

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

Визначено поняття технічної готовності складних технічних систем. Розглянута загальна формалізована постановка задачі оцінки технічного стану в процесі керування технічною готовністю, що дає можливість ефективного використання ресурсно-діагностичної моделі технічного стану об'єктів та їх елементів та підсистем. Запропонована комп'ютерно-орієнтована методика надає можливість проводити більш достовірну оцінку про виконання об'єктом призначених йому функцій і більш ефективно керувати процесом підтримки необхідної технічної готовності об'єкту та його підсистем.

© І.В. Машкіна,
О.О. Тимашов, 2003

УДК 681.3.06

І.В. МАШКІНА, О.О. ТИМАШОВ

КОМП'ЮТЕРНО – ОРІЄНТОВАНІ МЕТОДИКИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДТРИМКИ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Високий рівень концентрації промислових підприємств в Україні перебуває в суперечності з невисокою технологічною дисципліною виробництва, що створює об'єктивні передумови зростання техногенних і техногенно-екологічних аварій, катастроф та інших надзвичайних ситуацій. Якщо врахувати, що на підприємствах країни склад промислового обладнання власне все, що ми будемо називати складними технічними системами (СТС), потребує заміни в наслідок зносу та процесів старіння, стають зрозумілими втрати у промисловості за останні роки, особливо в галузі атомної енергетики, авіації, морського флоту, хімічної індустрії, вугільної промисловості та в системах транспортування нафти та газу.

Актуальність проблеми життєздатності СТС в межах її життєвого циклу визначається величезними фінансовими втратами в наслідок невірних, запізнених або неоптимальних дій в галузі експлуатації та технічного обслуговування обладнання.

Теоретичним та практичним аспектом удосконалювання управління експлуатацією та ремонтом обладнання промислових підприємств приділяється велика увага у різних галузях діяльності людства [1,2]. Разом з тим слід відмітити, що при розв'язанні задач підвищення ефективності функціонування СТС недостатній рівень формалізованого представлення залежностей ремонтоздатності технічного стану (ТС), взаємозв'язку

ресурсів СТС. Розв'язання розглянутої комплексної проблеми потребує розробки методологічних основ та систем і методів, які засновані на базі математичних моделей оцінки технічного стану та технічної готовності (ТГ) СТС. У даній роботі представлена методика організації підтримки технічної готовності складних технічних систем з застосуванням сучасних комп'ютерних засобів. Підтримування встановленого рівня ТГ складних технічних систем – найважливіший момент у безаварійній та ефективній експлуатації обладнання, воно пов'язано з витратами технічних ресурсів СТС і необхідністю їх поновлення. Часткове поновлення рівня ТГ здійснюється в результаті проведення технічного обслуговування (ТО), яке проводиться за допомогою експлуатаційників та ремонтного персоналу СТС. Повні витрати ресурсу об'єкта призводять до необхідності його відновлення шляхом проведення ремонту з виводом його з експлуатації.

Динамічна рівновага між процесами відновлення ТГ при технічному обслуговуванні, ремонті та процесом його зниження в умовах експлуатації відповідає рівню ТГ СТС. В умовах сучасного розвитку та удосконалювання складних технічних об'єктів суттєво урізноманітнилися способи їх технічного обслуговування та ремонту (ТОР). Система ТОР представляє собою складний комплекс, функціонування якого об'єктивно пов'язано з розв'язанням великорозмірних та важкоформалізованих задач обліку та контролю, планування і оперативного керування, координації розвитку і функціонування багаточислених ланок системи ТОР будь-якої галузі промисловості. Для підтримки технічного стану технічних складових об'єкта (ТСО) на рівні, який забезпечує ефективне виконання кола задач та організації робіт по попередженню аварійності, необхідно знання фактичного рівня ТГ–важливішого фактору, від якого залежить ефективне керування процесом підтримки необхідної ТГ об'єктів.

Керування підтримки необхідного рівня ТГ представляє собою сукупність організаційних і технічних заходів, спрямованих на отримання своєчасної, повної і цілком певної інформації з метою організації робіт по підтримці технічних складових об'єкта в належному степені готовності. Тому перш за все необхідно визначити поняття готовності технічних засобів або технічної готовності. Визначимо умови, в яких складна технічна система має необхідну готовність (мова також може йти про підсистеми, обладнання та окремі пристрої).

Нехай на відрізку $(0, T]$ виділені момент t_p та заданий відповідний режим передбаченого використання $p \in P$, де P –множина можливих режимів функціонування системи. Вважаємо, що система має потрібний рівень готовності, якщо у момент t_p режим p виконується без обмеження. У протилежному випадку рівень готовності вважається нульовим. Множина режимів складає структуру, тобто:

$$P = \bigcup_i P_i, \quad \bigcap_i P_i = \emptyset, \quad (1)$$

де P_i –підмножина режимів, які відносяться до i -ї стадії життєвого циклу системи (ЖЦС).

На відрізку $(0, T]$ можна задати значення $\Theta_p < t_p$, у якому визначається рівень ТГ з тим, щоб в момент часу t_p виконувати передбачений режим ρ по відновленню ТГ. Можливість виконувати режим ρ визначається станом системи $S_r(t_p)$, а це означає, що $\rho = \rho(S_r(t_p))$, де ρ – відносна готовність системи. Якщо задані Θ_p , t_p і $\rho(S_r(\Theta_p)) > \rho(S_r(t_p))$, а також задані ресурси (стан ресурсів, які використовуються при керуванні готовністю) $V(\Theta_p)$, тоді виникають дві задачі.

1. Перевести систему з $S_r(\Theta_p)$ у $S_r(t_p)$ за час $|\Theta_p - t_p|$, якщо необхідні для цього ресурси $V(S_r(\Theta_p); S_r(t_p); |\Theta_p - t_p|) \leq V(\Theta_p)$. При цьому ресурси повинні бути використані оптимальним чином, а поняття оптимальності визначається заздалегідь.

2. Нехай $V(S_r(\Theta_p); S_r(t_p); |\Theta_p - t_p|) > V(\Theta_p)$. Тоді необхідно обрати режим, який належить до цієї ж стадії ЖЦС, найбільш близький до режиму, що вимагається.

Незалежно від типу задачі в її розв'язку присутня умова наявності інформації про $S_r(t)$, $t \in (0, T]$. Крім того, необхідно мати прогноз розвитку $S_r(t)$, $\Theta = t < T$, для того, щоб передбачити визначену реакцію на конкретний альтернативний варіант розвитку стану, та необхідну інформацію про $V(t)$, прогноз витрат ресурсів для кожного варіанту розвитку $S_r(t)$, оскільки у будь-який момент можуть виконуватися або буде необхідне виконання визначених об'ємів робіт по підтримці готовності.

Таким чином, готовність можна означити як стан, з якого система може з заданою ймовірністю перейти до будь-якого режиму, який належить виділеній підмножині режимів при наявності визначеної кількості ресурсів.

Приймаючи таке означення, можна виділити перелік проблем, які пов'язані з підтримкою готовності:

- означення достовірності ідентифікації стану $S_r(t)$;
- означення дійсного стану (ресурсу) $V(t)$;
- означення досяжності $S_r(t_p)$ з $S_r(\Theta_p)$;
- розрахунок необхідних для цього ресурсів $V(S_r(\Theta_p); S_r(t_p); |\Theta_p - t_p|)$;
- конструювання гіпотез про шляхи розвитку $S_r(t)$, $\Theta = t < T$;
- розробка рішень про розподіл та призначення ресурсів;
- розробка технологічного процесу реалізації розв'язків та використання ресурсів;
- керування процесом переводу з $S_r(\Theta_p)$ у $S_r(t_p)$;
- інформування керівництва про $S_r(t)$.

Готовність, таким чином, є функція часу, стану ЖЦС та ресурсів.

Для кожного режиму функціонування системи характерно притягнення конкретної множини технічних засобів, які при їх використанні забезпечують або вхід у новий (наступний) режим, або знаходження у поточному (заданому) режимі. Така множина технічних засобів складає цілісну структуру засобів з механічними, енергетичними та інформаційними зв'язками. Тоді, готовність визначається знаннями про структури технічних засобів, їх характеристики тощо, інакше кажучи, знання про моделі технічних засобів системи та про значення всіх атрибутів. Ці знання можуть бути зафіксовані у кваліфікації персоналу або бази

знань інформаційного забезпечення систем підтримки й прийняття рішень. Технічна готовність системи визначає можливість досягнення мети, для якої створювалась система, тобто для досягнення визначеного ефекту. Пониження рівня готовності знижує ефективність системи або призводить, у деяких випадках, до втрат, які перевищують не тільки вартість засобів підтримки готовності або самої системи, але й вартості об'єкта, на якому така система встановлюється.

Рівень ТГ можна характеризувати залишковим призначенням ресурсом технічних складових об'єкта, які представляють собою установки, агрегати, механізми та інше обладнання, що забезпечує працездатність ТС у відповідності з призначенням. Важливою умовою достовірності оцінки ТГ є виявлення закономірностей інтенсивності витрат ресурсу від умов і режимів експлуатації шляхом спеціальної організації ресурсних випробувань, цілеспрямованого збору і обробки дослідних даних про результати діагностичних операцій ТОР.

В цьому випадку загальну формалізовану постановку задачі оцінки та прогнозування ТГ можна здійснити на основі ресурсно-діагностичної моделі технічного стану (РДМ ТС) наступним чином. Нехай існує функція зміни ТС об'єкта неперервного або дискретного параметра t , яка характеризується набором, або вектором ознак w , які належать деякому діагностичному простору ознак W . Припустимо, що існує деяке розв'язуюче правило екстраполяції результатів виміру w_1, \dots, w_k в моменти t_1, \dots, t_k , які утворюють множини $T_k = \{t_1, \dots, t_k\}$, $W(T_k) = \{w_1, \dots, w_k\}$. Позначимо $w(t/T_k)$ процес, який можна спрогнозувати на відрізку (t_k, t_{k+1}) , отриманий за допомогою правила екстраполяції. Тоді при умові існування області Ω_w у просторі W , яка відповідає роботоздатним станам об'єкта, для всіх $t \in (t_k, t_{k+1})$, при яких $w(t/T_k) \in \Omega_w$, ТС буде також відповідати роботоздатності об'єкта. Для оцінки впливу умов експлуатації позначимо вектор зовнішніх впливів $g(t)$, а вектор параметрів об'єкта позначимо a . Домовимось також, що при оцінці вектора ознак W стає відомим вектор помилок вимірів $n(t)$. Крім того, нехай існує вектор параметрів системи вимірів W та об'єкту b , який забезпечує формування деякого вектора ТС об'єкту $u(t)$ за допомогою функції $w=G(u, n, b)$. Тоді зміни ТГ будуть характеризуватися диференціальним рівнянням: $du/dt = f(u, g, a)$, яке розглядається у просторі $TC-U$. Внаслідок цього існує область допустимих станів у просторі U , яка відповідає Ω_w .

Таким чином можна знайти і $U(T_k)$, яке відповідає $w(T_k)$, та провести екстраполяцію процесу $u(t)$ на відрізку $(t_k, t_{k+1}]$. Аналогічно можна стверджувати, що ТС на відрізку $(t_k, t_{k+1}]$ не досягне граничного стану (ГС), якщо $u(t) \in \Omega_w$ при всіх $t \in (t_k, t_{k+1}]$. Апостеріорна імовірність досягнення об'єктом ГС буде дорівнювати $P(t/T_k) = P\{u(\tau) \in \Omega_w; \tau \in (t_k, t]/w(T_k)\}$. Оскільки задача розглядається стосовно до прогнозування працездатного ТС, межа Ω_w повинна відповідати граничним станам. Апостеріорна функція розподілу імовірності досягнення ГС, яка відповідає фіксованим значенням процесу $U(T_k)$ на множині T_k , буде дорівнювати $P[t/u(T_k)] = P\{u(\tau) \in \Omega_w; \tau \in (t_k, t]/u(T_k)\}$. Значить можна записати:

$$P(t/T_k) = \int_{\Omega_{\omega}^k} P[t/u(T_k)]P[u(T_k)/w(T_k)]du(T_k), \quad (2)$$

де k - число моментів часу t_1, \dots, t_k , в яких відбувалися вимірювання процесу $w(t)$.

При значенні допустимої імовірності досягнення об'єктом ГС - $P_{\text{дод}}$ індивідуальний або залишковий ресурс $t_{\text{зал}}$ буде визначатися нерівністю $P(t_k+t_{\text{зал}}/T) \geq P_{\text{дод}}$. Гранично допустимий фактично залишковий ресурс можна знайти з рівності $P(t_k+t_{\text{зал}}/T) = P_{\text{дод}}$. Інформація, яка необхідна для оцінки ТГ знаходиться, головним чином, у результатах спостережень $w(T_k)$, за значеннями яких визначаються оцінки вектора стану $\bar{u}(T_k) = (\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_k)$, параметрів об'єкта \bar{a} та системи вимірів \bar{b} . В цьому випадку ідентифікація ТС здійснюється за допомогою співвідношення $P(t/T_k) = P[t/\bar{u}(T_k)]$. Така оцінка є більш грубою в порівнянні з оцінкою, в якій використовується функція розподілу імовірностей. Функція розподілу залишкового ресурсу як показника ТС та ТГ буде мати вигляд: $F_{\text{зал}}(t_{\text{зал}}/T_k) = 1 - P(t_k+t_{\text{зал}}/T_k)$

Розглянуті поняття та показники відображають конструктивно-технологічні особливості системи та їх елементів як ресурсоносіїв і залежать від пристосованості системи ТОР до виконання поновлювальних операцій.

Аналізуючи процес експлуатації та ремонту технічних складових об'єкта можна виділити поняття поточної ТГ (ПТГ) та узагальненої ТГ (УТГ).

Поточна ТГ розглядається в межах одного експлуатаційно-ремонтного циклу (ЕРЦ) СТС-періоду, що повторюється, на протязі якого здійснюється у визначеній послідовності видів технічного обслуговування (ТО) та ремонту. Для проведення ремонту СТС періодично виводяться з експлуатації.

Узагальнена ТГ оцінюється стосовно до періоду експлуатації та ремонту, (період може включати в себе декілька ЕРЦ).

Взаємозв'язок понять ПТГ та УТГ полягає у наступному. У відповідності з структурою ЕРЦ технічних складових об'єкта у зазначені моменти часу проводиться заміна або ремонт його окремих вузлів та деталей. Таким чином, на кожному з цих інтервалів буде стрибкоподібно зростати ПТГ у результаті відновлення ресурсів окремих елементів, але не до першопочаткового значення G_0 , а до деякого значення G_b , так як частина вузлів та деталей ТСО залишилася з неповними ресурсами працездатності. Не порушивши загальності розсудів, припустимо, що зменшення ПТГ у межах кожного стану експлуатації відбувається за експоненціальним законом з параметром β , тобто $G = G_0 e^{-\beta t}$, а відновлення відбувається до величини G_{wt} , яка характеризується ступенем відновлення $k_b = G_{wt}/G_0$; $0 < k_b < 1$.

Величина поновлення ПТГ ΔG на кожному відрізку буде дорівнювати $\Delta G = G_0(k_b - e^{-\beta t})$. Відповідно, загальний опис процесу спадання та відновлення ПТГ можна представити у вигляді

$$G_i = G_{i-1} e^{-\beta t_i}; \Delta G_i = G_{i-1}(k_b - e^{-\beta t_i}). \quad (3)$$

Поточна технічна готовність після i -го відновлення буде характеризуватися $G_{wti}=G_{i-1}k_{bi}$. В цілому СТЗ як елемент системи буде функціонувати до досягнення ГС, при якому $G_{wt}=G_{np}$. Узагальнений процес втрати першопочаткового рівня ТГ можна характеризувати пилоподібною залежністю $A=F(\beta_i, \Delta G_i)$.

Математичне сподівання часу перетину процесу A із G_{np} буде представляти собою функцію:

$$\bar{T} = \Phi(G_0, G_{np}, A, k_{e1} \dots k_{en}). \quad (4)$$

Нехай загальне зниження УТГ описується також експонентою. Тоді можна записати:

$$G_{np} = G_0 e^{-\theta_n \bar{T}_{mp}}. \quad (5)$$

Так як $G_{np}/G_0 = e^{-\theta_n \bar{T}_{mp}}$, то після логарифмування отримуємо :

$$\ln(G_{np}/G_0) = -\theta_n \bar{T}_{mp}$$

Тому з (5) випливає, що

$$\bar{T}_{mp} = (\ln(G_0 / G_{np})) / \theta_n. \quad (6)$$

Оскільки розглянутий процес являється багатофакторним, то як показано в (4), можна вважати, що \bar{T}_{mp} розподіляється за нормальним законом. Враховуючи, що процес втрати першопочаткового рівня ТГ описується експоненціальними залежностями, а залежність рівня ТГ системи з урахуванням запланованих робіт по відновленню ТГ має вигляд пилоподібною функції, то при таких припущеннях справедливі наступні співвідношення:

$$G(t)=G_0 e^{-\beta t}, G_i(t) = G_{i-1} e^{-\alpha_i(t-t_{i-1})}, G_{i-1}=G(t_{i-1}), t_{i-1} \leq t \leq t_i, \quad (7)$$

$$\int_0^{\bar{T}_{mp}} G(t) dt = \int_0^{t_1} G_1(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} G_2(t) dt + \dots + \int_{t_{n-1}}^{t_n} G_n(t) dt, \quad (8)$$

$$\int_0^{\bar{T}_{mp}} G_0 e^{-\beta t} dt = \int_0^{t_1} G_0 e^{-\alpha_1 t} dt + \int_{t_1}^{t_2} G_1 e^{-\alpha_2(t-t_1)} dt + \dots + \int_{t_{n-1}}^{t_n} G_{n-1} e^{-\alpha_n(t-t_{n-1})} dt, \quad (9)$$

$$\frac{G_0}{\beta} (1 - e^{-\beta \bar{T}_{mp}}) = \frac{G_0}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1 t_1}) + \dots + \frac{G_{n-1}}{\alpha_n} (1 - e^{-\alpha_n t_n}), \quad (10)$$

$$\frac{1}{\beta} (1 - e^{-\beta \bar{T}_{mp}}) = \frac{1}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1 t_1}) + \frac{K_{b2}}{\alpha_2} (1 - e^{-\alpha_2 t_2}) + \dots + \frac{K_{bn}}{\alpha_n} (1 - e^{-\alpha_n t_n}), \quad (11)$$

$$P(\overline{T_{mp}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi K_t \overline{T_{mp}}}} e^{-\frac{T - \overline{T_{mp}}}{2K_t^2 \overline{T_{mp}}^2}} \quad (12)$$

Можна встановити, що для кожного об'єкта існує міжремонтний ресурс, нароботка якого потребує ремонту для всіх його елементів. Тому, УТГ буде характеризуватися періодом використання, накопиченими витратами на відновлення ПТГ, прогнозованими витратами на залишковий міжремонтний ресурс $\overline{T_{mp}}$ або їх співвідношеннями. Таким чином розглянута загальна формалізована постановка задачі оцінки допустимого рівня технічного стану в процесі управління технічною готовністю обумовлює можливість ефективного використання ресурсно-діагностичної моделі технічного стану об'єктів та їх елементів і підсистем при наявності кількісної оцінки впливу умов та режимів експлуатації на інтенсивність витрат назначеного ресурсу і оцінки фактичних залишкових ресурсів. Використання таких формалізованих методик та моделей опису технічного стану об'єктів у створенні спеціальних комп'ютерно-орієнтованих програмових засобів дають можливість розробникам та експлуатаційному персоналу проводити більш достовірну оцінку про виконання об'єктом призначених йому функцій і більш ефективно керувати процесом підтримки необхідної технічної готовності об'єкта та його підсистем.

Наступним кроком розгляду цієї проблеми є виділення та обґрунтування критеріїв технічної готовності складних технічних систем на різних етапах її експлуатації.

1. *Абрамов О.В.* Обеспечение безотказности систем ответственного назначения // Информационные технологии в проектировании и производстве, 2000 – №4 – С. 14 –16.
2. *Богатырев В.А.* К оценке надежности систем из многофункциональных модулей // Автоматизация и современные технологии, 2001. –№6 – С – 12 – 15.
3. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.:Наука, 1984 – 832 с.

Одержано 12.03 2003