

**СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КОНВЕРТОПЛАНОМ**

Хмыров Алексей Константинович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: s02240581@gse.cs.msu.ru

Научный руководитель — Атамась Евгений Иванович

Объект управления и цели исследования

В данном исследовании рассматриваются алгоритмы синтеза системы управления на основе регулятора с прогнозирующей моделью (МРС) и адаптивного регулятора с эталонной моделью (МРАС). Объектом управления выбран летательный аппарат с распределённой силовой установкой из 36 электрических импеллерных двигателей и органами поворота вектора тяги.

Нелинейная динамическая система:

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, u) \\ y = x \end{cases}, \quad x \in \mathbb{R}^{20}, \quad u \in \mathbb{R}^{40}$$

Основной задачей является обеспечение устойчивости летательного аппарата при случайных аэродинамических воздействиях и отказах силовой установки, влияющих на динамику полёта.

Линейная модель с учётом внешних воздействий

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + Ed + Gv \\ y = Cx \end{cases}$$

Слагаемое Ed используется для моделирования отказов распределённой силовой установки, а Gv отвечает за внешние аэродинамические воздействия.

Система управления (МРС)

Алгоритм состоит в том, чтобы предложить структуру модели, которая будет использовать производную элемента управления в качестве входного сигнала, сохраняя при этом тот же выходной сигнал. В результате в проектную модель встроены интегратор. Определим вспомогательные переменные: $z = \dot{x}$, $y = Cx$, тогда новый вектор состояния: $\hat{x}(t) = [z(t) \ y(t)]^T$. Расширенная модель:

$$\dot{\hat{x}} = \begin{bmatrix} A & O \\ C & O \end{bmatrix} \hat{x} + \begin{bmatrix} B \\ O \end{bmatrix} \dot{u}, \quad y = [O \quad I] \hat{x}.$$

I - единичная матрица, O - нулевые матрицы соответствующих размерностей.

Закон управления:

$$\dot{u}(t) = -K_{mpc} \cdot \hat{x}(t) = - \begin{bmatrix} K_x & K_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ y(t) - r(t) \end{bmatrix}$$

Система управления (MRAC)

Адаптивная система управления работает совместно с заданной эталонной моделью, подстраивая параметры регулятора в реальном времени под неизвестные или меняющиеся характеристики летательного аппарата, отказы элементов электрической распределённой силовой установки и внешние аэродинамические воздействия.

Закон управления:

$$\begin{aligned} \dot{u}(t) &= -K_{1qr}x(t) + K_x x(t) + K_r r(t), \\ \dot{K}_x^T &= \Gamma_x x e^T P B, \\ \dot{K}_r^T &= \Gamma_r r e^T P B. \end{aligned}$$

Γ_x, Γ_r — матрицы скоростей адаптации, P — решение уравнения Ляпунова.

Результаты работы

На основе анализа математической модели летательного аппарата были реализованы алгоритмы синтеза системы управления. Сформированная компьютерная модель позволяет проводить моделирование основных режимов полёта: вертикальный взлёт и горизонтальный полёт с поддержанием постоянной скорости. Программная реализация обеспечивает возможность имитации отказов элементов распределённой силовой установки и внешних аэродинамических воздействий. Полученная модель позволяет исследовать рассматриваемые системы управления на устойчивость в условиях возмущений, а также проводить анализ и сравнение законов управления.

Литература

1. Nhan T. Nguyen. Model-Reference Adaptive Control.
2. Wang L. Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB.