

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМ З ВРАХУВАННЯМ ТЕКУЧИХ ЗНАЧЕНЬ ЇЇ НАДІЙНОСТІ

Система управління GTS представляє собою логічну модель (ML), що описує траєкторії процесів, що реалізуються в рамках GTS і представляє собою розв'язок задач транспортування певних об'єктів в межах самої системи. Оскільки мова йде про надійність системи, то необхідно провести аналіз факторів, які могли б спричинити погіршення надійності системи GTS, до яких можуть допровадити відповідні фактори. Розділимо такі негативні фактори на наступні групи:

- функціональні негативні фактори;
- об'єктивні негативні фактори;
- зовнішні негативні фактори;
- непередбачувані негативні фактори;
- прогресуючі негативні фактори.

Функціональні негативні фактори представляють собою причини виникнення ситуацій, що приводять до пониження рівня надійності в результаті проявлення в рамках системи управління (SU) неможливості останньою розв'язати текучу задачу по формуванню траєкторії транспортування об'єкту  $Q_i$  з точки  $a_i$  в точку  $b_i$ . Така ситуація може виникнути в результаті виникнення невідповідностей між фізичною системою GTS та її математичною моделлю, що обумовлюється наступними можливими причинами:

- недостатньо точної апроксимації системи GTS математичною моделлю управління;
- еволюцією вимог до системи управління, що обумовлюється споживачами системи GTS;
- проявленням неузгодженостей між системою виводу  $\Xi$  та іншими базовими компонентами моделі ML. Недостатньо точна апроксимація є природною особливістю використання довільних математичних моделей для управління фізичними системами. Оскільки досягнути повної точності неможливо, по визначенню, то в даному випадку мова може йти про міру наближення SU до GTS, що повинно впливати на величину надійності системи.

Еволюція вимог до системи, особливо характерна в тих випадках, коли система орієнтована на досить тривалий час експлуатації та являється достатньо складною. Ці два фактор спричиняють труднощі в прогнозуванні функціональних можливостей системи в цілому на етапі її проектування, що приводить до того, що вихідні вимоги до системи є недостатньо адекватними дійсності, з якою може зіткнутися відповідна система. Тому для більшості

технічних систем, що призначені для використання в більш-менш широкому діапазоні її можливостей, характерним є природна або еволюційна зміна вимог до її можливостей. Така зміна найчастіше має характер позитивних змін та змін, які потребують розширення її функціональних параметрів та інших допоміжних параметрів, основним з яких є параметр надійності системи.

Оскільки в моделі ML, по визначенню, можна виділити окремі базові компоненти, до яких відносяться: опис текучого стану активності системи, що представляє собою систему логічних виразів та системи виводу, як засіб формування опису текучого стану системи, то виникає можливість виникнення в процесі функціонування ML, в цілому негативних проявів, що обумовлені відмінностями в їх інтерпретації. Прикладом таких неузгодженостей може служити відсутність в  $\Xi$  всіх можливих особливостей фізичної реалізації GTS, які описуються у додаткових умовах, що розширюють правила виводу. Це може приводити до випадків, коли окремих фрагмент траєкторії, що формується системою виводу  $\Xi$ , виявиться не адекватним фізичним можливостям системи і т.д.

До об'єктивних негативних факторів можна віднести в першу чергу, сукупність небезпек, які можуть активізувати негативний вплив різних чинників на систему GTS. Такими чинниками можуть бути окремі користувачі, які без відповідних повноважень взаємодіють з системою, що реалізуються зовнішніми інформаційними системами і діють через систему управління, якщо у останньої є безпосередній або опосередкований зв'язок із зовнішніми мережами. До зовнішніх негативних факторів відносяться різноманітні фізичні процеси, що можуть здійснювати різного характеру вплив на систему. Прикладом таких факторів можуть служити природні явища від яких не передбачалося захищати систему безпосередньо. Важливими зовнішніми факторами, що негативно діють на систему є фізичні процеси, що відбуваються в системі, і в першу чергу, стосуються технічних елементів структури. Такими процесами є процеси старіння фізичних об'єктів, які приводять до спрощування відповідного ресурсу, що в свою чергу, приводить до виникнення несправностей та відхилень процесів функціонування системи від її базових режимів. Природні процеси зміни фізичних властивостей технічних об'єктів є ключовими чинниками, які досліджуються в області технічної діагностики [1], і оцінюються в класичних моделях надійності технічних систем [2].

Останнім часом, з ростом складності технічних об'єктів, із збільшенням їх значимості для середовища, в якому вони функціонують, та із збільшенням терміну їх функціонування, актуальною стає проблема виявлення та дослідження передбачуваних негативних ситуацій, які можуть приводити до аварій у відповідних системах. Відповідні несправності або ініційовані останніми аварійні ситуації прийнято називати непроектними аварійними ситуаціями. Термін «непроектні» свідчить про те, що відповідні негативні фактори не могли бути передбачені на етапах проектування та на етапах

дослідної експлуатації в систему цілого ряду об'єктивних причин.

Прогресуючі негативні фактори обумовлюються наступними причинами. При проектуванні та виробництві технічного об'єкту, якщо мова йде про технічно складний та енергоємний об'єкт, завжди має місце ситуація, коли в процесі будівництва такого об'єкту залишаються в останньому, певні недоліки, що обумовлюються рівнем технологічних можливостей, рівнем наукових даних про той або інший аспект, що використовується при будівництві відповідної технічної системи та іншими факторами, походження яких або природа яких може мати різноманітний характер. Для протидії таким факторам, в процесі проектування опрацьовуються методики проведення технологічного обслуговування відповідні фактори збільшують свій негативний вплив на технічну систему і така дія може виявитися в процесі функціонування системи.

Всі приведені фактори, в кінцевому випадку проявляються в системі GTS в процесі її функціонування. Тому, задачею діагностичної моделі (MD) є виявлення зароджуваних несправностей та виявлення можливого способу їх розвитку. Для цього MD оперує з діагностичними параметрами, значення яких MD обраховує по даних, що подаються в систему з датчиків, якщо мова йде про діагностику фізичних об'єктів та на основі аналізу параметрів, що приходять по каналах обернених зв'язків в систему управління, сигналів та команд, що формуються в рамках системи управління (SU). Оскільки, дані про технічний стан фізичної частини GST безпосередньо зв'язані з технічною частиною системи і їх інтерпретація безпосередньо залежить від способу реалізації відповідних вузлів, то ці аспекти в даній роботі детально розглядатися не будуть.

В рамках даної роботи більш детально зупинимося на аналізі параметрів, що характеризують стан та процес функціонування системи, з ціллю виявлення відхилень, що можуть обумовлюватися приведеними вище факторами. В рамках моделі надійності (MN) розглянемо способи ідентифікації текучого стану системи, при виявленні відхилень в параметрах системи та розглянемо способи оцінки рівня надійності, якому на текучий момент аналізу буде відповідати система GTS. Система управління оперує дискретними величинами, а опис текучого стану системи представляється у вигляді логічних виразів. Особливістю використання MD в рамках MN являється наступне. В класичних випадках діагностична модель аналізує зміни значень діагностичних параметрів і на основі аналізу цих параметрів діагностична модель формує опис можливої несправності [3]. Такий опис представляє собою в певному наближенні модель несправності, що відображає динаміку її розвитку. Завдяки цьому, в рамках MD може розв'язуватися задача прогнозування стану несправності та можливий її вплив на систему, в рамках якої така несправність виявлена. Остання задача, переважно в рамках класичних підходів в діагностиці, не розв'язується. На відміну від класичних підходів, в даній роботі MD не проводить аналіз діагностичних параметрів як таких, що можуть нести інформацію про

виникнення несправності, а аналізує текучий стан системи, яка описується активними на момент  $t_i$  траекторіями, і на основі такого аналізу виявляє можливі відхилення текучого стану системи від стану, який у відповідності з критеріями представлення системи, приймається в якості стану, що відповідає штатному режиму. До загальних критеріїв, що мають безпосередню інтерпретацію в предметній області та відображають певні інтегральні характеристики системи можна віднести наступні:

- затримка часу доставки об'єкту транспортування  $t_i$ ;
- густина траекторій в різних фрагментах системи транспортування  $H$ ;
- середня кількість переорієнтацій  $\gamma$  на середню довжину узагальненої траекторії;
- середня кількість відмов в транспортуванні за встановлений період часу активізації транспортної системи  $\Lambda$ , що характеризує міру критичності негативних змін, які накопичилися в системі GTS;
- роз синхронізація переміщення транспортних засобів  $U_i$  при виконанні задач транспортування об'єктів в GTS( $C_i$ ).

Для аналізу загального стану GTS, MD використовує відображення активності системи, що описується логічними співвідношеннями, які відображають активовані траекторії. Для зручності, зв'язки між окремими фрагментами, які проїжджають транспортні засоби  $U_i$  будемо позначати імплікативними стрілками, оскільки на змістовному рівні вони в більшій мірі відповідають випадку, коли відображається або описується та чи інша послідовність переміщення. Прикладом такої системи співвідношень може сприяти наступна система:

$$\begin{aligned}
 D_1(t_1y_1) &= [x_{11} \rightarrow t_{12}x_{12} \rightarrow k_{11} \rightarrow x_{13} \rightarrow t_{12}x_{15} \rightarrow x_{16}] \\
 D_2(t_2y_2) &= [x_{21} \rightarrow t_{21}x_{22} \rightarrow x_{23} \rightarrow t_{22}x_{24} \rightarrow z_2^0, \rightarrow t_{23}x_{25}] \\
 D_n(t_ny_n) &= [x_{n1} \rightarrow x_{n2} \rightarrow t_{n1}x_{n3} \rightarrow z_n^k, \rightarrow x_{n4} \rightarrow z_{n2}^0, \rightarrow t_{n2}x_{n2}]
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

В приведених співвідношеннях виходячи з їх інтерпретації, витікає, що засоби переорієнтації руху  $Z_i$  чи  $Z_j$  не можуть використовуватися підряд, оскільки між двома засобами  $Z_i$  та  $Z_j$  повинен бути як мінімум хоча б один фрагмент направляючих. Початкова і кінцева направляюча повинні завершуватися місцем, на якому знаходиться кінцева і початкова точки траекторії, відповідно. Крім текучого стану активності системи, MD використовує опис структури системи, який також представляється у вигляді логічних співвідношень. Прикладом фрагменту такого опису може служити система у вигляді:

$$\begin{aligned}
 x_1(a_1) &= x_{11} \rightarrow x_{12} \rightarrow x_{13} \rightarrow z_{1,2} \rightarrow \dots \rightarrow x_{(m-1)} \rightarrow x_1(b_1) \\
 x_2(a_2) &= x_{21} \rightarrow x_{22} \rightarrow z_{2,1} \rightarrow x_{23} \rightarrow \dots \rightarrow z_{2,k} \rightarrow x_2(b_2) \\
 x_n(a_n) &= x_{n1} \rightarrow x_{n2} \rightarrow x_{n3} \rightarrow z_{n,2} \rightarrow x_{n4} \rightarrow \dots \rightarrow x_{n1(m-1)} \rightarrow x_n(b_n)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Приведений опис відрізняється від опису активного стану наступним:

- опис структури не вміщає часових міток;

- компоненти переорієнтації не вмщають індексів зміни напрямку руху;
- описи структури відображають можливість поєднання вхідних точок  $a_i$  або точок початку руху з точками цілі переміщення  $b_i$ .

В більшості випадків структури GTS використовується одна або декілька точок, а кількість вихідних точок або цілей відповідає кількості окремих одиниць розміщення об'єктів. Якщо відповідну сукупність вихідних точок інтерпретувати як ємність сховища, то зрозуміло, що  $b_i \gg a_i$ . Для спрощення досліджень, приймемо, що вхідна точка одна та рівна  $a$ , а кількість  $b_i$  відповідає кількості складських місць. В цьому випадку можна стверджувати, що в довільній GTS існує найбільш коротка віддаль для кожної пари  $(a, b_i)$ . Таку віддаль будемо називати прямим сполученням  $a$  з  $b_i$ .

Для обчислення критеріїв, MD буде реалізовувати наступні перетворення над цими описами. Перш за все реалізуємо часові перетини в співвідношеннях опису активності системи, яку будемо позначати символами  $S^a(X_{ij})$ . Це означає, що перетин пройшов по всіх траєкторіях по одному елементу або фрагменту направляючих  $X_j$ . Очевидно, що такий перетин стосується тільки тих траєкторій  $d_i(t_i, y_i)$ , які вмщають фрагмент  $X_{ij}$ . Такий перетин можна представити наступним співвідношенням на активній системі:

$$S^a_i(X_j) = \{x_{1j} \rightarrow x_{2j} \rightarrow x_{5j} \rightarrow \dots \rightarrow x_{kj} \rightarrow x_{(k+m)j} \rightarrow x_{nj}\}.$$

Відповідні перетини будемо формувати по всіх фрагментах, що використовуються на активних, на вибраному відрізку часу, траєкторіях  $d_i(t_i, y_i)$ . Якщо довжина окремого  $S^a_i(x_j) = e_i$ , то середню довжину всіх перетинів можна інтерпретувати як середню густину розподілу зайнятості комунікаційних фрагментів. Цей параметр можна обчислити виходячи із співвідношення, де довжина перетину активності по одному фрагменту  $X_j$ . В залежності від розміщення фрагменту в структурі системи, по якому реалізується перетин, можна отримати густину траєкторій в окремих фрагментах структури GTS. Очевидно, що на деякому відрізку часу  $\Delta T$ , в різні моменти  $t_i$  цього відрізка  $H_i(T_i)$  буде мінятися. Таку зміну можна оцінити величиною дисперсії зміни густини траєкторій у відповідності з класичними формулами для її обчислення [4].

Величина очікування обслуговування в системі GTS може обчислюватися як і інтегральний параметр на основі наступних побудов. В MD реалізується перетин часовий, який здійснюється по однакових мітках часу. Однаковими мітками часу є такі мітки або такі змінні  $X_i$ , для яких інтервал часу, починаючи від моменту  $t_i$ , що задається в  $d_i(t_i, y_i)$  відповідає одній і тій же величині для всіх траєкторій початкові моменти ініціації траєкторії  $i$  та  $i+1$ ,  $t_k$  – інтервал часу між тими моментами,  $X_{i+1}$  – фрагмент траєкторії  $d_{i+1}(t_{i+1}, Y_i)$ , який одержав пріоритет перед  $X_i$ , якщо ці фрагменти траєкторії співпадають з одним фрагментом структури,  $T_i$  – текучий фрагмент часового перерізу між двома послідовними траєкторіями  $d_i(t_i, y_i)$  та

$d_{i+1}(t_{i+1}, Y_k)$ . Затримка на цьому інтервалі часового перерізу, який будемо позначати символом  $S_i^a(t_i)$  величина затримки для  $y_i$  на фрагменті  $X_i$ , яка рівна одиниці часового виміру, яка встановлена для конкретної системи GTS. Якщо б мала місце ситуація, що  $X_i$  має часову мітку  $t_i$  та  $t_i > t_{j+1}$  для  $X_{i+1}$  з траєкторії  $d_{i+1}$ , то  $\Delta T_i(X_1)$  був би рівний величині  $t_i$ , оскільки це означало б, що  $y_j$  і  $Y_k$  у відповідності траєкторії  $d_i(t_i, y_i)$  та  $d_{i+1}(t_{i+1}, Y_k)$ , починаючи з фрагменту  $X_i$  повинні рухатися по однакових протягом часу, о відповідає у часових вимірах системи  $(t_{i+1} - t_i)$ .

Переходячи до чергової траєкторії  $d_{i+2}(t_{i+2}, Y_{k+1})$  в MD виконується аналогічна побудова наступного відрізка часового перетину. Загальна затримка для транспортної компоненти  $Y_i$  визначається по сукупності всіх затримок, які визначені для  $Y_i$  на всіх, що стосуються траєкторії, яка визначена для  $Y_j$ .

В рамках всієї системи GTS, у відповідності з приведеного вище методикою, визначаються затримки для всіх  $Y_i$  з GTS на інтервалі часу. Очевидно, що такий інтервал часу повинен бути не меншим ніж задана величина одиниць часу, яку будемо позначати символом  $b_i$  або  $T_i = b_i$ . Величина  $b_i$  буде одиницею дискретності, для вимірювання затримок в активній системі GTS. Таким чином, в рамках системи у нас будуть наступні масштаби часу функціонування GTS, які визначаються наступним чином:

- масштаб часу, одиниці якого визначаються часом, що необхідний для проїзду транспортним засобом фрагменту  $X_i$ , який є найменшим і який вибирається як одиниця вимірювання розмірів фрагментів, які можуть мати більшу довжину;
- масштаб часу, одиниця якого вимірюється інтервалом  $T = b_i$ , протягом якого вимірюється величини затримок для всіх транспортних компонент в системі, що є активізованими на інтервалі часу  $b_i$ ;
- масштаб часу, який визначається одиницею вимірювання, протягом якої визначається міра або величина надійності системи GTS.

Перший тип масштабу часу визначається швидкістю руху транспортних засобів в рамках структури GTS, яка приймається однаковою для всіх  $Y_i$  з системи. Ця одиниця часу може встановлюватися різною по відношенню до масштабу часу зовнішнього оточення, шляхом установки тої чи іншої швидкості руху.

Масштаб часу, одиниця якого вимірюється інтервалом  $b_i$  мусить бути більша від попередньої одиниці часу  $t_i$  тому, що в рамках  $b_i$  вимірюється величина затримки, яка при її природній інтерпретації визначається різницею часу між окремими інтервалами, що вимірюється в масштабі  $t_i$ . Очевидно, що чим більша різниця між  $t_i$  та  $b_i$ , при цьому, повинна виконуватися нерівність  $b_i > t_i$ , та точніше може визначати та діапазон величин при збільшенні цієї нерівності росте, що в певних умовах функціонування системи GTS може бути необхідним. При встановленні  $b_i$ , необхідно дотримуватися співвідношення, яке визначається середніми розмірами окремих фрагментів  $X_{ij}$  системи GTS. Величини затримок протягом функціонування системи GTS

можуть змінюватися з часовою дискретністю, що визначається величиною  $b_i$ . Тому існує можливість говорити про середню величину затримок виконання транспортних послуг за встановлений період часу функціонування системи GTS. Цей період часу відповідає третьому часовому масштабу, який є більшим від одиниці масштабу  $b_i$ . Ця різниця повинна також визначатися певним коефіцієнтом який формується на основі аналізу роботи всієї моделі MN.

Завдяки можливості вимірювання величин затримок на інтервалі  $b_i$ , для всіх активованих в  $b_i$  засобів  $U_i$ , можна визначити критерій середньої затримки транспортної послуги протягом інтервалу. В якості критерію середньої величини часової затримки обслуговування прийемо величину дисперсії такої затримки протягом, яку будемо визначати у відповідності із співвідношення, яке буде аналогічним співвідношенню (2), по якому оцінюється величина критерію густини тракторів в GTS.

Середня кількість переорієнтацій на узагальнену довжину траєкторій є важливим параметром надійності системи GTS в цілому в силу наступних причин. Перш ніж аналізувати причини важливості критерію, слід зауважити, що можна використовувати як параметр, що характеризує саму структуру системи GTS. З точки зору якісного аналізу можна стверджувати, що коли перевищує деяку порогову величину, то це означає, що оцінка структури системи зменшується. Очевидно, що тоді, коли структура системи не має засобів  $Z_i$ , що означає примітивність структури з точки зору можливості оптимізувати роботу системи не тільки з точки зору забезпечення мінімального часу виконання замовлення на транспортну послугу, а й з точки зору можливості управління інтенсивністю виконання великої кількості замовлень, що можуть поступати в довільні моменти часу.

Параметр, як один з критеріїв, який аналізується в рамках MD, обчислюється досить просто. Аналізується система GTS протягом деякого періоду, в даному випадку, в якості такого періоду виберемо  $\Delta T = b_i$ . Аналіз полягає в обчисленні в кожній активній траєкторії  $d_i(t, y_i)$  кількості елементів  $Z_i$ , що відображено в системі (1), яка дорівнює  $Z_i(d_i)$ . Визначається співвідношення між загальною кількістю  $X_i$  в  $d_i$  та  $Z_i(d_i)$ .

1. *Индуду К.А.* Надёжность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем. М.: Высшая школа, 1989.
2. *Труханов В.М.* Методы обеспечения надёжности изделий машиностроения. М.: Машиностроение, 1995.
3. Надёжность в машиностроении. Справочник. Под редакцией В.В. Шапкина, Г.П. Карзова, Спб Политехника, 1992.
4. Математическая статистика./под редакцией В.С. Зарубина, А.П. Крищенко, М.:МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001.

*Поступила 18.01.2010р.*