

УДК 625. 033

**Олександр Бідун**

## **СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ**

*Наданий огляд статистичних методів для прогнозування надійності хрестовин залежно від типу відмови хрестовин.*

Вирішення завдання оптимізації параметрів верхньої будови колії може виконуватися різними способами, але з технічної точки зору більше правильним є мінімізація ймовірності того, що за час експлуатації конструкції колії її параметри можуть вийти з області допустимих значень.

Принциповою основою ведення колійного господарства є не ліквідація відмов, а їх попередження, тобто виконання профілактичних робіт у встановлений термін. Виходячи із цього, основними показниками надійності елементів верхньої будови колії будуть показники надійності невідновлюваних об'єктів або об'єктів, що працюють до першої відмови.

Критеріями надійності невідновлюваних об'єктів є:

- ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ ;
- густина розподілу напрацювання до відмови  $f(t)$ ;
- інтенсивність відмов  $\lambda(t)$ ;
- середній наробіток до першої відмови  $T_{cp}$ .

Ймовірністю безвідмовної роботи називається ймовірність того, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі часу або в межах заданого напрацювання не відбудеться жодної відмови. Відповідно до визначення

$$P(t) = P(T > t),$$

де  $t$  – час або напрацювання, протягом якого визначається ймовірність безвідмовної роботи;

$T$  – час або напрацювання від початку до першої відмови.

Ймовірність безвідмовної роботи, згідно зі статистичними даними про відмови, оцінюється виразом

$$\bar{P}(t) = \frac{N(t_i)}{N_0},$$

де  $N_0$  – число об'єктів на початку випробувань;

$N(t_i)$  – число безвідмовно напрацьованих об'єктів до моменту часу  $t_i$ .

Вичерпною характеристикою надійності пристроїв з безперервним характером роботи служить закон розподілу часу безвідмовної роботи. Якщо відомі вид закону і його параметри, то легко визначити будь-яку характеристику надійності.

© **Бідун О.М., 2007**

За експлуатаційним значенням відмови хрестовин стрілочних переводів ділять на три типи: прироблені, раптові й поступові.

Прироблені відмови є наслідком заводських дефектів. Даний тип відмови характеризується раннім проявом – у початковий період експлуатації.

Імовірність виникнення раптових відмов не залежить, у плинні заданого періоду експлуатації, від тривалості попередньої роботи хрестовин. Цей тип відмови становить найбільшу небезпеку. Хоча появу раптового типу відмови протягом періоду експлуатації не можна передбачувати, функція розподілу відмов хрестовин підпорядкована загальним певним закономірностям – частота відмов протягом досить тривалого періоду експлуатації приблизно постійна.

Поступові відмови пов'язані з поступовою втратою хрестовиною початкових властивостей через нагромадження необоротних змін, зношування й старіння. Імовірність виникнення даного типу відмови протягом заданого періоду експлуатації залежить від тривалості попередньої роботи хрестовини, з ростом періоду експлуатації вона збільшується.

Типовими законами розподілу у випадку поступового типу відмови є гамма-розподіл, розподіл Вейбулла, усічений нормальний розподіл, логарифмічно-нормальний розподіл та інші. У випадку раптового або поступового типу відмови для цих же цілей зазвичай застосовується експонентний і нормальний закон розподілу.

У випадку зносних й втомлюваних відмов хрестовин поступового типу інтенсивність їх виникнення повинна зростати зі збільшенням терміну служби. Зростаючу інтенсивність відмов мають закони розподілу: гамма-розподіл, Вейбулла, усічений нормальний. Логарифмічно-нормальний розподіл має зростаючу, а потім зменшуючу інтенсивність відмов, що не цілком чітко відбиває втомлювальні процеси в металах, хоча для випадку настання зносних відмов хрестовин даний закон розподілу може бути використаний.

При досягненні певного рівня інтенсивності відмов подальша експлуатація хрестовини недоцільна. Важливим є визначення раціонального, з погляду безпеки руху поїздів, рівня інтенсивності відмов хрестовин. Ресурсні випробування й спостереження за великими вибірками показують, що в більшості випадків інтенсивність відмов хрестовин змінюється в процесі експлуатації хрестовин немонотонно. Після початкового періоду прироблення настає досить тривалий період постійної інтенсивності відмов. Потім, внаслідок зношування, старіння, нагромадження ушкоджень й інших необоротних змін і процесів, інтенсивність відмов хрестовин зростає.

Для опису поступового типу відмов хрестовин найбільш відповідними є логарифмічно-нормальний і закон Вейбулла, тому що вони досить розповсюджені в розрахунках надійності різних систем й елементів.

Закон Вейбулла узагальнює експоненційний закон і на відміну від останнього містить не один параметр, а два, що дає змогу, підбираючи відповідним чином обидва параметри, одержувати закон надійності, що більш точно відбиває фізичну й статистичну закономірності настання відмов хрестовин. Закон Вейбулла є універсальним законом, тому що залежно від параметра  $d$  він може бути використаний для опису різних типів відмов хрестовин. При значенні параметра  $d < 1$  закон Вейбулла описує період прироблення хрестовин, тому що інтенсивність у початковий період експлуатації убуває. При  $d = 1$  закон Вейбулла стає експоненціальним однопараметричним законом, а його допомогою можна описати

розподіл раптового типу відмов хрестовин. При  $d > 1$  інтенсивність відмов хрестовин зростає, у такий спосіб враховується період старіння хрестовин.

Логарифмічно-нормальний статистичний закон відбиває лише фізичне настання поступового типу відмов зносного характеру, не враховуючи утворення відмов через дефекти контактної-втомлюваного характеру. Інтенсивність відмов при цьому законі надійності спочатку зростає, а потім убуває, що не цілком чітко відбиває втомлювальні процеси в металах. Таким чином, логарифмічно-нормальний закон має обмежене застосування при використанні його як статистичної моделі для опису поступового типу відмов хрестовин. Даний закон розподілу може бути використаний для випадку опису поступових типів відмов хрестовин лише при зносному характері. У цьому істотний недолік логарифмічно-нормального закону розподілу відмов хрестовин.

Для опису приробленого й раптового типів відмов кращою статистичною моделлю служить експоненціальний закон розподілу випадкових значень величини пропущеного тоннажу. При цьому законі інтенсивність відмов постійна, тобто не залежить від періоду минулої роботи хрестовин. Таким чином, не враховується період старіння хрестовин і безвідмовність їх розглядається без одержання оцінок довговічності, що точно відбиває фізичне настання цих типів відмов.

Експоненціальний розподіл характерний для раптових відмов і систем. Щільність імовірності експоненціального розподілу випадкової величини задається рівнянням

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} = \lambda \exp(-\lambda t),$$

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов (величина, зворотна напрацюванню до відмови  $\lambda = 1/T_{\text{ср}}$ ;

$e$  – основа натуральних логарифмів.

Нормальний закон розподілу (закон Гаусса) часто добре узгоджується з експериментальними даними при випробуваннях на надійність. Це відноситься насамперед до таких процесів, при яких відмови викликаються багатьма рівновпливними причинами. Параметри розподілу для нормального закону –  $T_{\text{ср}}$  й  $\sigma$ . Щільність розподілу випадкової величини задається рівнянням

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T_{\text{ср}})^2}{2\sigma_t^2}}.$$

Вибір закону надійності роботи хрестовин потрібно проводити з обліком фізичних або ж інших процесів, що призводять до відмови, а також з урахуванням виду емпіричного розподілу статистичних даних про відмови хрестовин. Гарний збіг обраного закону розподілу зі статистичними даними про відмови не є доказом його придатності й непогрішності, а недостатньо гарний збіг ще не причина для того, щоб відкинути передбачуваний закон розподілу, до того ж відбиває фізичні закономірності настання відмов.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Расчеты и проектирование железнодорожного пути* / Под ред. В.В. Виноградова, А.М. Никонова. – М.: Маршрут, 2003. – 486 с.
2. *Стрелочные переводы железных дорог Украины* / Под ред. Э.И. Даниленко. – К., 2001. – 296 с.

**Надійшла 24 вересня 2007 р.**