

УДК 629.7.083

С.В. Пащенко<sup>1</sup>, О.А. Бельська<sup>2</sup>, В.В. Юхачов<sup>3</sup><sup>1</sup> Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ<sup>2</sup> Національний авіаційний університет, Київ<sup>3</sup> ДП МО України „Одеське авіаційно-ремонтне підприємство Одесавіаремсервіс”, Одеса

## ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА СТАНОМ СИЛОВИХ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

У статті запропоновано підхід, на основі якого може бути створено інтегральну інформаційно-обчислювальну систему обробки параметрів автоматизованої системи керування технічним станом силової газотурбінної установки.

**Ключові слова:** технічна експлуатація, лінійна динамічна модель, стратегія технічного обслуговування.

### Вступ

Газотурбінні двигуни (ГТД), починаючи з середини минулого сторіччя, знайшли широке застосування в авіації (турбореактивні, двоконтурні і турбовентиляторні реактивні двигуни; турбогвинтові, турбовальні двигуни та підйомні двигуни літаків вертикального зльоту і посадки). В процесі життєвого циклу зазначених динамічних об'єктів традиційно застосовується метод технічної експлуатації за ресурсом зі стратегією технічного обслуговування за наробітком. У більшості випадків ГТД є високотехнологічними, а тому і високо кошторисними об'єктами, експлуатація яких з використанням стратегії технічного обслуговування за наробітком є економічно недоцільною, внаслідок суттєвого недовикористання їх фактичного ресурсу.

Ефективність обраної стратегії технічного обслуговування визначається повнотою інформації про поточний технічний стан об'єкта в процесі експлуатації. Реальний поточний стан динамічного об'єкта, визначений методами і засобами технічної діагностики, має обумовлювати перелік і обсяги профілактичних та відновлювальних робіт кожного конкретного об'єкта технічного обслуговування. Існуючі стратегії і програми технічного обслуговування за технічним станом динамічних об'єктів можна умовно розділити на три групи: з контролем рівня надійності об'єкту експлуатації; з контролем параметрів об'єкту експлуатації; гібридні. Силкові газотурбінні установки (ГТУ), як правило, є об'єктами експлуатації з високою функціональною значимістю, що мають недостатній ступінь резервування, а також невисокий рівень експлуатаційної технологічності та контролепридатності. Тому для них доцільне застосування стратегії технічного обслуговування за станом з контролем параметрів, при якій передбачається безперервний, або періодичний контроль тих параметрів, що визначають фактичний поточний технічний стан кожного окремого об'єкта експлуатації.

Метою статті є визначення найбільш ефективних (з точки зору економічної доцільності) шляхів підтримання справності та надійної експлуатації силових ГТУ на основі розробки автоматизованої системи керування їх технічним станом.

### Основний розділ

Вибір вимірюваних параметрів, які підлягають контролю, як правило, неоднозначний, що обумовлено як специфічними особливостями динамічного об'єкта, так і різноманітним характером зв'язків несправностей з функціональними параметрами. Разом з тим, незважаючи на зазначену неоднозначність, вимоги, що повинні визначати вибір вимірюваних функціональних параметрів, носять загальний характер, згідно з яким ці параметри повинні мати прийнятні точність і стабільність показань у часі; мати найбільшу серед інших параметрів діагностичну цінність; ґрунтуватися на штатних вимірюваннях; забезпечувати простоту і зручність експлуатації вимірювальних засобів, що використовуються [1]. Для силових ГТУ за рівнем діагностичної цінності функціональні параметри умовно можуть бути розділені на дві групи. До першої групи з більшою питомою вагою відносяться: температура перед турбіною і за турбіною, тиск за компресором, частоти обертання, температура масла в системі змащування, вібрація валу. До другої групи вимірюваних параметрів з меншою питомою вагою можна віднести всі інші: температура на виході камери згоряння, тиск на виході турбіни, температура в порожнині колеса турбіни, температура на виході компресора, витрата палива тощо. Але, як свідчить досвід експлуатації ГТУ, сумарний вплив несправностей, що в них виникають, на вихідні функціональні параметри суттєво нижче рівня відхилень, які викликані зміною режиму роботи ГТУ та зміною зовнішніх умов експлуатації. Тому для зменшення впливу зміни режимів та випадкових змін зовнішніх умов функціонування ГТУ, зазвичай, використовуються комплексні діагностичні параметри, які, як правило, є приведеними до безрозмірної форми відхиленнями вихідних функціональних

параметрів від їх номінальних величин, що відповідають справному стану ГТУ.

Слід зазначити, що будь-який динамічний об'єкт технічного обслуговування, в першу чергу, є об'єктом автоматичного регулювання, що використовується за своїм функціональним призначенням і характеризується сукупністю вхідних (регулюючих) параметрів, що утворюють вектор  $\mathbf{u}(t) = (u_1(t), \dots, u_m(t))^T$ ; сукупністю вихідних (регульованих) параметрів, що утворюють вектор  $\mathbf{x}(t) = (x_1(t), \dots, x_r(t))^T$ ; а також сукупністю спостережуваних (вимірюваних) параметрів, що утворюють вектор  $\mathbf{y}(t) = (y_1(t), \dots, y_n(t))^T$ ,  $m \leq r < n$ . При цьому основна задача системи автоматичного регулювання – забезпечення номінальних (штатних) режимів функціонування об'єкта технічного обслуговування. При побудові систем автоматичного регулювання за принципом від'ємного зворотного зв'язку традиційно використовуються лінійні динамічні моделі об'єктів регулювання, що пояснюється малістю відхилень значень вихідних функціональних параметрів від їх номінальних значень, тобто використовується сукупність лінійних диференціальних та алгебраїчних рівнянь, які пов'язують між собою приведені до безрозмірної форми відхилення функціональних параметрів від їх номінальних значень. Таким чином, в якості параметрів, що характеризують поточний технічний стан об'єкта технічного обслуговування, доцільно розглядати параметри його лінійної динамічної моделі (коефіцієнти підсилення, сталі часу) [2, 3]. Ці параметри характеризують технічний стан справного об'єкта і, водночас, є нечутливими до випадкових змін зовнішніх умов та режимів функціонування. При побудові лінійної динамічної моделі варто керуватися наступним правилом: лінійна динамічна модель повинна зв'язувати функціональні параметри об'єкта технічного обслуговування, що мають найбільшу діагностичну цінність. У цьому випадку параметри лінійної динамічної моделі цілком характеризують поточний технічний стан динамічного об'єкта і їх зміна у часі характеризує процес "старіння" об'єкта технічного обслуговування.

В загальному випадку [4] рівняння лінійної динамічної моделі для силової ГТУ можуть бути записані у вигляді

$$\begin{cases} \mathbf{T} \frac{d\mathbf{x}}{dt} + \mathbf{x} = \mathbf{K}\mathbf{u}(t); & (1) \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{K}_1\mathbf{x}(t) + \mathbf{K}_2\mathbf{u}(t), & (2) \end{cases}$$

де  $\mathbf{T}$  – невироджена матриця узагальнених сталих часу, розміру  $r \times r$ , а матриці  $\mathbf{K}$ ,  $\mathbf{K}_1$ ,  $\mathbf{K}_2$  – матриці коефіцієнтів підсилення, розмірів  $r \times m$ ,  $n \times r$ ,  $n \times m$  відповідно. Рівняння (1) – це рівняння руху, а рівняння (2) – це рівняння спостереження.

Загальна кількість параметрів у цих матрицях

$N = (n + r)(m + r)$  суттєво перевищує кількість спостережуваних параметрів  $n$ . Серед параметрів лінійної динамічної моделі виділяються статистично незалежні (або слабо залежні) параметри, які називають визначальними, тобто множина параметрів лінійної динамічної моделі факторизується і у кожний клас потрапляють параметри з високим ступенем взаємної кореляції.

Для замикання контуру керування технічним станом динамічного об'єкта від'ємним зворотним зв'язком, в першу чергу, необхідно мати можливість безперервного контролю параметрів, що характеризують його технічний стан. У тих випадках, коли поточний технічний стан динамічного об'єкта оцінюється по значенням відхилень функціональних параметрів від їх номіналів, безперервний контроль здійснюється за допомогою штатних контрольно-вимірювальних систем. Якщо ж оцінка поточного технічного стану динамічного об'єкта виконується за допомогою параметрів його лінійної динамічної моделі, то для здійснення контролю цих параметрів, необхідно синтезувати адаптивну систему динамічного контролю. Під динамічним контролем будемо розуміти сукупність дій, що спрямовані на визначення поточного технічного стану об'єкта, або його окремого вузла, за результатами вимірювання параметрів з високою діагностичною цінністю, які змінюються у часі. Динамічний контроль використовується для оцінки поточного технічного стану інерційних об'єктів, на відміну від статичного контролю, що використовується для оцінки технічного стану безінерційних об'єктів, або ж таких інерційних об'єктів, час перехідних процесів в яких є значно менший ніж час, що відводиться на сам контроль. Безперервний контроль визначальних параметрів здійснюється в результаті визначення й ідентифікації параметрів лінійної динамічної моделі. Така організація контролю визначальних параметрів гарантує обсяг інформації про технічний стан об'єкта, що виключає можливість раптових відмов. Для поступових відмов можуть бути розроблені спеціальні методи їхнього прогнозування, основною задачею яких є своєчасне виявлення передвідмовного стану об'єкта. При цьому процес зміни відповідних параметрів, що характеризують технічний стан об'єкта, як правило, має монотонний характер. Слід зазначити, що при прогнозуванні, зазвичай, користуються не моделями систем, а адаптивними моделями визначальних параметрів, здатними реагувати на зміни технічного стану об'єкта технічного обслуговування. Принципи побудови системи динамічного контролю параметрів, що характеризують поточний технічний стан, і адаптивних моделей прогнозування цих параметрів є універсальними для широкого класу динамічних об'єктів, а лінійна динамічна модель об'єкта технічного обслуговування (1) – (2), що задовольняє сформульованим вище вимогам, створюється

для кожного об'єкта індивідуально.

Нехай  $t_0$  – час початку діагностування. Для кожного  $t > t_0$  за формулою Коші маємо

$$\mathbf{x}(t) = e^{-\mathbf{T}^{-1}(t-t_0)} \mathbf{x}(t_0) + \int_{t_0}^t e^{-\mathbf{T}^{-1}(t-\tau)} \mathbf{T}^{-1} \mathbf{K} \mathbf{u}(\tau) d\tau,$$

де  $e^{-\mathbf{T}^{-1}(t-t_0)}$  – нормована матриця Коші, стовпчики якої це  $r$  лінійно незалежних розв'язків однорідної системи диференціальних рівнянь, що відповідає системі диференціальних рівнянь (1);  $\mathbf{x}(t_0)$  – вектор початкових умов, який, у загальному випадку, не дорівнює нулю.

Для вектора спостережуваних параметрів  $\mathbf{y}(t)$  при кожному  $t > t_0$  маємо

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{K}_1 e^{-\mathbf{T}^{-1}(t-t_0)} \mathbf{x}(t_0) + \int_{t_0}^t \mathbf{K}_1 e^{-\mathbf{T}^{-1}(t-\tau)} \mathbf{T}^{-1} \mathbf{K} \mathbf{u}(\tau) d\tau + \mathbf{K}_2 \mathbf{u}(t).$$

Позначимо  $\mathbf{y}_0(t) = \mathbf{y}(t) - \mathbf{K}_1 e^{-\mathbf{T}^{-1}(t-t_0)} \mathbf{x}(t_0)$ , тобто

$$\mathbf{y}_0(t) = \int_{t_0}^t \mathbf{K}_1 e^{-\mathbf{T}^{-1}(t-\tau)} \mathbf{T}^{-1} \mathbf{K} \mathbf{u}(\tau) d\tau + \mathbf{K}_2 \mathbf{u}(t), \quad (3)$$

тоді при кожному фіксованому  $t > t_0$  та справному стані силової ГТУ множина усіх можливих реалізацій вектора  $\mathbf{y}_0(t)$  утворює, у загальному випадку,  $m$  – вимірну гіперплощину у  $n$  – вимірному евклідовому просторі ( $m < n$ ).

З іншого боку, при кожному фіксованому  $t > t_0$  співвідношення (3) визначає лінійний оператор  $\mathbf{A}_t$ , при чому областю значень цього оператора є  $m$  – вимірна гіперплощина в  $n$  – вимірному евклідовому просторі. Як відомо [5], для кожного такого оператора існує спряжений оператор  $\mathbf{A}_t^*$ , а відповідно, при умові, що добуток  $\mathbf{A}_t^* \mathbf{A}_t$  є взаємнооднозначним оператором, може бути визначений оператор

$$\mathbf{P}_t = \mathbf{E} - \mathbf{A}_t \left( \mathbf{A}_t^* \mathbf{A}_t \right)^{-1} \mathbf{A}_t^*,$$

де  $\mathbf{E}$  – одиничний оператор, що діє в  $n$  – вимірному евклідовому просторі.

Оператор  $\mathbf{P}_t$  задовольняє наступному співвідношенню

$$\mathbf{P}_t^2 = \mathbf{P}_t^* = \mathbf{P}_t,$$

а це свідчить про те, що оператор  $\mathbf{P}_t$  при кожному фіксованому  $t$  є оператором ортогонального проектування, що діє в  $n$  – вимірному евклідовому просторі. Тому, якщо скоригований вектор спостережуваних параметрів  $\mathbf{y}_0(t)$  у деякий фіксований мо-

мент  $t > t_0$  не буде належати гіперплощині справних станів динамічного об'єкта, тобто

$$\mathbf{y}_0^\perp(t) = \mathbf{P}_t \mathbf{y}_0(t) = \mathbf{y}_0(t) - \mathbf{y}_{0pr}(t) \neq 0, \quad (4)$$

де  $\mathbf{y}_{0pr}(t)$  – це ортогональна проекція вектора  $\mathbf{y}_0(t)$  на  $m$  – вимірну гіперплощину справних станів динамічного об'єкта, то реальний поточний технічний стан об'єкта не відповідає лінійній динамічній моделі справного об'єкта і необхідно виконувати ідентифікацію параметрів моделі, що буде відповідати його новому поточному технічному стану. Таким чином, лінійна динамічна модель буде «старіти» синхронно зі зміною реального технічного стану динамічного об'єкта. Зазначимо, що умова (4) – є достатньою (а на практиці і необхідною) умовою невідповідності параметрів лінійної динамічної моделі поточному технічному стану динамічного об'єкта.

Структурна схема системи динамічного контролю параметрів, що характеризують технічний стан силової ГТУ, представлена на рис. 1.

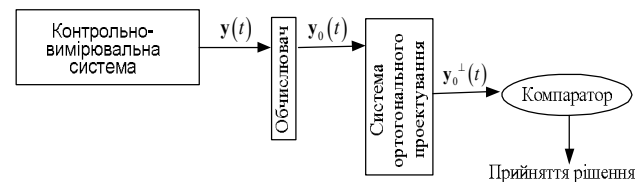


Рис. 1. Структурна схема системи динамічного контролю параметрів

Матриця передаточних функцій  $\mathbf{H}(p)$  системи ортогонального проектування, яка наведена на рис. 1, має вигляд

$$\begin{aligned} \mathbf{H}(p) = & \mathbf{E} - \left( \mathbf{K}_1 (\mathbf{T}p + \mathbf{E})^{-1} \mathbf{K} + \mathbf{K}_2 \right) \times \\ & \times \left[ \mathbf{K}^T (\mathbf{T}^T p + \mathbf{E})^{-1} \mathbf{K}_1^T \mathbf{K}_1 (\mathbf{T}p + \mathbf{E})^{-1} \mathbf{K} + \mathbf{K}^T \mathbf{K}_1^T \times \right. \\ & \times \left. \left( \mathbf{T}^T p + \mathbf{E} \right)^{-1} \mathbf{K}_2 + \mathbf{K}_2^T \mathbf{K}_1 (\mathbf{T}p + \mathbf{E})^{-1} \mathbf{K} + \mathbf{K}_2^T \mathbf{K}_2 \right]^{-1} \times \\ & \times \left( \mathbf{K}^T (\mathbf{T}^T p + \mathbf{E})^{-1} \mathbf{K}_1^T + \mathbf{K}_2^T \right), \end{aligned} \quad (5)$$

де  $\mathbf{E}$  – це  $n$  – вимірна одинична матриця.

При цьому на вхід системи ортогонального проектування з виходу обчислювача буде подаватися скоригований вектор спостережуваних параметрів

$$\mathbf{y}_0(t) = \mathbf{y}(t) - \mathbf{K}_1 e^{-\mathbf{T}^{-1}(t-t_0)} \mathbf{x}(t_0).$$

Якщо матриці лінійної динамічної моделі  $\mathbf{T}$ ,  $\mathbf{K}$ ,  $\mathbf{K}_1$ ,  $\mathbf{K}_2$ , що входять до системи рівнянь (1)-(2), ідеально відповідають поточному технічному стану динамічного об'єкта, то для будь-якого  $t > t_0$

$$\mathbf{y}_0^\perp(t) \equiv 0. \quad (6)$$

Порушення ж цієї тотожності у деякий момент часу  $t_1 > t_0$  свідчить про те, що деякі параметри лінійної динамічної моделі об'єкта не відповідають його реальному технічному стану в цей момент часу і підлягають корекції.

Істотною перевагою запропонованої схеми є те, що висновок про адекватність моделі поточному технічному стану об'єкта можна зробити при повній відсутності інформації про вхідні параметри  $i$ , тим більше, без будь-яких тестових впливів на об'єкт. Зазначимо, що метод ортогонального проектування дозволяє не тільки контролювати параметри лінійної динамічної моделі, що характеризують поточний технічний стан динамічного об'єкта, але й є придатним для визначення рядка (рядків) матриці передаточних функцій лінійної динамічної моделі силової ГТУ

$$W(p) = K_1(Tp + E)^{-1}K + K_2, \quad (7)$$

який містить параметри, що не відповідають поточному технічному стану. Ця процедура також може бути здійснена при повній відсутності інформації відносно вектора  $u(t)$  [2].

Наведена система динамічного контролю є системою сигнального діагностування, що функціонує в реальному часі. Адаптація параметрів лінійної динамічної моделі до поточного технічного стану силової ГТУ відбувається лише після того, як в деякий момент часу  $t_1$  вперше спостерігається нерівність  $y_0^\perp(t_1) \neq 0$ . Ідентифікація нових значень параметрів лінійної динамічної моделі може бути виконана одним із відомих методів параметричної ідентифікації, при цьому елементи матриці сталих часу  $T$  можуть бути визначені внаслідок аналізу перехідних процесів, а елементи матриць  $K$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  – внаслідок аналізу як перехідних, так і усталених режимів. Після ідентифікації нових значень параметрів лінійної динамічної моделі об'єкта матриця передаточних функцій системи ортогонального проектування також адаптується до нового технічного стану об'єкта, внаслідок чого виконання тотожності (6) поновиться і буде виконуватися до деякого моменту  $t_2 > t_1$ , у який будемо мати  $y_0^\perp(t_2) \neq 0$ . В момент часу  $t_2$  процедура адаптації системи неперервного моніторингу до нового технічного стану силової ГТУ повторюється. Таким чином, синтезована система динамічного контролю параметрів лінійної динамічної моделі силової ГТУ адаптується до її поточного технічного стану.

Параметри лінійної динамічної моделі, що визначаються під час ідентифікації в моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , надходять до бази даних інтегральної інформаційно-обчислювальної системи, в якій на основі одержаної первинної інформації здійснюєть-

ся оцінка поточного технічного стану силової ГТУ та прогнозування технічного стану з метою своєчасного виявлення передвідмовного стану об'єкта, що контролюється.

Виходячи з того, що процес зміни параметрів, які характеризують технічний стан об'єкта, як правило, має монотонний характер, з кожного класу параметрів з високим ступенем кореляції необхідно вибрати по одному, який швидше за всіх наближається до границі області, що характеризує передвідмовний стан ГТУ. Вибрані параметри утворюють вектор

$$v(t) = (v_1, \dots, v_k)^T, k \in N.$$

Справний стан об'єкта технічного обслуговування в момент часу  $t$  еквівалентний виконанню співвідношення

$$v(t) \in D,$$

де  $D$  – поле допуску для вектора визначальних параметрів. Зважаючи на те, що при кожному фіксованому  $t$ , про істинне значення вектора  $v(t)$  можна судити тільки по вектору  $\tilde{v}(t)$  – вектору точкових оцінок координат вектора  $v(t)$ , загальний висновок про технічний стан динамічного об'єкта можна зробити тільки з визначеною довірчою імовірністю  $P_{\text{дов}}$ .

Якщо  $P\{\tilde{v}(t) \in D_\varepsilon\} \cong 1$ , де  $D_\varepsilon \subset D$ , то з довірчою імовірністю  $P_{\text{дов}}$  можна стверджувати, що в поточний момент часу  $t$  технічний стан динамічного об'єкта відповідає справному.

Для того, щоб можна було зробити висновок про імовірний технічний стан ГТУ в майбутньому, необхідно виконувати прогнозування вектора визначальних параметрів, при цьому слід використовувати адаптивні моделі прогнозування для кожної координати вектора визначальних параметрів, що здатні реагувати на зміни технічного стану динамічного об'єкта. При використанні адаптивних методів прогнозування, наприклад, адаптивного методу експоненціального згладжування, динамічний ряд згладжується за допомогою зваженої ковзної середньої, вага якої, враховуючи монотонний характер зміни параметру, визначається останніми значеннями динамічного ряду. Це дає можливість отримати оцінку параметрів тренду, яка характеризує не середній рівень досліджуваного ряду, а тенденцію, що склалася на момент останнього спостереження.

Принципи побудови адаптивної системи безперервного контролю параметрів, що характеризують технічний стан, і адаптивних моделей прогнозування цих параметрів є універсальними для широкого класу динамічних об'єктів, а не тільки для силових ГТУ, а лінійна динамічна модель об'єкта технічного обслуговування створюється для кожного такого об'єкта індивідуально. Для більшості динамічних

об'єктів, які знаходяться в експлуатації, не передбачалося використання стратегії технічного обслуговування за станом, а, отже, в них відсутні системи вбудованого контролю визначальних параметрів, тому задача організації технічного обслуговування за наробітком з прогнозуванням передвідмовного стану, а також технічного обслуговування за станом з контролем параметрів, повинна вирішуватися на базі штатних контрольно-вимірвальних систем.

На основі інформації про поточний технічний стан силової ГТУ та з урахуванням результатів прогнозування робиться висновок про можливість її подальшої технічної експлуатації, або ж про необхідність проведення відновних робіт певного обсягу. Таким чином, контур керування технічним станом силової ГТУ стає замкнутим. Таким чином, інтегральна інформаційно-обчислювальна система повинна вирішувати дві основні задачі: достовірну оцінку поточного технічного стану динамічного об'єкта і прогнозування передвідмовного стану на середньострокову та довгострокову перспективу. Виходячи з цього структура інтегральної інформаційно-обчислювальної системи обробки параметрів, що характеризують технічний стан силової ГТУ, має вигляд, наведений на рис. 2.

### Висновок

Використання в якості характеристики поточного технічного стану об'єкта сукупності параметрів його лінійної динамічної моделі доцільно для широкого класу об'єктів, система керування яких працює в режимі стабілізації, а синтезована на базі цієї моделі адаптивна система безперервного моніторингу забезпечує можливість оцінки поточного технічного стану силової ГТУ та дає можливість прогнозування її технічного стану. При цьому адаптація параметрів лінійної динамічної моделі об'єкта до нового технічного

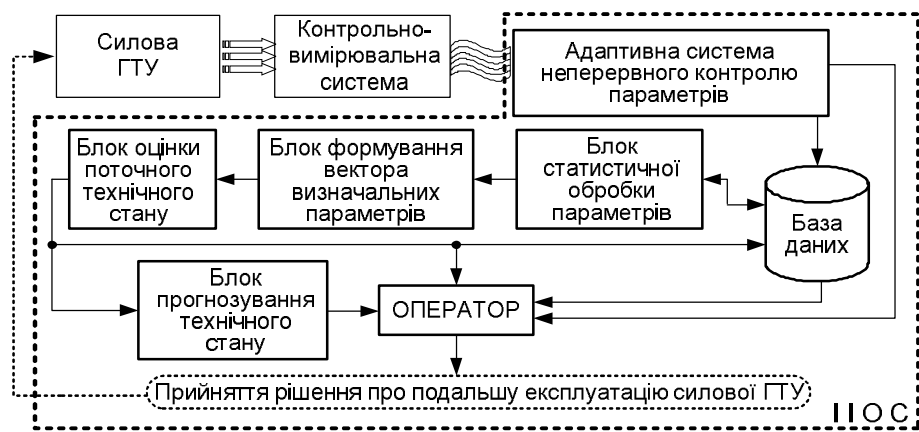


Рис. 2. Структурно-функціональна схема ПІОС обробки параметрів, що характеризують поточний технічний стан силової ГТУ

стану ГТУ повинна здійснюватись за умови якнайменшого втручання в її штатний режим роботи.

Запропонована інтегральна інформаційно-обчислювальна система обробки параметрів автоматизованої системи керування технічним станом забезпечує як достовірну оцінку поточного технічного стану динамічного об'єкта, так і прогнозування передвідмовного стану на середньостроковій та довгострокову перспективу.

### Список літератури

1. Зарицкий С.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом / С.П. Зарицкий. – М.: «Недра», 1987. – 199 с.
2. A. Aslanyan, A. Belskaya, *Informational providing of technical operation "on condition"* K: National Aviation University, The third world congress «Aviation in the XXI-st century»: «Safety in aviation and space technology», 2008
3. Бельская А.А. Локализация неисправностей в линейных системах большой размерности при отсутствии информации о входном сигнале / А.А. Бельская // *Мат-ли VII МНТК «Авиа-2006»*. – К.: НАУ, 2006. – Т. II. – С. 3.1-3.4
4. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей / С.В. Епифанов, Б.И. Кузнецов, И.М. Богаенко и др. – К.: Техника, 1998. – 312 с.
5. Треногин В.А. Функциональный анализ / В.А. Треногин. – М.: Наука, 1980. – 495 с.

Надійшла до редколегії 10.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, доц. О.А. Кононов, Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ.

### ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ СИЛОВЫХ ГАЗОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК

С.В. Пашенко, А.А. Бельская, В.В. Юхачев

В статье предложен подход, на основе которого может быть создано интегральная информационно-вычислительная система обработки параметров автоматизированной системы управления техническим состоянием силовой газотурбинной установки.

**Ключевые слова:** техническая эксплуатация, линейная динамическая модель, стратегия технического обслуживания.

### INFORMATION SUPPORT OF THE MAINTENANCE IN STATE OF POWER GAS TURBINES

S.V. Pashchenko, A.A. Bel'skaya, V.V. Yuhachov

The approach to create the integrated data-processing system of automated control system for maintenance in state of power gas turbines is proposed in the article.

**Keywords:** maintenance, linear dynamic model, the strategy of maintenance.