

УДК 621.757

Є. Мікульські

Політехніка Шльонська, Інститут транспорту, відділ автоматики в транспорті,  
Катовіце, Польща

## ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ ПРИСТРОЇВ КЕРУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

© Мікульські Є., 2001

**Описуються моделі прогнозування відмов пристроїв керування залізничним рухом. Наведені результати аналізу прогнозів відмов пристроїв ізоляції колії по станції Катовіце**

**The models of predicting train dispatching failures are introduced. The results of diagnostic testing of railwa-line insulation are given**

Основною вимогою до всіх елементів, пристроїв, підсистем та систем керування залізничним рухом є надійність роботи.

Роботи над забезпеченням надійності систем керування залізничним рухом ведуться у всіх залізничних управліннях.

Ймовірність появи відмови систем керування залізничним рухом (пошкодження) не веде до небезпечного стану, а тільки спричинює відхилення в русі. У випадку ймовірності появи відмови функціонування йде мова про пошкодження, що викликає тільки перерву у функціонуванні системи або її неповне функціонування. Неправильне функціонування означає в цьому випадку безпечну, але невідповідну роботу обладнання. Ймовірність появи відмов в такому аспекті охоплює тільки пошкодження, що виникли з технічних причин, не беручи до уваги ролі людини і її неправильних дій під час керування рухом. Визначення ймовірності пошкодження обладнання з вини людини становить важливу проблему, що виходить за межі цієї роботи.

Аналіз динаміки ймовірності появи відмов пристроїв керування залізничним рухом є новою областю досліджень в залізничній техніці, а методи прогнозування, застосовані в роботі, почерпнуті з методології прогнозування економічних процесів. Метою роботи, на основі зібраних на станції Катовіце даних, було проведення аналізу відмов пристроїв керування залізничним рухом на прикладі ізольованих ділянок на станції, а також прогнозування пошкоджуваності такого обладнання. Пошкодження ізольованих ділянок стрілок і колій (станційних і на шляху) належать до пошкоджень пристроїв керування залізничним рухом, які найчастіше виникають.

Основним джерелом інформації щодо ймовірності появи відмов пристроїв керування залізничним рухом є реєстри відмов (пошкоджень), що виникають під час експлуатації пристроїв. Дані отримано з секції автоматики в Катовіцах на основі „Книжки контролю...” [1] в період від 01.01.1998 до 31.01.2000 (25 місяців).

Пошкодження станційної ізоляції колій (СІК) визначені протягом кожного аналізованого року (1998 і 1999) з розбиттям на окремі місяці і внесені до програми PROGNOZA [4], за допомогою якої проведено аналіз даних.

Для визначення рівня пошкоджуваності елементів систем керування залізничним рухом і числового значення ймовірності відмов цих пристроїв необхідним є збір даних з „експлуатації” пристроїв керування залізничним рухом. Тип зібраних експлуатаційних

даних залежить від області їх застосування. Для визначення такої величини, як кількість пошкоджень за одиницю часу, необхідним є визначення узагальнених даних (наприклад, сумарна кількість пошкоджень протягом заданого часу експлуатації). Визначення тенденції змін коефіцієнтів ненадійності вимагає збору даних з багатьох часових інтервалів, а для прогнозування безвідмовних станів необхідним є визначення прогностичних математичних залежностей (математичної моделі) процесів пошкоджуваності аналізованих пристроїв.

Дослідження відмов стосується відновлюваних пристроїв (відновлювальний об'єкт – це об'єкт, якому можна повернути втрачені експлуатаційні властивості, тобто здатність до функціонування), що означало насамперед збереження при проведенні досліджень протягом інтервалу спостереження однакової кількості досліджуваних об'єктів.

З погляду на спосіб вираження стану відмови пристроїв керування залізничним рухом (стан змінної виражається числом) прогнози зараховують до прогнозів чисельних, точкових (змінна набуває певного значення), типу прогнозів, що розвиваються. Це є прогнози, в яких координата екстраполяції є змінною часу.

Під час прогнозування використовуються дані про об'єкт. До найважливіших джерел даних належить поточна реєстрація випадків.

Збір відповідного часового матеріалу про характер явищ в минулому у вигляді часових рядів є основою створення кожного прогнозу. Базовим видом рядів є одновимірний часовий ряд. Одновимірний часовий ряд є рядом спостережених станів, впорядкованих згідно із значеннями змінної часу:

$$Y = [y_1 y_2 \dots y_n],$$

де  $y_t$  – стан змінної в момент часу  $t$ ,  $t=1,2,\dots,n$ ;  $n$  – кількість спостережень (величина часового ряду).

Модель часового ряду представляє прогнозований об'єкт у вигляді так званої “чорної скриньки”. Модель в такому вигляді служить для знаходження майбутніх значень прогнозованої змінної без визначення чинників, які її спричинили.

Якщо під час створення моделі використовується декомпозиція часового ряду, то залежно від прийнятих допущень стосовно впливу окремих складових часового ряду на прогнозовану змінну та взаємовпливу цих складових сформована модель може мати різну форму.

Загалом приймається адитивна, мультиплікативна чи змішана форми моделі. В адитивній моделі приймається, що спостережувані значення прогнозованої змінної є сумою (всіх або деяких) складових часового ряду. Якщо єдина координата екстраполяції моделі є змінною часу, то модель може мати такий вигляд:

$$Y = f(t) + g(t) + h(t) + \zeta,$$

де  $f(t)$  – часова функція, що характеризує відхилення (функція тренда);  $g(t)$  – часова функція, що характеризує циклічні коливання;  $h(t)$  – часова функція, що характеризує сезонні коливання;  $\zeta$  – випадковий чинник.

Окрім тенденції розвитку відмов пристроїв керування, яка підлягає циклічним спостереженням в часі, досліджуване явище може бути вивчене за допомогою періодичних коливань (наприклад, сезонних коливань) [2]. В цьому окремому випадку циклічних коливань в прогнозуванні додатково застосовують адитивний гармонічний метод (перетворення Фур'є):

$$h(t) = f(t) + a_0 \sum [a_n \sin nt + b_n \cos nt],$$

де  $n_{max}=h$  – кількість гармонік.

У випадку сезонних коливань (для різного інтервалу спостережень) коефіцієнт циклічності становить 12.

Після вибору функції процедури прогнозування (аналітична чи адитивна) і обчислення параметрів тренда необхідно виконати статистичні обчислення стосовно верифікації визначеної функції. З цією метою, як правило, визначається стандартне відхилення і коефіцієнт мінливості. З багатьох функцій найкраще може виконувати роль функції тренда та, для якої отримана похибка прогнозу є найменшою.

Під час прогнозування більш цікавим, ніж доналагодження моделі на основі даних з минулого, є його доналагодження до майбутнього (ефективність прогностичної моделі), тобто оцінка похибок сформульованих прогнозів [3]. Точність прогнозів визначається методами *ex ante* і *ex post*. Показник типу *ex ante* є середньою похибкою прогнозу. Показники цього типу рідко використовуються як інструмент оцінки точності прогнозу. Частіше вживаються показники типу *ex post*.

Прогноз може бути визначеним на момент чи на інтервал часу, що настає відразу після останнього відомого значення, використаного в прогнозі.

Вибір методу прогнозування проводиться за допомогою оцінки якості “моделі” (похибка відхилення) та оцінки “цінності” прогнозу (похибка прогнозу). Важливим поняттям є влучність прогнозу (точність і достовірність прогнозу). Оскільки на основі прогнозу приймаються практичні рішення, кожне твердження, що має бути прогнозом, повинне бути підтвердженим.

Допустимість прогнозу визначається в той самий момент часу, в який робиться прогноз. Дане поняття служить для визначення горизонту прогнозу, тобто моменту чи інтервалу, для яких прогноз є допустимим. Похибка прогнозу реєструється в часі, а сам прогноз є тим точнішим, чим меншою є похибка.

Характеристики аналізованої станції Катовіце подано нижче.

- Станція розміщена в забрудненій місцевості
- Станція обладнана передавальними пристроями (рік побудови – 1964)
- До станції підходить 3 шляхи (9 шляхових колій), обладнаних автоматичним блокуванням ліній
- Станція має 12 головних і 6 додаткових колій, 122 сигналізатори, 140 роз'їздів, 38 станційних ізоляцій колії
- Інтенсивність руху через станцію становить 250 поїздів за добу.

На основі зібраних даних для станції Катовіце визначено коефіцієнт частоти появи пошкодження ізоляції колії в даному місяці:

$$\text{Коефіцієнт} = \frac{\text{кількість відмов даного типу (в даному місяці)}}{\text{кількість пристроїв (ізоляція колії)}} \times 100\% .$$

Визначено середнє значення та стандартне відхилення середнього значення досліджуваного коефіцієнта для станції Катовіце.

Розрахунки проведено при використанні програми PROGNOZA [4]. Як похибку тренда вибрано стандартне відхилення, а як похибку прогнозу – середнє значення різниць.

Результати аналізу прогнозів ймовірності відмов ізоляції колії для станції Катовіце разом з описом, показаним на рисунку, є таким:

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>ITS-K</b>         | ⇒ назва відмови з символом станції (станційна ізоляція колії на станції Катовіце)  |
| <b>Dane</b>          | ⇒дані  |
| <b>Addytywna ...</b> | ⇒лінія прогнозу „Адитивного лінійного автоматичного”   |
| <b>Fourier</b>       | ⇒лінія прогнозу „Фур'є”  |
| <b>Liniowa</b>       | ⇒лінія прогнозу „Лінійного”  |
| <b>Średnia ...</b>   | ⇒лінія середнього значення на основі реальних даних за 24 місяці (середня)   |
| <b>k</b>             | ⇒для адитивної моделі період циклічних коливань (для $k = 12$ – повторюваність протягом наступних 12 місяців, тобто в наступному році) |
| <b>h</b>             | ⇒для моделі Фур'є кількість гармонік ( $h = 2$ – сезонність протягом року)   |
| <b>L = T</b>         |  |
| <b>k</b>             | для моделі Фур'є додано „підкладку” лінійного відхилення   |
|                      | ⇒для моделі середнього значення $k = 24$ – період  |

визначення середнього значення

**числа в двох колонках після назв кривих**

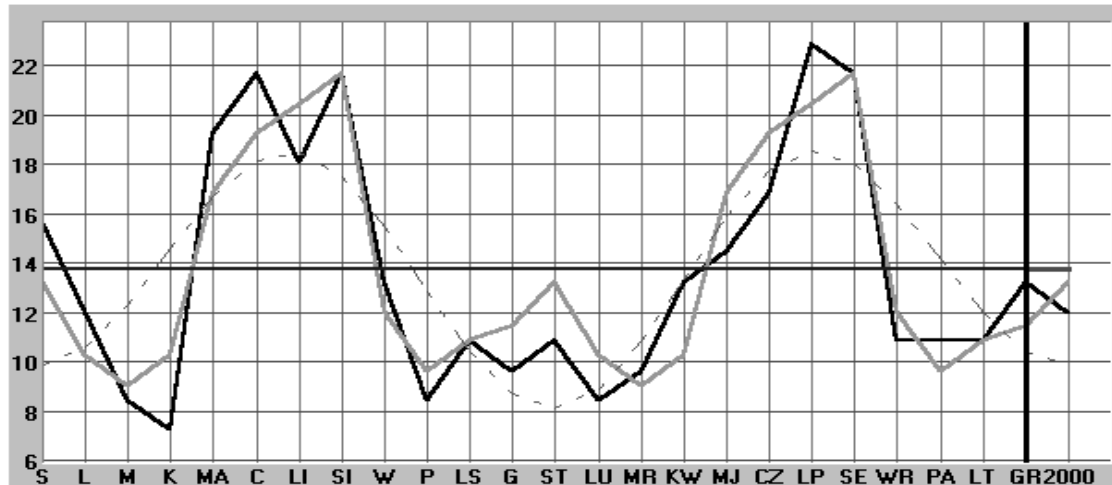
|             |   |
|-------------|---|
|             | ⇒відповідно для цих кривих: перша колонка – похибка тренда і друга колонка – похибка прогнозу |
| <b>a; b</b> | ⇒параметри прогнозу „Лінійного”   |
| <b>k</b>    | ⇒період циклічних коливань (повторений)   |
| <b>w(i)</b> | ⇒коефіцієнти циклічності  |

**числа в п'яти колонках нижче від коефіцієнтів w(i), в двох рядках**

⇒відповідно в колонках згідно з черговістю кривих: реальні значення і дані прогнозовані – перший рядок: грудень 1999, другий рядок: січень 2000); остання колонка – середнє значення реальних даних за 24 місяці

**а також для моделі Фур'є**

|                   |   |
|-------------------|---|
| <b>a; b</b>       | ⇒параметри прогнозу „Лінійного” (повторені) |
| <b>a(i); b(i)</b> | ⇒параметри прогнозу „Фур'є”                 |



| ITS-K Дані                         |         |      |      |
|------------------------------------|---------|------|------|
| ITS-K Адитивна лінійна автоматична | k=12    | 1.87 | 1.25 |
| ITS-K Фур'є                        | h=2 L=T | 3.31 | 2.10 |
| ITS-K Лінійна                      |         | 4.76 | 1.75 |
| ITS-K Середні значення             | k=24    | 0.50 | 1.75 |

a -7,826E-5  
 b 13,76  
 k 12  
 w(1) -0,5046                      w(7) 6,726  
 w(2) -3,515                        w(8) 7,936  
 w(3) -4,719                        w(9) -1,709  
 w(4) -3,514                        w(10) -4,119  
 w(5) 3,116                         w(11) -2,914  
 w(6) 5,526                         w(12) -2,309  
 13,25 11,44 10,40 13,75 13,75  
 12,00 13,25 9,90 13,75 13,75

a лінійного -7,826E-5

b лінійного 13,76

a(0) 1,85E-15

a(1) 0,1917

a(2) -2,167

b(1) 0,8678

b(2) -4,224

Висновки.

- на станції Катовіце динаміка ймовірності появи відмови ізоляції колії протягом інтервалу спостереження була однаковою ( $k = 12$ );
- додатково ця ймовірність відмов мала сезонний характер: найвища пошкоджуваність спостерігалася в липні, а найменша – в січні;
- на станції Катовіце частота появи відмови ізоляції колії не змінювалася ( $a \approx 0$ );
- ймовірність пошкодження ізоляції колії на станції становить в місяць 13,75 %;
- похибка прогнозу дорівнює 1,25.

1. *Książka kontroli urządzeń sterowania ruchem kolejowym oraz o wprowadzeniu i odwołaniu obostrzeń (E1758)*. 2. *Zeliaś A. Teoria prognozy. Warszawa, 1997*. 3. *Cieślak M. Prognozowanie gospodarcze, metody i zastosowania. Warszawa, 1977*. 4. *Kolenda K., Kolenda M. Analiza i prognozowanie szeregów czasowych. Warszawa, 1999*.