



САК і діагностика

УДК 621.45

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДВОДВИГУНОВОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ВЕРТОЛЬОТА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ СИНХРОЗІЗАЦІЇ

Я. С. Веклич, О. В. Бондаренко

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

З 1990-х системи автоматичного керування (САК) вертолітних двигунів розвиваються у бік інтеграції. Проте вимоги до бойових вертольотів постійно посилюються. ГТД обґрунтовано стали основою силових установок вертольотів. Зазвичай у силовій установці використовуються два двигуни. Для успішного керування вертольотом необхідно підтримувати сталість частоти обертання ротора. Причиною є те, що передатним відношенням редуктора неможливо керувати, а питома витрата палива ТВаД має оптимум у порівняно вузькому діапазоні частоти обертання. Однак характеристики цих двигунів різняться внаслідок впливу виробництва та експлуатації. Тому регулятор повинен забезпечувати рівність потужностей двигунів у середньому під час їхньої роботи. Для цього він вирішує завдання синхронізації двигунів.

При синхронізації необхідно враховувати ресурс двигунів та трансмісії, а також рівень їхньої деградації. Тому завдання синхронізації є ключовим при проектуванні САК вертольотних двигунів, і воно привертало увагу багатьох дослідників. Gaulmin та ін. [1] запропонували метод та систему управління подачею палива для врівноваження потужностей двох двигунів.

Важко знайти компроміс між синхронізацією потужності та керуванням частотою обертання ротора. Для звичайного регулятора це пов'язано з недостатніми можливостями прогнозувати зміну параметрів та розділяти їх. Для забезпечення синхронізації доводиться жертвувати якістю керування частотою обертання. На відміну від цього, метод модель-орієнтованого керування (МОК) може вирішувати подвійне завдання керування нелінійними нестационарними системами (забезпечення заданих частот обертання та крутильних моментів вільних турбін). Відомі робастні та нелінійні методи МОК, які ефективно вирішують завдання управління в умовах складних обмежень та обурень. Wang та ін. [2] розглянули застосування НМОК до вертольотного двигуна. Вони розробили регулятор, заснований на використанні векторної рекурсивної МНК-регресії пониженого порядку. Однак об'єктом був один двигун і проблема синхронізації не розглядалася [3].

Для усунення цього недоліку запропоновано метод модель-орієнтованого замкнутого керування частотою обертання та двоспрямованою синхронізацією крутильних моментів.

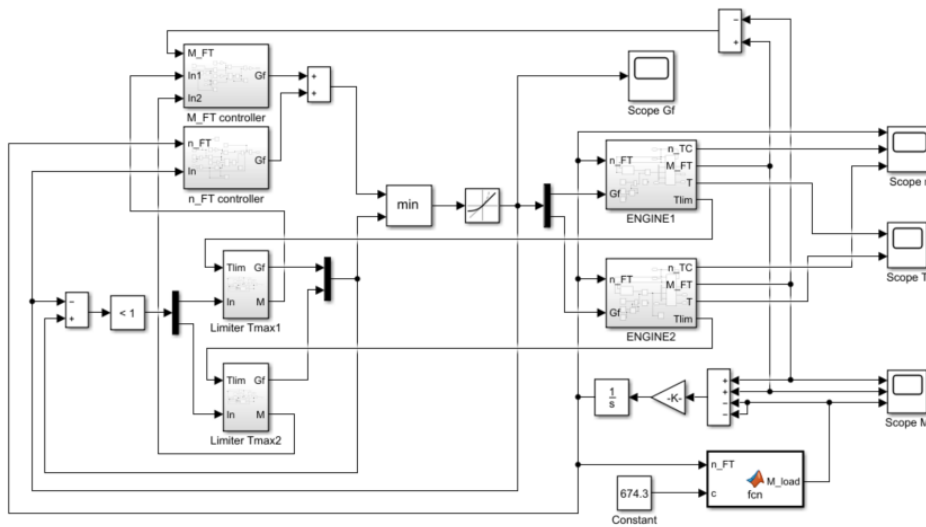


Рис. 1 – Загальна схема

Витрата палива, що надходить до кожного двигуна, обирається селектором мінімуму між витратою палива, що обмежує максимальну температуру газу за турбіною, та витратою палива, що забезпечує задану частоту обертання вільної турбіни та синхронізує значення крутильних моментів.

Оскільки система керування має змінну структуру (відбувається перемикання з регулятора температури на регулятор частоти обертання) то виникає проблема не притаманна лінійним системам – переповнення або «засмічення» інтегральної складової.

Обмежувач температури являє собою суму витрати палива, що визначається за моделлю для забезпечення гранично допустимої температури та І-регулятора. Інтегральна складова мінімізує статичну похибку. Для унеможливлення засмічення інтегральної складової при неробочому обмежувачі витрати палива процес її накопичення відбувається лише за однієї з наступних умов:

- 1) витрата палива, що надходить до двигуна, дорівнює витраті палива, що сформована обмежувачем;
- 2) температура газів в турбіні вище за максимально допустиму.

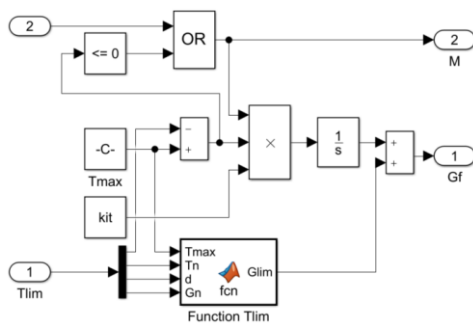


Рис. 2 – Обмежувач температури

Регулятор частоти обертання необхідний для підтримки частоти обертання вільних турбін в заданому діапазоні на різних режимах роботи двигунів. Для забезпечення постійної підтримки частоти обертання селектор мінімуму з'єднаний з регулятором зворотнім зв'язком, який вимикає інтегральну складову під час роботи обмежувача температури. Внаслідок цього вона захищена від засмічення, що дозволяє

швидко врегулювати частоту обертання після переходу від обмежувача температури на регулятор частоти обертання.

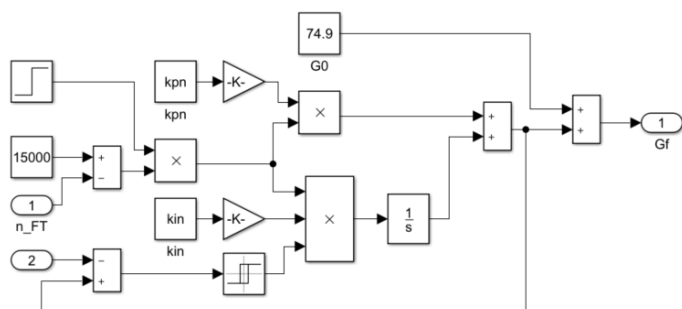


Рис. 3 – Регулятор частоти обертання

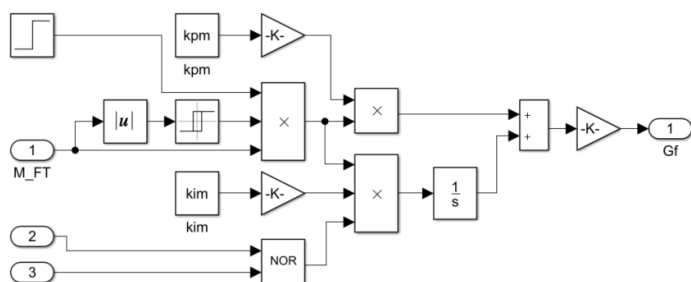


Рис. 4 – Синхронізатор крутильних моментів

Синхронізація значень крутильних моментів відбувається за допомогою ПІ-регулятора. Для унеможливлення засмічення інтегральної складової синхронізатора моментів та зниження частоти обертання синхронізація відбувається при досягненні розузгодження крутильних моментів певного значення та при обох неробочих обмежувачах температури.

Кожен з ПІ-регуляторів крутильних моментів та частоти обертання складається з двох складових, в одній з яких – добуток різниці моментів та частот обертання на коефіцієнт

пропорційності, а в другій – добуток інтегралу від різниці моментів та частот обертання на інтегральний коефіцієнт:

$$\begin{aligned} \delta G_{fn} &= kpn \cdot \Delta n_{FT} + kin \int \Delta n_{FT} dt, \\ \delta G_{fm} &= kpm \cdot \Delta M_{FT} + kim \int \Delta M_{FT} dt. \end{aligned} \quad (1)$$

Таким чином, розроблена математична модель дозволяє досліджувати роботу дводвигунової силової установки і синтезувати алгоритми синхронізації двигунів за частотою обертання роторів газогенераторів, температурою та потужністю, із аналізом взаємодії контурів синхронізації з автономними контурами регулювання та обмеження параметрів робочого процесу двигунів.

Перелік використаної літератури

1. Gaulmin, FX. Balancing the power of two turboshaft engines of an aircraft [Text] / FX. Gaulmin, L. Iraudo, D. Chaniot // United States patent US 9346553. – 2016 May 24.
2. Nonlinear model predictive control for the engine based on an integrated helicopter/turboshaft engine simulation platform [Text] / JK. Wang, HB. Zhang, XH. Huang, B.Lu // Acta Aeronautica et Astronautica Sinica. – 2012. – № 33(3):402. – P. 11.
3. Research on nonlinear model predictive control for turboshaft engines based on double engines torques matching [Text] / Y. Wang, Q. Zheng, Z. Du, H. Zhang // Chinese Journal of Aeronautics. – 2020. – № 33(2). – P. 561–571.