

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Д. А. Гринюк, Н. М. Олиферович, И. О. Оробей

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: hryniuk@tut.by

*Рассмотрены особенности управления технологическими объектами с нестабильными параметрами, изменяющими свои свойства в процессе эксплуатации в широком диапазоне. С целью определения динамических характеристик данных технологических объектов предлагается использовать в качестве воздействия смесь гармонических сигналов, подобранных таким образом, чтобы попадать в области значительных изменений амплитудно-частотных характеристик. Для сравнения возможностей определения времени динамики технологических объектов в реальном времени в условиях ограничения на количество разрядов на выходе, для апериодического звена третьего порядка выполнено математическое моделирование гармонической и меандровой идентификации в среде Matlab.*

## ВВЕДЕНИЕ

Большинство технологических объектов управления, особенно связанных с процессами тепло- и массообмена, изменяют свои свойства в процессе эксплуатации. Это обусловлено как распределенностью параметров температуры и концентрации, так и нелинейными свойствами этих процессов. Коэффициенты эквивалентных передаточных функций по каналам стабилизации могут изменять значения на порядок. Найти в данных условиях робастные настройки регулятора, которые обеспечат приемлемое качество переходного процесса, практически невозможно. Для поддержания стабильности технологических режимов требуется одновременно с регулированием проводить идентификацию параметров объекта управления. Организация периодических активных экспериментов сопряжена с большими экономическими затратами. В то время пассивные эксперименты на основании корреляционного анализа не всегда позволяют обеспечить определение передаточных функций объекта с приемлемой точностью ввиду влияния метрологических свойств каналов информации. Кроме того, они не пригодны для относительно быстрых изменений объектов управления.

## I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На практике широкую популярность нашли системы идентификации реального времени на основе постоянной генерации по каналу управления (или задания) ступенчатого сигнала, который имитирует проведение активного эксперимента. Однако следует учитывать, что данный подход сопряжен с рядом проблем. Реальная разрядность промышленных контроллеров находится в районе 12-bit, а часто и 10-bit, с другой стороны, технологический регламент не допускает существенных колебаний технологических параметров. Поэтому такая идентификация может приводить к большим погрешностям. С це-

лью определения динамических характеристик технологических процессов предлагается воздействовать на объект смесью гармонических сигналов, выбранных таким образом, чтобы они находились в области значительных изменений амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), и в то же время вторичные гармоники, которые образуются при прохождении сигнала через выходной цифро-аналоговый и входной аналогово-цифровой преобразователи, по минимуму попадали в спектр других гармонических сигналов. Выделение сигнала предполагается производить путем квадратурной демодуляции [1].

## II. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

С целью сравнения возможностей определения в реальном времени динамики технологических объектов в условиях ограничения на количество разрядов на выходе проведено математическое моделирование в Matlab гармонической (ГИ) и меандровой (МИ) идентификации. В качестве объекта был выбран апериодический объект третьего порядка с постоянными временами 150; 50; 16,7 с. Для данного объекта были найдены настройки пропорционально-интегрального регулятора с использованием минимизации критерия [2] с расчетом на отсутствие колебательности переходного процесса. При выборе контрольных гармоник (КГ) руководствовались диапазоном частотной характеристики, при котором происходят максимальные изменения коэффициента передачи частотной характеристики объекта. Первоначально выбиралась самая высокочастотная КГ1, затем более низкочастотная, такая, чтобы высокочастотная КГ находилась между вторичными гармониками низкочастотной. Далее выбиралась еще более низкочастотная, опять же с условием отдаления ее спектра от уже выбранных, в частности, в эксперименте использовались КГ с частотами 0,274; 1,23; 2,03; 3,52 МГц. Частота меандрового сигнала

ла была выбрана из условия выхода объекта на стационарное состояние с погрешностью не выше 0,5% и составила 0,2604 мГц. В ходе эксперимента определяемые гармоники меандрового сигнала (МС) выбирали исходя из близости к КГ гармонической идентификации, в частности 1, 5, 8 и 14. Амплитуды КГ подбирались таким образом, чтобы на выходе путем перерасчета получались одинаковые значения, исходя из коэффициентов передачи по АЧХ объекта. Суммарная мощность четырех КГ регулировалась общим коэффициентом так, чтобы она была равна мощности МС. Отдельно проводилось моделирование при уменьшении общего коэффициента на 0,5 (ГИ05). Выполнялся раздельный анализ возможности идентификации объекта при отсутствии обратной связи и с обратной связью, при добавлении тестового сигнала (ТС) после регулятора либо по каналу задания (SP) (рис. 1).

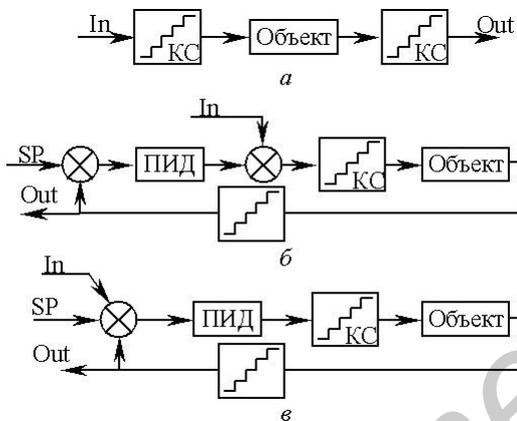


Рис. 1 – Структуры моделирования: а – при отсутствии обратной связи (S1); б – с обратной связью, при подаче ТС после регулятора (S2); в – с обратной связью, при подаче ТС по каналу задания (S3); In – точка приложения ТС; Out – выходной сигнал для анализа

Уровень квантователя (разница между соседними значениями) менялся синхронно на входе и на выходе с выбором точек по логорифмической зависимости от минимальных значений до 0,514, т. е. немного больше уровня половины МС. Моделирование ГИ и МИ осуществлялась при одном уровне квантователя в рамках одной модели Simulink для обеспечения одинаковой точности. Моделирование проводилось на промежутке, достаточном для выхода сигналов квадратурных демодуляторов на стационарное значение. Амплитуда и фаза сигналов определялись как среднее значение последних 1000 точек. Также выполнялась оценка дисперсии значений.

Анализ результатов показывает, что предложенный способ ГИ имеет большую точность в определении динамики в режиме реального времени. Из всех структур наилучшую точность демонстрирует вариант идентификации без обрат-

ной связи S1. Наихудшие показатели – в случае воздействия на объект по каналу задания. Наличие обратной связи существенно влияет на форму сигналов, которые поступают на вход контроллера для анализа. Если для структуры S1 выход мало отличается от фрагмента, то S2 вносит значительные изменения в форму сигнала и затрудняет анализ. Наибольшее уменьшение мощности отклонения выходного сигнала происходит в S2 вследствие его подавления обратной связью с регулятором. Дальнейшая процедура предполагает восстановление всей АЧХ с помощью интерполяции. Один из лучших вариантов использовать функции  $\sin(x) / x$ . Однако в большинстве технологических задач можно корректировать настройки регулятора непосредственно по колебаниям амплитуд и фаз КГ. Количество КГ можно также изменять в зависимости от требований точности и структурных особенностей динамики объекта наблюдения.

Для МИ можно повысить точность идентификации путем увеличения количества определяемых гармоник. МИ показывает лучшие результаты при работе по структуре S3. Наибольшие проблемы МИ проявляются в определении высокочастотной АЧХ объекта. В зависимости от особенностей объекта и настроек регулятора результаты могут изменяться. Следует отметить, что погрешность в определении гармоник во втором знаке начинается с уровня 0,05 квантования при МИ, что может быть приемлемо для ряда прикладных задач.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты эксперимента показали, что ГИ обладает большим потенциалом по сравнению с МИ. Даже в случае уменьшения мощности КГ метод сохраняет хорошую способность к идентификации. Использование узкополосных фильтров квадратурной демодуляции дает возможность существенно уменьшить погрешности, которые вносит квантование. Такой подход также позволяет значительно снизить влияние шумов, которые всегда присутствуют в измерительном тракте на технологических объектах. Раздельная генерация гармоник с индивидуальным изменением амплитуды обеспечивает точность определения частотной характеристики объекта на более широком диапазоне регулирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макс, Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. В 2 т. Т. 2. – М.: Мир, 1983. – 256 с.
2. Сухорукова, И. Г. Модификация интегральных критериев для повышения запаса по устойчивости // И. Г. Сухорукова, Д. А. Гринюк, И. О. Оробей // Труды БГТУ. – 2012. – № 6 Физ.-мат. науки и информатика. – С. 118–121.