

Системный анализ, управление и автоматизация

УДК 681.51

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ОБЪЕКТА ГАММЕРШТЕЙНА

Р.Ш. Галиуллин

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: galren@mail.ru

В статье рассматривается задача компенсации влияния входной инерционности при активной идентификации структуры, представляющей собой последовательное соединение линейного динамического звена, нелинейного статического звена и второго линейного динамического звена. Задача решается путем адаптации известного метода идентификации объекта Гаммерштейна. Приводятся несколько способов такой адаптации.

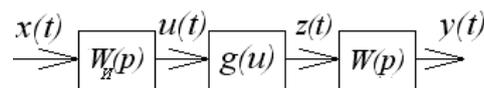
Ключевые слова: идентификация, компенсация, динамическое звено, нелинейность, Гаммерштейн.

Многие технологические объекты управления могут быть описаны как объекты со структурой Гаммерштейна [1], однако управляющее воздействие подается на вход данного объекта через исполнительное устройство, которое может быть описано как линейное динамическое звено, и его передаточная функция известна.

Таким образом, идентифицируемая структура представляет собой последовательное соединение линейного динамического звена, нелинейного статического звена и второго линейного динамического звена.

Рассматривается задача активной идентификации данной структуры при адаптации известного метода идентификации объекта Гаммерштейна [2] путем компенсации влияния входной инерционности [3] и использования тестового сигнала в виде двоичного белого шума.

На рис. 1 приведена структурная схема описанной модели, где $x(t)$ – тестовый сигнал в виде двоичного белого шума, $W(p)$ – передаточная функция линейного динамического звена объекта Гаммерштейна, $W_H(p)$ – передаточная функция входного динамического звена, например исполнительного устройства, $g(u)$ – функция, описывающая входную нелинейную характеристику объекта Гаммерштейна, на выходе снимается сигнал $y(t)$.



Р и с. 1. Структурная схема модели

Ренат Шагитович Галиуллин – аспирант.

Характеристики модели $W(p)$, $g(u)$ неизвестны и должны быть оценены по результатам экспериментальных исследований, причем желательна оптимизация условий данного эксперимента, обеспечивающая адекватность модели.

Пусть входное динамическое звено описывается передаточной функцией вида

$$W_H(p) = \frac{1}{2p+1}. \quad (1)$$

Линейное динамическое звено объекта Гаммерштейна представлено инерционным звеном первого порядка с передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{1}{p^2 + 2p + 1}. \quad (2)$$

Нелинейность имеет вид

$$z(u, t) = 0,25u(t) + 0,075u^2(t). \quad (3)$$

При конкретном виде тестового воздействия $u(t)$ на вход линейной подструктуры объекта поступает воздействие вида $z(t) = g[u(t)]$.

Для оценки возможности идентификации описанного объекта без компенсации входной инерционности проведена идентификация данного объекта с использованием известного алгоритма [2], когда тестовый сигнал $x(t)$ имеет характер двоичного белого шума.

Оценка импульсной переходной функции w можно определить из соотношения [2]

$$w = \frac{r^*}{g_0[u^*]} = \frac{1}{\sum_{l=0}^{s_0-1} R_{xy}[l]} r^*, \quad (4)$$

где g_0 – нечетная функция; r^* – оценка взаимной корреляционной функции выходного и входного сигналов в матричной форме; $\sum_{l=0}^{s_0-1} R_{xy}[l]$ – оценка взаимной корреляционной функции выходного и входного сигналов.

Оценка взаимной корреляционной функции входного и выходного сигнала определяется следующим образом:

$$\hat{R}_{xy}(0, l) = \frac{1}{N-l} \sum_{k=1}^{N-l} x(k) y(k+l), \quad (5)$$

где N – количество отсчетов реализации наблюдаемых сигналов; l – количество отсчетов памяти объекта; T_0 – интервал квантования по времени.

Оценка нелинейности может быть представлена как

$$\Gamma = m + S, \quad (6)$$

где

$$m = (\hat{m}_y(u_1), \dots, \hat{m}_y(u_p)) - \quad (7)$$

оценка математического ожидания на разных амплитудах;

$$S = \left(\sum_{i=0}^{s_0-1} \hat{R}_{xy}[l, u_1], \dots, \sum_{i=0}^{s_0-1} \hat{R}_{xy}[l, u_p] \right) - \quad (8)$$

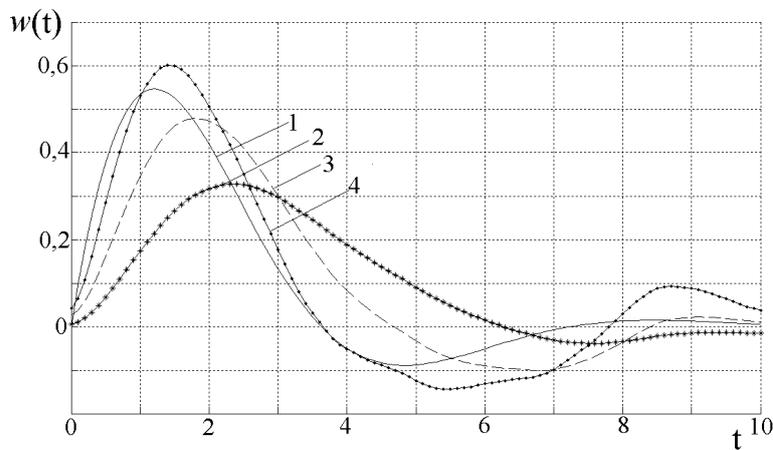
оценка взаимной корреляционной функции выходного и входного сигналов на разных амплитудах.

Результаты идентификации показаны на рис. 2; для оценки точности идентификации введем такие оценки, как максимальное значение ошибки E (9) (обозначим как E_{\max}) и среднеквадратическая ошибка δ_E (10).

$$E = (g(k) - w(k)), \quad (9)$$

где $g(k)$ – импульсная переходная функция линейного динамического звена модели объекта Гаммерштейна.

$$\delta_E = \sqrt{\sum_{k=0}^{s_0-1} (g(k) - w(k))^2}. \quad (10)$$



Р и с. 2. Идентификация модифицированного объекта типа Гаммерштейна:

- 1 – импульсная переходная функция линейного динамического звена модели объекта Гаммерштейна;
- 2 – оценка импульсной переходной функции модели объекта Гаммерштейна; 3 – оценка импульсной переходной модели объекта Гаммерштейна с одним компенсационным звеном; 4 – оценка импульсной переходной модели объекта Гаммерштейна с тремя компенсационными звеньями

Как видно из рис. 2, без использования компенсационного звена оценка импульсной переходной функции совершенно не отвечает виду импульсной переходной функции линейного динамического звена модели объекта. При описании точности идентификации величинами максимальной ошибки E_{\max} и среднеквадратической ошибки δ_E становится очевидным, что значения ошибок становятся велики по

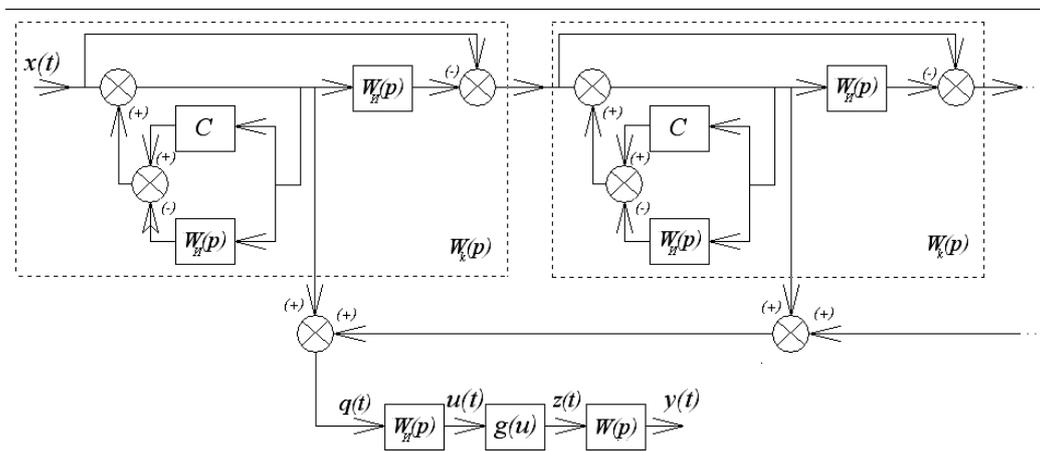
сравнению с экспериментальными значениями идентифицируемой характеристики: $E_{\max} = 0,3657$, $\delta_E = 0,0533$.

Для получения адекватной модели объекта данного типа необходимо подать на вход объекта воздействие $q(t)$, вид которого привел бы к компенсации влияния входного динамического звена. При такой компенсации воздействие $u(t)$ должно иметь вид двоичного белого шума.

Очевидно, что вводимое компенсирующее звено должно решать обратную задачу и в идеальном случае его передаточная функция должна иметь вид $W_H^{-1}(p)$.

Исследуем различные виды компенсирующих цепей.

Первый вид компенсационного звена – использование замкнутой структуры, в которой модель входной инерционности включена в прямую и обратную связи и тем самым образует цепочечную структуру [3] (рис. 3). Варьируя параметр C в пределах $0 \leq C < 1$ и контролируя устойчивость системы, можно добиться выполнения условия инвариантности в заданном частотном диапазоне [3]. Результат идентификации приведен на рис. 2.



Р и с. 3. Структурная схема компенсирующей цепи с цепочечной структурой

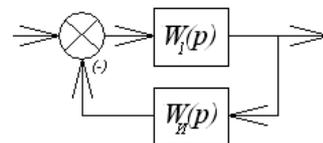
Включение одного компенсационного звена позволило нам получить более точную оценку импульсной переходной функции, чем без компенсации ($E_{\max} = 0,2247$, $\delta_E = 0,0328$).

На рис. 2 показаны результаты идентификации при цепочечной структуре из 3 звеньев. Как видно, с увеличением количества компенсационных звеньев результат идентификации улучшается: $E_{\max} = 0,0985$, $\delta_E = 0,0197$.

Дальнейшее же увеличение количества звеньев приводит к незначительному его улучшению, например при 5 звеньях: $E_{\max} = 0,0924$, $\delta_E = 0,0180$.

Для увеличения эффективности процедуры идентификации предложен следующий вид структуры компенсационного звена (рис. 4).

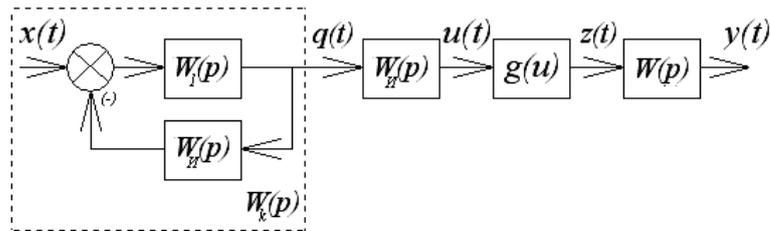
В данной структуре $W_1(p)$ – звено с пропорционально-интегральным законом преобразования:



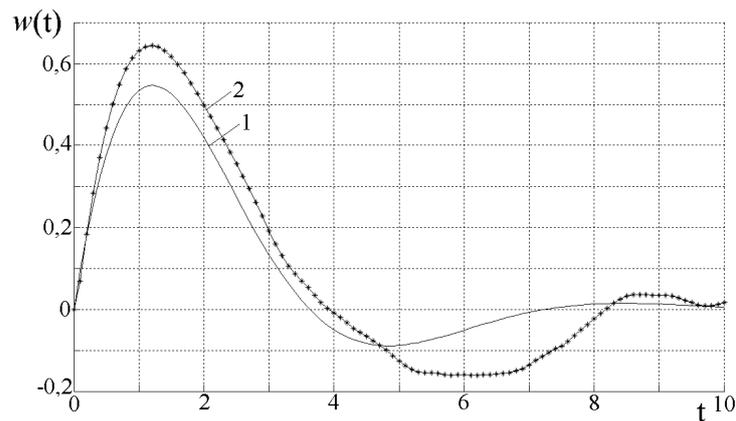
Р и с. 4. Структурная схема компенсационного звена с объектом в обратной связи

$$W_1(p) = K + \frac{1}{T_I p + 1}. \quad (11)$$

Структура модели объекта, на входе которого расположено компенсационное звено данного вида, приведена на рис. 5, а результат идентификации – на рис. 6.



Р и с. 5. Структурная схема модели объекта с компенсационным звеном:
 $W_K(p)$ – компенсационное звено



Р и с. 6. Оценка импульсной характеристики:
 1 – импульсная переходная функция линейного динамического звена модели объекта Гаммерштейна; 2 – оценка импульсной переходной модели объекта Гаммерштейна

Использование интегральной составляющей в компенсационном звене позволяет получить адекватную оценку импульсной переходной функции при $E_{\max} = 0,1356$, $\delta_E = 0,0231$.

Сравнение результатов идентификации, показанных на рис. 2 и 6, показывает большую адекватность модели, полученной при идентификации с компенсационным звеном со структурой, приведенной на рис. 4. Хотя значения ошибок несколько выше, но, как видно из рис. 6, характер оценки импульсной переходной функции в большей мере соответствует характеру данной функции самого объекта. В том числе запаздывание по времени, наблюдаемое на рис. 2, в результате идентификации при компенсирующей цепи с цепочечной структурой полностью исчезло.

Таким образом, применение компенсационных звеньев с разной структурой позволяет проводить идентификацию объекта с дополнительной входной инерционностью с помощью наиболее эффективного метода, использующего тестовый сигнал в виде двоичного белого шума.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Буитрук А.Д.* Структурная идентификация нелинейных динамических объектов // *АиТ.* – 1989. – №10. – С. 84-96.
2. *Чостковский Б.К., Юдашкин А.А.* Активная идентификация нелинейных динамических объектов типа Гаммерштейна // *АиТ.* – №1. – 1992. – С. 96-103.
3. *Рапопорт Э.Я., Тяп В.К.* Достижение заданной инвариантности в стохастических системах комбинированного управления // *Куйбыш. политех. ин-т. Деп. в ВИНТИ* 1989.

Статья поступила в редакцию 24 октября 2010 г.

UDC 681.51

IDENTIFICATION OF MODIFIED OBJECT OF GAMMERSHTEIN

R.Sh. Galiullin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The article refers to the problem of entrance lag effect compensation when identifying an active structure which is represented by consecutive connection of a linear dynamic nonlinear state and second linear dynamic elements. The problem is solved by adapting a known method of Hammerstein object identification. The paper presents several ways of mentioned adaptation.

Keywords: *identification, indemnification, dynamic link, nonlinearity, Gammershtein.*