

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ У ЕЛЕКТРОННІЙ СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ АВІАЦІЙНИМИ ГАЗОТУРБІННИМИ ДВИГУНАМИ

Єнчев С.В., Товкач С.С.,

Національний авіаційний університет, м. Київ

Розглянута структура електронних систем автоматичного керування авіаційними газотурбінними двигунами. Електронні системи керування можуть забезпечити реалізацію складних законів керування, враховуючи вплив великого числа зовнішніх збурюючих дій; здійснювати процеси перетворення аналогових вхідних сигналів в дискретні цифрові коди, а також зворотні перетворення дискретних вихідних сигналів в аналогові електричні сигнали.

Ключові слова: електронні системи керування, газотурбінний генератор, перетворювач сигналу.

Вступ. Нелінійність характеристик газотурбінних двигунів (ГТД) як об'єкта керування [1] потребує застосування більш складних законів керування для отримання оптимальних значень вихідних параметрів при зміні великого числа зовнішніх дій. Таку можливість надають електронні (цифрові) системи керування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Постановка задачі дослідження. Основною вимогою, що пред'являється до електронних систем автоматичного керування ГТД, є вимога високої надійності і працездатності елементів системи в широкому діапазоні зміни експлуатаційних умов. Важливість проблеми забезпечення надійності систем автоматичного керування ГТД пояснюється збільшеним впливом відмов системи керування на функціонування силової установки. Так, аналіз статистичних даних, проведених зарубіжними фірмами [1], показує, що приблизно 30% аварій літаків з ГТД відбувається з причини відмов систем керування.

Забезпечення необхідного рівня надійності електронних систем автоматичного керування ГТД повинно бути на всіх етапах від початку проектування до введення в експлуатацію. Поряд з відомими методами підвищення надійності – зменшенням інтенсивності відмов, безпосереднім резервуванням основних електронних блоків і використанням резервною гідромеханічною системою автоматичного керування – все більшого поширення набувають алгоритмічні методи підвищення надійності [1]. Подібні методи передбачають синтез алгоритму керування, що забезпечує нормальне функціонування системи не тільки у справному стані, але і при відмові ряду підсистем.

Інший аспект проблеми забезпечення надійності електронних систем автоматичного керування ГТД пов'язаний з такою організацією процесу керування, при якій відмови окремих підсистем не будуть призводити до виходу з ладу всієї системи. Подібна властивість може бути досягнута за рахунок правильного розподілу функцій між підсистемами та забезпечення умов, за яких підсистеми керування виявляться здатними брати на себе функції підсистем, які відмовили.

Закони керування системи керування двигунами ПС-90А. Прикладом використання електронних систем автоматичного керування для двигунів цивільної авіації є система керування двигунами ПС-90А, призначеними для літаків Ту-204 та Іл-96-300. Електронна система автоматичного керування цими двигунами включає цифровий електронний регулятор з двома мікропроцесорами – бортовими обчислювальними машинами ЕОМ-90. Для додаткового резервування в систему керування включений гідромеханічний регулятор [2].

Електронний регулятор цього двигуна РЕД-90 забезпечує підтримку тяги двигуна на постійному рівні в досить широкому діапазоні зміни температури і тиску повітря на вході в двигун при роботі двигуна на максимальному режимі. При цьому частота обертання ротора ВТ n_{BT} , виміряна в оборотах на хвилину, що є керованим параметром двигуна, змінюється у відповідності із наступною залежністю:

$$n_{BT} = f(\alpha_{PKD}, T_n, p_n, C_{відб}),$$

де n_{BT} – частота обертання ротора ВТ; α_{PKD} – кутове положення РКД; T_n – повна температура повітря на вході в двигун; p_n – повний тиск повітря на вході в двигун; $C_{відб}$ – коефіцієнт, залежний від кількості повітря, що відбирається від компресора на потреби літака.

Електронний регулятор РЕД-90 формує керуючі впливи на двигун при його роботі на перехідних режимах при запуску двигуна по залежності

$$\dot{n}_{BT} / p_n = f(n_{BT});$$

при прийомистості:

$$\dot{n}_{BT} = f(\alpha_{PKD}, T_n, n_{BTнаб}),$$

де \dot{n}_{BT} – прискорення ротора компресора ВТ; $n_{BTнаб}$ – наведена частота обертання ротора [3].

Крім того, електронна система автоматичного керування забезпечує формування команд на спрацювання ряду обмежувачів подачі палива, на керування положенням лопаток регулюючих направляючих апаратів (НА) компресора ВТ і заслонок перепуску повітря за підпірними ступенями, а також на видачу ряду діагностичних повідомлень типу: «Високі обороти вентилятора», «Помпаж», «Небезпечна температура» і т.д. Загальна кількість аналогових і дискретних керуючих впливів та сигналів, що формуються електронним багатопроцесорним регулятором РЕД-90, становить близько двадцяти.

Дослідження інформаційної структури системи САК-90. Основними структурними елементами системи автоматичного керування двигуном ПС-90А (рис. 1) є:

- об'єкт керування ТРДД;
- датчики внутрішньодвигунових сигналів Д1
- датчики позадвигунових сигналів (сигналів, що йдуть із літака) Д2;

- аналого-цифрові перетворювачі сигналів;
- електронний регулятор РЕД-90 двоканальний із двома БЦОМ ЕОМ-90;
- цифро-аналогові перетворювачі сигналів;
- група електрогідравлічних перетворювачів сигналів ПС-7;
- паливний насос-регулятор НР-90 з ВП, виконаним у вигляді ДГ;
- механізм керування регульованими НА компресора;
- механізм керування заслонками перепуску повітря за підпорними ступенями компресора з відповідними ВП.

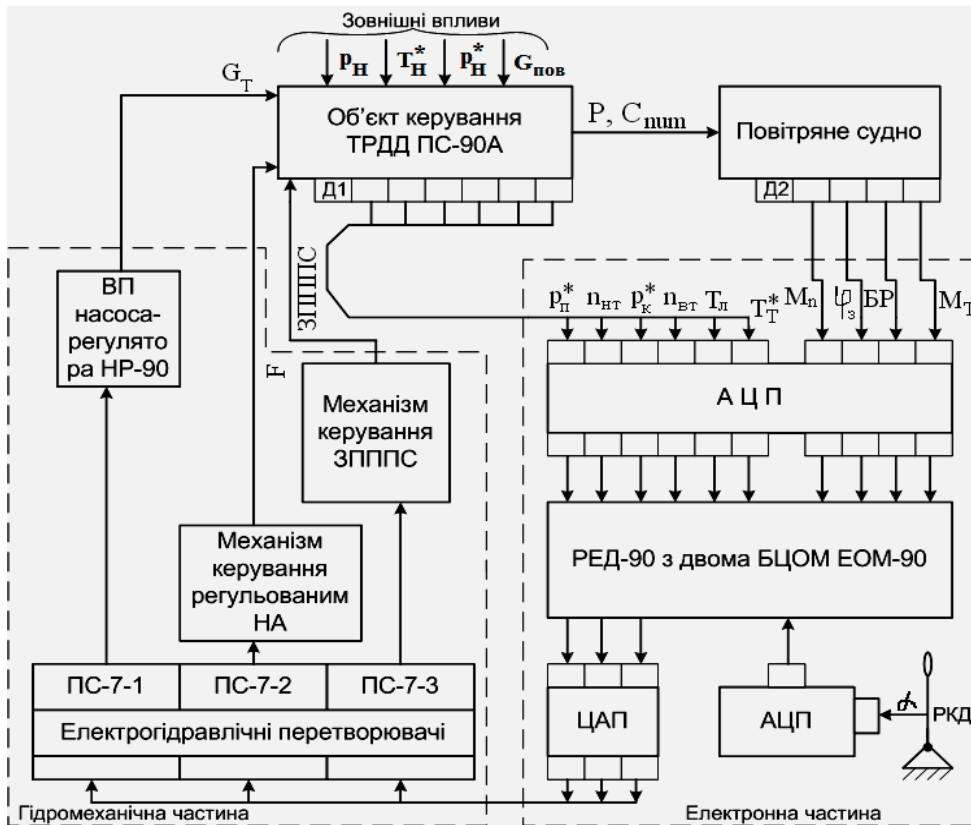


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема електронної системи автоматичного керування двигуном ПС-90А: АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

Як видно зі схеми, САК-90 реалізує принцип керування по відхиленню керованих параметрів, у ній регулятори включені по замкнутій схемі по відношенню до об'єкта керування. У відповідності з цим принципом керування керовані параметри робочого процесу, що відбувається в двигуні, вимірюються, порівнюються із заданими їх значеннями, і при наявності неузгодженості між вимірними і заданими значеннями цих параметрів система керування формує керуючий вплив, який передається на об'єкт керування за допомогою відповідного ВП [3].

Група датчиків внутрішньодвигунних параметрів Д1 забезпечує вимірювання таких параметрів роботи двигуна, як частоти обертання ротора низького тиску n_{HT} і ротора ВТ n_{BT} тиску повітря на вході в двигун p_n і за компресором p_k , температури лопаток турбіни T_n і газу за турбіною T_T і

ряду інших параметрів двигуна. Група датчиків параметрів літака Д2 забезпечує вимірювання ряду параметрів режиму польоту – числа Маха M_n , температури навколишнього повітря T_n , параметрів, що характеризують етап польоту літака (режим зльоту або режим посадки, наприклад, по куту відхилення крило α_3).

Відмінною особливістю функціонування замкнутих електронних систем автоматичного керування з БЦОМ від аналогових є те, що в цифрових системах автоматичного керування реалізуються наступні нові операції:

- перетворення аналогових сигналів, що надходять від датчиків, в дискретні (цифрові) сигнали;
- обчислення по заданим законам керування значень керованих і обмежуваних параметрів, відповідних поточним умовам польоту;
- обчислення значень неузгодженості між вимірними і розрахованими значеннями керованих і обмежуваних параметрів;
- обчислення за значеннями неузгодженості параметрів у відповідності до заданого алгоритму регулювання значень керуючих впливів;
- перетворення цифрових значень керуючих впливів в аналогові електричні сигнали;
- перетворення аналогових електричних сигналів у гідравлічні сигнали.

Аналогово-цифрове та цифро-аналогове перетворення сигналів у БЦОМ. Для виконання кожної з перерахованих операцій в електронній системі автоматичного керування передбачено відповідний пристрій. Так, для перетворення аналогових сигналів, що надходять від датчиків двигуна і літака, використовуються аналого-цифрові перетворювачі, в яких проводиться квантування аналогових сигналів за часом і за рівнем, їх перетворення в цифровий (наприклад, двійковий) код, який може бути сприйнятий БЦОМ.

Принципова схема перетворення сигналів в аналого-цифрових перетворювачах показана на рис. 2, де аналогова вхідна величина A перетворюється в еквівалентний цифровий код D . Цифровий код D частіше за все є двійковим N -розрядним числовим сигналом, пов'язаним із величиною A наступним відношенням:

$$D = A(B_1 2^{-1} + B_2 2^{-2} + B_3 2^{-3} + \dots + B_N 2^{-N}),$$

де $B_1, B_2, B_3 \dots B_N$ – розрядні коефіцієнти, що приймають значення 1 або 0.



Рисунок 2 – Вхідні і вихідні сигнали аналого-цифрового перетворювача (АЦП)

Цифрові сигнали D від аналого-цифрових перетворювачів надходять далі в електронний регулятор РЕД-90.

Для підвищення надійності системи автоматичного керування в РЕД-90 застосовані дві БЦОМ, які працюють одночасно за одними й тими ж алгоритмами. Кожна з БЦОМ обчислює програмні значення керованих або обмежуваних параметрів, порівнює їх з поточними значеннями цих параметрів, які надходять від аналого-цифрових перетворювачів, формує керуючий вплив для передачі на цифроаналогові перетворювачі. Але проходять до цифроаналогових перетворювачів керуючі впливи лише від одної БЦОМ, яка в даний момент часу пов'язана з робочим каналом електронного регулятора двигуна. У разі відмови цієї БЦОМ автоматично здійснюється підключення до робочого каналу електронного регулятора двигуна дублюючої БЦОМ. Якщо відбувається: відмова обох БЦОМ, то керування автоматично передається гідромеханічній системі автоматичного керування, що працює за більш простими алгоритмами керування.

В цифроаналогових перетворювачах здійснюється перетворення цифрового сигналу (коду) в електричні імпульси прямокутної форми із змінними значеннями напруги в імпульсі. Схема перетворення сигналів у цифроаналогових перетворювачах показана на рис. 3. Цифроаналоговий перетворювач представляє собою пристрій, за допомогою якого формується вихідний аналоговий сигнал A при впливі на його входи цифрового коду та зразкового сигналу P , тобто $A = PD$.



Рисунок 3 – Вхідні і вихідні сигнали цифро-аналогового перетворювача (АЦП)

Так, як код D зазвичай є N -розрядне двійкове слово $(B_1 2^{-1} + B_2 2^{-2} + B_3 2^{-3} + \dots + B_N 2^{-N})$, то вихідний сигнал A дорівнює:

$$A = P(B_1 2^{-1} + B_2 2^{-2} + B_3 2^{-3} + \dots + B_N 2^{-N}),$$

де коефіцієнти $B_1, B_2, B_3 \dots B_N$ рівні 0 або 1 в залежності від необхідного значення A .

Для перетворення електричних імпульсів в гідравлічні сигнали, які тільки і можуть бути використані для керування положенням ДІ, що переміщується гідравлічним сервопоршнем, змінюючи подачу палива в двигун і є ВП у системі автоматичного керування, використовуються електрогідравлічні перетворювачі сигналів ПС-7.

Вхідним сигналом для зазначеного перетворювача є електричні сигнали змінної напруги. Зміна напруги відбувається як за знаком, так і за величиною, обумовлюючи зміну сили струму в обмотках перетворювача від -30 мкА до $+30$ мкА [4].

Висновок. Гідромеханічна система керування, що реалізує більш прості закони керування, не дозволяє повною мірою використовувати тягові характеристики двигуна. Внаслідок цього максимальна тяга двигуна ПС-90 при переході від основної (електронної) САК на резервну САК знижується із 160 до 130 кН [4].

Основним недоліком сучасних електронних систем автоматичного керування є їх невисока надійність. Але, в подальшому, в міру накопичення досвіду експлуатації таких систем і модернізації елементної бази, надійність цих систем буде зростати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ефанов В. Н. Электронные системы автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов : учебное пособие / В. Н. Ефанов, Т. С. Ефанова, В. Г. Крымский. – Уфа : УАИ, 2002. – 120 с.
2. Климентовский Ю. А. Системы автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов : учебное пособие // Под ред. д.т.н. М. М. Митраховича. – К. : КВІЦ, 2001. – 400 с.
3. Березлев В. Ф. Системы автоматического управления ГТД. Ч. 1. : учебное пособие / В. Ф. Березлев, І. І. Гвоздецкий, Е. Н. Карпов, С. Н. Лаврухин. – К. : КМУЦА, 2000. – 140 с.
4. Березлев В. Ф. Системы автоматического управления ГТД. Ч. 2 : учебное пособие / В. Ф. Березлев, І. І. Гвоздецкий, Е. Н. Карпов, С. Н. Лаврухин. – К. : КНИГА, 1992. – 100 с.

Енчев С.В., Товкач С.С. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМИ ГАЗОТУРБИНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Рассмотрена структура электронных систем автоматического управления авиационными газотурбинными двигателями. Электронные системы управления могут обеспечить реализацию сложных законов управления, учитывая влияние большого числа внешних возмущающих воздействий; осуществлять процессы преобразования аналоговых входных сигналов в дискретные цифровые коды, а также обратные преобразования дискретных выходных сигналов в аналоговые электрические сигналы.

Ключевые слова: электронные системы управления, газотурбинный двигатель, преобразователь сигнала.

Enchev S.V., Tovkach S.S. INVESTIGATION OF the STRUCTURE AND INFORMATION FLOWS IN ELECTRONIC CONTROL SYSTEMS OF AVIATION GAS TURBINE ENGINES

The structure of automation systems of electronic control of aviation gas turbine engines has been considered. Electronic control systems can provide realization of complex control laws, taking into account the impact of a large number of external disturbing actions; to carry out the processes of converting analog input signals into discrete digital codes, and the reverse transformation of discrete output signals into analog electrical signals as well.

Keywords: electronic control systems, gas turbine engines, signal transformer.