

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Пыхов В.В., Шульгин А.Н.

Снежинский физико-технический институт-филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ»

VVPykhov@mephi.ru, ANShulgin@mephi.ru

Аннотация. Существует определенное количество задач, требующих использования адаптивных контроллеров. Задача адаптивного управления может быть решена различными способами. Один из способов - идентификация объекта управления. Если рассчитать обратную модель на основе передаточной функции объекта и ввести ее в контур управления, то можно получить стабильную систему с постоянным качеством управления. В статье описан процесс разработки адаптивной системы с идентификацией объекта управления. В данной статье представлены обоснование и методы выбора параметров последовательного метода наименьших квадратов. Приведены формулы для расчета длины ких-фильтра объектной модели и оценена минимальная частота дискретизации.

Ключевые слова: адаптивный контроллер, идентификация объектов, обратная модель объекта, фильтр Винера, метод последовательных наименьших квадратов, FIR-фильтр

ADAPTIVE PROCESS CONTROL SYSTEM

Pykhov V.V., Shulgin A.N.

*Snezhinsk Physics Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPHI,
Chelyabinsk region*

VVPykhov@mephi.ru, ANShulgin@mephi.ru

Abstract. There are a certain number of tasks that require the use of adaptive controllers. The adaptive control problem can be solved in various ways. One way is to identify the control object. If you calculate the inverse model based on the object's transfer function and enter it into the control loop, you can get a stable system with constant control quality.

The article describes the process of developing an adaptive system with the identification of the control object. This article presents the rationale and methods for selecting the parameters of the sequential least squares method. Formulas for calculating the length of the object model's fir filter are given and the minimum sampling rate is estimated.

Keywords: adaptive controller, identification of objects, the inverse model of the object, Wiener filter, sequential least squares method, FIR filter

Большинство систем автоматического управления (САУ) проектируются и настраиваются на основании предположения, что объект управления является стационарным. Очевидно, что практически все реальные (физические) объекты не являются стационарными, т.е. изменяют свои характеристики. При стандартном подходе к проектированию САУ закладывается определенный запас на изменение поведения объекта управления. Тем самым гарантируется заданное качество характеристик регулирования в определенном диапазоне работы системы. Если «масштаб» нестационарности не позволяет получить требуемое качество, то в этом случае необходима разработка специализированной САУ, обладающей свойством адаптивности. Адаптивная система подстраивается под изменения и обеспечивает неизменное (в определенном диапазоне) качество регулирования.

На рис. 1 представлена общая структурная схема адаптивной САУ с идентификацией объекта.



Рис.1 – Система с идентификатором модели объекта

Рассматриваемая адаптивная САУ проектируется для конкретного технологического объекта. Временные диаграммы сигналов на входе и выходе объекта управления представлены на рис. 2. Пунктирной линией показано управляющее воздействие $k(t)$, непрерывной линией реакция на управляющее воздействие $y(t)$. На рисунке очевидно наличие значительного уровня шума в сигнале реакции. На рис. 3 показаны спектры сигналов управления и реакции объекта.

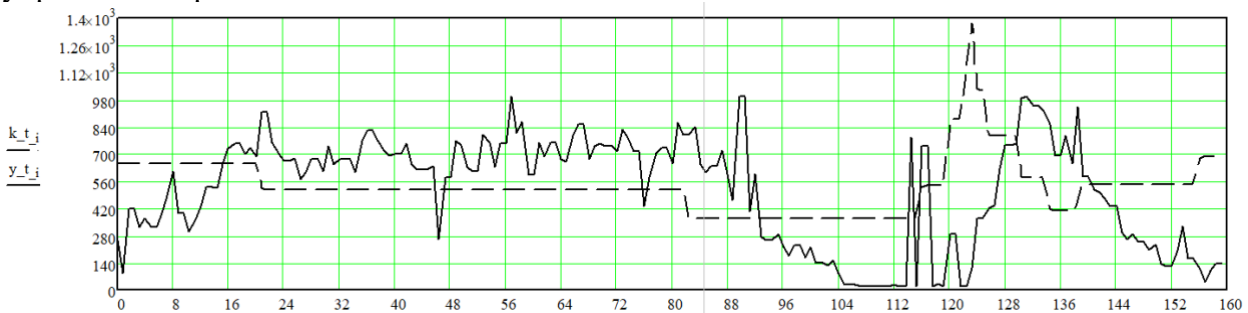


Рис.2 – Временные диаграммы сигналов объекта управления

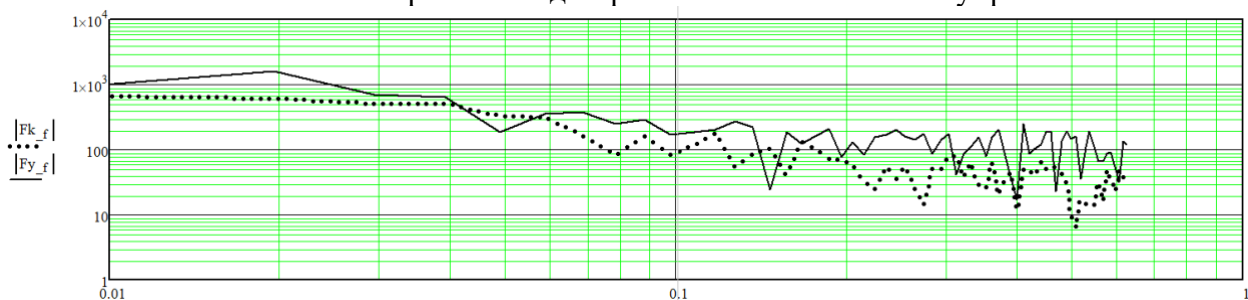


Рис.3 – Частотные спектры сигналов управления и реакции объекта

Сигнал управления (график в виде точек) имеет широкий спектр. Теоретически, можно не использовать дополнительные тестовые сигналы для полной идентификации объекта, будет достаточно входного и выходного сигналов.

Структурная схема адаптивной САУ представлена на рис. 4.

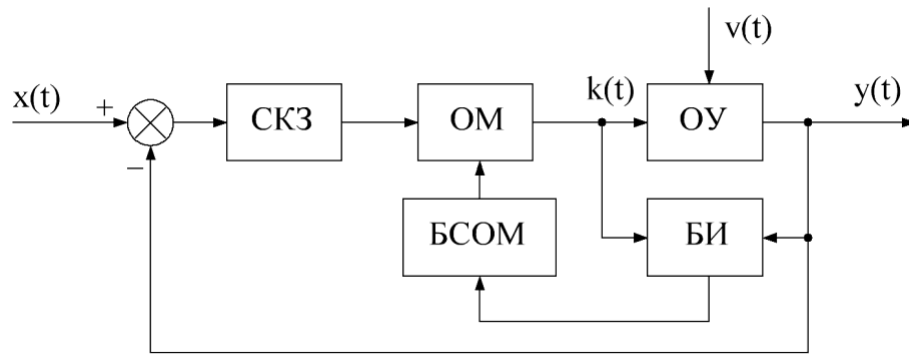


Рис.4 – Адаптивная САУ на основе обратной модели

В процессе работы, блок идентификации БИ строит/уточняет модель объекта управления ОУ. Блок синтеза обратной модели БСОМ формирует передаточную функцию, соответствующую обратной модели объекта управления. Обратная модель ОМ, включенная непосредственно в контур регулирования, компенсирует реальную передаточную функцию объекта управления. При достаточно точном процессе компенсации, характеристики регулирования САУ будут определяться постоянными параметрами стандартного корректирующего звена СКЗ. Таким образом качество регулирования САУ не будет зависеть от изменения параметров объекта управления.

Алгоритм идентификации системы можно рассматривать как аппроксимацию фильтра Винера. Вариант использования фильтра Винера для идентификации системы представлен на рис. 5.

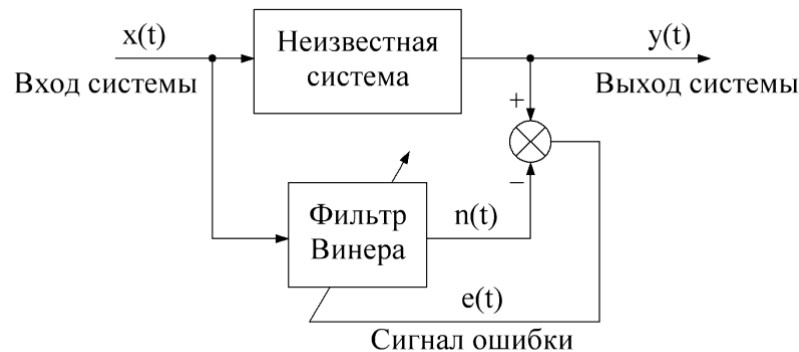


Рис.5 – Идентификация системы

Задача идентификации сводится к получению передаточной функции соответствующей неизвестной системе. Передаточная функция будет рассчитываться как КИХ-фильтр, это обеспечит гарантированную устойчивость. Передаточная функция фильтра Винера выглядит следующим образом:

$$n_k = \sum_{i=0}^{N-1} w_k(i)x_{k-i}, \quad (1)$$

где w_k – искомый вектор коэффициентов модели объекта управления. В общем случае оптимальные коэффициенты соответствуют нулевому значению градиента и находятся из уравнения Винера-Хопфа:

$$W_{\text{опт}} = R^{-1}P, \quad (2)$$

где $R = E[X_k X_k^T]$ – автокорреляционная матрица $N \times N$; $P = E[y_k X_k]$ – N -компонентный вектор взаимной корреляции. Прямая реализация винеровского фильтра требует обращение матриц. В приложениях реального времени $W_{\text{опт}}$ придется пересчитывать многократно, что потребует значительных вычислительных ресурсов.

В модификации метода наименьших квадратов Уидроу-Хопфа, коэффициенты $W_{\text{опт}}$ настраиваются при последовательной обработке выборок с минимизацией среднеквадратической ошибки. Результат равносителен спуску по поверхности к её дну.

Алгоритм Уидроу-Хопфа не требует обращение матриц или прямого вычисления автокорреляции и взаимной корреляции, вместо этого используются мгновенные оценки:

$$W_{k+1} = W_k + 2\mu e_k X_k, \quad (3)$$

где W_{k+1} – скорректированный набор коэффициентов; W_k – предыдущие значения коэффициентов; e_k – текущая ошибка между выходом фильтра и идентифицируемой системой; X_k – вектор входных значений; μ – параметр, влияющий на скорость и точность решения. Условием сходимости алгоритма является:

$$0 < \mu < \frac{1}{(N+1)E[x_k^2]}, \quad (4)$$

где N – размер фильтра Винера; $E[x_k^2]$ – сумма квадратов набора входных значений. Процесс настройки фильтра проиллюстрирован на рис. 6.

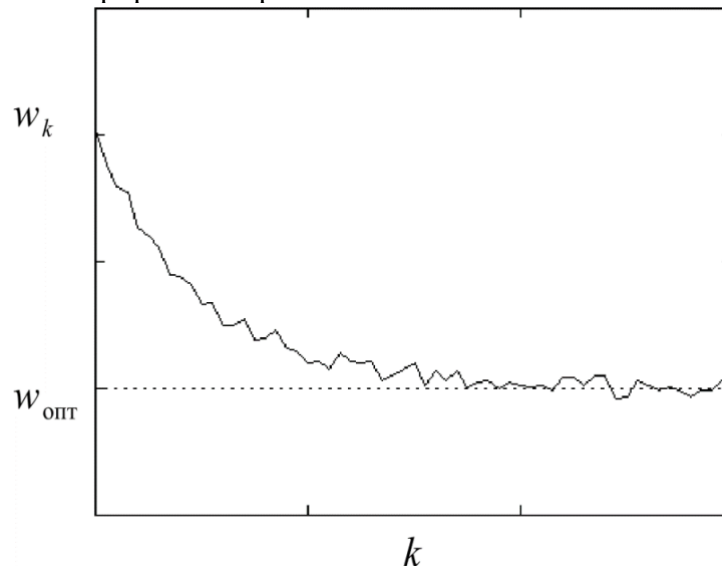


Рис.6 – Процесс настройки оптимального фильтра

На практике W_k никогда не достигает $W_{\text{опт}}$, а флуктуирует около оптимального значения. Так же из-за большого размера выборки данных, коэффициенты могут постепенно смещаться от оптимального значения. Что бы минимизировать эффект смещения, вводится коэффициент потерь, который слегка смещает коэффициенты к нулю:

$$W_{k+1} = k_{\text{потерь}} \times W_k + 2\mu e_k X_k, \quad (5)$$

где $0 < k_{\text{потерь}} < 1$.

Важным параметром фильтра Винера является длина фильтра N . Наиболее распространенной передаточной функцией объекта управления является некий фильтр низких частот ФНЧ. Реальные системы обладают бесконечно импульсной характеристикой. Но для проектируемой системы необходимо выбрать оптимальное значение длины КИХ-фильтра, которое позволит достаточно точно аппроксимировать передаточную функцию объекта управления, и в тоже время не создаст избыточной вычислительной нагрузки. Длину фильтра можно оценить по формуле:

$$N \geq \frac{0.9}{\frac{F_{\text{ср}min} \delta_s}{F_d 2S_{\text{max}}}}, \quad (6)$$

где $F_{\text{ср}min}$ – минимально возможная частота среза системы; F_d – частота дискретизации аналогового сигнала; δ_s – ослабление в полосе подавления для простой прямоугольной весовой функции (21 дБ); S_{max} – максимально возможная крутизна передаточной функции объекта управления (обычно не более 24 дБ/октава).

Частота дискретизации на основании теоремы Котельникова выбирается исходя из максимальной частоты в спектре сигнала. В общем случае частоту дискретизации можно рассчитать по формуле:

$$F_d \geq F_{\text{ср}max} \times 2^{\frac{\delta_{ps}}{S_{\text{min}}}} \times 2, \quad (7)$$

где $F_{ср\max}$ – максимально возможная частота среза системы; δ_{ps} – требуемое ослабления максимальных значимых частот; S_{min} – минимально возможная крутизна передаточной функции объекта (обычно не менее 6 дБ/октава).

В статье рассмотрен процесс разработки адаптивной системы с идентификацией объекта управления. Представлены обоснования и методики выбора параметров последовательного метода наименьших квадратов. Даны формулы для расчета длины КИХ-фильтра модели объекта, оценки минимальной частоты дискретизации.

Список используемых источников:

1. Айфичер, Э.С. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э.С. Айфичер, Б.У. Джервис. — 2-е изд. — М., Издательский дом «Вильямс», 2004. — 992 с.
2. Александровский, Н.М. Адаптивные системы автоматического управления сложными технологическими процессами / Н.М. Александровский. — М., Энергия, 1973. — 272 с.
3. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. — 4-е изд. Спб., Профессия, 2003.
4. Гроп, Д. Методы идентификации систем: пер. с англ. / Д. Гроп. — М., Мир, 1979. — 304 с.