовної роботи $R(t)$ буде

$$R_{d.c}(t) = R^2(667) = 0,994.$$

Виходячи з отриманих результатів при впровадженні тривалості обслуговування зубчастого приводу $t_{omm} = 667$ год його надійність збільшується на

$$\frac{R_{d.c}(667)}{R_{d.c}(1666,7)} 100 - 100 = \frac{0,994}{0,952^2} 100 - 100 = 9,7\%.$$

Підвищення надійності зубчастих приводів на 9,7% дозволяє збільшити середнє напрацювання на відмову приблизно на 454 год, що відповідає безперервній роботі приводу на протязі одного місяця при двозмінному режимі роботи.

В процесі виконання технічного обслуговування можливі різні варіанти ліквідації можливих відмов зубчастих приводів:

- зняття торцевих кришок підшипників та заміна одного підшипника;
- зняття торцевих кришок підшипників та заміна двох підшипників;
- зняття торцевих кришок підшипників, від'єднання кришки від корпусу зубчастого приводу та заміна одного зубчастого колеса або вал-шестерні, або одного вала;

- зняття торцевих кришок підшипників, від'єднання кришки від корпусу зубчастого приводу та заміна двох зубчастих коліс або вал-шестерні та одного вала;

- зняття кришки оглядового вікна, злиття мастила та заповнення корпусу зубчастого приводу новим мастилом;

- зняття торцевих кришок підшипників, від'єднання кришки від корпусу зубчастого приводу та заміна шпонки з'єднання вала з зубчастим колесом.

Безумовно, існує ще багато інших варіантів відновлення зубчастого приводу, але наведені варіанти найбільш частіше зустрічаються на практиці.

Висновки: 1. Розроблено методологію визначення тривалості циклів технічного обслуговування зубчастих приводів підйомно-транспортного устаткування, яка дозволяє обґрунтовано встановлювати їх оптимальне значення і відповідно підвищувати надійність до 10%.

2. Прийнятий проміжний період часу $t = 1666,7$ год безперервної роботи зубчастого приводу без технічного обслуговування є завищеним, що не забезпечує достатньої надійності роботи редуктора. Тому за результатами розрахунків найбільш оптимальним проміжком часу безперервної роботи зубчастого приводу без виконання технічного обслуговування є час $t_{opt} = 667$ год, який забезпечує його імовірність безвідмовної роботи в межах 0,994...0,997.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев: В 3-х т. Т. 3. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 557 с.

2. Пуш В.Э. Металлорежущие станки. / В.Э. Пуш, В.Г. Беляев, А.А. Гаврюшин и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.

3. Гуліда Е.М. Прогнозування надійності редукторів з використанням методу статистичного моделювання. / Е.М. Гуліда, О.Е. Васильєва. // Вісник НТУ «ХП». – № 28. – Харків: НТУ «ХП», 2008. – С. 38-45.

4. Решетов Д.Н. Надежность машин. / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев. – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.

5. Гуліда Э.Н. Управление надежностью цилиндрических зубчатых колес. / Э.Н. Гуліда. – Львов: Вища школа, 1983. – 136 с.