нічні науки : зб. наук. пр. / Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. — Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Поділ. нац. ун-т ім. І. Огієнка, 2009. — Вип. 2. — С. 24—32.

5. Верлань Д.А. Алгоритми методу реалізації вироджених ядер при розв'язанні інтегральних рівнянь Вольтерри / Д. А. Верлань // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки : зб. наук. пр. / Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. — Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Поділ. нац. ун-т ім. І. Огієнка, 2010. — Вип. 4. — С. 64—69.

We solved the problem of approximation of functions of two variables in a bilinear series for building software functional conversion in control.

**Key words:** *algorithm, approximation, bilinear series, functional converter, control system.*

Отримано: 17.03.2011

УДК 519.6

**І. О. Горошко*,** канд. фіз.-мат. наук,
**В. Д. Павленко**,** канд. техн. наук

*Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г. Є. Пухова НАН України, м. Київ,
**Одеський національний технічний університет, м. Одеса

# ФОРМУВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ГАЗОТУРБІННИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ЗАДАЧ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

У статті розглянуто проблеми формування динамічних моделей газотурбінних силових установок, перш за все нелінійних, та основні аспекти розв'язання задач ідентифікації параметрів таких моделей.

**Ключові слова:** *газотурбінні силові установки, динамічні моделі, параметрична ідентифікація.*

**Вступ.** В енергетичних і транспортних системах різного призначення знаходять широке застосування газотурбінні силові установки (ГТСУ). Тому в Україні, яка і зараз має достатньо великий науково-технічний і промисловий потенціали, як і в усіх країнах з розвиненими машинобудівним та енергетичним комплексами, роботи з розроблення нових зразків та модернізації існуючих ГТСУ з метою підвищення їх ефективності та надійності не припинялись ніколи. Особливо активні дослідження та розробки здійснюються в галузях енергетичного й авіаційного турбінобудування, транспортного моторобудування та ін. [1; 2].

На сучасному етапі науково-технічного і технологічного розвитку розв'язання всього складного комплексу проблем, які виникають при розробці, виробництві, експлуатації, а також модернізації газотурбінних силових установок енергетичного і транспортного призначення, практично неможливе без детального дослідження різноманітних динамічних процесів різної природи (фізичних, хімічних, інформаційних), що відбуваються в самих силових установках та в їх системах автоматичного керування, а також в обладнанні, що забезпечує їх функціонування (системи подачі палива, охолодження та ін.). Тому для проведення належних досліджень в цій галузі є необхідним створення цілого комплексу спеціалізованих засобів — від натурних випробувальних стендів (НВС) до так званих комп'ютерних стендів, створених з використанням розвинутих систем комп'ютерного моделювання, які призначені для комплексного проектування силових установок на основі дослідження шляхом комп'ютерних експериментів процесів, що в них відбуваються, оптимізації їх конструкції, параметрів роботи, проектування і налагодження систем автоматичного керування тощо [3—5]. Використання таких комп'ютерних моделюючих стендів (КМС) дає можливість у багатьох випадках, особливо на початкових етапах розробки та проектування силових установок, відмовитись від проведення часто дуже витратних натурних експериментів і навіть прискорити процеси досліджень та оптимізації створюваних конструкцій. Це стало можливим, оскільки потужність сучасних суперкомп'ютерів (за останні роки їх швидкодія значно зросла і продовжує далі зростати, а співвідношення ціна-продуктивність постійно знижується) часто дозволяє здійснювати моделювання не лише в часі, наближеного до реального, а навіть у прискореному часі, а економічні і часові витрати на підготовку комп'ютерних моделей звичайно є істотно нижчими, ніж витрати на натурне моделювання. Проміжне місце займають випробувальні стенди, які можна назвати натурно-комп'ютерними: з їх допомогою здійснюється безпосереднє експериментальне дослідження роботи лише певної частини випробовуваного об'єкта, тоді як функціонування решти його складових описується за допомогою комп'ютерних моделей. До цього класу можна віднести, наприклад, комп'ютерні стенди-імітатори [6], призначені для дослідження динамічних процесів у системах керування газотурбінних авіаційних двигунів та їх налагодження.

У більшості випадків комп'ютерне дослідження динамічних процесів, що відбуваються в ГТСУ, здійснюється на основі чисельного розв'язання систем диференціальних рівнянь, як звичайних, так і рівнянь у частинних похідних. При цьому параметри математичних моделей, які використовуються, знаходяться здебільшого шляхом ідентифікації [7; 8] за даними, які отримуються на натурних випробувальних стендах.

**Основні види математичних моделей, що застосовуються при моделюванні ГТСУ.** При моделюванні процесів у газотурбінних силових установках можна виділити наступні етапи чи рівні [8]:

1) Моделювання на основі нелінійних робочих характеристик окремих елементів і вузлів, що входять до складу газотурбінної силової установки. При цьому застосовуються стаціонарні (статичні) математичні моделі у вигляді систем нелінійних алгебраїчних рівнянь, побудованих на основі аналітичних співвідношень, отриманих на основі фізичних законів (аеродинаміка і термодинаміка) та експериментальних залежностей (частково визначених у вигляді емпіричних формул, графіків і таблиць, а також із застосуванням різного виду апроксимацій).

Метою нелінійного статичного моделювання є дослідження характеристик двигуна при його створенні. Моделі можуть включати в себе різноманітні характеристики, наприклад, висотно-швидкісні, паливні тощо, і можуть складатись із 100 і більше алгебраїчних і трансцендентних рівнянь. За допомогою таких моделей звичайно розраховуються стаціонарні робочі режими, де задіяні ітераційні чисельні методи.

2) Моделювання динамічних характеристик газотурбінних силових установок. Математичні моделі у цьому випадку являють собою системи нелінійних звичайних диференціальних і алгебраїчних рівнянь. Вони описують баланс між характеристики елементів газотурбінної силової установки вигляді рівнянь неперервності потоків маси, збереження енергії, зміни моменту кількості руху. В алгебраїчній формі вони визначають статичну частину моделі, а у вигляді диференціальних рівнянь — динамічну модель. Число визначальних параметрів у таких моделях залежить від схеми силової установки і ступенем її деталізації.

Слід відмітити, що при побудові такого роду динамічних моделей використовуються і моделі (у більшості випадків апроксимаційні) нелінійних статичних робочих характеристик елементів і вузлів силових установок (див. п. 1).

При побудові детальних нелінійних динамічних моделей газотурбінних силових установок необхідно здійснити аналіз нестаціонарних (перехідних) процесів, у тому числі в нештатних режимах їх функціонування. Хоча такі моделі можуть бути використані для аналізу роботи систем керування, однак велика кількість розрахунків, які при цьому потребуються, роблять такий підхід малопродуктивним, і звичайно для цих цілей застосовуються спрощені математичні моделі, які описані нижче (див. пп. 3 і 4). Однак із зростанням обчислювальної потужності сучасних комп'ютерів безпосереднє використання складних нелінійних динамічних моделей стосовно задач керування стає все більш реальним.

3) Моделювання динамічних процесів у газотурбінних силових установках на основі лінійних (лінеаризованих в околі робочої точки) математичних моделей. Для керованих систем у просторі станів лінійні моделі зі сталими коефіцієнтами мають вигляд

$$\begin{aligned} &\frac{d}{dt}\Delta x = A\Delta x + B\Delta u, \\ &y = C\Delta x + B\Delta u, \end{aligned} \tag{1}$$

де $\Delta x$ — вектор відхилень від стаціонарного стану (збурень) змінних стану системи, $\Delta u$ — вектор відхилень керувань, $y$ — вектор спостережень, а $A$, $B$, $C$ і $D$ — матриці відповідної розмірності.

4) Моделювання динаміки газотурбінних силових установок на основі кусково-лінійних моделей для розробки систем реального часу (в цьому випадку форма моделей така ж, як і в п. 3).

У цьому досліджені ми орієнтуємось перш за все на побудову та ідентифікацію нелінійних динамічних моделей, які представляються у вигляді систем звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР), хоча розглянуті нижче питання, пов'язані з ідентифікацією параметрів моделей, в рівній мірі стосуються й інших випадків.

**Математична постановка задач ідентифікації параметрів математичних моделей [7; 8].** Нехай, виходячи з (попередніх) уявлень про структуру та характеристики досліджуваної динамічної системи, обрана певна форма операторного представлення її математичної моделі, яка в загальному вигляді може бути представлено в абстрактній формі операторної, таким чином:

$$A\left(\vec{x},\vec{u},t \mid \vec{p}\right) = 0\,, \tag{2}$$

де $A$ — оператор (диференціальний, рідше інтегральний або інтегро-диференціальний), $\vec{x} = \vec{x}(t) \in R^n$ — вектор стану (фазовий вектор) динамічної системи, що розглядається, $\vec{u} = \vec{u}(t) \in R^m$ — вектор управлінь (зовнішніх дій), $t$ — час, а $\vec{p} \in R^l$ — вектор параметрів, який визначає характеристики моделі динамічної системи. Якщо компоненти вектора $\vec{p}$ (параметри системи) не залежать від часу, то така система називається стаціонарною, в іншому ж випадку — нестаціонарною.

Крім того, для виділення з множини розв'язків рівняння (2) розв'язку, який відповідає конкретним умовам, необхідно визначити початкові умови, які в загальному операторному вигляді представляються у формі

$$B\left(\vec{x}(0) \mid \vec{c}\right) = 0\,, \tag{3}$$

де $B$ — оператор початкових умов, $\vec{x}(0)$ — вектор стану динамічної системи, що розглядається, у початковий (нульовий) момент часу, а $\vec{c} \in R^n$ — вектор параметрів початкових умов.

Рівняння (2) з умовами (3) визначають початкову задачу (задачу Коші) для динамічної системи. У випадку інтегрального формулювання початкової задачі початкові умови включаються безпосередньо до оператора задачі $A$, що є однією з переваг інтегрального метода моделювання.

Для знаходження параметрів математичної моделі динамічної системи, яка досліджується, за даними експерименту (фізичного або математичного) розв'язується наступна задача ідентифікації.

Нехай в результаті проведення певних експериментальних досліджень динамічної системи, яка розглядається, ми маємо деякий набір $X_{exp}$ (у багатьох випадках — декілька наборів $\left\{X_{exp\,j}\right\}_{j=1}^{k}$) значень вектора стану динамічної системи, що розглядається, $\vec{x}_{exp} = \left\{\vec{x}(t_i)\right\}$, де $t_i$, $i = \overline{1,M}$ — дискретні значення часу, в яких фіксувались значення вектора $\vec{x}$ (часові ряди).

Для (наближеного) визначення за $\vec{x}_{exp}$ невідомих компонент вектора параметрів $\vec{p}$ математичної моделі динамічної системи і, якщо потрібно, параметрів початкових умов $\vec{c}$, необхідно розв'язати задачу параметричної ідентифікації, яка за своєю суттю, взагалі кажучи, є задачею операторної апроксимації часових рядів, які у даному випадку представляють експериментальні дані $\vec{x}_{exp}$.

Таким чином, нехай ми маємо операторне рівняння (2) з початковими умовами (3), а також множину наборів експериментальних даних $\left\{X_{exp\,j}\right\}_{j=1}^{k}$. Для визначення невідомих компонент $\left\{p_i^u\right\}$ вектора параметрів $\vec{p}$ моделі динамічної системи і, при необхідності, невідомих компонент $\left\{c_i^u\right\}$ вектора параметрів початкових умов $\vec{c}$ необхідно (у явному чи неявному вигляді) розв'язати наступну задачу мінімізації на множині невідомих параметрів $\left\{\left\{p_i^u\right\}_{i=1}^{r}, \left\{c_i^u\right\}_{j=1}^{s}\right\}$ деякого функціонала, в загальному вигляді монотонно (не обов'язково лінійно) зв'язаного з відстанню в деякому метричному просторі $F$ між обчисленими за математичною моделлю динамічної системи, яка ідентифікується, і часовими рядами з множини наборів експериментальних даних $\left\{X_{\exp j}\right\}_{j=1}^{k}$:

$$\underset{\{\{p_i^u\}_{i=i}^r,\{c_j^u\}_{j=1}^s\}}{\arg\min}\ \Phi\left[\left\{d\left(\vec{x}_{comp\,j}(t_i),\vec{x}_{exp\,j}(t_i)\right)\right\}_{j=1}^{k}\right],\ i=\overline{1,M}\ . \qquad (4)$$

**Формулювання задач ідентифікації параметрів нелінійних динамічних моделей ГТСУ.**

*Ідентифікація параметрів нелінійної моделі компресорної секції ГТСУ.* Структурна схема моделі компресора наведена на рис. 1, де $L_{comp}$, $L_{thr}$, $L_{bl}$ — довжина компресора, дроселя і перепускного каналу [м], $V_{pl}$, $T_{pl}$, $p_{pl}$ — об'єм [м$^3$], температура [К] і тиск [Па] у камері тиску.

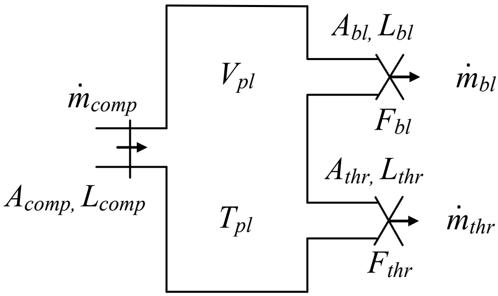


***Рис. 1.*** *Структура базової моделі компресора*

Динамічні процеси в системі компресорної секції ("компресор-камера тиску") описуються системою нелінійних звичайних диференціальних рівнянь четвертого порядку [9]

$$\begin{aligned}
\frac{dG_{comp}}{dt} &= \frac{S_{comp}}{L_{comp}}\left(\Delta p_{compSS} - p_{pl} + p_{in}\right),\\
\frac{dG_{thr}}{dt} &= \frac{S_{thr}}{L_{thr}}\left(p_{pl} - p_{out} - \Delta p_{thr}\right),\\
\frac{dG_{bl}}{dt} &= \frac{S_{bl}}{L_{bl}}\left(p_{pl} - p_{out} - \Delta p_{bl}\right),\\
\frac{dp_{pl}}{dt} &= \frac{\gamma R T_{pl}}{V_{pl}}\left(G_{comp} - G_{thr} - G_{bl}\right),
\end{aligned} \qquad (5)$$

де $G_{comp}$, $G_{thr}$, $G_{bl}$ — масові потоки через компресор, дросель і перепускний канал [кг/с]; $S_{comp}$, $S_{thr}$, $S_{bl}$ — площі перерізів компресора, дроселя і перепускного каналу [м$^2$]; $\Delta p_{compSS}$ — стаціонарне підвищення тиску відповідно до статичних робочих характеристик компресора [Па]; $\Delta p_{thr}$, $\Delta p_{bl}$ — падіння тиску на клапані дроселя і перепускному клапані [Па]; $p_{out}$ — тиск на виході [Па]; $\eta_{comp}$ — ККД компресора [б/р]; $\gamma$ — відношення теплоємностей $c_p/c_v$ [б/р].

Величина підвищення тиску на компресорі

$$\Delta p_{compSS} = \Delta p_{compSS}\,(G_{comp}) \tag{6}$$

визначається за його статичними характеристиками, а падіння тиску у дросельному і перепускному клапанах — за формулами

$$\Delta p_{thr} = \frac{G_{thr}^2}{2\rho S_{thr}^2}\,,\ \Delta p_{bl} = \frac{G_{bl}^2}{2\rho S_{bl}^2}\,, \tag{7}$$

де $\rho$ — густина повітря (при атмосферних умовах) [кг/м$^3$]. У багатьох випадках можна вважати, що $p_{out} = p_{in}$.

Ступінь зростання температури у камері тиску (відносне підвищення температури) при цьому обчислюється у вигляді

$$\theta_{pl} = \frac{T_{pl}}{T_{in}} = \left(\frac{p_{pl}}{p_{in}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma\eta_{comp}}}, \tag{8}$$

а

$$a_{pl} = \sqrt{\gamma R T_{pl}} \tag{9}$$

являє собою швидкість звуку в ній. Тут $R$ — газова постійна [Дж/(кг К)].

Таким чином, у даному випадку оператор у рівнянні (2) абстрактної математичної моделі конкретизується у вигляді системи чотирьох ЗДР першого порядку, а параметри системи — площі перерізів компресора, дроселя та перепускного каналу, їх довжини та об'єм камери тиску, котрі можуть бути ідентифіковані, складають вектор

$$\vec{p} = [S_{comp},\, S_{thr},\, S_{bl}, L_{comp},\, L_{thr},\, L_{bl}, V_{pl}]\,. \tag{10}$$

При здійсненні ідентифікації шляхом розв'язання задачі мінімізації (3) цільовий функціонал Ф, який характеризує відстань між обчисленим розв'язком та експериментальним даними, найчастіше вибирається у вигляді суми квадратів відхилень (тобто квадрату евклідової норми), хоча у деяких випадках застосовуються також зважені квадратичні суми і навіть більш складні функціональні залежності. При цьому ідентифікація може здійснюватись як за повним набором параметрів, так і за неповним, якщо частина їх відома, напр., за результатами досліджень окремих складових досліджуваної системи (експериментальних чи ідентифікаційних). Попередня тестова ідентифікація для оцінки можливої точності ідентифікації параметрів та характеристик методу ідентифікації, який застосовується, може здійснюватись за даними комп'ютерного моделювання з додаванням шуму різного рівня [7].

*Параметрична ідентифікація нелінійної моделі ГТСУ в цілому.*

У математичній моделі газотурбінної силової установки в цілому (рис. 2) до розгляду, крім компресора та камери тиску, включені камера згоряння і газова турбіна [9].

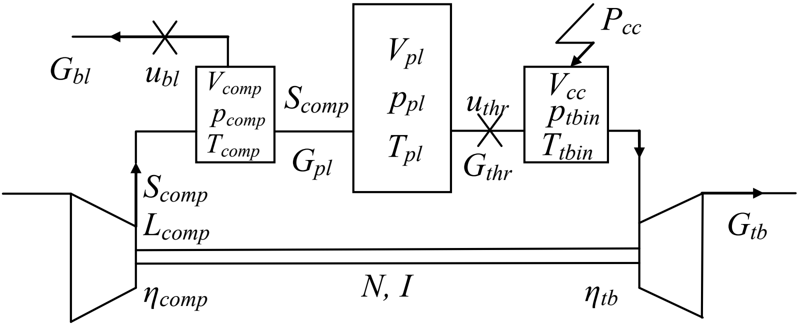


***Рис. 2.*** *Структура моделі газотурбінної силової установки в цілому*

Повна система нелінійних диференціальних і алгебраїчних рівнянь, що описують динаміку турбіни, при цьому має наступний вигляд:

$$\frac{dp_{comp}}{dt} = \frac{\gamma R}{V_{comp}}\left[G_{comp}T_{cpout} - \left(G_{pl} + G_{bl}\right)T_{comp}\right],$$

$$\frac{dT_{comp}}{dt} = \frac{RT_{comp}}{p_{comp}V_{comp}}\left[\gamma\left(G_{comp}T_{cpout} - \left(G_{pl} + G_{bl}\right)T_{comp}\right) - \right.$$

$$\left. - T_{comp}\left(G_{comp} - \left(G_{pl} + G_{bl}\right)\right)\right],$$

$$\frac{dp_{tbin}}{dt} = \frac{\gamma_T R_T}{V_{cc}}\left[G_{thr}T_{ccin}\frac{c_{pcomp}}{c_{pT}} - G_{tb}T_{tbin} + \frac{P_{cc}(u_f)}{c_{pT}}\right],$$

$$\frac{dT_{tbin}}{dt} = \frac{R_T T_{tbin}}{p_{tbin}V_{cc}}\left[\gamma_T\left(G_{thr}T_{ccin}\frac{c_{pcomp}}{c_{pT}} - G_{tb}T_{tbin} + \frac{P_{cc}(u_f)}{c_{pT}}\right) - T_{tbin}(G_{thr} - G_{tb})\right],$$

$$\frac{dN}{dt} = \left[G_{tb}c_{pT}\left(T_{tbin} - T_{tbout}\right) - G_{comp}c_{pcomp}\left(T_{cpout} - T_{in}\right)\right]\frac{1}{NI}, \quad (11)$$

де індексом *cpout* позначено величини на виході компресора, *comp* — величини у камері компресора, індекси *tbin*, *tbout* позначають величини на вході і виході турбіни, $P_{cc}$ — потужність, що подається до камери згоряння, об'єм якої $V_{cc}$, при спалюванні палива, $I$ — параметр, що визначає момент інерції ротора ГТУ, а індексом $T$ позначено параметри газу у камері згоряння, $G_{comp} = f_{comp}\left(N, p_{comp}, p_{in}, T_{in}\right)$ — залежність масового розходу повітря через компресор від швидкості обертання та інших параметрів, $G_{bl} = f_{bl}\left(u_{bl}, p_{comp}, T_{comp}, p_{in}\right)$ — залежність масового розходу повітря через перепускний канал від положення регулятора перепускного клапана $u_{bl}$ та інших параметрів,

$G_{pl} = \sqrt{\dfrac{2p_{comp}S_{comp}^2(p_{comp} - p_{pl})}{\xi RT_{comp}}}$ — масовий розход повітря, що надходить до камери тиску ($\xi$ — поправочний коефіцієнт), $G_{thr} = f_{thr}\left(u_{thr}, p_{comp}, T_{comp}, p_{in}\right)$ — залежність масового розходу повітря через дросельний клапан на вході до камери згоряння перепускний канал від положення його регулятора $u_{thr}$ та інших параметрів, $G_{tb} = f_{tb}\left(p_{tbin}, T_{tbin}, p_{tbout}\right)$ — розход газу в турбіні, а

$$T_{cpout} = T_{in}\left(\frac{p_{comp}}{p_{in}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma\eta_{comp}}},$$

$$T_{plin} = T_{comp}\left(\frac{p_{pl}}{p_{comp}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}},$$

$$T_{ccin} = T_{pl}\left(\frac{p_{tbin}}{p_{pl}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}, \tag{12}$$

$$T_{tbout} = T_{tbin}\left(\frac{p_{tbout}}{p_{tbin}}\right)^{\frac{(\gamma_T-1)\eta_{tb}}{\gamma_T}},$$

$$P_{cc} = e^{13,421718 - \frac{0,756721}{\sqrt{u_f}}}, \tag{13}$$

$u_f$ — положення регулятора подачі палива до камери згоряння.

У цьому випадку математична модель являє собою систему п’яти ЗДР першого порядку. а параметри системи, які можуть бути ідентифіковані — площа перерізу, довжину та об’єм компресора об’єм камери тиску і камери згоряння, а також характеристику обертової інерції ротора — складають вектор

$$\vec{p} = \left[S_{comp},\ L_{comp}, V_{comp},\ V_{pl}, V_{cc}, I\right]. \tag{14}$$

Ідентифікація так само може здійснюватись як за повним набором параметрів, так і за частинним, попередня тестова ідентифікація може здійснюватись за даними комп’ютерного моделювання з доданням шуму [7].

**Висновок.** Таким чином, в роботі розглянуто проблеми формування динамічних моделей газотурбінних силових установок, перш за все нелінійних, та основні аспекти розв’язання задач параметричної ідентифікації таких моделей. Наведено приклади моделей невисокого порядку для компресорної секції ГТСУ та газотурбінної силової установки в цілому. Для розв'язування вищевказаних задач доцільно застосувати підходи відповідно до [10—12] на основі проведення обчислювальних експериментів.

## Список використаних джерел:


1. Иноземцев А. А. Газотурбинные двигатели / А. А. Иноземцев, В. Л. Сандрацкий. — Пермь : ОАО "Авиадвигатель", 2006. — 1204 с.
2. Цанев С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций : учебное пособие для вузов / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. — М. : Издательство МАИ, 2002. — 584 с.
3. КИС газотурбинных двигателей авиационного, морского и наземного применения. — Режим доступу: http://www.ciam.ru/?SId=234&lang=RUS.
4. Schobeiri M. T. Aero-Thermodynamics of Unsteady Flows in Gas Turbine Systems / M. T. Schobeiri. — Brown Boveri Company, Gas Turbine Division Baden Switzerland, 1985. — BBC-TCG-51.
5. Schobeiri M. T. COTRAN, the Computer Code for Simulation of Unsteady Behavior of Gas Turbines. — Brown Boveri Company, Gas Turbine Division Baden Switzerland, 1985. — BBC-TCG-53.
6. Миргород В. Ф. Виртуальный стенд для моделирования систем авиационных двигателей / В. Ф. Миргород, В. М. Грудинкин // Искусственный интеллект. — 2006. — № 3. — С. 193—198.
7. Боев Б. В. Идентификация и диагностика в информационно-управляющих системах авиакосмической энергетики / Б. В. Боев, В. В. Бугровский, М. П. Вершинин и др. — М. : Наука, 1988. — 168 с.
8. Kulikov G. G. Dynamic modelling of gas turbines: identification, simulation, condition monitoring and optimal control / G. G. Kulikov, H. A. Thompson. — London : Springer-Verlag, 2004. — 305 p.
9. Vroemen B. G. Model Predictive Control of a Gas Turbine Installation / B. G. Vroemen. — WFW report 97.002. — Faculty of Mechanical Engineering, Eindhoven University of Technology. — 1997. — 107 p.
10. Верлань А. Ф. Способ тестового диагностирования безынерционных объектов / А. Ф. Верлань, А. В. Латышев. — Авторское свидетельство № 3952090/24-24 фф19.09.1986.
11. Верлань А. Ф. Устройство для идентификации линейных стационарных объектов / А. Ф. Верлань, Н. А. Максимович, А. Е. Коваленко. — Авторское свидетельство № 1361510 СССР, МКИ4 G05B23/02. Опубл. 23.12.87. БЮЛ. 47. с. 189.
12. Верлань А. Ф. Имитация динамики энергетических объектов в системах испытания программных средств управления / А. Ф. Верлань, В. В. Галкин. — К. : Наук. думка, 1991 — 260 с.



In the paper the problems of formulation of dynamic models for gas turbine power plants, first of all non-linear ones, and main aspects of the identification of parameters of such models are considered.



**Key words:** *gas turbine power plants, dynamic models, parametric identification.*

Отримано: 21.03.2011