

СТАНДАРТИЗАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ

УДК.629.083

Аулін В.В., д.т.н.
Гриньків А.В., асп.
Бруцький О.П., м.н.с.

ПРОГНОЗУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМ І АГРЕГАТИВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Кіровоградський національний технічний університет Aulin52@mail.ru

Представлено аналіз можливості підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів за допомогою прогнозування діагностичних параметрів, сформульовано передумови формування процесу прогнозування для різних рівнів інформаційного забезпечення. Запропоновано методику прогнозування діагностичних параметрів у вигляді часового ряду, виявлені її можливості. З'ясовано процедуру формування контрольної вибірки для оцінки якості прогнозу діагностичних параметрів технічного стану систем і агрегатів транспортних засобів та умови використання контрольної вибірки, наведена оцінка якості різних видів прогнозу.

Ключові слова: транспортний засіб, системи та агрегати, діагностичний параметр, технічний стан, прогнозування, часовий ряд, якість прогнозу.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її актуальність

Сучасні транспортні засоби є складною динамічною системою, функціонування якої відбувається при дії різних випадкових факторів, як з боку зовнішнього середовища, так і внутрішні нестаціонарні взаємодії між елементами систем і агрегатів. Зазначене може викликати випадкові збурення та раптові і поступові відмови. Зовнішнє середовище може вносити невизначеність, випадковість вихідних даних, ситуації, що випадковим чином змінюють характер взаємодії між складовими частинами, вузлами і агрегатами автомобіля. Внутрішнє середовище динамічної системи обумовлюють виникненню випадкових збурень, помилок вимірювання, перетворення інформації, дію різного роду перешкод, внаслідок неврахованих, але об'єктивно діючих причин. Ефективність функціонування транспортного засобу залежить передусім від технічного стану його систем і агрегатів. В процесі експлуатації, якщо не застосовувати спеціальних заходів та технічних дій, то їх стан погіршується, технічний стан погіршується, а функціональні можливості транспортних засобів різко знижуються. У зв'язку з цим доцільним є розв'язання проблеми керування технічним станом транспортних засобів та його систем і агрегатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Індивідуальне прогнозування періодичності технічного обслуговування і технічного стану автомобілів є одним з основних резервів підвищення ефективності і подальшого вдосконалення системи керування їх працездатністю, що було відмічено в роботах Є.Ю. Барзиловича [1] і А.І. Буравльова [2]. Використання цього резерву часто перешкоджає недостатня точність існуючих методів прогнозування, що відображено в роботах В.В. Ауліна [3,4]. Підвищення точності прогнозів можливо на основі закономірностей зміни діагностичних параметрів, що одночасно враховують індивідуальний технічний стан агрегатів транспортних засобів і інтенсивність його зміни від величини пробігу і значень факторів умов експлуатації. Це було зазначено в роботах М.М. Смірнова, А.А. Іцковича, А.А. Овсяннікова, Н.Я. Говорущенка [5] та ін. Вихідною інформацією про інтенсивність зміни технічного стану транспортного засобу є значення параметрів, використовуваних для прогнозування з напрацюванням та відповідні зафіксовані значення параметрів та інформація, що одержувані з використанням комп'ютеризованих засобів діагностування в роботі В.Г. Сраговича [6].

Метою даної роботи є з'ясування можливостей використання діагностичної інформації, як часового ряду, для аналізу та прогнозу технічного стану транспортних засобів, розробити його методику, а також процедуру формування контрольної вибірки для оцінки якості прогнозу діагностичних параметрів.

Викладення основного матеріалу дослідження

На підставі аналізу факторів, що впливають на процес зміни діагностичних параметрів, а також вимог, що пред'являються до опису цього процесу, потрібно зробити деякі загальні зауваження: зміну (приріст) діагностичного параметру технічного стану необхідно апроксимувати випадковою впорядкованою функцією зі зростаючими реалізаціями. Реалізацію зміни параметра можна розглядати як строго, так і не строго монотонну функцію в діапазоні від нуля до граничної зміни параметра та зниження технічного стану транспортних засобів. Інформація для адаптивної системи керування під час обробки, в процесі якої формуються масиви нормативно-технічної документації і діагностичної інформації є необхідною вихідною базою для організації процесу прогнозування [3-7].

Загальна проблема керування технічним станом автомобіля включає в себе наступні аспекти:

- оптимальна організація контролю за зміною технічним станом;
- ефективні методи контролю і прогнозування зміни параметрів технічного стану;
- визначення моментів проведення профілактичних робіт;

Характер, визначених ними завдань і умови їх реалізації зумовили структуру і склад забезпечення процесу прогнозування технічного стану транспортних засобів в системі керування технічним станом систем і агрегатів [5-8].

Технічне забезпечення системи прогнозування включає діагностичне обладнання, що використовується для визначення технічного стану транспортних засобів. Інформаційне забезпечення необхідно розробляти з врахуванням реалізації функцій системи технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів та функцій прогнозування. Вхідні і вихідні інформаційні дані становлять інформаційне забезпечення, а організовані інформаційні масиви - внутрішнє забезпечення.

Зовнішнє інформаційне забезпечення включає інформацію:

- про технічний стан автомобілів і інформацію, необхідну для їх ідентифікації в системі;
- для автоматизованої адаптивної системи керування технічним станом автомобілів і інформаційні масиви в пам'яті комп'ютерів при впровадженні систем прогнозування;
- про динаміку технічного стану транспортного засобу;
- про поточний стан транспортного засобу і результати прогнозування, а також результати контролю даних, що надійшли, аварійні повідомлення і т.д.

Внутрішнє інформаційне забезпечення складають масиви:

- нормативно-технічної інформації, що містять кількісні нормативи, необхідні для прогнозування;
- інформацію про поточний технічний стан систем і агрегатів транспортного засобу.

Методичне забезпечення процесу прогнозування містить:

- оцінку факторів умов експлуатації, призначену для виявлення сукупності значимих факторів;
- побудову системних моделей прогнозування технічного стану транспортних засобів;
- прогнозування технічного стану транспортних засобів на основі багаторічних моделей, що враховують індивідуального стану транспортних засобів і його зміна під впливом факторів умов експлуатації.

Функції системи прогнозування обумовлені можливостями її забезпечення і реалізуються в ході вирішення конкретних завдань. При вирішенні задачі прогнозування технічного стану транспортних засобів використовується комплекс програм прогнозування, які забезпечують:

- обробку даних чергового діагностування, що надійшли з центру технічної діагностики;
- виконання прогнозу технічного стану транспортних засобів з врахуванням індивідуальних особливостей.

При цьому виконуються три види прогнозів:

- поточний прогноз, при якому вводяться дані чергового діагностування автомобіля і виконується прогноз для даного автомобіля на необхідну дату або пробіг;
- прогноз на замовлення, при якому без введення результатів чергового діагностування виконується прогноз на основі даних, накопичених раніше в пам'яті комп'ютерів, на необхідну дату або пробіг для автомобілів, зазначених у замовленні;
- прогноз до граничного стану агрегатів транспортних засобів;

При виконанні прогнозування результати діагностування транспортних засобів піддаються наступній обробці:

- контролюються на збіг з результатами попередніх діагностик і на збіг з нормативними значеннями діагностичних параметрів. Дані, які не пройшли контроль, для подальшої обробки виключаються;
- обчислюється прогноз по кожному з діагностичних параметрів конкретного транспортного засобу.

Прогноз ведеться на основі використання моделей прогнозування. Для вибору конкретної моделі існують наступні ознаки: марка і модель транспортного засобу, найменування агрегату; характеристика агрегату (новий, капітально відремонтований); найменування прогнозованого параметра. При прогнозуванні враховуються величина пробігу транспортним засобом на інтервалі прогнозу та індивідуальне прогнозування поточного технічного стану.

Результатами прогнозу є:

- прогнозні значення діагностичних параметрів на задану дату або заданий пробіг;
- дата і пробіг транспортного засобу, при яких кожен з діагностичних параметрів досягає свого граничного значення;

- прогнози значення періодичності індивідуального технічного обслуговування транспортного засобу і прогнози значення до моменту необхідності проведення профілактичних робіт щодо можливого усунення несправностей транспортного засобу, його основних агрегатів і систем.

Сформульована постановка задачі прогнозування зводиться до вибору раціонального прогнозу з сукупності конкуруючих прогнозів, побудованих з використанням різних або по-різному налаштованих прогнозних моделей.

В результаті виконання завдання прогнозування потрібно сконструювати багатокритеріальний опис якості прогнозів; із застосуванням методики ретроспективного аналізу, формувати та будувати множини конкуруючих прогнозів і вибір найбільш раціонального з них із застосуванням алгоритму, що враховує діагностичну інформацію різного роду. Розглянемо процедуру прогнозування технічного стану транспортного засобу з використанням часових рядів [9].

Нехай маємо значення часового ряду діагностичного параметру $D = \{D_1, D_2, \dots, D_N\}$, де $D_1, D_2, \dots, D_N$ - значення діагностичних параметрів, зареєстрованого в t -му такті пробігу. В такому випадку необхідно побудувати допустимі оцінки діагностичного параметру майбутніх значень його ряду $\hat{D} = \{\hat{D}_{N+1}, \hat{D}_{N+2}, \dots, \hat{D}_{N+\tau}\}$, де $1 \leq \tau < N$ - горизонт прогнозування.

Сформулюємо завдання прогнозування і з'ясуємо критерії оцінки якості прогнозування діагностичних параметрів для формалізації цього поняття.

Виділимо з вихідного тимчасового ряду діагностичного параметру робочу вибірку $D_{роб} = \{D_1, D_2, \dots, D_{N-\tau}\}$, на основі якої побудуємо оцінки значень часового ряду на тактах з 1 до $N - \tau$ та прогнози значення на тактах з $N - \tau + 1$ до N : $\hat{D}_{прог} = \{\hat{D}_1, \hat{D}_2, \dots, \hat{D}_{N-\tau}, \hat{D}_{N-\tau+1}, \hat{D}_{N-\tau+2}, \dots, \hat{D}_N\}$. Потім, вибравши k довільних значень діагностичних параметрів на певному пробігу початкового тимчасового ряду, складемо з них контрольну вибірку $\hat{D}_{крп} = \{\hat{D}_1, \hat{D}_2, \dots, \hat{D}_j, \dots, \hat{D}_k\}, 1 \leq j \leq k$.

З отриманого допоміжного прогнозу $\hat{D}_{крп}$ виберемо оцінки значень діагностичного параметру сформованого часового ряду на часових тактах, що входять в контрольну вибірку $D_{крп} = \{D_1, D_2, \dots, D_j, \dots, D_k\}, 1 \leq j \leq k$. Порівнюючи отримані оцінки значень діагностичних параметрів часового ряду $D_{крп}$ з значеннями контрольної вибірки $\hat{D}_{крп}$, можливо оцінити його якість, використовуючи різні критерії оцінки якості прогнозування. Таким чином, допоміжний прогноз буде перевірений на наявних діагностичних даних.

Побудуємо прогноз фіксувань діагностичного параметру $\hat{D}$, на підставі всіх наявних фіксувань часового ряду, використовуючи при цьому той же метод прогнозування, що і при побудові і допоміжного прогнозу. У зв'язку з тим, що оцінити якість прогнозу на реальних діагностичних даних не є можливим, будемо припускати, що його якість така ж сама, як і якість допоміжного прогнозу.

Даний підхід оцінки якості прогнозування має три найбільш розповсюджених випадки виду контрольної вибірки.

Випадок 1. Контрольна вибірка містить на прогнози такти допоміжного прогнозу. Такий вид оцінки якості є єдино можливим для прогнозів, побудованих за допомогою прогнозних моделей, які не дозволяють будувати оцінки відомих значень часового ряду діагностичного параметру, а будують лише прогнози (рис. 1).



Рисунок 1 – Схематичне відображення робочої і контрольної вибірки та прогнозних значень діагностичного параметру на його часовому ряду

Випадок 2. Контрольна вибірка охоплює весь вихідний часовий ряд діагностичного параметра. У даному випадку перевіряється якість опису всіх точок часового ряду. Цей вид оцінки виправдовує себе в деяких випадках при використанні прогнозних моделей, які дозволяють будувати оцінки відомих значень часового ряду (рис. 2).

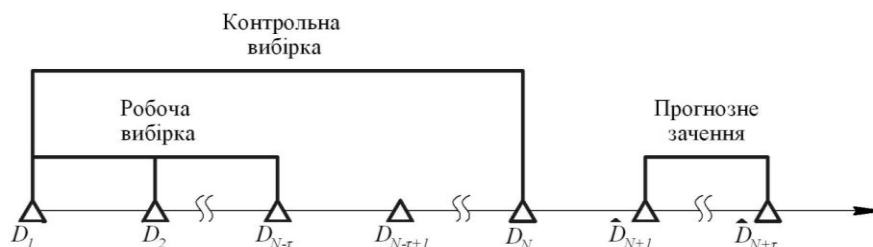


Рисунок 2 – Схематичне відображення робочої і контрольної вибірки та прогнозних значень діагностичного параметру на його часовому ряді

Випадок 3. Точки, що входять в контрольну вибірку вказуються експертом-прогнозистом (рис. 3). В цьому випадку можна домогтися як поєднання перших двох підходів, так і використання їх окремих випадків. Наприклад, експерту може бути важливо, щоб модель добре описувала не тільки прогнозні такти, але і добре виловлювала точки локальних екстремумів тимчасового ряду. Таке завдання може виникнути при прогнозуванні майбутнього рівня сплеску або спаду тимчасового ряду.

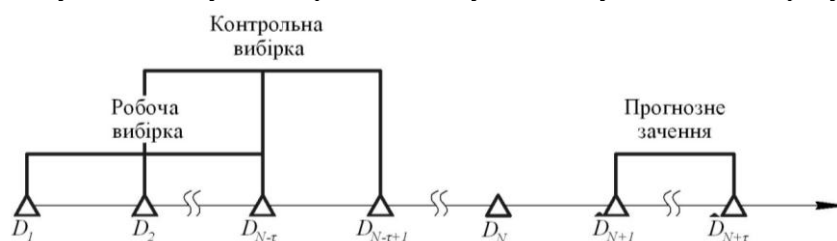


Рисунок 3 – Схематичне відображення робочої і контрольної вибірки та прогнозних значень діагностичного параметру на його часовому ряді

Виявлено, що побудова допоміжного прогнозу необхідна з двох основних причин:

1. Хороший опис відомих точок часового ряду діагностичного параметру ще не гарантує того, що та ж сама прогнозна модель добре впорається із завданням прогнозування.
2. Деякі прогнозні моделі не зовсім дозволяють будувати оцінки відомих значень часового ряду, а будують тільки прогнозні значення. В цьому випадку перевірка прогнозування наявних даних можлива тільки при побудові допоміжного прогнозу.

Для оцінки якості прогнозу введемо допоміжні критерії для різних видів вимог до якості прогнозу виду $Est(D) = Est(D_{kmp}, \hat{D}_{kmp})$. Для зручності опису процедури оцінки якості прогнозу введемо величину $\Delta D(L) = |\hat{D}(L) - D(L)|$ - абсолютна величина відхилення прогнозного значення від реального на пробіговому такті, де $L = \{L_1, L_2, \dots, L_k\}$.

Виявлено, що використання часового ряду діагностичного параметру D дає можливість здійснити різні види прогнозу: точковий, траєкторний та прогноз максимуму.

При точковому прогнозі якість його побудови з найкращим сходженням значення на t -му такті пробігу оцінюється критерієм:

$$Est_0 \hat{D} = \Delta D(L), 1 \leq L_k < N. \quad (2.1)$$

У випадку траєкторного прогнозу, для оцінки якості його побудови на τ тактів пробігу ($1 \leq \tau < N$) з найкращим сходженням прогнозних значень на усіх тактах пробігу, використовується один із наступних критеріїв:

$$Est_1 \hat{D} = \sum_{j=1}^k \alpha_{L_j} \cdot \Delta D(L), \quad (2.2)$$

$$Est_2 \hat{D} = \frac{1}{k-1} \sqrt{\sum_{j=1}^k \alpha_{L_j} \cdot \Delta D(L)^2}, \quad (2.3)$$

$$Est_3 D = \max_{t \in \{L_1, \dots, L_k\}} \alpha_L \Delta D(L), \quad (2.4)$$

$$Est_4 D = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \alpha_{L_j} \frac{\Delta D(L)}{D(L_j)}. \quad (2.5)$$

де α_{L_j} - вагові коефіцієнти, що відображають міру важливості співпадання прогнозного и реального значення на такті пробігу L_j , що задаються експертним шляхом.

При реалізації прогнозу максимуму необхідно побудувати траєкторний прогноз τ тактів з найкращим співпаданням величини максимуму прогнозу :

$$Est_5 D = \max\{D_1, \dots, D_k - \arg\max\{\hat{D}_1, \dots, \hat{D}_k\}\} \quad (2.6)$$

і величини прогнозу значення такту m^* з максимальним прогнозним значенням:

$$Est_6 D = \arg\max\{D_1, \dots, D_k - \arg\max\{\hat{D}_1, \dots, \hat{D}_k\}\} \quad (2.7)$$

Найбільш просто реалізувати на практиці критерій оцінки якості прогнозу, що проводиться з використанням формули (2.3), яка містить суму квадратів відхилень реальних даних від результатів розрахунку за прогнозною моделлю. Але вона не завжди точно описує уявлення прогнозиста про хороший прогноз. Наприклад, даний критерій може допускати відхилення прогнозу від реальних значень на окремих тактах пробігу. Така оцінка якості прогнозів не достатньо точно описує уявлення про допустимий прогноз. На наш погляд, надійний критерій якості прогнозу повинен описувати уявлення прогнозиста про задовільний і незадовільний процес прогнозування, при значному і незначному відхиленні реального процесу від прогнозу. При цьому пропонується множина критеріїв оцінки якості прогнозу і постановок задач оптимізації для опису і вибору кращого прогнозу. В основі конструкцій критеріїв і постановок завдань оптимізації необхідно покласти багатокритеріальне уявлення та принципи оптимальності.

Висновки

1. Проведено аналіз можливості підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів за рахунок індивідуального прогнозування інформативних діагностичних параметрів його систем та агрегатів.
2. Сформовано передумови для автоматизації процесу прогнозування, що включають в себе зовнішнє, внутрішнє і методичне інформаційне забезпечення та запропоновано функції системи прогнозування.
3. Наведено можливості використання для прогнозування діагностичної інформації представлено у вигляді часових рядів.
4. Приведено найбільш розповсюджені випадки використання та формування контрольної вибірки для оцінки якості прогнозу діагностичних параметрів та виявлені умови їх використання.
5. Дано математичну інтерпретацію критеріїв оцінки якості прогнозування для різних видів прогнозу, що можливо використати для обробки діагностичної інформації технічного стану транспортного засобу та його систем і агрегатів під час експлуатації.

Список літературних джерел

1. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. - М.: Высшая школа, 1982. - 231 с.
2. Буравлев А.И., Доценко Б.И., Казаков И.Е. Управление техническим состоянием динамических систем. / А.И. Буравлев, Б.И. Доценко, И.Е. Казаков - М.: Машиностроение, 1995. - 240 с.
3. Аулін В.В. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості / Аулін В.В., А.В. Гриньків, Т.М. Замота // Вісник Інженерної академії України – 2015. - №3. - С. 66-73
4. Аулін В.В. Прогнозування залишкового ресурсу агрегатів та систем транспортних засобів сільськогосподарського виробництва за їх технічним станом / В.В. Аулін, А.В. Гриньків, В.М. Каліч, Д.В.Голуб // Кіровоградський національний технічний університет – 2015. - №45 (Ч.2). - С 28 – 36
5. Говорущенко Н.Я. Диагностика и прогнозирование – перспективный путь развития технической эксплуатации автомобилей / Н.Я. Говорущенко // – М., 1989. - № 12. - С. 1–3.
6. Срагович В.Г. Адаптивное управление / В.Г. Срагович – М.: Наука, 1981. - 384 с
7. Гриньків А.В. Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів / А.В. Гриньків // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету, Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація - 2016. - 29. - С. 25-32.