

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

**Штанько В.В, студ.;** **Хорхордин А.В., проф., доц., к.т.н.**

*(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

Современное состояние теории и практики автоматического регулирования характеризуется интенсивной разработкой и все более широким применением новых и новейших методов управления. К таким методам смело можно отнести робастное управление, управление с предиктором Смита (Internal Model Control), управление с регуляторами на основе нечеткой логики, управление с использованием нейросетей, а также управление на основе прогноза состояния объекта

Системы регулирования с предиктором Смита содержат дополнительный внутренний контур обратной связи с блоком, в котором содержится модель объекта (с запаздыванием или без него). Дополнительный контур обратной связи формирует сигнал, идентичный тому, который со временем появится на выходе системы, и подает его на вход регулятора до тех пор, пока не появится сигнал от главной цепи обратной связи.

В случае, когда математическую модель объекта сложно или невозможно корректно определить, модель объекта заменяют нейросетью. Нейросеть – это обучаемая система. Она действует не только в соответствии с заданным алгоритмом и формулами, но и на основании прошлого опыта. Нейросеть представляют собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров. Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. Будучи соединёнными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, такие локально простые процессоры вместе способны выполнять довольно сложные задачи. В частности, хорошо обученная нейросеть вполне адекватна объекту управления, и ее используют для прогноза состояния реального объекта управления.

В последние 2-3 десятилетия большое внимание в научных публикациях по вопросам автоматизации уделяется моделям объектов и регуляторам на основе нечеткой логики. В основе данного подхода лежат понятия нечетких множеств, нечетких высказываний и т.п. Методы нечеткой логики относятся к так называемым «мягким» вычислениям, основанным на вероятностном подходе. В нечеткой логике введено понятие нечеткой функции и разработана концепция построения нечетких регрессионных моделей. В рамках такого подхода было введено понятие нечеткой лингвистической переменной, значения которой могут быть выражены в терминах типа «низкая», «умеренная», «большая», «очень высокая» и т.п. Множество значений нечеткой переменной образуют так называемое терм-множество. Например, переменная «Температура» может обладать терм-множеством значений {«Очень низкая», «Низкая», «Средняя», «Высокая», «Очень высокая»}. Регулятор вырабатывает управляющее воздействие на объект на основе обработки правил вида ЕСЛИ {значение лингвистических переменных} ТО {значение управляющего воздействия}. Такой регулятор обеспечивает хорошее качество управления при значительных изменениях параметров объекта.

Наибольший интерес в последнее время проявляется к так называемому управлению объектами на основе использования прогнозирующих моделей, который сочетает в себе преимущества использования предиктора Смита и преимущества оптимального управления при наличии ограничений на управление и на переменные пространства состояния объекта. При этом в методе не делается различия между линейными и нелинейными объектами управления; к линеаризации характеристик объекта прибегают лишь для упрощения

решения задачи оптимального управления в соответствии с выбранным функционалом качества системы.

Схему осуществления прогноза и выработки управляющего воздействия можно проиллюстрировать с помощью рис.1

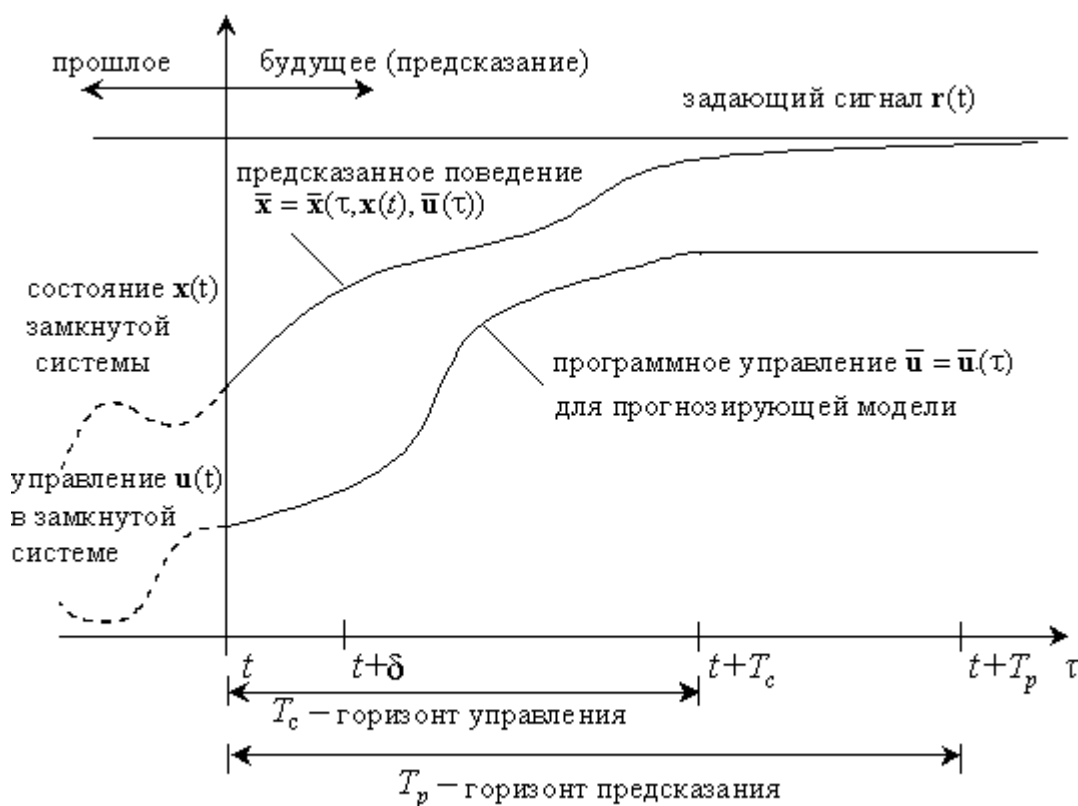


Рисунок 1 - Схема стратегии управления с прогнозирующей моделью

На данном рисунке показано, что управляющее воздействие на объект управления осуществляется не на всем горизонте прогнозирования  $[t, t+T_p]$ , а только на его малой начальной части, т.е. на объект воздействует управление вида

$$\mathbf{u}(\tau) \equiv \bar{\mathbf{u}}(\tau, \mathbf{X}(t), T_p, T_c), \quad \tau \in [t, t + \delta],$$

где величина  $\delta > 0$  существенно меньше, чем  $T_p$ .

После реализации управления в момент  $t + \delta$  осуществляется новый прогноз поведения объекта с горизонтом предсказания  $T_p$ , и решается оптимизационная задача, однако уже на отрезке  $\tau \in [t + \delta, t + 2\delta]$ , причем начальным условием для прогнозирующей модели выступает  $\bar{\mathbf{x}}|_{\tau=t+\delta} = \mathbf{x}(t + \delta)$ . Результат решения оптимизационной задачи применяется к объекту на отрезке  $\tau \in [t + \delta, t + 2\delta]$ , и далее процесс повторяется.

Принято говорить, что приведенный способ оптимизации управления с предсказанием использует **прогноз с удаляющимся (подвижным) горизонтом**.

Предметом данной статьи являются некоторые результаты исследования, состоящего в том, чтобы опробовать метод управления с предсказанием на лабораторном макете аэродинамического объекта [1].

Объект управления представляет собой аэродинамическим объект, на основе которого будет разработана система автоматического управления. Он состоит из основания, подвижного штифта, соединяющей оси, рабочей балки, двигателя вертикали и двигателей горизонтали (рис.2).



Рисунок 2 – Лабораторный стенд системы управления аэродинамическим объектом

На основании известных физических и геометрических параметров объекта получена математическая модель объекта

$$\begin{cases} \frac{A}{3}\ddot{\alpha} + \frac{A}{6}\sin 2\alpha\dot{\beta}^2 = Q_{\alpha} \\ \frac{A}{3}\cos^2\alpha\ddot{\beta} = Q_{\beta} \end{cases},$$

где  $\alpha$  – угол поворота по горизонтали,  $\beta$  – угол поворота по вертикали,  $Q_{\alpha}$  – момент вращения, создаваемый двигателями горизонтального поворота,  $Q_{\beta}$  – момент вращения, создаваемый двигателем вертикального поворота,  $A = ((m_1 + 3m_3)l_1^2 + (m_2 + 3m_4)l_2^2 + 3m_5l^2)$ , причем  $m_1$  – масса передней балки,  $m_2$  – масса задней балки,  $m_3$  – масса переднего двигателя,  $m_4$  – масса задних двигателей,  $m_5$  – масса балансира,  $l_1$  – длина передней балки,  $l_2$  – длина задней балки,  $l$  – расстояние до балансира. В результате линеаризации системы получена линеаризованная математическая модель:

$$\begin{cases} \frac{A}{3}\ddot{\alpha} = Q_{\alpha} \\ \frac{A}{3}\ddot{\beta} = Q_{\beta} \end{cases}$$

Как следует из уравнений, структура объекта по каждой из координат представляет собой два последовательно соединенных интегратора, что соответствует фактически ставшей классической задаче стабилизации двух последовательно соединенных интеграторов. В этом случае можно воспользоваться решением, предлагаемым в Matlab. Структурная схема системы автоматического управления с регулятором на основе прогнозирующей модели и оптимизатором представлена в общем виде на рис. 3. Регулятор вырабатывает оптимальное в смысле заданного функционала качества управляющее воздействие для всего горизонта управления с учетом актуального состояния объекта и его прогнозного состояния, а также возможных измеряемых помех. Как было отмечено выше, это оптимальное управление пересчитывается в новом цикле управления при смещении горизонта управления и горизонта предсказания на один период дискретности. На рис.4 приведена схема в среде Matlab/Simulink, с помощью которой осуществляется синтез регулятора (MPC – Model Predictive Control) и проверяется качество замкнутой системы управления. Управляющее воздействие близко к оптимальному при решении задачи построения системы, оптимальной по быстродействию (см. рис. 5).

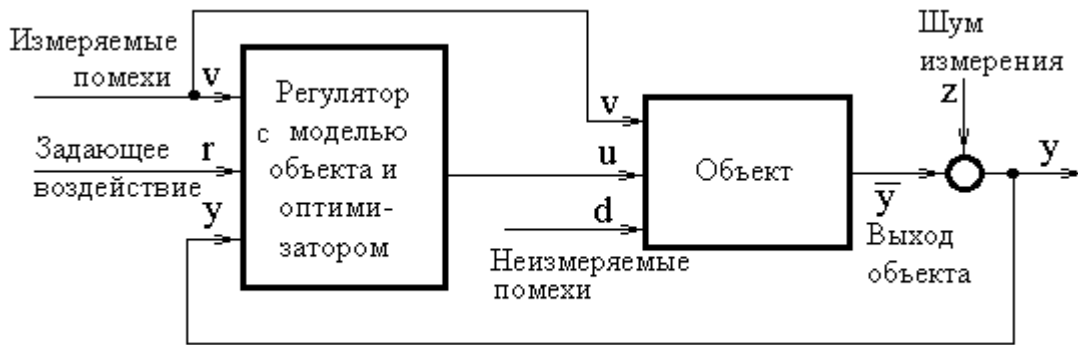


Рисунок 3 -Блок-схема системы с регулятором на основе модели объекта и оптимизатора

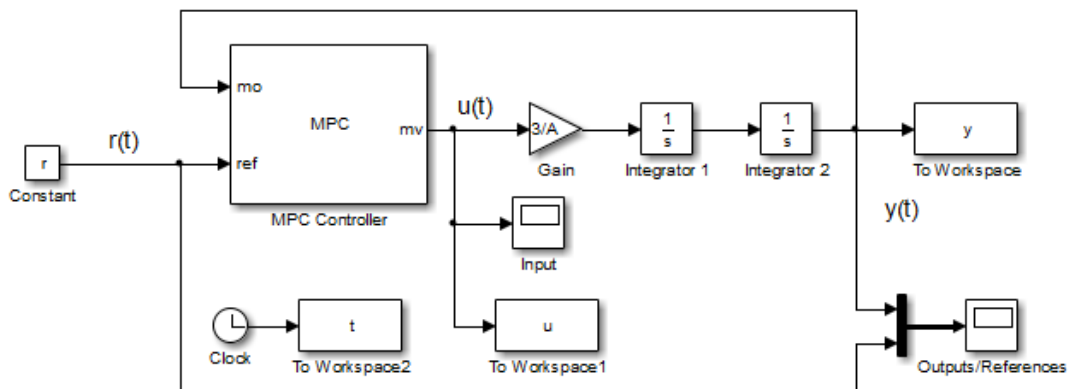


Рисунок 4 - Система управления объектом с MPC-регулятором (MPC - Model Predictive Control)

На рис.5 показаны графики изменения управляющего воздействия и регулируемой величины при отработке единичного ступенчатого воздействия.

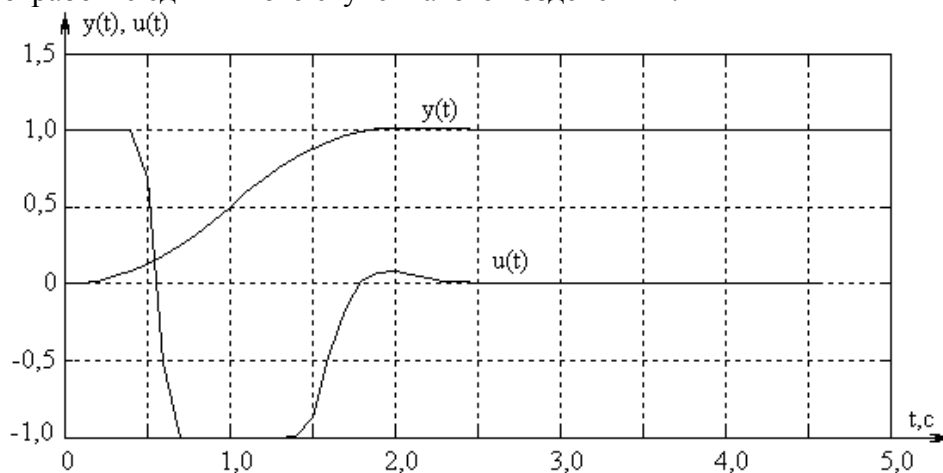


Рисунок 5 - Переходные процессы в замкнутой системе регулирования

#### Перечень ссылок

1. Хорхордин А.В., Олейников Е.А., Система автоматического управления аэродинамическим объектом на основе ПИД-регулятора. Збірка наукових праць SWorld за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції «Наукові дослідження і їхнє практичне застосування. Сучасний стан і шляхи розвитку - 2011 » 4-15 жовтня 2011. Том 4 «Технічні науки», стр. 66 – 69. Одеса: Черноморье, 2011.
2. Biran, A. MATLAB 5 für Ingenieure: Systematische und praktische Einführung / Adrian Biran: Moche Breiner [Übersetzung aus dem Amerikan. Stefan Braun; Harald Häuser]. – 3.Auflage – Bonn [u.a.] : Addison-Wesley-Longman,1999.- 542 p.