



## Методы идентификации объектов управления с использованием промышленных контроллеров

*М. А. Смирнов*

*Костромской государственной университет*

**Аннотация:** Задача оперативной идентификации объектов управления актуальна и востребована на этапах автонастройки и самонастройки регуляторов. Современные промышленные контроллеры обладают достаточными вычислительными возможностями для реализации адаптивного регулирования. В статье рассмотрены два подхода к получению импульсной передаточной функции объекта: по методу наименьших квадратов и непосредственно по переходной характеристике. Алгоритмы реализованы в виде программ для промышленных контроллеров и могут быть использованы как на этапах предварительной идентификации объектов управления, так и на этапах автонастройки типовых ПИД-регуляторов и регуляторов в пространстве состояния.

**Ключевые слова:** адаптивное управление, импульсная передаточная функция, метод наименьших квадратов, переходная характеристика, ПИД-регулятор, программируемый логический контроллер, регулятор состояния, язык ST, язык C, CoDeSys.

### Актуальность проблемы

Проблема реализации адаптивных систем управления в условиях дрейфа параметров объекта и высоких требований к качеству выпускаемой продукции на сегодня по-прежнему актуальна, несмотря на значительные вычислительные возможности, которые предоставляют программируемые логические контроллеры (ПЛК) и одноплатные компьютеры среднего ценового сегмента. Причина может быть вызвана сложностью реализации алгоритмов адаптации [1 – 3].

В то же время практически все современные микропроцессорные контроллеры (конфигурируемые и свободно программируемые) позволяют настроить коэффициенты ПИД-регулятора (чаще ПИ-регулятора) с использованием частотной идентификации, когда вместо штатного регулятора включается релейный и программно отслеживаются параметры колебаний. Такая автонастройка эффективна для широкого класса объектов, но имеет недостатки: колебательный режим работы; длительность процедуры

при большой постоянной времени объекта; необходимость контроля и ручной подстройки [4 – 6].

Также следует отметить, что цифровые ПИД-регуляторы настраиваются по методу аналогового прототипа, что дает преимущество только при малых периодах квантования. Реализация регуляторов с конечным временем установления (апериодические регуляторы), описанных, например, в работе [7], возможна только по импульсной передаточной функции объекта. Поэтому реализация процедуры идентификации объекта с последующим синтезом цифрового регулятора – важная задача на пути практического построения и эксплуатации адаптивных систем.

#### **Адаптивные системы с динамическими регуляторами состояния**

Наиболее универсальными с точки зрения адаптации к действующим возмущениям, девиациям параметров объекта в малом и большом являются адаптивные системы идентификационного типа. Соответствующая структурная схема приведена на рис. 1.

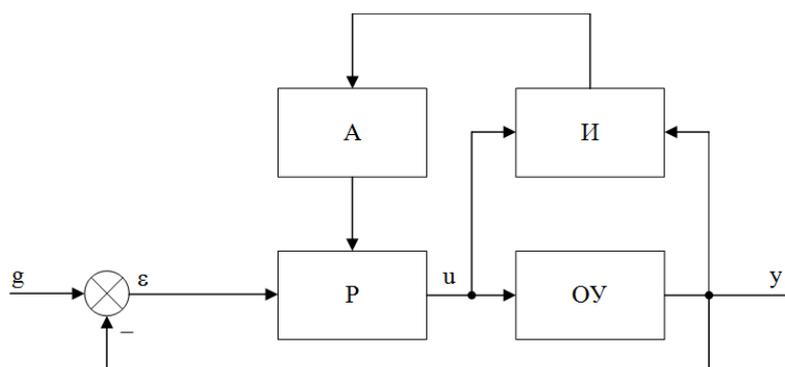


Рис. 1. – Структура адаптивной системы с настраиваемой моделью

На рис. 1 даны следующие обозначения: P – регулятор, ОУ – объект управления, И – идентификатор, А – адаптатор.

В [7 – 9] показано, что для адаптивных систем идентификационного типа наиболее перспективными регуляторами являются динамические регуляторы состояния. Они подобны классическим ПИД-регуляторам, но, в отличие от последних, не требуют выполнения операций явного дифференцирования, имеют однозначную и простую методику настройки. Наличие наблюдателя состояния вносит только дополнительную вычислительную нагрузку (синтез осуществляется по той же методике, что и для регулятора состояния).

Структура цифровой адаптивной системы с динамическим регулятором состояния показана на рис. 2.

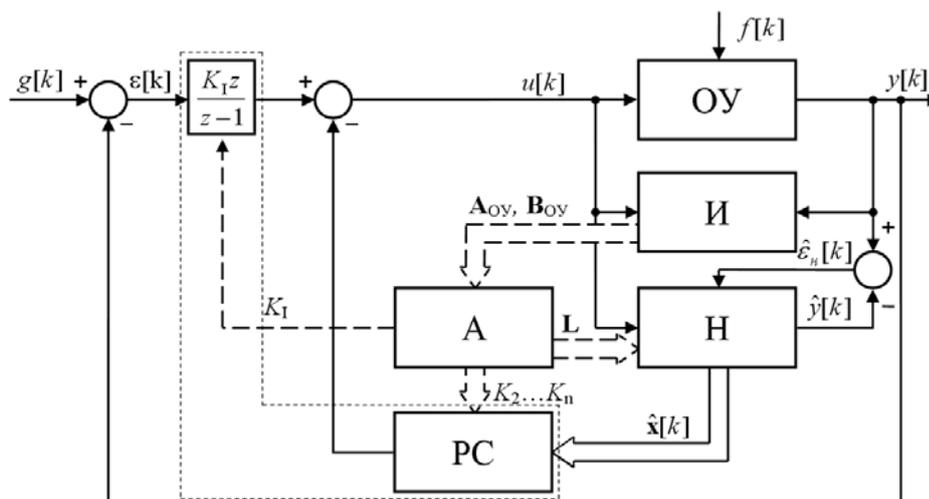


Рис. 2. – Структура цифровой системы адаптивного управления с динамическим регулятором состояния

На рис. 2 даны следующие обозначения: ОУ – объект управления; И – идентификатор; Н – наблюдатель; А – адаптатор; РС – регулятор состояния.

Идентификатор вычисляет параметры объекта (матрица параметров  $A_{OU}$ , матрица-вектор управления  $B_{OU}$ , матрица-вектор выхода  $C_{OU}$ ), адаптатор осуществляет синтез наблюдателя (матрица-вектор  $L$ ) и регулятора состояния (матрица-вектор  $K$ ).

Рассмотрим методы идентификации для промышленных контроллеров.

## Методы идентификации объектов управления для контроллеров

Если рассматривать задачу автонастройки, то можно использовать ретроспективный подход. Для самонастройки параметров регулятора требуется рекуррентная идентификация, которая может быть реализована наиболее распространенным способом – методом «скользящего окна» [10].

В качестве ретроспективного и рекуррентного алгоритма в цифровых системах управления для получения параметров апериодических и колебательных объектов целесообразно использовать метод наименьших квадратов (МНК) [7, 11], который сводится к решению матричного уравнения вида

$$[\Psi^T \Psi]^{-1} \Psi^T Y, \quad (1)$$

где  $\Psi$  – матрица размером  $N \times 2M$ , содержащая значения на входе и выходе объекта, полученные в такты квантования;  $Y$  – вектор размерности  $N$ , содержащий значения на выходе объекта;  $M$  – порядок объекта управления.

Для проведения идентификации объекта управления по МНК может быть предложена следующая последовательность действий [12].

На объект управления подается тестовый сигнал с богатым спектром (период квантования  $T_0$  может быть выбран в первом приближении как 5% от максимальной постоянной времени, которую можно аналитически вычислить по переходной характеристике). На основе полученных данных (входное воздействие и выходная величина объекта) с использованием выражения (1) определяется результирующая передаточная функция (ПФ) объекта управления в виде

$$W(z) = \frac{b_1 z^{n-1} + \dots b_{n-1} z + b_n}{z^n + a_1 z^{n-1} + \dots a_{n-1} z + a_n}.$$

Далее осуществляется итерационная процедура верификации. В качестве критерия можно использовать минимум СКО между экспериментальной и модельной переходными характеристиками.

Предложенная последовательность действий может быть реализована на программируемых логических контроллерах с поддержкой операционной системы Linux. В этом случае матричные операции могут быть реализованы на языке С.

На рис. 3 приведена схема экспериментальной установки.



Рис. 3. – Экспериментальная установка для исследования цифровых алгоритмов идентификации и управления

На рис. 3 цифрами обозначены: 1 – кабель Ethernet; 2 – кабель RS-485; 3 – широтно-импульсный сигнал; 4 – сигнал обратной связи; МВА – модуль ввода аналоговый; МДВВ – модуль дискретного ввода-вывода.

В качестве ОУ выступает электрическая печь как наиболее распространенный класс технологических установок.

В качестве ПЛК может быть использован классический контроллер (например, ПЛК154 «Овен»), так и коммуникационный (например, ПЛК308). ПЛК154 не имеет операционной системы и позволяет вести разработку программного обеспечения в среде CoDeSys v2.3. ПЛК308 имеет операционную систему Linux и поддержку среды CoDeSys v3.5. Реализация алгоритмов возможна на языке С, ST.

На рис. 4 представлены экспериментальные кривые процесса идентификации.

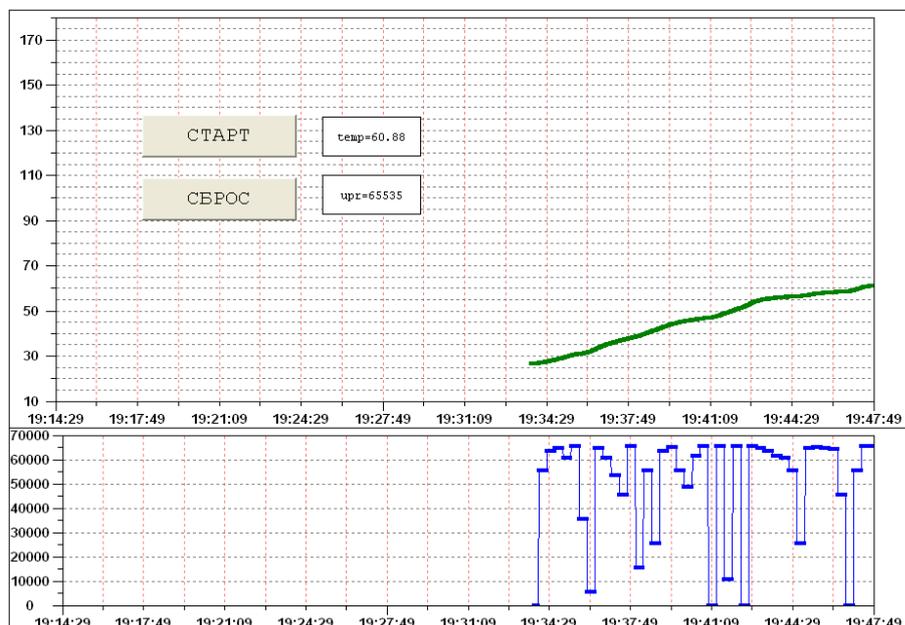


Рис. 4. Идентификация объекта управления по МНК

На рис. 4 верхний график соответствует изменению температуры объекта, нижний – изменению скважности (задана как целое число типа WORD: диапазон изменения от 0 до 65535).

Результатом идентификации объекта управления (постоянная времени 2000 с) по МНК с является ПФ вида

$$W(z) = \frac{0,92196z^2 + 3,51473z + 0,71308}{z^3 - 1,500094z^2 + 0,626175z - 0,099709}, T_0 = 100 \text{ с.}$$

В качестве «быстрого» способа идентификации может быть использован подход, предложенный в [13]. Импульсная ПФ имеет следующий вид:

$$W(z) = h_1z^{-1} + h_2z^{-2} + h_3z^{-3} + \dots + \frac{h_nz^{-n}}{1 - qz^{-1}}, \quad (2)$$

где параметры  $h_1, h_2, \dots, h_n$  определяются согласно рис. 5.

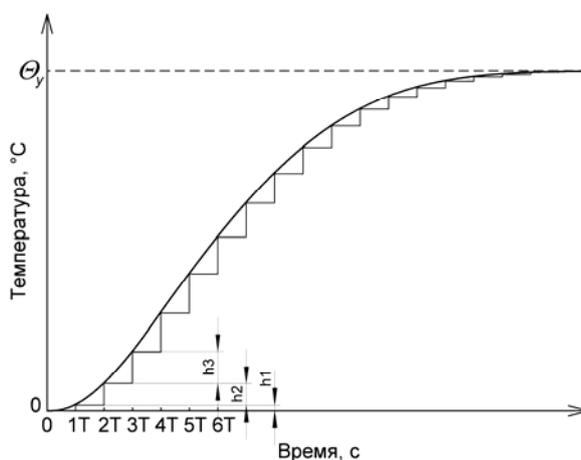


Рис. 5. – «Быстрая» идентификация объекта по переходной характеристике

Согласно математическому описанию модель совпадает с экспериментальной кривой до  $(n-1)$  точки. Далее используется аппроксимация в виде экспоненциальной зависимости.

В модели (2) коэффициент  $q$  определяется как

$$q = 1 - \frac{h_n}{\theta_y - \sum_{i=1}^{n-1} h_i}.$$

Модель объекта описывается как

$$W(z) = \frac{b_1 z^{n-1} + \dots + b_{n-1} z + b_n}{z^n + a_1 z^{n-1}},$$

где  $a_1 = -q$ ,  $b_1 = h_1$ ,  $b_i = h_i - qh_{i-1}$ ,  $i = 2 \dots n$ .

Результат работы программы идентификации объекта, реализованной на ПЛК средствами CoDeSys, является импульсная ПФ вида

$$W(z) = \frac{1.1268z^4 + 3.3948z^3 + 2.8685z^2 + 1.5985z + 0.7006}{z^5 - 0.9483z^4}, T_0 = 100 \text{ с.}$$

На рис. 6 показаны результаты верификации.

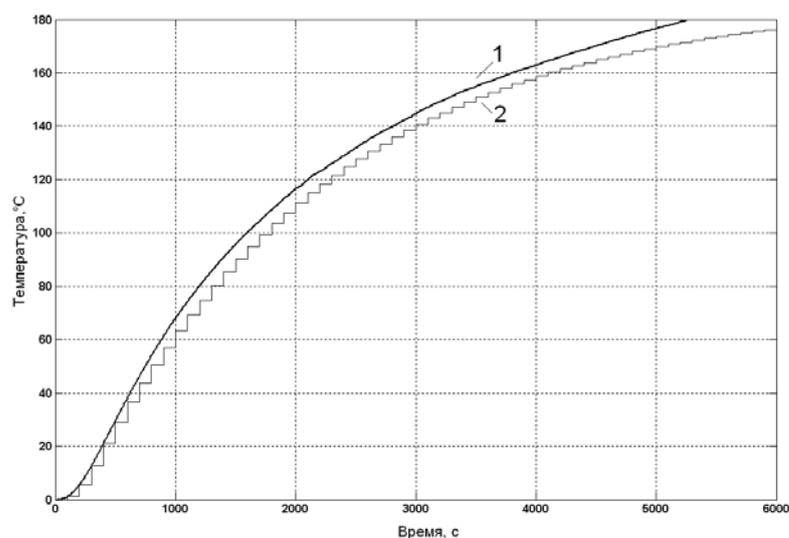


Рис. 6. Результат идентификации объекта по переходной характеристике:

1 – экспериментальная кривая; 2 – кривая модели объекта

Данный метод идентификации можно использовать на этапе «быстрой» автонастройки по начальному участку переходной характеристики.

### Заключение

Идентификация методом наименьших квадратов применима для широкого класса объектов, в том числе колебательных. Но такой метод требует довольно большого объема вычислительных ресурсов, что накладывает ограничение на быстродействие объекта. Прямой метод идентификации по переходной характеристике требует значительно меньше вычислительных ресурсов, но применим для апериодических объектов.

Результаты идентификации используются на последующих этапах самонастройки параметров типовых цифровых ПИД-регуляторов и динамических регуляторов состояния [7, 14].

Рассмотренные алгоритмы идентификации практически реализованы на серийно выпускаемых ПЛК.

## Литература

1. Соболев О.С. О проблемах адаптивного регулирования промышленных процессов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. №10. С. 7-9.
  2. Ротач В.Я. Адаптация в системах управления технологическими процессами // Промышленные АСУ и контроллеры. 2005. №1. С. 4-10.
  3. Варламов Д.Б., Савчиц А.В. Разработка и исследование эффективности алгоритма адаптивного регулятора // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5515/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5515/).
  4. Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID control. ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society), 2006. 460 p.
  5. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 608 с.
  6. Ротач В.Я. Настройка регуляторов модифицированным методом Циглера-Николса // Промышленные АСУ и контроллеры. 2008. №2. С. 38-42.
  7. R. Izerman. Digital Control Sytems. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1981. 541 p.
  8. Ильина А.Г., Маматов А.Г. Синтез оптимального наблюдателя состояний для системы управления вентильного электропривода // Вестник ИГЭУ. 2015. № 4. С. 33-38.
  9. Демьянов А.А., Павлицкий Б.И., Шапшал С.А. Синтез адаптивного регулятора шкворневого узла // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2019/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2019/).
  10. Адаптивные фильтры. Под ред. К.Ф. Н. Коузена и П.М. Гранта. М.: Мир, 1988. 392 с.
  11. Штейнберг Ш.Е. Идентификация в системах управления. М.: Энергоатомиздат, 1987. 80 с.
-



12. Олоничев В.В., Староверов Б.А., Смирнов М.А. Дискретные алгоритмы идентификации для систем управления на основе микропроцессорных контроллеров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. № 6. С. 27-31.

13. Ауслендер Д.М., Такахаси Я., Томидзука М. Применение микропроцессоров для прямого цифрового управления и алгоритмы для контроллеров на микропроцессорах // ТИИЭР. 1978. №2. С. 113-124.

14. Староверов Б.А., Олоничев В.В., Смирнов М.А. Самонастраивающаяся система управления с цифровым астатическим регулятором состояния // Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 6. С. 43-47.

### References

1. Sobolev O.S. Promyshlennye ASU i kontrollery. 2004. №10. pp. 7-9.
  2. Rotach V.Ya. Promyshlennye ASU i kontrollery. 2005. №1. pp. 4-10.
  3. Varlamov D.B., Savchits A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2019, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5515/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5515/).
  4. Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID control. ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society), 2006. 460 p.
  5. Denisenko V.V. Komp'yuternoe upravlenie tekhnologicheskim protsessom, eksperimentom, oborudovaniem [Computer control of technological process, experiment, equipment]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2009. 608 p.
  6. Rotach V.Ya. Promyshlennye ASU i kontrollery. 2008. №2. pp. 38-42.
  7. R. Izerman. Digital Control Sytems. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1981. 541 p.
  8. Il'ina A.G., Mamatov A.G. Vestnik IGEU. 2015. № 4. pp. 33-38.
  9. Dem'yanov A.A., Pavlitskiy B.I., Shapshal S.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2019/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2019/).
-



10. Adaptivnye fil'try [Adaptive Filters]. Pod red. K.F. N. Kouena i P.M. Granta. Moscow: Mir, 1988. 392 p.
11. Shteynberg Sh.E. Identifikatsiya v sistemakh upravleniya [Identification in control systems]. Moscow: Energoatomizdat, 1987. 80 p.
12. Olonichev V.V., Staroverov B.A., Smirnov M.A. Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. 2010. № 6. pp. 27-31.
13. Auslender D.M., Takakhasi Ya., Tomidzuka M. TIIEP. 1978. №2. pp. 113-124.
14. Staroverov B.A., Olonichev V.V., Smirnov M.A. Promyshlennye ASU i kontrollery. 2011. № 6. pp. 43-47.