

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД SP-ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО ГЛАДКОГО ВХОДНОГО СИГНАЛА

Рассматриваемый в трудах [1–4] метод структурно-параметрической идентификации (далее SP-идентификация) линейных динамических объектов сочетает в себе высокую точность моделирования и простоту математических вычислений. Используя в качестве исходных данных входной и выходной сигналы идентифицируемого объекта, получают математическую модель в виде дискретной передаточной функции.

В работах [2, 4] поднимается вопрос об оптимальности выбора периода отсчетов сигналов (шага дискретизации аналоговых сигналов), о работоспособности метода с искаженными белым шумом исходными данными излагается в [1]. С другой стороны, метод SP-идентификации, основанный на модифицированном алгоритме Висковатова, работоспособен с немногими формами входных сигналов. Сам алгоритм из [1] рассчитан на единичный сигнал (ступенчатое входное воздействие). В исследованиях [5] была отмечена работоспособность и с линейно нарастающим сигналом. Однако применения данного алгоритма не к единичным входным воздействиям непременно приведет к погрешностям структурной идентификации.

Для уменьшения вычислительной составляющей погрешности моделирования линейной математической модели можно прибегнуть к использованию импульсной характеристики идентифицируемого объекта. Подход основан на использовании линейной свертки [6] и определении через нее импульсной характеристики идентифицируемого объекта. Так как для данной операции, по аналогии с SP-идентификацией, необходимы лишь знания шага дискретизации и значений вход-выходных данных в требуемые моменты времени, комбинация свертки и модифицированного метода Висковатова позволяет с большей точностью определить структуру объекта при произвольном гладком входном сигнале.

Связь импульсной характеристики с дискретными вход-выходными данными можно выразить как

$$y(k \cdot \Delta t) = \sum_{i=0}^k x(i) \cdot h(k \cdot \Delta t - i), \quad (1)$$

где  $i$  – индекс суммирования;

$\Delta t$  — шаг дискретизации исходных непрерывных сигналов, с;

$k = 1, 2, \dots, (n + m - 1)$  — количество элементов свертки;

$n, m$  — количество отсчетов импульсной характеристики  $h(t)$  и входного сигнала  $x(t)$  объекта соответственно.

В случае отсутствия возмущающих воздействий в течении всей необходимой для расчетов длительности переходного процесса, общий алгоритм модифицированного метода SP-идентификации можно описать следующей последовательностью действий.

**Шаг 1.** Съем входного и выходного сигналов идентифицируемого объекта управления. После этого, в соответствии с (1), определяется дискретная импульсная характеристика по формуле

$$h(k \cdot \Delta t) = \frac{y(k \cdot \Delta t) - \sum_{i=0}^k x(i) \cdot h((k-i) \cdot \Delta t)}{x(0)}. \quad (2)$$

По (2), очевидно, для успешного вычисления импульсной характеристики, первое значение входящего сигнала не должно равняться нулю.

**Шаг 2.** Применение вычисленной дискретной импульсной характеристики (2) к искомой дискретной реакции объекта на идеальное ступенчатое воздействие

$$H(k \cdot \Delta t) = \sum_{i=0}^k h(i \cdot \Delta t). \quad (3)$$

**Шаг 3.** Загрузка смоделированных исходных данных в память и применение алгоритма SP-идентификации по модифицированному методу Висковатова. Определение дискретной и непрерывной передаточных функций.

**Шаг 4.** Проверка пригодности полученной математической модели. В случае необходимости повторения процедуры идентификации повторить шаг 1–3 с иным шагом дискретизации.

Для визуальной наглядности модифицированный метод SP-идентификации объекта представлен в виде алгоритмической блок-схемы на рисунке 1.

Пример: получить модель объекта в виде НПФ при идеальных условиях эксперимента (среда имитации эксперимента Simulink Matlab, отсутствие шума, помех и прочих возмущающих воздействий) с динамикой

$$W_{oy}(s) = \frac{0,2 \cdot (0,84 \cdot s + 1)}{(3 \cdot s + 1) \cdot (16,8 \cdot s + 1) \cdot (21,2 \cdot s + 1)}. \quad (4)$$

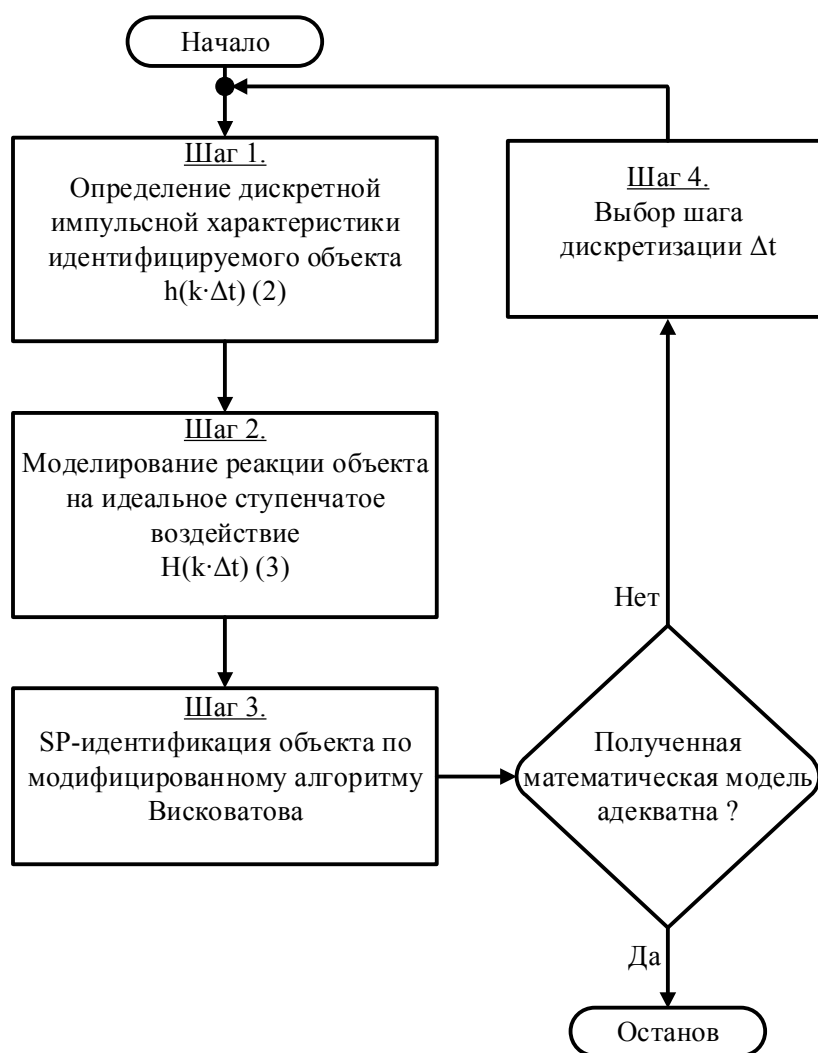


Рисунок 1 — Алгоритмическая блок-схема модифицированного метода SP-идентификации

В результате применения модифицированной SP-идентификации при шаге  $\Delta t = 1$  с была получена дискретная передаточная функция

$$W_{mm}(z) = 10^{-4} \cdot \frac{0,9822 \cdot z^4 + 0,0468 \cdot z^3 - 1,2745 \cdot z^2 + 0,3533 \cdot z + 1,6426 \cdot 10^{-5}}{z^4 - 3,5410 \cdot z^3 + 4,683 \cdot z^2 - 2,7399 \cdot z + 0,5979}. \quad (5)$$

Используя выражение обратного согласованного z-преобразования

$$s = \Delta t^{-1} \cdot (\log(|z|) + j \cdot \arg(z)), \quad (6)$$

где  $j$  — мнимая единица, а также, исключая ложные полюса и нули, определяем инерционную часть непрерывной передаточной функции

$$W_{mm}(s) = \frac{(0,83 \cdot s + 1)}{(3,01 \cdot s + 1) \cdot (16,2 \cdot s + 1) \cdot (22,08 \cdot s + 1)}. \quad (7)$$

Сравнивая инерционную часть (5) и модель (7) можно сделать вывод о высокой точности структурной идентификации. Увеличение количества циклов SP-идентификации при различных шагах дискретизации позволит сузить область неопределенности значений параметров объекта управления, а также выявить более точно его структуру.

Достоинство описанной в работе модификации для SP-идентификации заключается в ее работоспособности в системах регулирования в замкнутом контуре, в независимости от формы гладкого сигнала, поступающего на вход объекта, что позволяет во многих случаях проводить идентификацию объектов в их рабочем режиме, не прерывая технологический процесс.

### Список литературы

1. Карташов, В. Я. Структурно-параметрическая идентификация линейных стохастических объектов с использованием непрерывных дробей / В. Я. Карташов, М. А. Новосельцева // Управление большими системами : сб. науч. тр. — М. : ИПУ РАН, 2008. — Вып. 21. — С. 27–48.
2. Карташов, В. Я. Структурно-параметрическая идентификация динамических объектов в режиме реального времени / В. Я. Карташов, Л. В. Карташова, С. С. Самойленко // Вестник Кемеровского государственного университета. — Кемерово : изд-во КемГУ, 2015. — № 1. — С. 13–18.
3. Овдей, В. С. Структурно-параметрическая идентификация объектов управления на основе дискретных вход-выходных данных / В. С. Овдей, Р. Ю. Ткачев // Современные технологии: проблемы и перспективы : сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных (19–22 мая 2020 г.). — Севастополь : ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2020. — С. 229–235.
4. Овдей, В. С. Идентификация объектов управления с запаздыванием методом цепных дробей / В. С. Овдей, Р. Ю. Ткачев // Сб. науч. трудов студентов ДонГТУ. — Вып. 13. — Часть I. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2020. — С. 63–67.
5. Овдей, В. С. SP-идентификация объектов управления при линейно нарастающем входном воздействии / В. С. Овдей, Р. Ю. Ткачев // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых : сборник научных трудов XX международной научно-технической конференции аспирантов и студентов (26–28 мая 2020 г.). — Донецк : ГОУ ВПО «ДонНТУ», 2020. — С. 161–164.
6. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд ; пер. с англ. А. Л. Зайцева, Э. Г. Назаренко. — М. : Мир, 1978. — 835 с.